

PROPUESTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN LA PLANTA DIACO MUÑA

OSCAR CANO SANCHEZ  
LUIS ALIRIO MENDIGAÑO ROJAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2009

PROPUESTA PARA IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN LA PLANTA DIACO MUÑA

OSCAR CANO SÁNCHEZ  
LUIS ALIRIO MENDIGAÑO ROJAS

Director  
JOSÉ DE JESÚS DÍAZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA

2009

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá, D.C., mayo 11 de 2009

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser el dador de vida, a Belinda mi esposa con todo mi amor y dedicación; a mi hijos Juan David y María Camila quienes me permitieron sacrificar el tiempo que debía darles para lograr culminar un peldaño más en la vida y porque son la inspiración de mi existencia.

*Oscar Cano Sánchez*

Al “Dios de Israel” por el favor de mi existencia; a mi esposa Maritza Angélica, a mis hijos Joseph y Sarai porque son una bendición en mi vida.

*Luís Alirio Mendigaño Rojas*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Fernando Bedoya gerente DIACO Planta MUÑA quien nos brindó su apoyo incondicional y nos permitió desarrollar la implementación de la propuesta desarrollada en la monografía a través de la empresa. A la Universidad Industrial de Santander – UIS – por construir en nosotros personas profesionalmente integras e idóneas para el ejercicio de esta especialización.

A José de Jesús Díaz, por su colaboración incondicional dentro del desarrollo de este trabajo, quien siempre estuvo atento a nuestras dudas y dispuesto a brindarnos su apoyo. A nuestros profesores porque sin ellos no hubiéramos logrado los conocimientos que hoy en día se ven reflejados en este trabajo y a futuro en nuestra vida profesional.

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. LAMINACIÓN PLANTA MUÑA Y SU ENTORNO	2
1.1. RESEÑA HISTÓRICA	2
1.1.1. Historia de Acero en Colombia	2
1.2. UBICACIÓN	2
1.3. ORGANIZACIÓN	6
1.4. ORGANIGRAMA DE LA PLANTA MUÑA	7
1.5. PROCESO DE LAMINADO EN CALIENTE	7
1.5.1. Definición proceso de Laminación	9
2. ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO EN LA PLANTA MUÑA	13
2.1. DESCRIPCIÓN DEL NEGOCIO	13
2.2. ORGANIGRAMA DE MANTENIMIENTO	14
2.3. COMO OPERA MANTENIMIENTO EN PLANTA MUÑA	15
2.3.1. Evolución del mantenimiento	15
2.3.2. Situación actual de mantenimiento	17
2.3.3. Sistema integrado de mantenimiento	20
2.3.4. Gestión de rutina	20
2.3.5. GBS mantenimiento	21
2.3.6. Mantenimiento Autónomo	24
2.3.7. Mantenimiento Predictivo	24
2.3.8. IRM (Lean Way do Brazil)	25
2.3.9. Abordaje IRM definición	26
2.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO	26
2.4.1. Modulo de seguridad	26
2.4.2. Modulo de utilitarios	27

2.4.3. Modulo de equipos	27
2.4.4. Modulo de herramienta	27
2.4.5. Modulo catálogos y planos repuestos	28
2.4.6. Modulo repuestos	28
2.4.7. Modulo actividad estándar	28
2.4.8. Modulo plan de mantenimiento	29
2.4.9. Modulo solicitudes	29
2.4.10 Modulo planeación orden de trabajo	30
2.4.11 Aplicación y uso del sistema de información en el proceso de mantenimiento	32
2.5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO	32
2.6. ANÁLISIS DOFA PARA EL ÁREA DE MANTENIMIENTO PLANTA MUÑA	36
2.6.1. Debilidades	36
2.6.2. Fortalezas	36
2.6.3. Oportunidades	37
2.6.4. Amenazas	37
2.6.5. Estrategias FO (crecimiento)	38
2.6.6. Estrategias DO (sostenimiento)	38
2.6.7. Estrategias FA (sostenimiento)	39
2.6.8. Estrategias DA (fuga)	40
2.6.9. Conclusión análisis DOFA	40
2.7. PLAN DE MANTENIMIENTO (PROPUESTA)	43
2.7.1. Evaluación del mantenimiento	44
2.7.2. Etapa I.	44
2.7.3. Etapa II. Solucionando paradas repentinas de los equipos	46
2.7.4. Etapa III. Organización táctica de mantenimiento	47
2.7.5. Etapa IV. Creación de una estrategia de mantenimiento	49
2.7.6. Etapa V. Enfoque a las habilidades y competencias de mantenimiento	49
2.7.7. Etapa VI Hacia la gestión de activos	51

2.7.8. Sistema integral de mantenimiento	53
3. MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD RCM	56
3.1. ORÍGENES DE LA TÁCTICA RCM	57
3.2. ¿QUE ES RCM?	59
3.2.1. Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.	61
3.2.2. Siete preguntas que responde RCM	61
3.3. APLICACIÓN RCM	62
3.3.1. Pasos para aplicación de RCM	63
3.3.2. Formación equipo RCM	64
3.3.3. Selección y definición de las áreas donde se implementará RCM	66
3.3.4. Descripción funciones de los equipos	69
3.3.5. Análisis de fallas e identificación de los modos de falla	72
3.3.6. Evaluación consecuencias de falla	77
3.3.7. Selección actividades de mantenimiento	80
3.3.8. Actividades preventivas	86
4. PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN RCM EN LA PLANTA MUÑA TREN LAMINACIÓN	89
4.1. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DONDE SE PROPONE APLICAR LA TÁCTICA DE RCM	89
4.1.1. Estudio de criticidad	89
4.1.2. Estadística de falla de los equipos año 2007 – 2008	94
4.2. DESCRIPCIÓN CONTEXTO OPERACIONAL BLOQUE VELOZ	97
4.2.1. RCM Bucleador No. 8 entrada Bloque Veloz	100
4.2.2. RCM grupo Mandrinos	103
4.2.3. RCM Central de lubricación Bloque Veloz	106
4.3. PROPUESTA IMPLEMETACIÓN RCM A LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA	111
5. COSTO DE MANTENIMIENTO	112

5.1. CLASIFICACIÓN COSTOS DE MANTENIMIENTO	112
5.2. COSTOS DE ACUERDO AL TIPO DE MANTENIMIENTO	113
5.3. COSTO ÓPTIMO DE MANTENIMIENTO DE ACUERDO AL TIPO DE MANTENIMIENTO	113
5.4. COSTOS OCULTOS DE MANTENIMIENTO	114
5.5. RELACIÓN COSTOS DE MANTENIMIENTO CON LA PRODUCTIVIDAD Y DISPONIBILIDAD	115
5.6. INDICADORES COSTO DE MANTENIMIENTO	118
6. PLAN DE MEJORA CMMS INFOMANTE	120
6.1. CAPACITACIÓN EN LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE DE MANTENIMIENTO	120
6.2. IMPLEMENTACIÓN MEJORAS	125
6.3. INDICADORES DE PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO	126
CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFIA	132

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Evolución historia de la planta Muña	3
Figura 2. Ubicación Planta Diaco Muña	6
Figura 3. Organización de Planta Muña	7
Figura 4. Organigrama de la planta	8
Figura 5. Ubicación proceso laminación en el proceso siderúrgico	9
Figura 6. Proceso del tren de laminación	13
Figura 7. Descripción del proceso de mantenimiento	14
Figura 8. Organigrama de mantenimiento	17
Figura 9. Evolución del mantenimiento en Diaco – Planta Muña	19
Figura 10. PHVA al plan de mantenimiento actual	20
Figura 11. Pilares del mantenimiento integrado	20
Figura 12. Gestión de rutina y mejora	21
Figura 13. DOFA mantenimiento planta MUÑA	42
Figura 14. Enfoque sistémico kantiano	43
Figura 15. Plan de mantenimiento con enfoque sistemático Kantiano	51
Figura 16. Unidad de mantenimiento.	53
Figura 17. Sistema integral de mantenimiento y operación	54
Figura 18. Sistema integrado del mantenimiento y producción	55
Figura 19. Procedimientos de implementación del RCM	62
Figura 20. Diagrama de Flujo – Pasos implementación – Proceso RCM	64
Figura 21. Límites de un sistema de bombeo	71
Figura 22. Ejemplo descripción funciones de los equipos	71
Figura 23. Fallas esporádicas y crónicas	73
Figura 24. Consecuencias del fallo oculto y consecuencias para la seguridad o el medio ambiente	83
Figura 25. Consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales	84
Figura 26. Fallo potencial	87

Figura 27. Equipos mayor tiempo de dorada mecánica	95
Figura 28. Equipo para mayor tiempo de paradas eléctricas	97
Figura 29. Grupo bloque veloz	98
Figura 30. Diagrama sistema bloque veloz	99
Figura 31. Costo óptimo de acuerdo al tipo de mantenimiento	113
Figura 32. Costos ocultos de mantenimiento	114
Figura 33. Curva del costo de mantenimiento	116
Figura 34. Manejo de costos en mantenimiento	117
Figura 35. Cronograma	126
Figura 36. Costos detallados de orden de trabajo por fecha de consolidado por tipo de paro	128

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. GBS de mantenimiento	23
Tabla 2. Calificación módulos sistema integrado – INFOMANTE	32
Tabla 3. Indicadores actuales	35
Tabla 4. Evolución del mantenimiento	44
Tabla 5. Mantenimiento centrado en confiabilidad	61
Tabla 6. De evaluación criticidad	67
Tabla 7. Desarrollo contexto operacional	68
Tabla 8. Hoja de identificación funciones modo de falla y efectos de falla	76
Tabla 9. Modos de falla	82
Tabla 10. Hoja de trabajo de decisión RCM II	85
Tabla 11. Evaluación criticidad equipos asociados al tren de laminación DIACO – MUÑA	86
Tabla 12. Evaluación criticidad equipos asociados al tren de laminación DIACO – MUÑA	90
Tabla 13. Evaluación criticidad equipos asociados al tren de laminación DIACO – MUÑA	90
Tabla 14. Estadísticas fallas mecánicas	94
Tabla 15. Estadísticas fallas eléctricas	96
Tabla 16. AMFE BUCLEADOR No. 8	101
Tabla 17. Aplicación hoja de decisión RCM2	102
Tabla 18. Hoja de trabajo RCM grupo Mandrino	104
Tabla 19. Hoja de trabajo RCM central de lubricación Bloque Veloz	107
Tabla 20. Costos de acuerdo al tipo de mantenimiento	113
Tabla 21. Cronograma de implementación, capacitación de INFOMANTE – DIACO S.A.	118
Tabla 22. Cronograma de la capacitación	121

## RESUMEN ESPAÑOL

**TÍTULO:** PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN LA PLANTA DIACO MUÑA \*

**AUTOR:** OSCAR CANO SÁNCHEZ  
LUÍS A. MENDIGAÑO ROJAS \*\*

**PALABRAS CLAVES:** Organización mantenimiento, ciclo PHVA, CMMS, indicadores, DOFA, criticidad, RCM, mejora sistema de información.

El mantenimiento de una planta Industrial es un pilar fundamental para garantizar la competitividad de las empresas, la globalización de las empresas requiere que la gestión de mantenimiento garantice la disponibilidad de los equipos a un costo razonable con seguridad y cuidado del medio ambiente. En este sentido, la presente investigación presenta una propuesta para implementación de RCM en la planta DIACO MUÑA, a partir de la evaluación de la situación actual de mantenimiento, incluyendo las prácticas del sistema de Gestión de DIACO.

Para tal fin, se evaluó la aplicación de los principales módulos del sistema de información de mantenimiento, teniendo en cuenta que es la base para aplicar los principales tipos de mantenimiento,( preventivo, correctivo, rutas de inspección y lubricación), con la aplicación de las solicitudes y planificación de las ordenes de trabajo se lleva un control de todos los recursos de mano de obra, repuestos, servicios contratados y debe llevar el costo del mantenimiento por cada equipo para comparar el valor de mantener con la decisión de hacer reformas ó la reposición de el equipo.

La propuesta de aplicación de RCM en la planta inicia con la evaluación de la criticidad siguiendo un modelo de criticidad de factores ponderados realizado a aproximadamente seiscientos equipos. La evaluación fue desarrollada por los facilitadores de mantenimiento eléctrico y mecánico, adicionalmente con la estadística de fallas de mantenimiento se determinó que el equipo más crítico de la planta, es el bloque acabador.

En las conclusiones de la monografía se destaca la relación de la estrategia de la mejora del sistema de información con la implementación de RCM, y a su vez la mejora del costo de mantenimiento al realizar un plan de mantenimiento adecuado; de otra parte estrategias que están alineadas con el sistema de gestión de mantenimiento de Gerdau.

---

\***Monografía**

\*\***Facultad: Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela: Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: José de Jesús Díaz, Ingeniero Electricista**

## SUMMARY IN ENGLISH

**TITLE:** PROPOSAL FOR THE IMPLEMENTATION OF RCM IN PLANT DIACO MUÑA\*.

**AUTHORS:** OSCAR CANO SÁNCHEZ  
LUÍS A. MENDIGAÑO ROJAS \*\*

**KEYWORDS:** Organization maintenance, cycle PHVA, CMMS, indicators, DOFA, criticality, RCM, improvement information system

The maintenance of an industrial plant is a fundamental pillar to guarantee the competitiveness of the companies, the globalisation of the companies requires that the conduct of maintenance guarantees the disposal of the equipments in a reasonable cost with sureness and care of the environment. In this sense, the present investigation shows a proposal to implement the RCM in the plant of DIACO MUÑA, from the evaluation of the actual situation of maintenance, including the system practice of DIACO conduct.

For such aim, the application of the principal modules of maintenance information system were evaluated, considering that it is the principal base to apply the main types of maintenance, ( preventive, corrective, routes of inspection and lubrication), applying the requests and planning the order work you can have a total control of all the resources of manpower, spare parts, contracted services and must handle the cost of maintenance for each equipment to compare the value of keeping with the decision of making reforms or the reposition of the equipment.

The application proposal of RCM in the plant starts with the critical evaluation following a model of critical factors done to approximately 600 pieces of equipment. The evaluation was developed by the electrical and mechanical facilitators of maintenance, and in addition with the estadistical difaults of maintenance was determined that the most critical equipment of the plant , is the finishing block.

In conclusion of the monograph standsout the relation of the strategy to have better the system of information with the implementation of RCM and at the same time the better of the cost of maintenance when realizing an adequate maintenance; on the other hand, are strategies that are aligned with the maintenance conduct system of Gerdau.

---

\***Monograph**

\*\***School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: José de Jesús Díaz, Electrician Engineer**

## INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de una planta Industrial es un pilar fundamental para garantizar la competitividad de las empresas, la globalización de las empresas requiere que la gestión de mantenimiento garantice la disponibilidad de los equipos a un costo razonable con seguridad y cuidado del medio ambiente.

El área de mantenimiento de la Planta de Laminación en la actualidad presenta indicadores de desempeño del mantenimiento como tiempo perdido por fallas en los equipos , costo de mantenimiento que afectan el resultado final de la planta en sus indicadores de costo de transformación de la materia prima y la productividad del tren de laminación de mantenimiento, estos resultados comparados con los objetivos propuestos y comparados con otros trenes, están lejos de los Benchmark a nivel nacional e internacional.

Teniendo en cuenta lo anterior en esta monografía se quiere proponer una solución orientada a mejorar los indicadores de mantenimiento mediante la utilización de metodologías conocidas durante la especialización y teniendo en cuenta la directriz corporativa de la gerencia de mantenimiento de Aceros Diaco. Las metodologías que se consideraron aplicar fueron las siguientes:

- Matriz DOFA aplicada al área de mantenimiento.
- Enfoque “KANTIANO” de la organización de Mantenimiento.
- Aplicación de la metodología RCM para mantenimiento.
- Sistemas de información para mantenimiento.
- Aplicación de la filosofía de 5s y Smed en mantenimiento.

## **1. LAMINACIÓN PLANTA MUÑA Y SU ENTORNO**

Es una planta de Laminación en caliente con una capacidad de producción de 120000 toneladas/año y un subproceso de enderezado con una capacidad de 24000 toneladas / año, la planta utiliza una mano de obra directa de 160 personas y mano de obra contratada de 40 personas, esta planta pertenece al grupo Diaco-Gerdau, su producto final es alambón y varilla enderezada para la construcción y la industria, su materia prima es la palanquilla suministrada por las acerías de Diaco ubicadas en Bogotá Planta Tocancipa y Boyacá Planta Tuta, los proveedores de repuestos e insumos están ubicados en Bogotá y algunos en el exterior Brasil, Estados Unidos e Italia. El subproceso de enderezado utiliza como materia prima el alambón producido en Laminación.

### **1.1. RESEÑA HISTÓRICA**

#### **1.1.1. Historia de Acero en Colombia**

En Colombia la industria siderúrgica nace en los comienzos del siglo veinte con el descubrimiento de los primeros yacimientos de mineral de hierro en 1923 en la región de Pacho, ubicada en el departamento de Cundinamarca. Se instaló la ferrería de Pacho y posteriormente fueron naciendo otras como Amaga en Antioquia, la de Samacá en Boyacá y la de la Pradera en Subachoque, ferrerías que pronto suspendieron la producción.

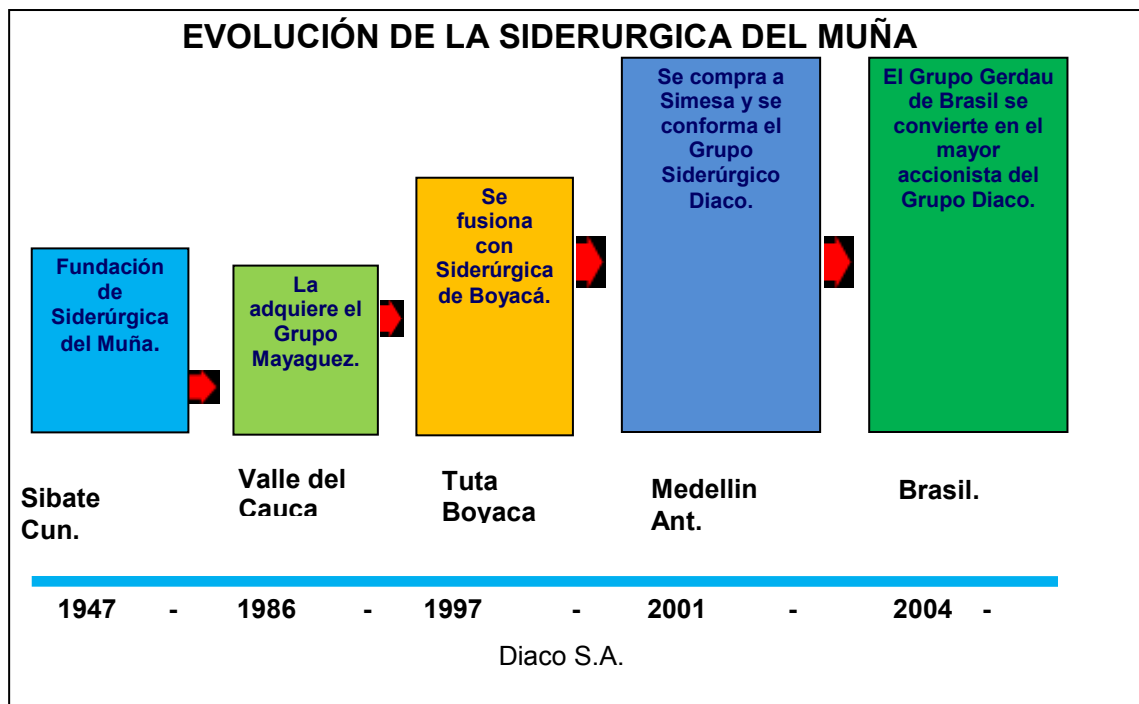
El 5 de Agosto de 1938, se constituyó lo que se llamaría Empresa Siderúrgica S.A., conocida como Siderúrgica de Medellín S.A. Simesa.

En 1942, el IFI se fijó como meta impulsar el desarrollo de la Industria Siderúrgica en Colombia. En 1942, los geólogos Benjamin Alvarado y Vicente Suarez Hoyos presentaron el primer informe documentado sobre los yacimientos de hierro en de

Paz del Rio en Boyacá, también se hallaron importantes depósitos de Caliza y Carbón. La hacienda Belencito fue escogida para el montaje de la Planta por su cercanía tanto a los yacimientos de mineral de hierro, carbón y caliza como a las ciudades de Sogamoso y Duitama.

En 1947, es fundada Siderúrgica del Muña S.A. ubicada en la sabana de Bogotá, la empresa comienza su labor productiva como taller artesanal fabricando pequeñas piezas en fundición gris, bronce, y aluminio. En 1986 es adquirida por el Grupo Mayaguez. El 28 de Diciembre de 1997, después de 50 años de operación, hace parte de la fusión con otras empresas del Grupo Mayaguez, pasando a ser parte de Siderúrgica de Boyacá S.A., luego en el año 2001 el Grupo Mayagueze adquiere a la Siderúrgica de Medellín Simesa, cambiando de nuevo su razón social a Grupo Siderúrgico Diaco S.A. En el año 2004 El grupo Gerdau de Brasil, se convierte en accionista mayoritario de Diaco S.A.

**Figura 1.** Evolución historia de la Planta Muña



Fuente: Los Autores

Siderúrgica del Muña, en el año 1997 pasa llamarse Sideboyacá Planta Muña, este mismo año se suspende el proceso de acería en esta planta, quedando únicamente los procesos de Laminación y acopio de chatarra.

En el año 2001 la situación del mercado del acero y el ingreso de Simesa al grupo Diaco llevan a la alta dirección de la empresa a tomar la decisión de cerrar la operación del proceso de Laminación, solamente continua la operación del patio de chatarra, en el año 2002 la planta abre de nuevo su operación en el Tren de Laminación hasta el presente.

## **1.2. UBICACIÓN**

Diaco Planta Muña está ubicada en el Km 25 Autopista Sur Vía Sibate a 40 Kilómetros de las oficinas principales del Grupo Diaco ubicadas en la entre las calles 98 y 99 con carrera 9ª en el Norte de Bogotá, el sector de la Planta está ubicado junto a la represa del Muña.

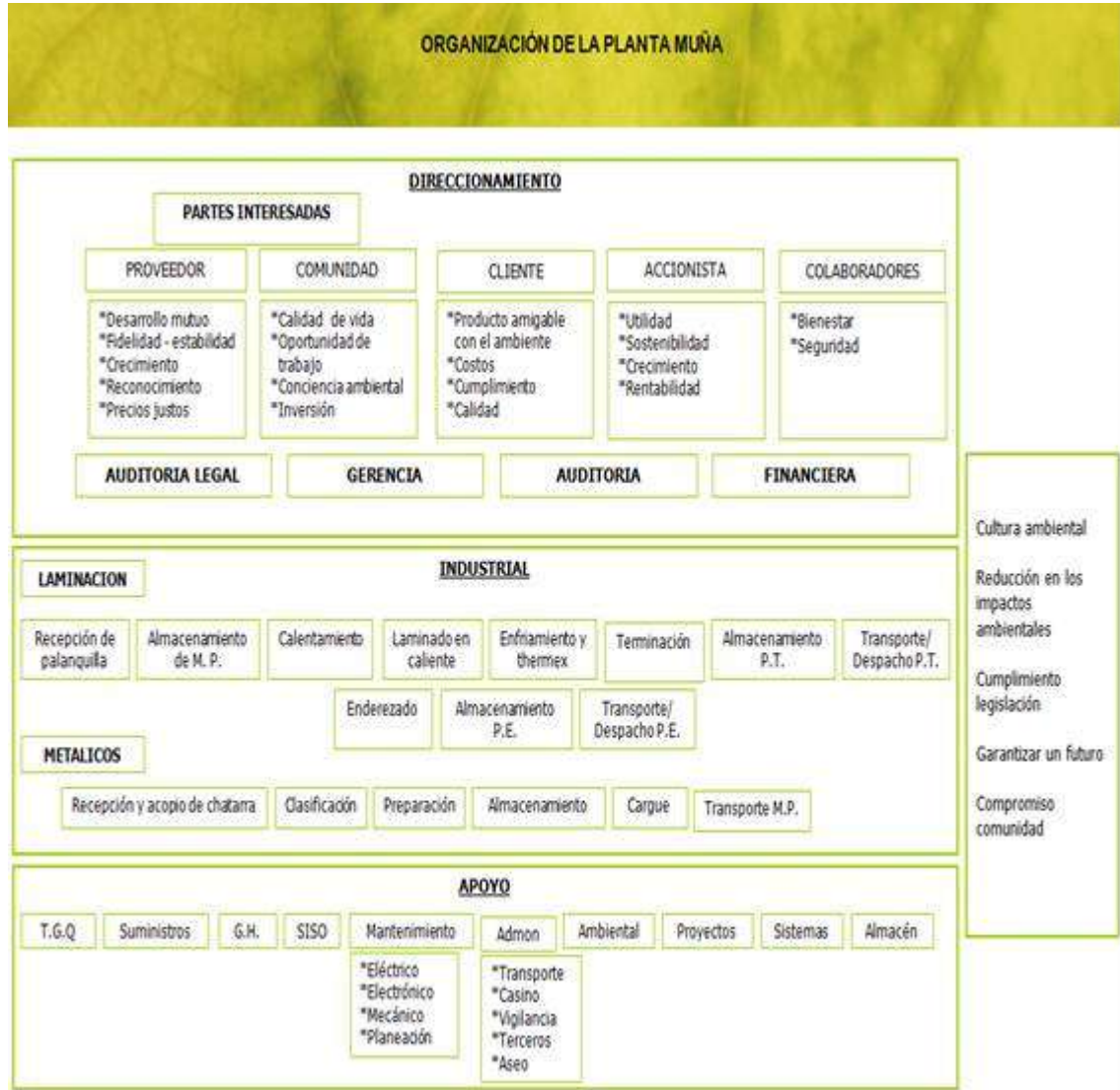
Figura 2. Ubicación Planta Diaco Muña



Fuente: Planta DIACO MUÑA

### 1.3. ORGANIZACIÓN

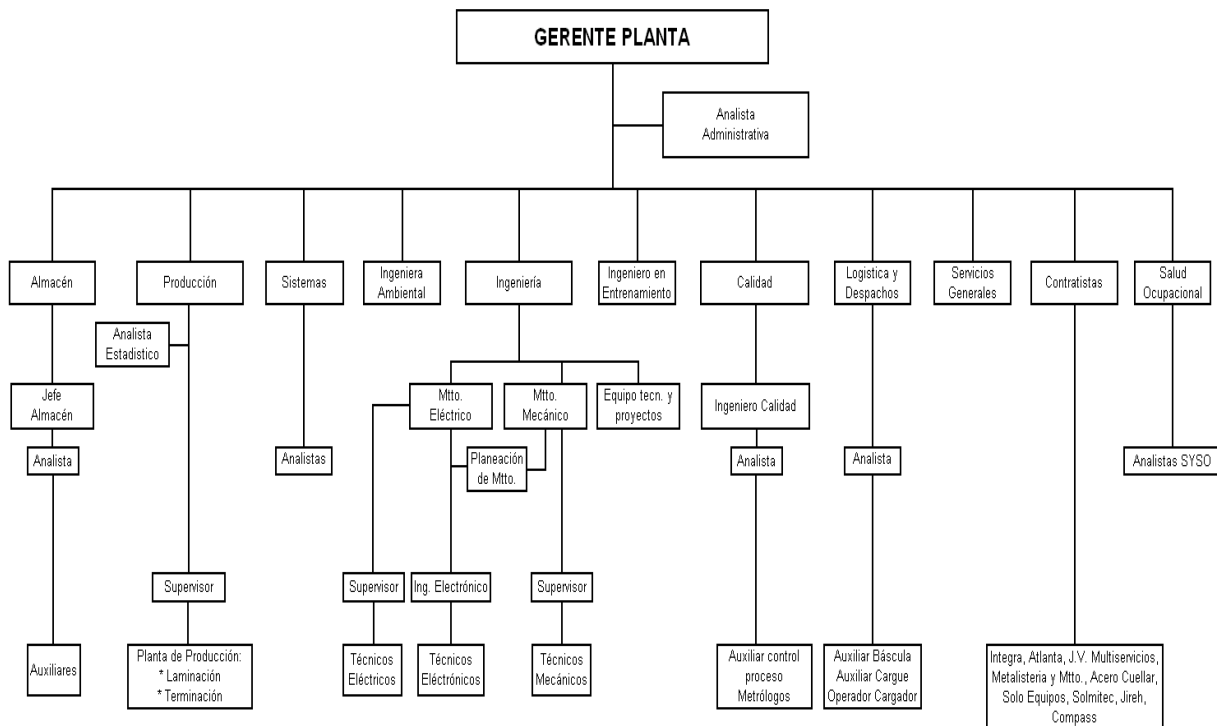
Figura 3. Organización de Planta Muña



Fuente: Planta DIACO MUÑA

## 1.4. ORGANIGRAMA PLANTA MUÑA

Figura 4. Organigrama de la Planta



Fuente: Planta DIACO MUÑA

## 1.5. PROCESO DE LAMINACIÓN EN CALIENTE

El proceso de laminación lo integran los siguientes pasos:

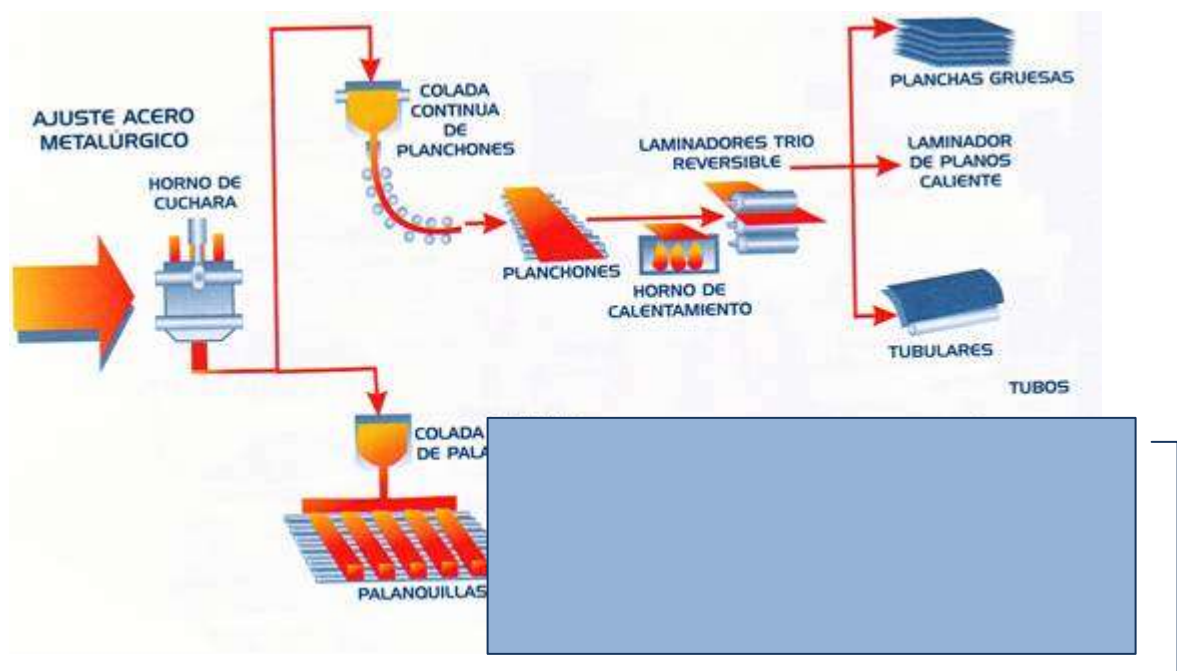
- **Definición Proceso de Laminación:** Proceso de deformación mecánica por el cual se reduce la sección de un sólido a través de su paso entre dos cilindros paralelos que están en rotación.

- **Laminación en Caliente:** Ocurre a temperaturas elevadas, lo que aumenta la capacidad de deformación del tocho / placa Tipos.

Al proceso de laminación se le debe integrar los tipos de laminadores:

- **Laminador de barras:** Presenta cajas de desbaste intermedias y de acabado. Producen barras rectas
- **Laminador de rollos:** Producen laminados en forma de rollos por medio del formador de espiras, pueden presentar equipo de laminación tipo bloque, formado por una serie de cilindros de alta velocidad dentro de una misma carcasa metálica (Véase figura 5).

**Figura 5.** Ubicación proceso laminación en el proceso siderúrgico.

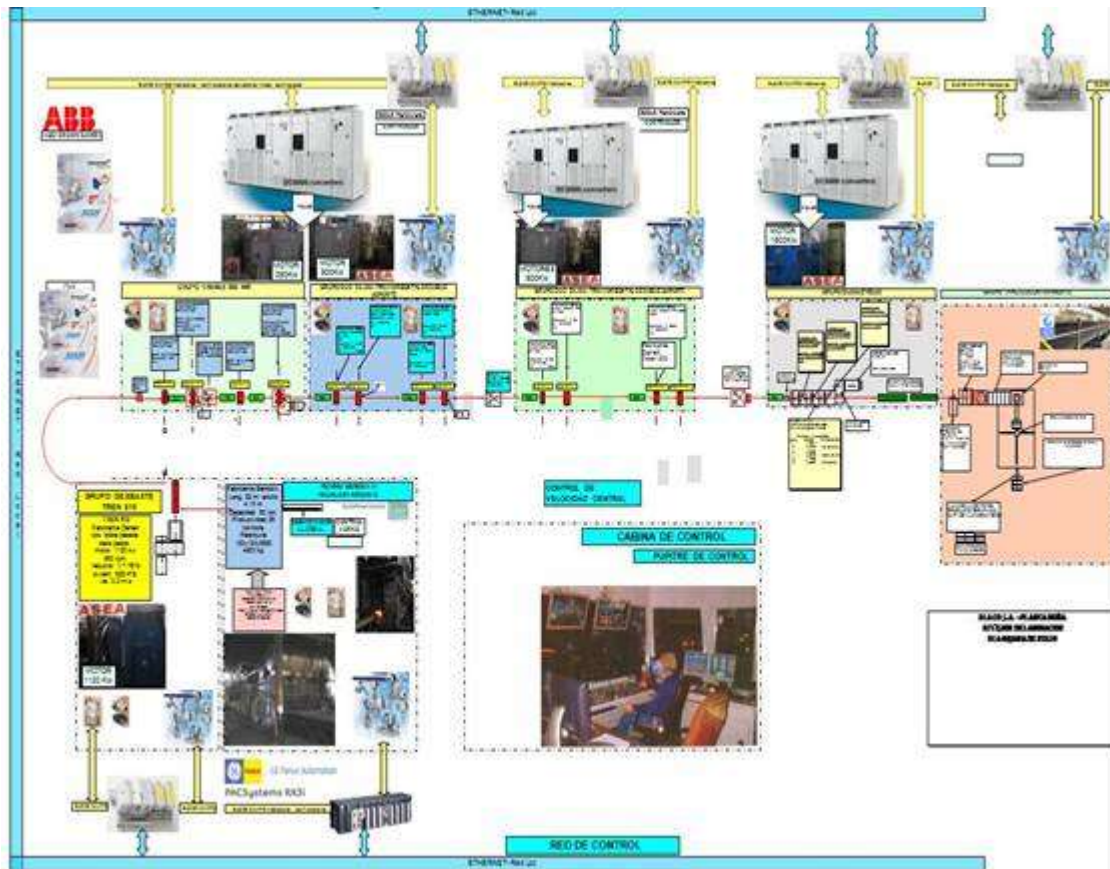


Proceso Laminación Planta – Muña (Sombreado)

Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

- **Flujo de Laminación:** Acondicionado, calentamiento, Laminación, desbaste, Tren intermedio, Bloque Acabador, Termotratado, arrastre y formador de espiras, tapete, dedo colector y compactadora (Véase figura 6).

**Figura 6.** Proceso del tren de Laminación.



Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

### 1.5.1. Proceso Tren Laminador de Planta Muña

La planta Muña tiene un tren de laminación en caliente cuya capacidad es de 12000 toneladas/año, y una línea de enderezado con una capacidad de producción de 24000 toneladas/año, produce alambro corrugado de diferentes diámetros de acuerdo a norma ICONTEC.

- Rollos corrugados Diaco 60- NTC 2289
- Diámetros ¼”, 7,5 mm, 8,5 mm, 9,0 mm, 3/8”
- Rollos lisos Diaco 40-NTC161
- 5,5 mm, 6,35 mm, 8,5 mm
- Varilla de 6metros enderezada 9,0 mm, ¼”.

#### **1.5.1.1. Proceso:**

- **Recepción Palanquilla:** La materia prima de Laminación es la palanquilla cuya sección es de 130x130 mm 3800 mm de longitud peso de 490/500 Kgr, suministrada desde la acería de la Planta Tuta, también se procesa palanquilla importada de Brasil. La palanquilla es almacenada en las naves mediante el uso de puente grúas de 10 toneladas.
- **Cargue de Palanquilla.** Se realiza con los puente grúas de 10 toneladas a la mesa de cargue del Horno de precalentamiento, en donde hay un sistema hidráulico para introducir la palanquilla en el Horno.
- **Horno de Precalentamiento:** Es un Horno tipo bóveda marca Bendotti modelo 1982, con una capacidad de 80 toneladas y una productividad de 25 toneladas hora. Tiene 22 metros de longitud y 4,10 metros de ancho. Tiene tres zonas cada una con cuatro quemadores que trabajan con gas natural y como contingencia ACPM.
- **Tren Desabaste:** La palanquilla sale del horno de precalentamiento a 1120 Co mediante un camino de rodillos llega al tren desbaste tipo doble pasada siete pasos, que está constituido por un motor de 1112 kw ,890 rpm con su correspondiente reductor y caja trío. La palanquilla entra de 130 x 130 mm y sale de 510 x 510 mm a una temperatura en el séptimo pase de 1090 Co.

- **Tren Continuo:** La barra en el tren continuo pasa a través de doce cajas en continuo, con secciones ovalo- redondo, con la siguiente distribución:
  - Arrastre TRO320 con motor de 15 Kw a 1200 rpm.
  - Tren 445. Formado por:
    - Caja No1 Horizontal motor 350Kw diámetro rodillos 480/380 mm.
    - Formador de bucle
    - Caja No2 Vertical motor 350 Kw rodillos 420/380mm.
    - Cizalla volante CV50 motor de 50 Kw.
    - Caja No 3 Horizontal motor 350 Kw rodillos 420/380mm.
    - Caja No 4 Vertical motor 350 Kw rodillos 420/380mm.
    - Formador de Bucle.
  - Tren 280. Formado por:
    - Caja No5 Horizontal motor de 500 Kw rodillos 300/262mm.
    - Caja No6 Horizontal motor de 500 Kw rodillos 300/262 mm.
    - Formador de Bucle
    - Caja No7 Horizontal motor de 500 Kw rodillos 300/262mm
    - Caja No8 Horizontal motor de 500 Kw rodillos 300/262mm
  - Cizalla volante cv30 motor de 50KW
  - Formador de bucle.
  - Tren 260. Formado por:
    - Caja No 9 Horizontal motor de 500 Kw rodillos de 275/240mm.
    - Caja No 10 Horizontal motor de 500 Kw rodillos de 275/240mm.
    - Formador de bucle.
    - Caja No 11 Horizontal motor de 500 Kw rodillos de 275/240 mm.

Caja No 12 Horizontal motor de 500 Kw Rodillos de 275/240mm.

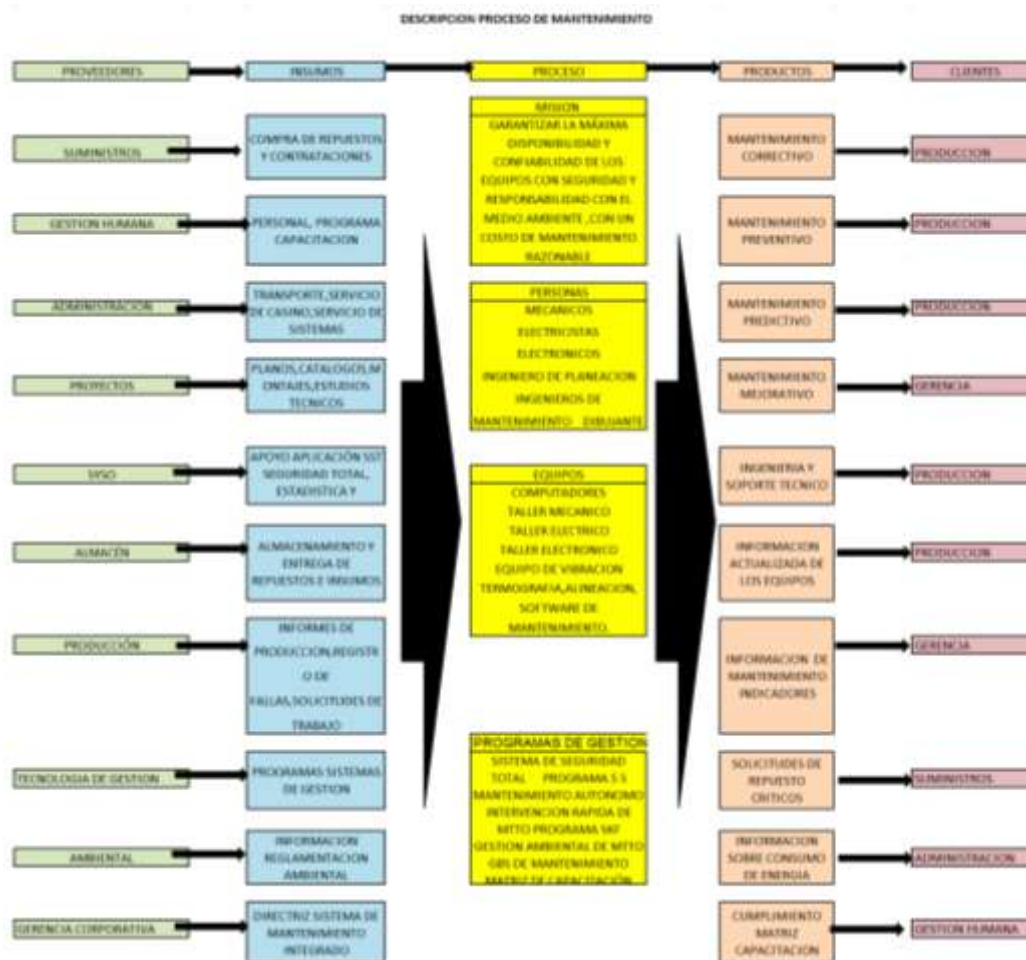
- Cizalla volante Start Stop motor de 150 HP.
  
- Cizalla troceadora motor 50 HP.
  
- **Tren acabador.** Para darle acabado fino y formar el corrugado del alambren. Tipo Notwist seis pasos diámetro anillos 170/155mm motor de 1100 Kw 900/1500 rpm
  
- **Termotratado.** Dos cajas con boquillas para suministro de agua a presión con el fin de darle propiedades mecánicas al alambren.
  
- **Arrastre y Formadora.** Arrastrador TRO 320 de 110 Kw d.c, Formador de espiras relación 1/0.020 con motor de 110 kw d.c. Diámetro teórico de las espiras 1071mm.
  
- **Tapete de enfriamiento.** Tapete de enfriamiento marca Ashlow, longitud 70 metros de longitud, siete tramos de rodillos.

## 2. ORGANIZACIÓN DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO EN DIACO PLANTA MUÑA

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL NEGOCIO

La misión de mantenimiento es la de garantizar la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos de laminación con seguridad para las personas y responsabilidad con el medio ambiente, con un costo de mantenimiento razonable (Véase figura 7).

**Figura 7.** Descripción proceso de mantenimiento

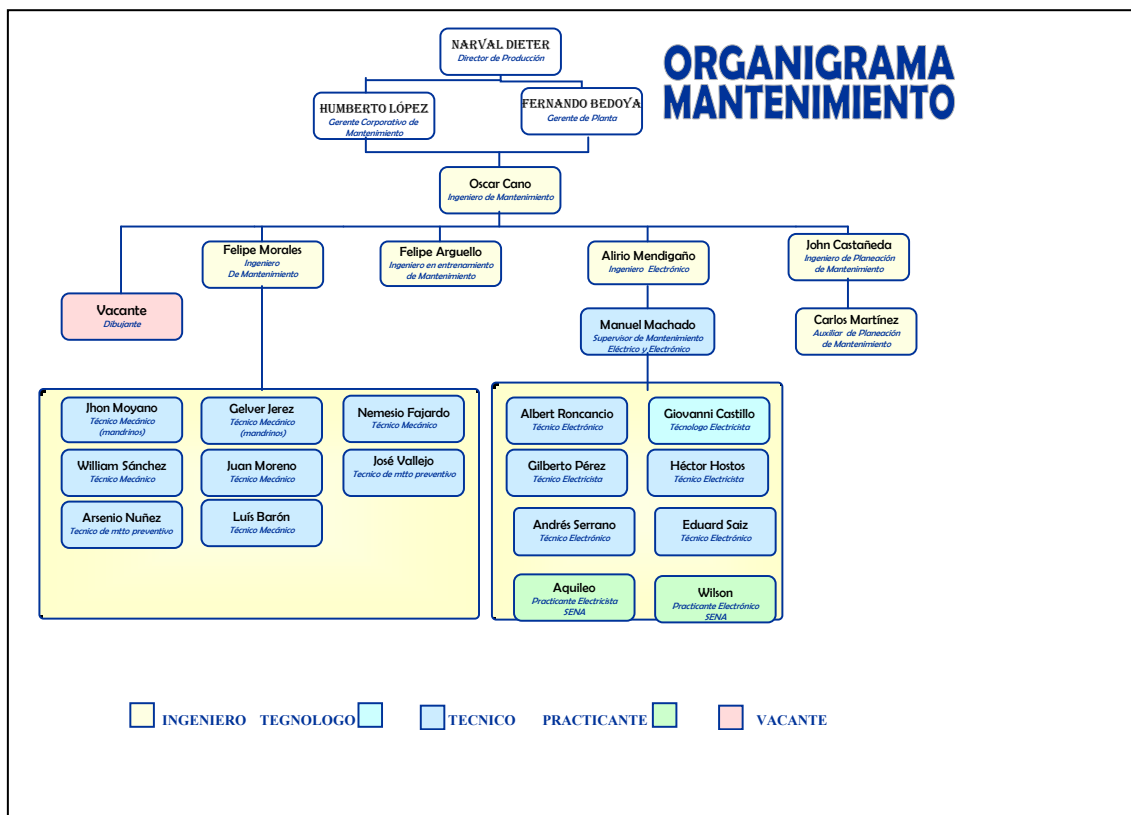


Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

## 2.2. ORGANIGRAMA MANTENIMIENTO

Mantenimiento lo integran veintidós personas catorce técnicos de mantenimiento, ocho técnicos mecánicos, tres técnicos eléctricos, tres técnicos electrónicos, un ingeniero de mantenimiento mecánico que coordina con skf el programa IMS , un ingeniero Electrónico encargado del mantenimiento de los equipos electrónicos de la planta, un ingeniero eléctrico en entrenamiento, un técnico electricista facilitador del área de mantenimiento eléctrico, un ingeniero mecánico en el área de planeación de mantenimiento, un técnico electrónico como auxiliar de planeación de mantenimiento, y un ingeniero de mantenimiento responsable de la dirección del área de mantenimiento (Véase figura 8).

Figura 8. Organograma de mantenimiento



Fuente: Los Autores

## **2.3. COMO OPERA MANTENIMIENTO EN LA PLANTA MUÑA**

Mantenimiento es una unidad que depende operativa y administrativamente de la gerencia de la planta, en cuanto a la estrategia de Mantenimiento desde Marzo de 2008 depende de la directriz de la Gerencia Corporativa de mantenimiento de Diaco.

### **2.3.1. Evolución de Mantenimiento.**

La estrategia de mantenimiento ha evolucionado durante los últimos seis años así, antes del año 2003 se ejecuta un mantenimiento correctivo y preventivo, con una relación 70/30; el programa de preventivo se administra en el software de mantenimiento INFOMANTE en un 80%, el correctivo no se administra con el software, los análisis del Predictivo como análisis de aceite y cromatografía se realizan con una frecuencia semestral y anual con compañías externas, las inspecciones de vibración se realizan anualmente.

En los años 2004, 2005 cuando la planta además del mantenimiento correctivo, preventivo y las rutas de los análisis de aceite de transformadores se realizan planes de acción originados por las principales fallas de mantenimiento evaluadas a final del mes, esta práctica se implementa con el sistema de calidad de la compañía.

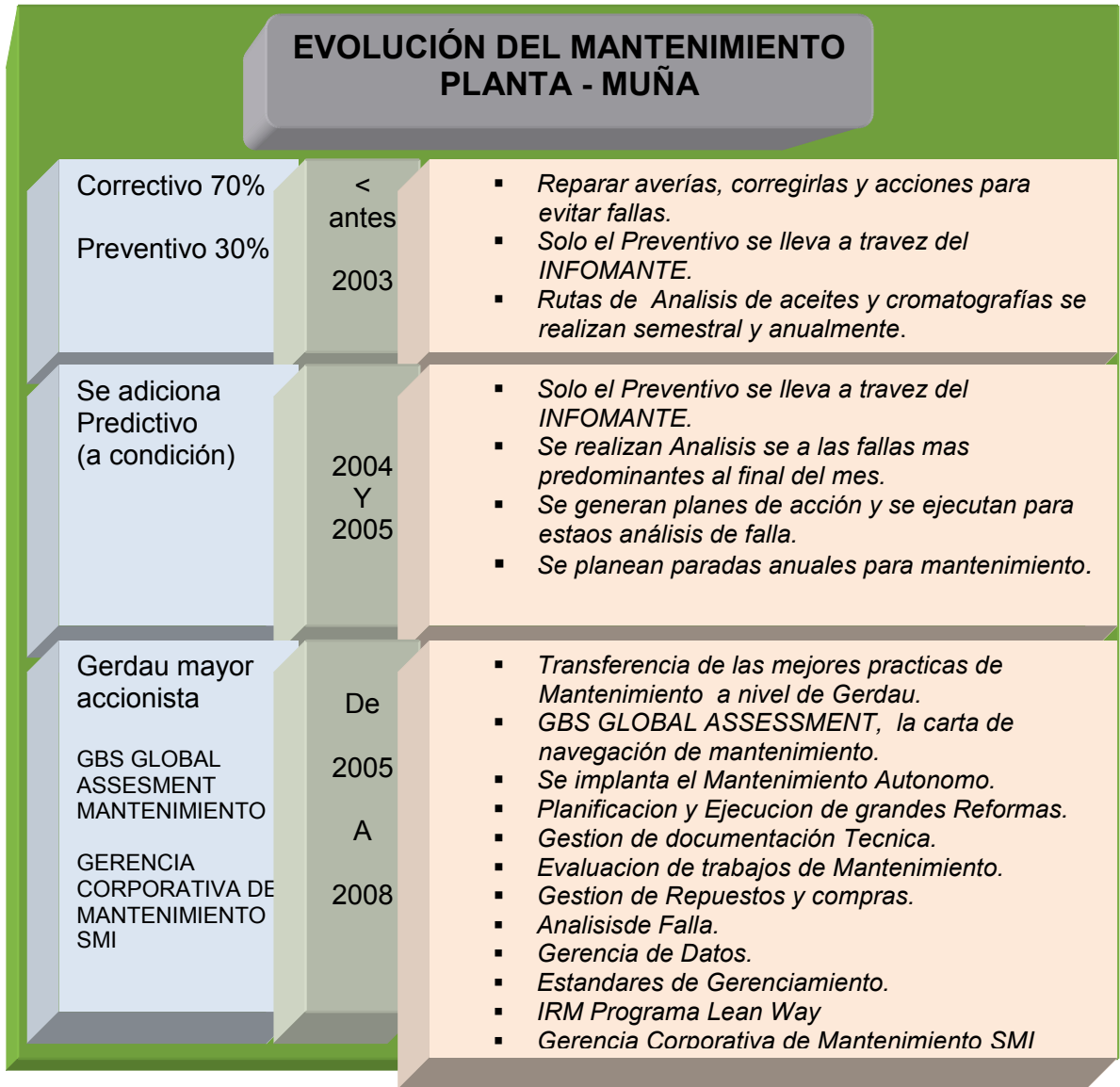
El mantenimiento preventivo continúa siendo administrado en el Infomante, el mantenimiento correctivo se programa fuera del infomante; adicionalmente se realizan paradas anuales de mantenimiento

En el año 2004 cuando la compañía Gerdau compra la mayoría de las acciones del grupo se inicia la transferencia de las mejores practicas de mantenimiento a nivel Gerdau, esto es llamado GBS GLOBAL ASSESSMENT, estas practicas son

la carta de navegación de mantenimiento. Su implementación se lleva a cabo de acuerdo a evaluaciones realizadas por el Corporativo de mantenimiento del Grupo Gerdau durante los años 2005 y 2006. En el año 2006 se inicia la práctica de mantenimiento Autónomo con el área de producción de la planta.

En Marzo de 2008 la empresa creó la Gerencia corporativa de mantenimiento encargada de realizar el seguimiento a la evolución de las prácticas del GBS de Mantenimiento en Colombia. En mayo de 2008 se celebra un contrato de asesoría en mantenimiento llamado IMS solución integrada de mantenimiento con la firma SKF. En Junio de 2008 la Dirección de Producción contrata la asesoría de la empresa LEANWAY para implementar un programa llamado IRM intervención rápida de mantenimiento (Véase figura 9).

**Figura 9.** Evolución del Mantenimiento en Diaco Planta – Muña.



Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

### 2.3.2. Situación actual de mantenimiento

Las funciones de mantenimiento actualmente se realizan en base al plan de mantenimiento implementado en software de mantenimiento que se adquirió en el año 1998, las actividades de mantenimiento se implementaron en el módulo del Plan de mantenimiento; en base a la experiencia del personal de supervisión, en

este plan están controladas las rutinas de mantenimiento preventivo eléctrico y mecánico, las rutinas de inspección y rutas de lubricación para todos los equipos de laminación. Las actividades de mantenimiento están estructuradas para cumplir el ciclo PHVA.

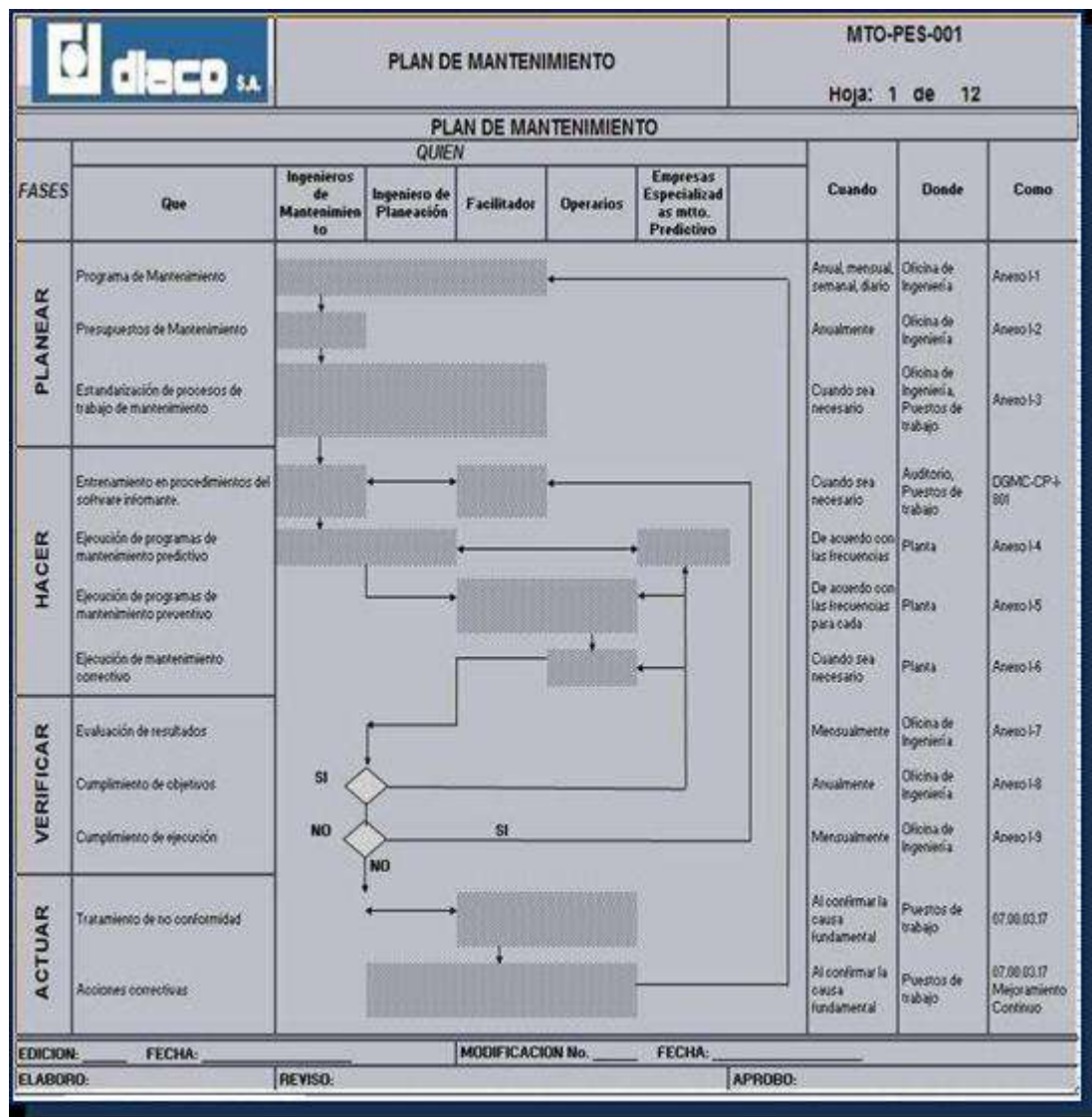
En la fase de Planear, se elabora un plan de mantenimiento con la participación de los ingenieros y facilitadores de mantenimiento mecánico, eléctrico y electrónico y apoyados en el ingeniero de planeación para actualizar el programa de mantenimiento en el Software infomante, los estándares de algunas actividades de mantenimiento están incluidos en el programa de mantenimiento, actualmente estos estándares se están desarrollando entre facilitadores y operadores de acuerdo a las nuevas directrices de Gerdau. En el HACER del ciclo PHVA está la ejecución de todas las actividades de mantenimiento, correctivo, preventivo y predictivo, en esta fase se realiza entrenamiento en los procedimientos del infomante para diligenciar las ordenes de trabajo el cierre por parte de los operadores.

En el Hacer se realizan Análisis de falla para las paradas de mantenimiento que disparen los gatillos que se han establecido con Tecnología de Gestión y la gerencia de Planta, esta gestión se realiza en una aplicación en Excel llamada la Hoja de Marcha, donde se consigna el plan de acción con los responsables de las acciones y se realiza la verificación del cumplimiento del Plan de acción.

En el VERIFICAR del ciclo PHVA se realiza el seguimiento a los resultados y objetivos en la reunión de resultados que se realiza a final de mes, donde se presentan los resultados de los indicadores, este seguimiento se lleva en un software de gestión llamado GMR donde mediante la técnica del semáforo se verifica da los resultados de los indicadores de mantenimiento con respecto al objetivo propuesto, y se generan los planes de acción para la desviación presentada.

En el ACTUAR del ciclo PHVA, se ejecutan los planes de acción generados por las desviaciones presentadas en los indicadores de mantenimiento, y el seguimiento al cumplimiento de estos planes, se establece las acciones para los problemas frecuentes cuyos planes de acción no han bloqueado el problema, lo que hace necesario crear un grupo multidisciplinario para tratar el problema con la metodología de análisis y solución de problemas basada en las siete herramientas de la calidad (Véase figura 10).

**Figura 10.** PHVA del Plan de mantenimiento actual



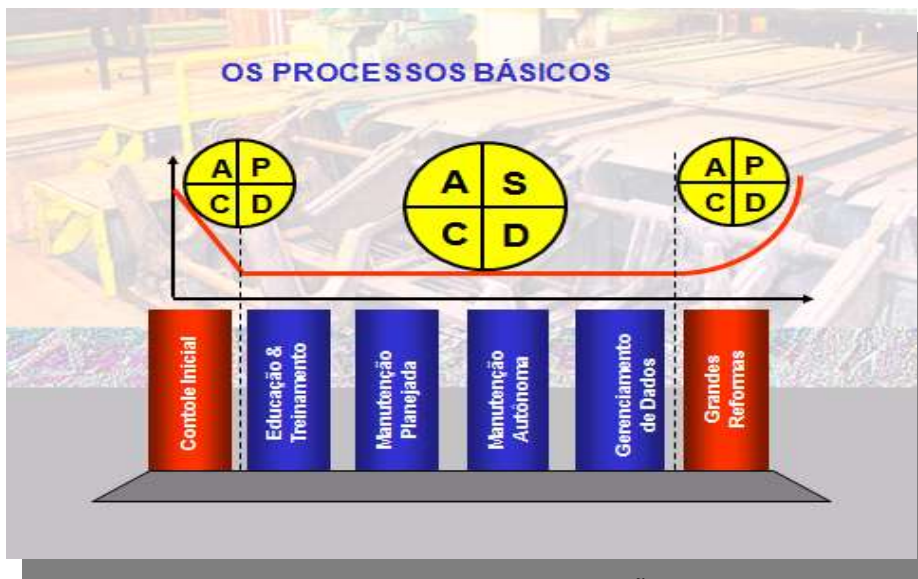
Fuente: Planta DIACO MUÑA

### 2.3.3. Sistema integrado de mantenimiento

Es la parte de la alta dirección cuyo objetivo principal es la de dar la directriz corporativa de mantenimiento, con el fin de cumplir con objetivos básicos de maximizar la disponibilidad y el desempeño de los equipos y garantizar la conservación de las instalaciones con un costo razonable. Establecer un sistema de gestión de buenas prácticas de mantenimiento que se aplican durante todo el ciclo de vida.

El sistema de mantenimiento integrado trabaja con seis pilares durante el ciclo de vida útil de los equipos de acuerdo a la figura 11:

**Figura 11.** Pilares del Mantenimiento Integrado

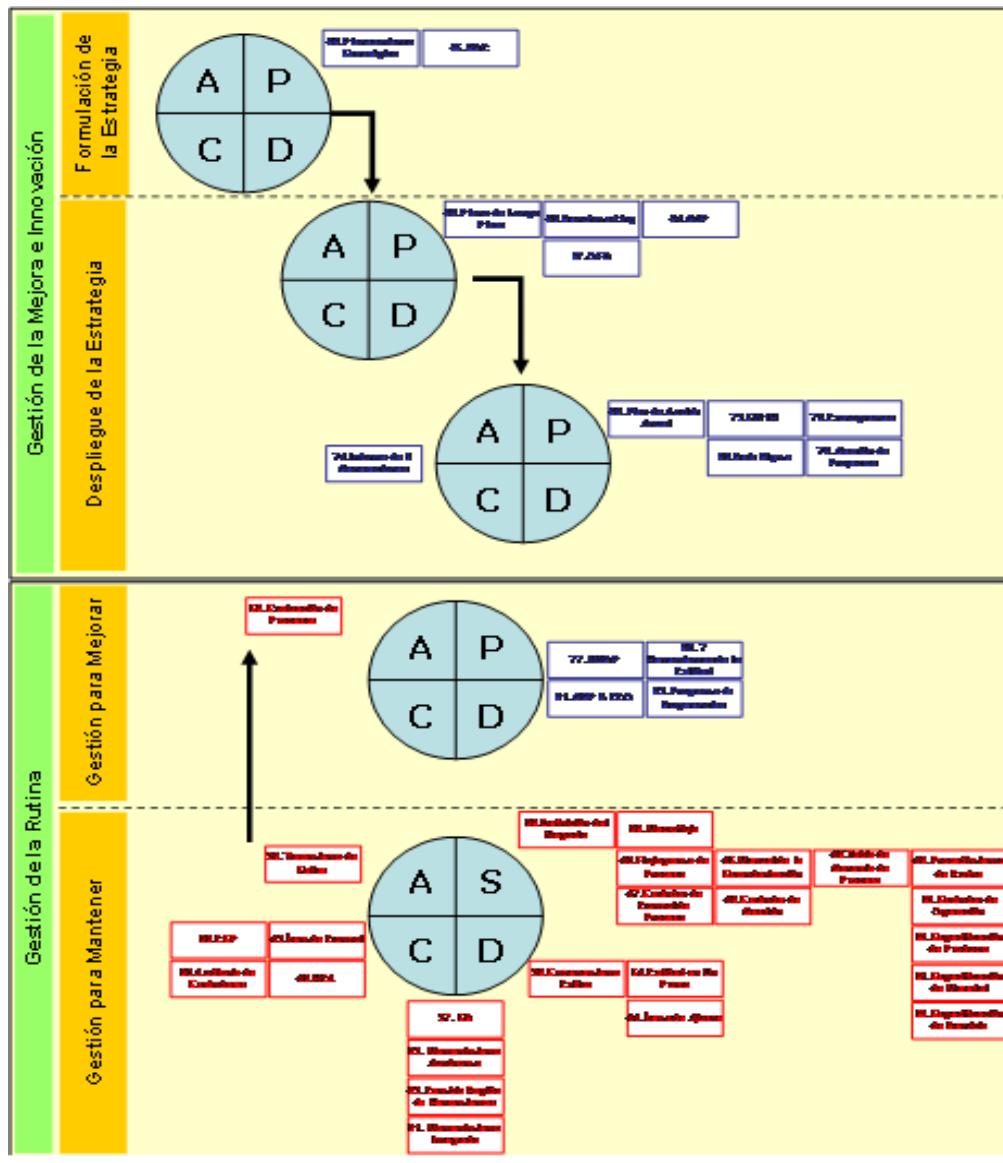


Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

### 2.3.4. Gestión de rutina

Mantenimiento realiza la gestión de rutina para mantener la disponibilidad de los equipos de Laminación siguiendo el ciclo PHVA para la mejora y el ciclo SHVA para la rutina (Véase figura 12).

Figura 12. Gestión de rutina y de mejora



Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

### 2.3.5. GBS de Mantenimiento

Gerdau Business System es el sistema de gestión de Gerdau, que consolida y transfiere las mejores prácticas, provenientes del aprendizaje continuó en todos sus procesos en todo el mundo, para mantenimiento se tienen 13 prácticas:

- Comprometimiento del liderazgo con el sistema de Mantenimiento integrado.
- Mantenimiento Autónomo
- Inspección Programada
- Inspección Predictiva
- Mantenimiento Preventivo
- Planificación y ejecución correctivo programado
- Planificación y ejecución grandes reformas
- Gestión de la documentación técnica
- Evaluación de la ejecución de los trabajos
- Gestión de repuestos y compras
- Análisis de fallas
- Gerencia de Datos
- Estándar de Gerencia

La Planta Muña ha realizado dos calificaciones de las prácticas de mantenimiento durante los años 2005, 2006 y un auto calificación en el año 2008 los resultados se registran en la tabla 1.

**Tabla 1.** GBS de Mantenimiento.

 <b>GBS GLOBAL ASSESSMENT</b>			
Nº	PRÁCTICA	Evaluador	Evaluador
		NOTA	NOTA PRE- JULIO 2008
1	Comprometimiento del Liderazgo con el SMI	3	2
2	Inspección Operativa (Mantenimiento Autónomo)	0	1
3	Inspección Programada (Check lists - Equipo de Mantenimiento)	3	2
4	Inspección Predictiva	1	1
5	Mantenimiento Preventivo (Inspección, Reparación y Lubricación)	2	2
6	Planificación y Ejecución de Correctivo Programado	2	2
7	Planificación y Ejecución de Grandes Reformas (Planificación de Ciclo de Vida)	3	2
8	Gestión de la Documentación Técnica (Dibujos, Manuales, Estándares, etc.)	2	1
9	Evaluación de la Ejecución de los Trabajos de Mantenimiento	0	0
10	Gestión de Repuestos y Compras (Materiales y Servicios Contratados)	1	1
11	Análisis de Fallas	1	2
12	Gerencia de Datos	1	1
13	Estándar de Gerencia	2	1
		<b>40%</b>	<b>35%</b>

Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

### **2.3.6. Mantenimiento Autónomo**

Es uno de los pilares del Sistema integrado de mantenimiento que lidera la Gerencia Corporativa de Mantenimiento.

Es un programa dirigido a los operadores que implementa la práctica de algunas actividades de inspección y pequeñas reparaciones de los equipos, con el apoyo de mantenimiento. La implantación de este programa en la planta inicio en el año 2006 con un equipo piloto en el área de enderezado, en Laminación se implementaron dos equipos pilotos, el Horno Bendotti y el Tren Desbaste.

El mantenimiento Autónomo está dividido en siete etapas que son.

Limpieza inicial, Eliminación de las fuentes de suciedad, elaboración de patrones provisorios de limpieza, e inspección, Inspección general, inspección autónoma, estandarización, administración autónoma. Los programas de la planta Muña están entre etapa 3 y etapa 4 en los tres equipos pilotos

### **2.3.7. Mantenimiento Predictivo**

En Mayo 15 de 2008 se inicia un contrato la implementación de una solución integrada de mantenimiento IMS con la firma SKF, cuyo alcance es realizar un programa de mantenimiento predictivo y proactivo integral, elaborar un programa de lubricación en base a una ingeniería de lubricación, implementación programa de mantenimiento a las centrales de lubricación y potencia, realizar transferencia de conocimiento en Análisis de Vibración, Análisis de aceite para lubricación y potencia, termografía, montaje y desmontaje de rodamientos, lubricación, alineación y balanceo. Adquisición de analizador de vibraciones, analizador laser de equipo rotativo, analizador laser de poleas, kit de análisis de aceites en campo.

Revisión de la estrategia de mantenimiento actual mediante la utilización de Técnicas de Mantenimiento centrado en confiabilidad SRCM y Análisis de modo de falla (FMEA). Suministro de software aplicado a SRCM. Suministro de software especializado para administrar el programa de lubricación, herramienta adecuada para montaje y desmontaje de rodamientos.

### **2.3.8. IRM (Lean Way do Brazil)**

Desde el mes de Junio de 2008 y hasta Abril de 2009 se está implementando este programa con el fin de disminuir el tiempo programado para mantenimiento y así aumentar la utilización del tren. Algunos de los Problemas típicos de las intervenciones programadas de Mantenimiento que de cualquier forma afectan a los usuarios se tienen:

- No cumplimiento (atendimiento) de plazos.
- Falta de balanceo de recursos.
- Problemas con coordinación de terceros (plazo, carga, estándar y seguridad).
- Dificultad de hacer/cumplir los estándares.
- Presupuestos arriba del plan.
- Retrabajos después del “arranque”.
- Seguridad.

Como una aplicación específica hacia las actividades de mantenimiento planeado de “Lean Thinking”; IRM (Intervención Rápida de Mantenimiento), pretende darle más detalle a las tareas básicas de rutina e identificando lo que es desperdicio o lo que es valor a partir de la óptica de los clientes y/o usuarios.

### **2.3.9. Abordaje IRM – Definición**

IRM (Intervención Rápida de Mantenimiento) es un abordaje nacido del CRH (Cambio Rápido de Herramientas), originalmente desarrollada por Shigeo Shingo (SMED System) para reducir los tiempos de configuración (Set up), que Lean Way Consulting (Brazil) adaptó para aplicación a las Intervenciones Programadas de Mantenimiento, con el objetivo de reducir el tiempo total de la intervención y su variabilidad, así como garantizar la calidad del trabajo realizado.

Esta metodología consta de ocho etapas como sigue:

- Formación del equipo de trabajo.
- Definición de las macro actividades.
- Definición del Camino Critico.
- Detallamiento de las actividades.
- Revisión y Optimización del Camino Critico.
- Planeación y Ejecución de las actividades Externas.
- Análisis y Gerenciamiento de los Riesgos.
- Acompañamiento y análisis crítico de la Intervención

## **2.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE MANTENIMIENTO**

El sistema de información de mantenimiento fue instalado en el año 1998 se denomina infomante está integrado por los siguientes módulos:

### **2.4.1. Modulo de Seguridad**

En el modulo de seguridad se definen los niveles de autorización que va a manejar cada usuario del software de mantenimiento.

#### **2.4.2. Modulo de Utilitarios**

En este modulo se utiliza cuando se necesita, actualizar, modificar ó eliminar parámetros de todos los módulos del programa. Cambios de códigos, se puede modificar ó eliminar información de tipo administrativo, cambio de datos técnicos a equipos, herramientas, eliminar información que ya no aplica en el programa.

#### **2.4.3. Modulo de Equipos**

En este modulo se ingresa la información de los equipos ó elementos a los cuales se les debe realizar el mantenimiento

Información técnica acerca de sus características funcionales de fabricación, instalación y montaje, tipo y cantidad de repuestos necesarios para el mantenimiento, tipo y cantidad de elementos y subconjuntos por cada equipo, hoja de vida con el registro cronológico de las actividades realizadas, en el mantenimiento preventivo, modificaciones realizadas durante su ciclo de vida, clase y frecuencia de las actividades sistemáticas de mantenimiento preventivo, codificación de los equipos asociados a los sistemas establecidos en la planta, relación de planos y catálogos de los equipos, actualización de variables de control importantes para cada equipo.

#### **2.4.4. Modulo de Herramientas**

En este modulo se ingresa la información técnica y administrativa correspondiente a las herramientas que se utilizan en el proceso de mantenimiento.

#### **2.4.5. Modulo de catálogos y planos repuestos**

En este modulo se puede ingresar toda la información de los catálogos y planos que se emplean en mantenimiento, para llevar un control sobre el manejo de esta documentación, se realiza la asociación de esta información con todas las actividades que se realizan con estos documentos, y con los equipos a los cuales pertenecen, se lleva un control sobre el préstamo de planos y catálogos.

#### **2.4.6. Modulo de Repuestos**

En este modulo se puede ingresar toda la información técnica y administrativa de los repuestos utilizados en mantenimiento.

Manejo de centros de costo establecidos para manejo del costo de mantenimiento. Ubicación de los repuestos en almacén, información de los proveedores de los repuestos, valor de los repuestos considerando todos los impuestos de la compra, control existencia de repuestos, estadística de consumo de repuestos.

#### **2.4.7. Modulo de actividad estándar**

En este modulo se puede ingresar la información referente a todas las actividades que generan actividades de mantenimiento. Permite documentarla de forma completa asociando tareas, repuestos, materiales, herramientas, actividades. Define las actividades por tipo ruta, tipo orden de trabajo y condicional, genera planes de trabajo para las actividades de mantenimiento, valoriza las actividades considerando todos los recursos asociados, mano de obra, repuestos, contrataciones externas.

#### **2.4.8. Modulo Plan de Mantenimiento**

En este modulo se ingresa el plan de mantenimiento de las actividades genéricas y específicas que se realizan para prevenir las fallas de los equipos. Planes de mantenimiento sistemático teniendo en cuenta las frecuencias, el tiempo de duración de las mismas, tipos de actividad, recursos, fechas de generación del plan, presupuesto para la elaboración del plan de mantenimiento, asociación del plan de mantenimiento con los sistemas, equipos y sub equipos, genera cronograma para realizar seguimiento al cumplimiento del plan de mantenimiento. Actualización del plan de mantenimiento.

#### **2.4.9. Modulo de Solicitudes**

En este modulo se ingresan las solicitudes de trabajo elaboradas por el personal de mantenimiento u otra área las cuales deben ser aprobadas para que pasen a ser una orden de trabajo y luego son planeadas. Cuando se recibe la solicitud de trabajo el sistema permite realizar una estimación, para saber si se cuenta o no con recursos de personal, repuestos, materiales y herramientas para la ejecución.

Asocio de tareas necesarias para realizar la actividad, digitando tipo de tarea, zona, catalogo/plano, centro de costo, tipo de trabajo, plan de trabajo, síntoma/efecto, número de veces, tiempo de ejecución. Asocio de oficios para realizar las actividades de mantenimiento, asocio de repuestos y materiales, detallando cantidades de materiales existencia en almacenes y hacer solicitudes de compra correspondientes.

Asocio de herramientas necesarias para realizar la actividad, distribución de los centros de costo afectados con la actividad a realizar, asociación de documentos anexos, asocio de observaciones sobre actividades necesarias adicionales para

realizar la actividad. Aprobación de la solicitud por parte de un funcionario aprobador, consulta sobre el estado de la solicitud de trabajo

#### **2.4.10. Modulo de planeación órdenes de trabajo**

En este modulo se realiza en gran porcentaje la planeación de mantenimiento, comprende los siguientes aspectos:

- Tablas Básicas donde se ingresan datos básicos necesarios para procesar las órdenes de trabajo estos datos comprenden. Factores de recargo para el costo de las horas extras de la orden.
- Causas de la falla que generó la orden de trabajo.
- Estados de la orden de trabajo si esta en aprobación, ejecución, ejecutada, pendiente por falta de repuestos, pendiente por falta de mano de obra.
- Proyectos que se le están realizando a los equipos, relacionados con ordenes de trabajo.
- Conceptos sobre el costeo de tareas, conceptos a partir de los cuales se plica un recargo al valor de la tarea.
- Códigos de servicio a tareas que tienen un contrato con un valor establecido.
- Operaciones donde se relación los movimientos a realizar para el traslado de un equipo, por ejemplo cuando hay transporte de equipos.
- Comodines de los datos definidos para la elaboración de ordenes de trabajo.

- Variables de desgaste, creación de puntos de medida asociados a cada uno de los equipos, actualización de las variables de desgaste de acuerdo a la medida que se realice en cada equipo y los valores mínimos y máximos establecidos, si se presenta un valor fuera de estos valores se puede generar una solicitud de trabajo.
- Contratos, datos de los contratos nombre del contratista, fechas de vigencia, alcance, actividades, tarifas de las tareas que realiza cada contratista.
- Cierre de Rutas de Mantenimiento, cierre de actividades estándar tipo ruta, que son generadas previamente por el módulo del plan de mantenimiento
- Aprobación solicitudes de trabajo, una vez aprobada la solicitud de trabajo, se realiza la planeación del trabajo a, ejecutar, se busca el número de la solicitud aprobada, se ingresa al formato de planeación de la orden de trabajo, se asocian todos los recursos tal como se realizo en la solicitud de trabajo.
- Planeación Orden de Trabajo, en esta opción se planean las solicitudes que fueron aprobadas, se pueden ingresar las actividades que pueden formar parte del Plan de mantenimiento para generar ordenes sistemáticas, estas ordenes no necesitan aprobación y quedan pendientes para el proceso de cierre. Opción de Global Sistemática que permite la generación consecutiva de órdenes de trabajo que pertenecen al plan en un periodo de tiempo definido.
- Asignación de las órdenes de trabajo, en forma individual ó a un grupo, cambio de tipo de orden urgente ó programada, se puede ingresar a la planeación de las órdenes de trabajo sistemáticas, programación de la fecha de ejecución de la orden de trabajo.

#### 2.4.11. Aplicación y uso del sistema de información en el proceso de mantenimiento

En relación con el uso del programa de mantenimiento en la siguiente tabla se puede calificar cualitativamente el uso real de los módulos de mantenimiento en el proceso de mantenimiento, definiendo los siguientes aspectos de uso:

- BAJO: La aplicación se realiza entre un 10 y 50% de su alcance real.
- MEDIO: La aplicación se realiza entre un 50 y 70% de su alcance real.
- ALTO: La aplicación se realiza entre un 70 y 100% de su alcance real.

**Tabla 2.** Calificación Módulos Sistema Integrado INFOMANTE.

DESCRIPCION MODULO	USUARIOS					
	PLANEACION	MANTENIMIENTO	PRODUC LAMINACION	PRODUCCION ENDEREZADO	LOGISTICA	METALICOS
SEGURIDAD	MEDIO	NA	NA	NA	NA	NA
UTILITARIOS	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
EQUIPOS	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
HERRAMIENTAS	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
CATALOGOS Y PLANCS	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
REPUESTOS	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
ACTIVIDAD ESTANDAR	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
PLAN DE MANTENIMIENTO	MEDIO	MEDIO	NA	NA	NA	NA
SOLICITUDES	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO
PLANEACION OT	MEDIO	MEDIO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO

Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

#### 2.5. INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento tiene definido cuatro indicadores principales con los cuales se evalúan mes a mes los indicadores de mantenimiento, estos indicadores son seguidos en una tabla semaforizada donde se llevan los siguientes indicadores:

- **% tiempo perdido por mantenimiento.** Es la relación entre el tiempo de interrupciones de mantenimiento y el tiempo total programado para producir, este indicador se despliega en tiempo perdido por mantenimiento mecánico y tiempo perdido por mantenimiento eléctrico.
  
- **Indicador del costo de mantenimiento en \$US/tonelada.** Está definido como el costo total de mantenimiento sobre las toneladas producidas, este indicador se despliega en el indicador del costo por mantenimiento mecánico y costo por mantenimiento eléctrico.
  
- **Tiempo medio entre falla.** Está definido como la diferencia entre el tiempo total programado menos el total de tiempo perdido por mantenimiento sobre el número de fallas, igualmente se despliega en Tiempo medio entre fallas por mantenimiento mecánico y tiempo medio entre fallas por mantenimiento eléctrico
  
- **Tiempo medio para reparación.** Está definido como el tiempo perdido total por fallas de mantenimiento sobre el número total de fallas, igualmente se despliega en Tiempo medio para reparación de mantenimiento mecánico y Tiempo medio de reparación de mantenimiento mecánico.
  
- **% de cumplimiento ordenes de trabajo.** Es la relación entre el total de órdenes de trabajo ejecutadas y cerradas por mantenimiento sobre el total de órdenes de trabajo programadas por planeación de mantenimiento, este indicador se despliega en % de cumplimiento de ordenes de trabajo ejecutadas por mantenimiento mecánico y el % de cumplimiento de ordenes de trabajo ejecutadas por mantenimiento eléctrico.
  
- **Resultado indicadores.** La evolución de los indicadores de mantenimiento durante los años 2005 a 2008 se observan en los gráficos

• **Conclusiones.** El indicador de tiempo perdido por mantenimiento no es estable.

El indicador de % tiempo perdido por mantenimiento para el año 2008 9,1 % está muy distante del mejor valor histórico 1,7%, el valor BenchMark en el grupo Gerdau 2,1% y el valor Bench Mark internacional 2%.

El costo de mantenimiento en US/ton se ha incrementado con la misma tendencia de las interrupciones por mantenimiento.

El cumplimiento de la ejecución de OT varía durante el año, lo que demuestra que este proceso de planeación de mantenimiento no es estable.

La frecuencia de las fallas es elevada aproximadamente cada 4,8 horas hay una parada por mantenimiento.

Por mantenimiento se pierden un promedio mensual de 50 barras en proceso a un precio promedio de US\$ 500 por unidad (Véase tabla 3).

Tabla 3. Indicadores Actuales.

INDICADOR	UN	2005	2006	2007	2008									ACUM	BM	VARIAN 2008 2007	
					Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep				
ACPT MAINTENIMIENTO	UN	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1		0%
TASA DE FRECUENCIA	UN	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0%
TASA DE GRAVEDAD	UN	825	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0%
COSTO MTTO MFC/TON	\$M	\$ 13.773	\$ 13.165	\$ 16.829	\$ 19.933	\$ 12.692	\$ 18.241	\$ 108.116	\$ 71.754	\$ 34.755	\$ 16.640	\$ 21.045	\$ 22.001	\$ 29.430		124%	
	US\$		\$ 5,73	\$ 8,12	\$ 10,06	\$ 6,87	\$ 10,07	\$ 80,10	\$ 40,86	\$ 20,02	\$ 9,28	\$ 11,04	\$ 10,12	\$ 15,71			
COSTO MTTO FI F/TON	\$M	\$ 6.504	\$ 7.135	\$ 7.126	\$ 9.388	\$ 8.848	\$ 11.558	\$ 48.066	\$ 51.535	\$ 17.667	\$ 11.449	\$ 20.945	\$ 12.359	\$ 17.532		148%	
	US\$		\$ 3,11	\$ 3,44	\$ 5,04	\$ 4,85	\$ 6,38	\$ 27,28	\$ 29,34	\$ 10,17	\$ 6,39	\$ 10,98	\$ 5,98	\$ 9,36			
COSTO MTTO/TON	\$M	\$ 21.590	\$ 21.566	\$ 23.955	\$ 29.921	\$ 21.540	\$ 29.799	\$ 157.182	\$ 123.279	\$ 52.433	\$ 28.089	\$ 42.011	\$ 34.360	\$ 46.961		118%	
COSTO MTTO/TON MFC	US\$/t	99,96	\$ 9,34	\$ 11,56	\$ 15,11	\$ 11,32	\$ 16,46	\$ 87,38	\$ 70,21	\$ 30,19	\$ 15,07	\$ 22,02	\$ 15,80	\$ 25,07	64 C35-L2	108%	
BL/BP MTTO MEC	UN	773	763,2	596,1	576,4	1.368,4	601,1	690,3	420,7	748,2	1.982,5	11.282,8	2.912,0	879,1		19%	
BL/BP MTTO ELE	UN	433	636,4	758,7	429,2	750,3	1.852,8	878,6	631,4	792,2	1.156,7	1.128,3	1.844,3	812,5		28%	
BL/BP MTTO	UN	340	347,0	333,8	246,0	484,7	382,5	386,6	234,8	382,4	981,8	1.025,7	962,3	422,2		32%	
%T PER MTTO MEC	%	6,4%	7,9%	6,1%	6,7%	3,8%	6,5%	6,8%	7,4%	9,6%	3,9%	3,1%	4,4%	5,6%		-26%	
%T PER MTTO ELE	%	2,7%	4,8%	3,7%	4,9%	3,3%	2,4%	4,3%	4,6%	3,2%	3,2%	8,3%	2,8%	3,8%		-17%	
%T PER MTTO	%	9,1%	12,1%	8,7%	11,6%	6,9%	8,9%	10,2%	11,9%	12,8%	6,8%	11,4%	7,0%	9,4%	2,2% 938	-32%	
TMPR MEC	min	43,1	44,24	34,34	35,97	22,96	34,04	33,79	41,86	49,07	27,67	33,88	36,53	38,24		-39%	
TMPR ELE	min	27,7	46,67	36,68	40,35	30,30	23,89	52,07	36,92	37,58	36,80	74,14	38,58	37,43		-4%	
TMPR MTTO	min	36,8	43,69	35,07	37,68	25,99	30,42	39,74	39,85	45,59	31,31	56,13	32,11	36,18		-17%	
TMEF MEC	min	427,0	405,60	410,92	356,84	522,38	389,48	451,83	407,49	374,58	632,18	775,53	643,58	474,11		17%	
TMEF ELE	min	626,0	601,50	798,82	556,00	744,40	888,00	938,93	594,25	964,42	927,20	827,81	804,47	736,50		22%	
TMEF MTTO	min	253,80	242,30	271,34	217,35	388,97	240,39	384,72	241,73	281,34	375,89	348,96	357,54	288,28		19%	
% CUMPLIMIENTO OT MFC	%	97,2%	89,7%	95,6%	98,1%	97,8%	92,6%	87,8%	87,9%	82,1%	71,8%	91,8%	93,8%	90,4%		1%	
% CUMPLIMIENTO OT FI F	%	94,4%	84,3%	78,3%	58,8%	61,0%	67,0%	57,6%	23,7%	49,0%	67,6%	64,9%	96,7%	61,9%		-37%	
% CUMPLIMIENTO OT	%	97,2%	87,0%	90,5%	83,9%	85,2%	85,1%	79,7%	82,5%	72,9%	70,4%	80,1%	94,8%	76,9%			

Fuente: Los Autores (Tomado de) Planta DIACO MUÑA

## **2.6. ANÁLISIS DOFA PARA EL ÁREA DE MANTENIMIENTO**

### **2.6.1. Debilidades**

- Los indicadores como % de tiempo perdido por mantenimiento, costo de mantenimiento en \$US/t no son estables.
- La aplicación del sistema de información no se utiliza de acuerdo a su capacidad real.
- La frecuencia en las paradas por fallas de mantenimiento es cada 4,5 horas en promedio.
- Las fallas de mantenimiento ocasionan la pérdida de 50 barras mensuales en el proceso de laminado.
- El costo de mantenimiento se ha incrementado con la misma tendencia de las fallas de mantenimiento.
- El Plan de mantenimiento no se actualiza desde 1998.
- El valor de repuestos en el almacén es elevado

### **2.6.2. Fortalezas**

- Todos los procesos de mantenimiento cumplen con el ciclo PHVA.
- El GBS de mantenimiento.

- El sistema de gestión de indicadores de mantenimiento.
- El Recurso humano y técnico que integra el área de mantenimiento.
- La organización de la empresa su Misión, Visión, Valores.
- El mantenimiento autónomo.
- Programa 5s en mantenimiento.

### **2.6.3. Oportunidades**

- El sistema integrado de mantenimiento.
- La solución integrada de mantenimiento IMS con SKF.
- Tácticas de mantenimiento cuya finalidad es revisar el programa de mantenimiento RCM.
- Proveedor sistema de información mantenimiento es nacional.
- Desarrollo de nuevas estrategias de mantenimiento.
- Programa IRM de Lean Way Consulting.

### **2.6.4. Amenazas**

- El porcentaje del costo de mantenimiento con respecto al costo de transformación de la palanquilla.
- Competencia con Plantas similares.

- Los costos de la materia prima, la palanquilla.
- La antigüedad de los equipos y las instalaciones de la planta.
- Incumplimiento en las entregas de producto terminado.

#### **2.6.5. Estrategias FO (CRECIMIENTO)**

- Mantener los pilares del SMI durante la fase de sostenimiento del ciclo de vida de los equipos. (Mantenimiento planeado, entrenamiento del personal, Gerenciamiento de datos).
- Implementar el uso de la táctica RCM Y SRCM, para revisar y actualizar el programa de mantenimiento.
- Desarrollar nuevas estrategias de organización de mantenimiento basados en el sistema “Kantiano”.
- Implementar todos los pasos de IRM para disminuir el tiempo de mantenimiento programado.
- Realizar seguimiento a los planes de acción generados por RCFA y RCA
- Mantener y mejorar constantemente el programa 5S de mantenimiento.

#### **2.6.6. Estrategias DO (Sostenimiento)**

- Realizar seguimiento a las variaciones presentadas en los indicadores de mantenimiento para tomar acciones y estabilizarlos.

- Realizar actualización en el uso de todos los módulos del software de mantenimiento.
- Implementar el uso de la táctica RCM y SRCM para revisar y actualizar el programa de mantenimiento.
- Realizar gestión para relacionar el software de programación de mantenimiento con el software de administración de repuestos en almacén.
- Realizar plan de actualización y control de los planos e información técnica de los equipos.
- Implementar todos los pasos de la táctica intervención rápida de mantenimiento para disminuir el tiempo de mantenimiento programado.
- Realizar una gestión de repuestos determinando la cantidad adecuada, esto se puede realizar aplicando RCM y SRCM y utilizando el sistema de información de los equipos y sus repuestos.

#### **2.6.7. Estrategias FA (Sostenimiento)**

- El personal técnico debe realizar los planes de acción de las mayores fallas que incidieron sobre los resultados del año 2008.
- Realizar seguimiento a los planes de acción de los RCFA y RCA generados por el gatillo de pérdida de barras en proceso.
- Realizar seguimiento constante a los planes de acción del GBS de mantenimiento.

- El sistema de mantenimiento integrado con sus pilares de mantenimiento, las practicas del GBS y el recurso humano calificado, garantizan la confiabilidad de los equipos.

#### **2.6.8. Estrategias DA (de Fuga)**

- Revisar indicadores de mantenimiento diariamente, y realizar seguimiento diario a planes de acción generados en análisis de falla.
- Mantenimiento debe realizar planes de acción para impedir la perdida de barras en proceso.
- El sistema de información diariamente debe entregar indicadores de mantenimiento.
- El sistema de información de mantenimiento debe llevar al día la información técnica de los equipos y su hoja de vida actualizada.

#### **2.6.9. Conclusión sobre la DOFA**

- Las estrategias que se establecieron con la DOFA, podemos dividir las en dos grupos, un primer grupo que se puede desarrollar con las herramientas de gestión que tenemos en mantenimiento y un segundo grupo que forma parte del objetivo del presente trabajo de monografía y son las siguientes:
- Implementar el uso de la táctica RCM Y SRCM para revisar y actualizar el programa de mantenimiento
- Realizar un control del costo de mantenimiento identificando oportunidades de ahorro en base al seguimiento de indicadores.

- Desarrollar nuevas estrategias de organización de mantenimiento basados en el sistema "Kantiano".
- Realizar actualización en el uso de todos los módulos del software de mantenimiento

**Figura 13. DOFA mantenimiento Planta Muña**

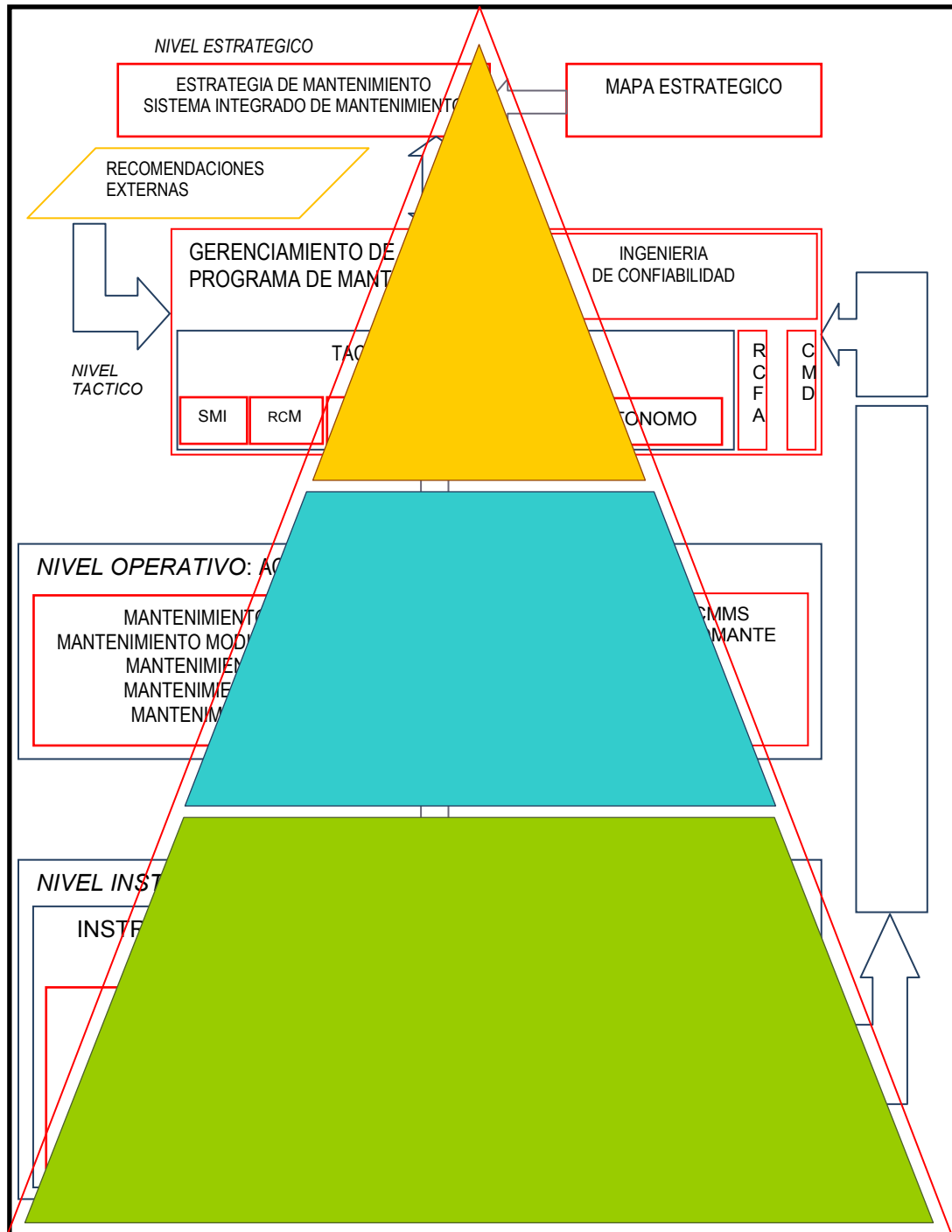
DOFA MANTENIMIENTO PLANTA MUÑA

		DIAGNOSTICO INTERNO	
		FORTALEZAS	DEBILIDADES
		F1-TODOS LOS PROCESOS DE MANTENIMIENTO CUMPLEN CON EL CICLO PHVA	D1-LOS INDICADORES %DE TIEMPO PERDIDO POR MTTO Y EL COSTO EN US/T NO SON ESTABLES
		F2-EL GBS DE MANTENIMIENTO CON LAS TRECE PRACTICAS	D2-LA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACION SE UTILIZA POR DEBAJO DE SU CAPACIDAD REAL
			D3-LA FRECUENCIA DE INTERRUPCIONES DE MANTENIMIENTO ES ELEVADA CADA 4.5 HORAS
		F3-SISTEMA DE GESTION DE INDICADORES DE MANTENIMIENTO	D4-LAS FALLAS POR MANTENIMIENTO OCASIONAN LA PERDIDA DE 50 BARRAS MENSUALES
		F4-RECURSO HUMANO Y TECNICO QUE INTEGRA EL AREA DE MANTENIMIENTO	D5-EL COSTO DE MANTENIMIENTO SE HA INCREMENTADO CON LA MISMA TENDENCIA DE LAS FALLAS POR MANTENIMIENTO
		F5-LA ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA SU MISION ,VISION Y VALORES	D6-PLAN DE MANTENIMIENTO NO HA SIDO ACTUALIZADO DESDE 1998
		F6-LA EMPRESA POSEE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO INTEGRADO CUYO PILAR DE MANTENIMIENTO AUTONOMO ESTÁ EN ETAPA 3	D7-EL SISTEMA DE INFORMACION DE MTTO NO ESTA RELACIONADO CON EL ERP PARA MANEJO DE REPUESTOS Y EXISTENCIAS DE ALMACEN
		F7-PROGRAMA 5S DE MANTENIMIENTO	D8-EL TIEMPO DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO ES ELEVADO Y AFECTA LA UTILIZACIÓN DEL TREN
		F8-EN EL SISTEMA DE GESTION SE TIENEN PRACTICAS COMO ANÁLISIS DE FALLA, ANÁLISIS DE CAUSA RAIZ	D9-INFORMACION TECNICA Y PLANOS DESACTUALIZADA
		ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS DO
DIAGNOSTICO EXTERNO	O1-Sistema integrado de mantenimiento SMI	F1+F2+F5X01 +O2.MANTENER LOS PILARES DEL SMI DURANTE LA FASE DE SOSTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS(MANTENIMIENTO PLANEADO, ENTRENAMIENTO, GERENCIAMIENTO DE DATOS)	D1+D2+D8X01+O6+O2- REALIZAR SEGUIMIENTO A LAS VARACIONES PRESENTADAS EN LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO PARA TOMAR ACCIONES Y ESTABILIZAR INDICADORES
	O2-Solucion integrada de mantenimiento IMS con SKF	F4+F5X02+O3+O4 MPLEMENTAR EL USO DE LA TACTICA RCM Y SRCM PARA REVISAR Y ACTUALIZAR EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO AC	D2+D8X04+O6- REALIZAR ACTUALIZACION EN EL USO DE TODOS LOS MODULOS DEL SOFTWARE DE MANTENIMIENTO
	O3-NUEVAS TACTICAS DE MANTENIMIENTO CUYA FINALIDAD ES LA DE REVISAR EL PLAN DE MTTO RCM	F5+F1+F2+F3+F6+F7+F8X05 +O1+O2+O3+O4+O6 DESARROLLAR NUEVAS ESTRATEGIAS DE ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO BASADOS EN EL SISTEMA KANTIANO.	D3+D4+D5+D6X01+O2+O3+O4 IMPLEMENTAR EL USO DE LA TACTICA RCM Y SRCM PARA REVISAR Y ACTUALIZAR EL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
	O4-DESARROLLAR CON EL PROVEEDOR DEL SISTEMA DE INFORMACION DE MANTENIMIENTO PARA NUEVAS APLICACIONES COMO RCM,ANLISIS DE FALLA,INFORMACION ON LINE DE COSTOS YACTUALIZACION	F1+F5X01+O6 - IMPLEMENTAR TODOS LOS PASOS DE IRM PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE MANTENIMIENTO	D7+D8X01+O4- REALIZAR GESTION PARA RELACIONAR EL SOFTWARE DE PROGRAMACION DE MANTENIMIENTO CON EL SOFTWARE DE ADMINISTRACIÓN REPUESTOS EN ALMACEN
	O5-DESARROLLO DE NUEVAS ESTRATEGIAS DE ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO BASADAS EN EL SISTEMA KANTIANO	F8+F2+F4 X01+O2+O4+O5 REALIZAR SEGUIMIENTO A LOS PLANES DE ACCIÓN DE LOS RCFA,RCA	D9+D7X01+O2+O4 REALIZAR PLAN PARA ACTUALIZACION Y CONTROL DE PLANOS E INFORMACION TECNICA
	O6-PROGRAMA IRM LEAN WAY	F7X07+O6- MANTENER Y MEJORAR CONSTANTEMENTE EL PROGRAMA 5S DE MANTENIMIENTO	D8+D1X06+O1 IMPLEMENTAR TODOS LOS PASOS DE LA TACTICA INTERVENCIÓN RAPIDA DE MANTENIMIENTO PARA DISMINUIR EL TIEMPO DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO
		ESTRATEGIAS FA	ESTRATEGIAS DA
DIAGNOSTICO EXTERNO	A1- EL PORCENTAJE DEL COSTO DE MANTENIMIENTO CON RESPECTO AL COSTO DE TRANSFORMACION DE LA PALANQUILLA .	F4+F5+F8XA1+A2+A3- EL PERSONAL TECNICO DEBE REALIZAR LOS PLANES DE ACCION DE LAS FALLAS MAYORES QUE INCIDIERON SOBRE LOS RESULTADOS DEL AÑO 2008.	D1+D2+D3+D4+D5XA1+A2 REVISAR INDICADORES DE MANTENIMIENTO DIARIAMENTE ,YREALIZAR SEGUIMIENTO DIARIO A PLANES DE ACCION ANALISIS DE FALLA
	A2-COMPETENCIA ENTRE LAS PLANTAS DEL GRUPO	F8+F2+F4 XA3 REALIZAR SEGUIMIENTO A LOS PLANES DE ACCIÓN DE LOS RCFA,RCA SOBRE EL GATILLO DE PERDIDA DE BARRAS EN PROCESO	D3+D4XA3- MANTENIMIENTO DEBE REALIZAR PLANES DE ACCION PARA IMPEDIR LA PERDIDA DE BARRAS EN PROCESO
	A3-EL COSTO DE LA PALANQUILLA COMO MATERIA PRIMA	F2XA1+A2 REALIZAR SEGUIMIENTO CONSTANTE A LOS PLANES DE ACCIÓN DEL GBS DE MANTENIMIENTO	D2XA1- EL SISTEMA DE INFORMACION DE MANTENIMIENTO DIARIAMENTE DEBE ENTREGAR INDICADORES DE MANTENIMIENTO  D5XA1-REALIZAR UN CONTROL DEL COSTO DE MANTENIMIENTO IDENTIFICANDO OPORTUNIDADES DE AHORRO EN BASE A SEGUIMIENTO INDICADORES
	A4-LA ANTIGÜEDAD DE LOS EQUIPOS E INSTALACIONES	F6+F2+F4XA3 EL SISTEMA DE MANTENIMIENTO INTEGRADO CON SUS PILARES DE MANTENIMIENTO PLANEADO,LAS PRACTICAS DEL GBS, Y EL RECURSO HUMANO CALIFICADO, GARANTIZAN LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS	D2+D9XA4- EL SISTEMA DE INFORMACION DE MANTENIMIENTO Y LA ACTUALIZACION DE LA INFORMACION TECNICA DEBE LLEVAR AL DIA LA HOJA DE VIDA DE TODOS LOS EQUIPOS E INSTALACIONES.

Fuente: Los Autores

## 2.7. PLAN DE MANTENIMIENTO (PROPUESTA)

Figura 14. Enfoque sistémico Kantiano



Fuente: Los autores

### 2.7.1. Evolución del mantenimiento

**Tabla 4.** Evolución del Mantenimiento.

Etapa	sucede aproximadamente	Evolución Producción – Manufactura		Evolución Mantenimiento	
		Orientación hacia ....	Necesidad específica	Orientación hacia ....	Objetivo que pretende
<b>I</b>	antes de 1950	el producto	generar el producto	hacer acciones correctivas	reparar fallos imprevistos
<b>II</b>	entre 1950 y 1959	la producción	estructurar un sistema productivo	aplicar acciones planeadas	prevenir, predecir y reparar fallos
<b>III</b>	entre 1960 y 1980	la productividad	optimizar la producción	establecer tácticas de mantenimiento	gestar y operar bajo un sistema organizado
<b>IV</b>	entre 1981 y 1995	la competitividad	mejorar índices mundiales	implementar una estrategia	medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc.
<b>V</b>	entre 1996 y 2003	la innovación tecnológica	hacer la producción ajustada a la demanda	desarrollar habilidades y competencias	aplicar ciencia y tecnología de punta
<b>VI</b>	desde 2004	Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias. Gestión de activos			

Fuente: Los Autores (Tomado de) MORA G. Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005. p. 268

Como parte *estructural* de las empresas, el Mantenimiento data desde la aparición de las maquinas o equipos para producir bienes y servicios. De este modo,

algunos autores consideran que “que el mantenimiento como estructura data inclusive desde que el hombre era parte motriz (energía) de dichos equipos”<sup>1</sup>.

“Se reconoce el Mantenimiento moderno como *Organización*. A partir de los comienzos del siglo XX en los Estados Unidos donde al aparecer las primeras fallas y paradas imprevistas se solucionan vía correctiva”<sup>2</sup>. Este análisis se hará en algunas etapas evolutivas como se pudo observar en la tabla 4 que se pueden distinguir en el Mantenimiento en función a objetivos que enmarcaban el momento y que obligatoriamente iban ligados en función a las metas de Producción, por lo tanto el análisis involucra estas dos áreas.

### **2.7.2. Etapa I**

Tanto la Etapa I y II están enfocadas hacia las Acciones de Mantenimiento:

- Aparecen entonces en la Etapa I los instrumentos de mantenimiento, de contrata o entrena personal capacitado en Mecánica, electricidad; estos llevan a cabo las primeras acciones de mantenimiento que son Correctivas.
- Se corrige falla o parada imprevista en forma prioritaria.
- Aparecen en esta etapa elementos esenciales para el arte de mantener los equipos como: ordenes de trabajo, herramientas, repuestos y su almacenamiento, insumos de mantenimiento (grasas, etc.).
- Aparece la información que posteriormente se convertirían en bases de datos y que después es el Sistema de Información.

---

<sup>1</sup> MORA G. Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005. p. 269

<sup>2</sup> *Ibíd.*, p. 269

- Se desarrollan técnicas y tecnologías propias (de la empresa en particular).

En esta etapa se dan las bases para que el mantenimiento funcione. Pero el objetivo es la producción de bienes y servicios por lo tanto las fallas imprevistas son el mayor problema del desarrollo normal de estas actividades y es cuando se inicia la siguiente etapa.

### **2.7.3. Etapa II. Solucionando paradas repentinas de los equipos**

Para tratar de solucionar las paradas repentinas de los equipos mantenimiento se comienza a desarrollar algunas acciones adicionales de *prevención o predicción de fallas* y se denota lo siguiente:

- Se empieza a utilizar técnicas y metodologías propias de las acciones planeadas de mantenimiento.
- Se adquiere el conocimiento y la destreza de las acciones pre y post falla.
- Se empieza a utilizar algunas técnicas y tecnologías para la predicción.
- Entre algunas acciones tenemos rutinas de inspecciones, planes preventivos, mediciones especializadas, valoración de condición de estado de los equipos, ensayos destructivos y no destructivos, registro de datos técnicos, monitoreo de equipos y control de vida útil de elementos.
- Nace el control operativo de equipos y sus elementos.

Esta etapa permite la distinción entre acciones correctivas, preventivas, modificativas y predictivas siendo las *dos primeras post-falla* y las *dos últimas pre-falla*. También empiezan las recomendaciones de seguridad, se delimitan y

generan las OTs, mecanismos sencillos de recolección de datos, se empieza a establecer la relaciones repuestos – equipo y algunos parámetros para subcontratación y administración de proveedores.

#### **2.7.4. Etapa III. Organización táctica de mantenimiento**

En este punto se podría dar cuenta que en la primera etapa las acciones eran *reales* en el mantenimiento sobre los equipos mientras que en la segunda etapa las acciones son más *conceptuales* como es el hecho de poder diferenciar una acción correctiva de una preventiva.

En esta etapa cuando las empresas han alcanzado un nivel de madurez en este manejo real y conceptual de las acciones que se posibilitan en mantenimiento, es entonces cuando se empieza a estructurar un desarrollo secuencial, lógico y bien organizado de todo el conjunto de acciones de la etapa I y II enfocadas en gestar y articular el mantenimiento bajo un sistema organizado que de aquí en adelante será una táctica o un conjunto de reglas para utilizar los recursos en el campo y de esta forma conseguir los objetivos de una forma ordenada.

Dentro de estas tácticas se nombran algunas de las más destacadas como:

- TPM especialmente enfocada en mejorar la productividad.
- RCM que tiene como objetivo principal la confiabilidad de los equipos y sus consecuencias cuando fallen.
- COMBINADO (TPM – RCM) usar simultáneamente las mejores practicas de estas dos metodologías.
- PROACTIVO enfocado en las fallas recurrentes en los equipos.

- REACTIVO llevar hasta la falla o solo actuar después de la falla.
- WCM (World Class Maintenance) recomendada a las organizaciones que exportan una parte muy significativa de sus bienes o servicios.
- RBM o basado en riesgo que orienta acciones a evitar el riesgo comercial o integral.
- SBM o basado en resultados que apunta a evaluaciones de indicadores de objetivos propuestos.
- RCM – SCORECARD este construye un sistema de mantenimiento centrado en confiabilidad a través de las tarjetas de control Balanced ScoreCard de Kaplan y Norton, basado en los trabajos de Nowlan y Heap, de RCM SAE JA 1011 y 1012 y de los trabajos de Mac Smith para finalmente medir los resultados de esta táctica.

Es importante aclarar que no todas las organizaciones evolucionan históricamente al pasar por cada una de estas metodologías en forma secuencial simplemente arman la propia con las mejores prácticas de cada una de ellas.

“También es importante aclarar que en esta etapa mientras que para producción lo importante es la maximización de los factores productivos para mantenimiento se constituye como el comienzo de ser una unidad de producción independiente a la de explotación de los activos, pues en las dos anteriores el mantenimiento aun depende del área operativa al menos en algunos casos en el nivel jerárquico”<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Ibíd., p. 270

### **2.7.5. Etapa IV. Creación de una estrategia de mantenimiento**

Cuando una organización ha alcanzado un desarrollo con bastantes ciclos de mejoramiento los niveles I, II, y III entonces se interesan por medir resultados y pretenden saber que también hacen las cosas, es por ello que empiezan a:

- Establecer sistemas de costeo propios de mantenimiento como el LLC o Costo del Ciclo de Vida.
- Implementar registro histórico de fallas y reparaciones.
- Establecer sistemas de medición bajo parámetros propios o internacionales como CMD.
- Empiezan a interpretar las diferentes curvas de modo de falla empezando por ejemplo la de Davies o de la Bañera.
- Se realizan evaluaciones y comparaciones con otras organizaciones (BenchMarking) y se procura controlar todas las acciones realizadas.

En este nivel el área pretende mejorar su competitividad por lo cual se establece las estrategias por medio de las cuales puede llegar a controlar y articular en forma integral y específica todas las actividades, los elementos, las acciones y la táctica consolidando de esta manera la función de Mantener. En la etapa IV se involucran los directivos y todas las demás áreas en un solo objetivo para obtener la mayor eficiencia productiva y la máxima reducción de costos.

### **2.7.6. Etapa V. Enfoque a las habilidades y competencias de mantenimiento**

Se caracteriza por:

- Procurar el desarrollo de Habilidades y Competencias (Cord competences) de el personal en mantenimiento.
- Se profundiza en algunos tópicos de etapas anteriores.
- Se consolidan las realizaciones de FMECA, RCA y RPN al desarrollarse más las destrezas en estos tópicos.
- Se logra la consolidación del CMMS y producción.
- Es posible que se implemente una estrategia de Mantenimiento Integral basada en Procesos donde se analiza el Macro-proceso de mantenimiento con todas sus actividades.
- La implantación de índices e indicadores de calidad, costos y tiempo de cada una de las acciones.
- Identificación de cliente y demandante de cada actividad.
- Medición de todos los parámetros de proceso ya sea por Vital Signs – Performance o también con Balanced Score card.
- También se procede a la utilización de TOC (teoría de Restricciones).
- ABC costos basados en actividad.

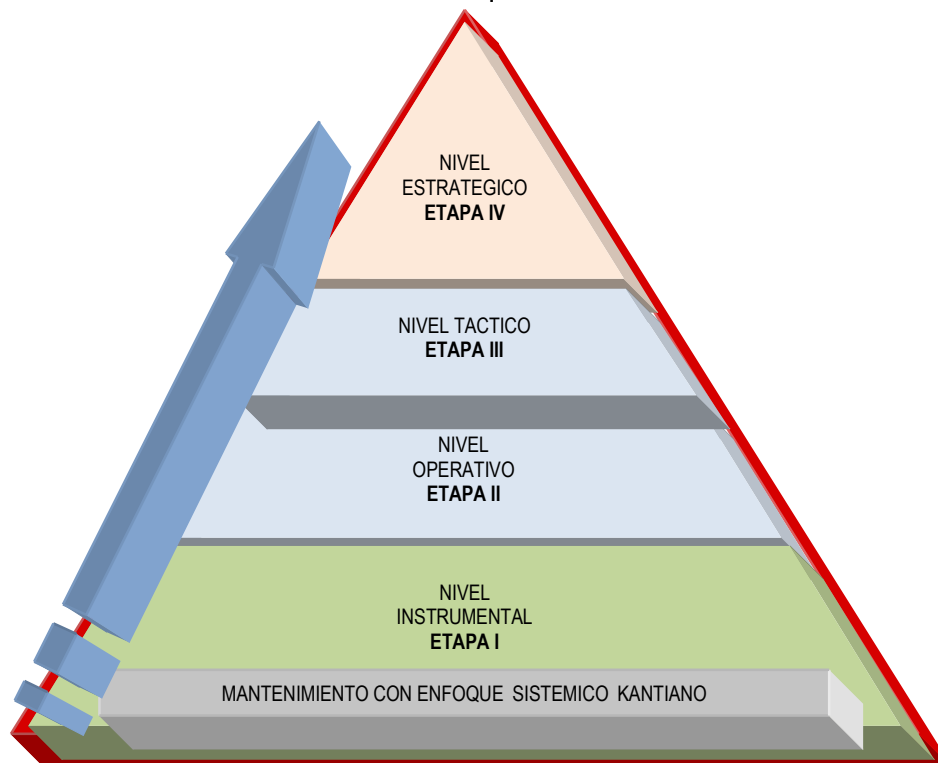
En esta etapa Producción y Mantenimiento trabajan en forma conjunta y alineada por encima de cualquier obstáculo propio y por lo tanto mantenimiento deja de ser un pasivo generando riqueza a la organización como un activo.

### 2.7.7. Etapa VI. Hacia la gestión de activos

Cuando la Organización alcanza la integración a través de una metodología que abarca todos los anteriores niveles entonces alcanza la Gestión de Activos, la cual permite integrar todo el conocimiento y las mejores prácticas aprendidas, con el fin de manejar con flexibilidad y éxito sus activos.

Esta etapa requiere que todas las acciones de Mantenimiento y Producción generen aumento de la capacidad de producir y de su demanda, tratando de conquistar cada día más mercado potencial, pues si no es así se estaría todavía en una actitud pasiva incurriendo en gastos en el manejo de sus equipos (Véase figura 15).

**Figura 15.** Plan de mantenimiento con enfoque sistémico Kantiano



Fuente: Los Autores MORA G. Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005. p. 271

De acuerdo con Mora “el Mantenimiento cumple con todas las condiciones para ser una *ciencia* permitiendo un tratamiento profundo, serio, coherente y estructurado, que puede ser tratado desde enfoque sistémico integral para una fácil comprensión en forma global y ser llevado a aplicaciones realizables”<sup>4</sup>.

Desde el enfoque sistémico Kantiano, el mantenimiento tiene la posibilidad de ser sintetizado y categorizado en diferentes niveles con sus elementos de relación estructural, unificando los conceptos, pensamientos y diferentes tópicos de este, hasta el momento tratados bajo esquemas diferentes.

“El enfoque sistémico Kantiano plantea el estudiar y entender cualquier fenómeno dado definiendo que un sistema está compuesto básicamente por tres elementos: *Personas, Artefactos y Entorno o Contexto*. El entendimiento mental es exclusivo de los seres humanos por lo tanto la participación de las *personas* en el mantenimiento lo hacen un sistema *mental* construido intelectualmente por estas (personas), y se basa en el estudio de los equipos y su comportamiento industrial en el tiempo”<sup>5</sup>.

El segundo elemento en el sistema Kantiano; los *Artefactos* del latín *hecho con arte* y que en mantenimiento son el conjunto de maquinas, componentes, herramientas, documentos, sistemas de información, etc., los cuales son *reales* y necesarios para el mantener las máquinas.

Es el *entorno* el tercer componente y es de carácter *mental* o intelectual y son todos los sitios donde se desenvuelve el sistema, en mantenimiento donde se encuentran las máquinas el piso de la fábrica.

---

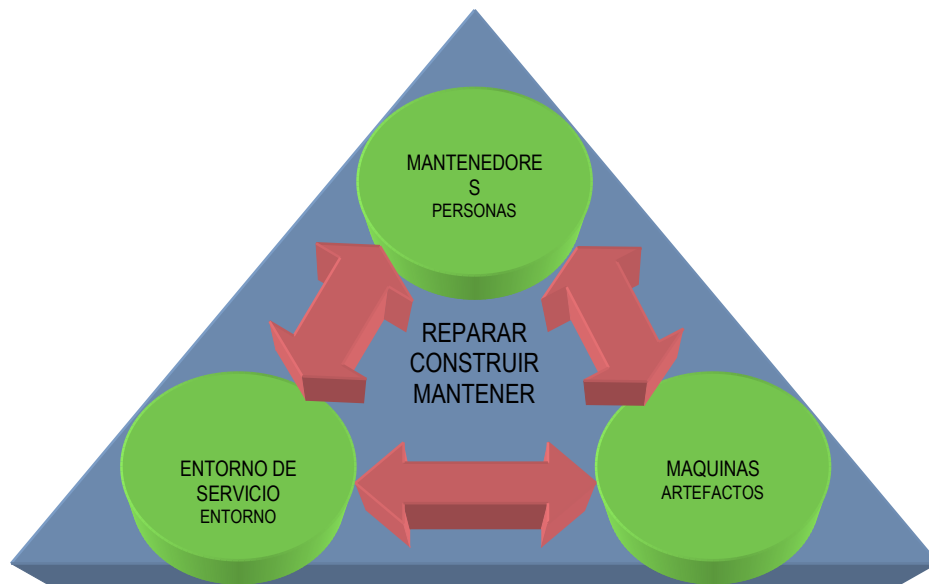
<sup>4</sup> *Ibíd.*, p. 272

<sup>5</sup> *Ibíd.*, p. 272

Por lo tanto el enfoque Kantiano permite visualizar y probar la existencia de relaciones entre diferentes elementos de un sistema real o mental.

El enfoque sistémico en la unidad de mantenimiento reconoce los tres elementos necesarios: mantenedores (personas), maquinas o equipos industrial o de operación (artefactos) y sitios físicos donde se presta el servicio (entorno) (Véase figura 16).

**Figura 16.** Unidad de mantenimiento.



Fuente: *Los Autores (Tomado de)* MORA G. Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005. p. 273

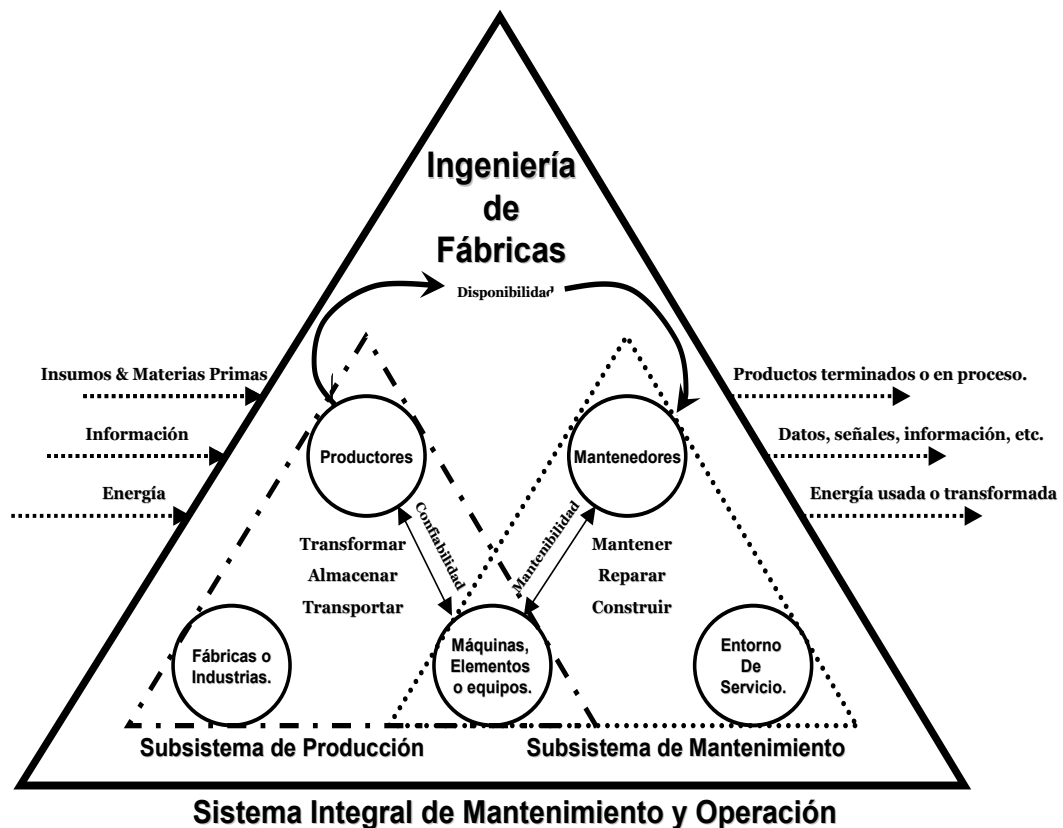
Para esta función se utilizó la definición de ingeniería que utiliza la CIUO-88 de la OIT (CIUO-88-OIT, 1991,59) donde enuncia algunas funciones de los ingenieros y afines

### **2.7.8. Sistema Integral de Mantenimiento**

El Sistema Integrado permite visualizar los tres elementos principales en una Organización Industrial y son: los Mantenedores, los Productores y las Maquinas.

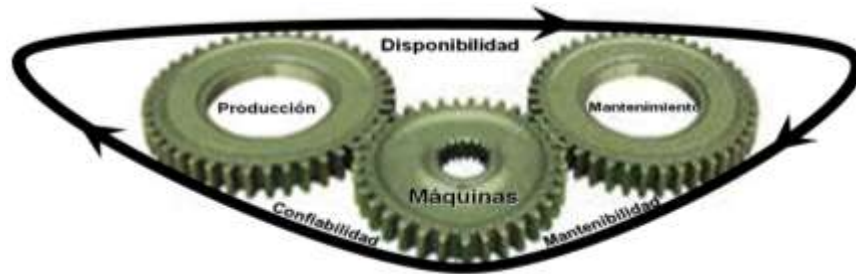
Por lo tanto, el Sistema Kantiano permite establecer que la Relación Directa entre producción y máquinas está gobernada por la Confiabilidad, la Relación entre Mantenimiento y Máquinas es la Mantenibilidad. Pero la Relación más relevante de todo el sistema donde se marca todo el efecto integrado de la ingeniería en las plantas esta dado por la Relación Mantenimiento – Maquina - Producción y su parámetro que es la Disponibilidad (Véase figura 17, 18).

**Figura 17.** Sistema integral de mantenimiento y operación



Fuente: Los Autores (Tomado de) MORA G. Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005. p. 273

**Figura 18.** Sistema Integrado del Mantenimiento y Producción.



$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$$

Fuente: Autores (Tomado de) MORA G. Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005. p. 273

### **3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)**

El mundo del mantenimiento es un mundo cambiante como resultado de nuevas expectativas, nuevo 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 de 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 evolución 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 a la evaluación y selección de procesos que se puedan 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, esto 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 beneficios 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 evite dolores de cabeza y problema 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 general a un 40% a 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.

### **3.1. ORIGEN DE RCM**

El RCM encuentra sus raíces a principio de los años sesenta, inicialmente es desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana; el primer esfuerzo serio lo promulga la ATA (Air transport Association) en Washington (USA) en 1968, conocido como informe MSG1; posteriormente actúa el departamento de defensa de USA y, por comisión, F. Stanley Nowlan y Howard Heap escriben por primera vez su trabajo bajo el nombre de Reliability Centered Maintenance en 1978 (publicación de United Airlines por el ministerio de Defensa de los Estados Unidos), que procura optimizar los factores humanos y productivos alrededor del

mantenimiento. Estudio MSG2 primero, y el MSG3, promulgado en 1980 han permitido la divulgación de la metodología.

Quizás el desarrollo reciente más importante en el campo de RCM sea la publicación en Agosto de 1999 la norma SAEJA 1011: "Evaluation Criteria for Reliability-centered Maintenance Processes".

El RCM fue elaborado con el fin de ayudar a 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 exista mucha documentación al respecto, lo anterior ahorra errores y pruebas, costosos y dispendiosos tan comunes al desarrollar planos 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 que pueden y que pueden esperar de esta aplicación y que se debe hacer para conseguirla. 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 aparece en las instalaciones, como permite tener una base firme para establecer políticas de trabajo, y decidir que respuestas se deben tener en inventario.

RCM ha sido aplicado en una cantidad de empresas alrededor del mundo 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 RCM ha venido siendo aplicado hace aproximadamente 30 años en la que es la probablemente el área más exigente de mantenimiento, la aviación civil se deduce que ha sido puesto a prueba y refinado en este campo, más que ninguna otra técnica existente

### **3.2. ¿QUÉ ES RCM?**

RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión de mantenimiento para desarrollar programas organizados, que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y la construcción de los mismos. RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga. Es un proceso ubicado para decidir lo que debe hacerse y asegurarse de que cualquier activo, proceso o sistema continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

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 RCM también define lo que los usuario quieren en términos de riesgo (Seguridad, integridad ambiental) calidad (Exactitud, precisión, consistencia y estabilidad) control, comodidad, contención, economía, servicio al cliente entre otros.

El próximo paso de RCM es identificar las formas en las cuales el sistema puede fallar en el cumplimiento de esas expectativas (estados de falla), seguidos de 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. Finalmente, el proceso RCM 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 RCM suministra normas poderosas para decidir si cualquier política de manejo de fallas es técnicamente apropiada. También suministra criterios precisos para decidir que tan a menudo se deben realizar las tareas rutinarias. El RCM es una técnica de organización de las actividades y de la gestión de mantenimiento para desarrollar programas organizados, que se basan en la confiabilidad de los equipos en función del diseño y la construcción de los mismos. RCM asegura un programa efectivo de mantenimiento que se centra en la confiabilidad original inherente al equipo se mantenga.

El fuerte énfasis sobre las expectativas del usuario es una de las muchas características del RCM, que lo distinguen de las interpretaciones de otros menos rigurosos de la filosofía RCM. Otra fortaleza es los usos de los 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 RCM 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 transforma completamente la opinión que cualquier organización tiene de sus activos físicos. No solo revoluciona opiniones acerca el mantenimiento sino también conduce aun 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, 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 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.

### 3.2.1. Beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad

**Tabla 5.** Mantenimiento centrado en confiabilidad

Calidad	Tipo de Servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
<p>Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por el sólo hecho de implementar.</p> <p>Elimina las fallas crónicas y elimina las causas raíces.</p> <p>Aumenta la flexibilidad operacional.</p> <p>La programación de mantenimiento se basa en hechos reales.</p> <p>Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las máquina, así como de sus causas.</p>	<p>Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo.</p> <p>Ayuda a entender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes.</p> <p>Disminuye las paradas imprevistas.</p> <p>Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor de los análisis de fallas.</p>	<p>Reduce los niveles de mantenimiento al menos en un 40%.</p> <p>Optimiza los programas de mantenimiento.</p> <p>Reduce los costos planeados o no de mantenimiento al menos en un 40%.</p> <p>Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales.</p> <p>Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo / beneficio.</p>	<p>Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%.</p> <p>Aumenta los tiempos de funcionalidad de los equipos al menos en un 150% en promedio.</p> <p>Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursos o repuestos.</p> <p>Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.</p>	<p>Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo.</p> <p>Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que más se atacan y eliminan.</p> <p>Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas.</p> <p>Su razón de calificación al riesgo la hace como una de las tácticas más seguras.</p>

Fuente: Los autores

### 3.2.2. Siete preguntas que responde RCM

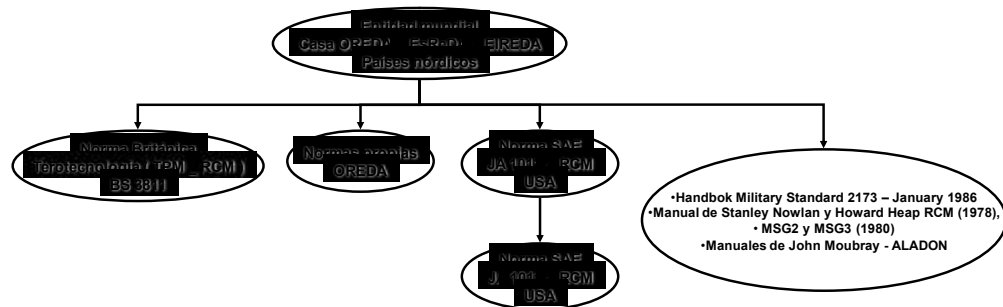
El proceso de RCM formula siete preguntas acerca de la actividad o sistema que se intenta revisar:

- ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿En qué sentido es importante cada falla?
- ¿Qué puede hacerse para prevenir ó predecir cada falla?
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

### 3.3. APLICACIÓN RCM

Existen varios procedimientos de orden universal que plantean las normas y las reglas que rigen la implementación del RCM, en si son procedimientos parecidos, algunos con mayor validez o no, pero en el fondo apuntan a propósitos generales comunes.

**Figura 19.** Procedimientos de implementación del RCM

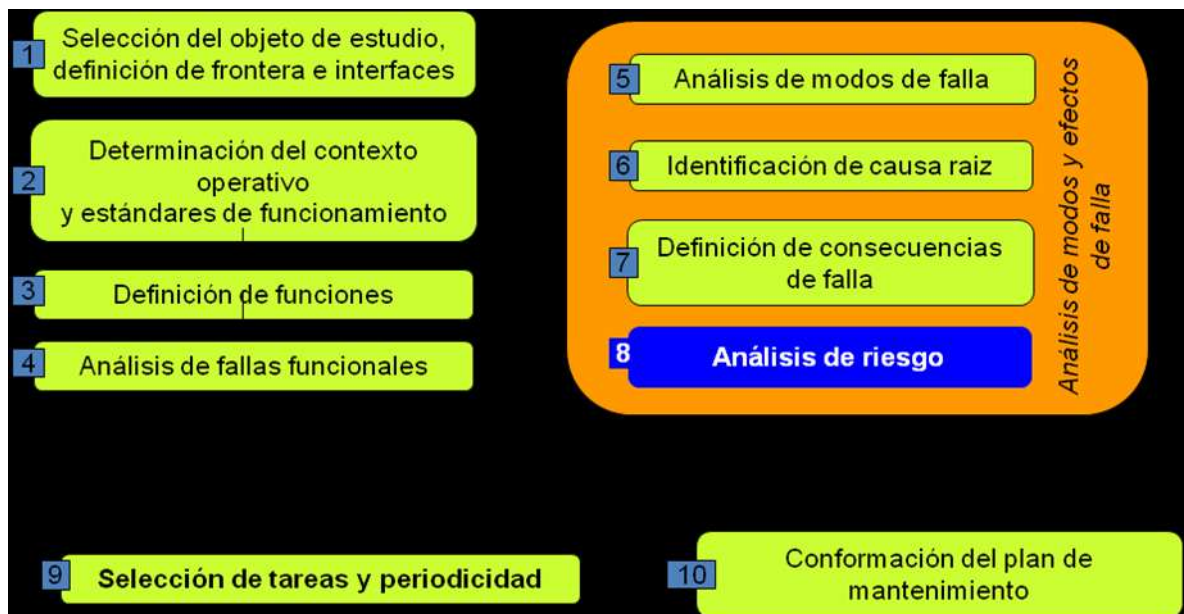


Fuente: Los autores

### **3.3.1. Pasos para la Aplicación de RCM**

- Formación del equipo natural de trabajo
- Selección y definición de las áreas y equipos donde se implementará el RCM, realizando un estudio de criticidad de equipos.
- Definición de criticidad y selección de los sistemas críticos, estableciendo sus funciones primarias, secundarias, auxiliares y de apoyo logístico.
- Análisis de fallas funcionales reales o potenciales para cada una de las funciones.
- Realización de los análisis de los modos y efectos de fallas, para determinar los modos de fallas a que se tiene lugar en cada falla funcional (FMECA)
- Selección de las estrategias y procedimientos de mantenimiento (árbol lógico de decisión).
- Implantación y evaluación del CMD en cada caso

**Figura 20.** Diagrama de flujo – Pasos Implementación Proceso RCM



Fuente: autores (tomado de) ORTIZ P. Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga: Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2008. p. 125

### 3.3.2 Formación equipo RCM

El equipo RCM debe ser un equipo multidisciplinario, mantenimiento y producción, el grupo será coordinado por un Facilitador entrenado en RCM. Un facilitador de mantenimiento mecánico, facilitador de mantenimiento eléctrico, operador de producción, técnico de mantenimiento mecánico, técnico de mantenimiento eléctrico, opcional si se necesita un asesor externo. El facilitador del grupo RCM tiene el siguiente Rol

- Asegura la consistencia de los análisis
- Verifica que todos los componentes son considerados
- Controla el tiempo de las actividades de los análisis
- Asegura que el análisis quede documentado

Para realizar RCM debe haber un buen ambiente laboral, las personas que van a integrar el grupo de RCM deben estar dispuestas a escuchar y respetar las ideas de sus compañeros, una condición importante es que no se tenga en cuenta la jerarquía de los cargos, todas las personas son iguales.

El grupo RCM debe ser un grupo cuya gestión debe ser permanente, al igual que los grupos que realizan análisis de falla, a continuación se exponen las características de los equipos naturales:

- **Alineación:** cada miembro está comprometido con los acuerdos del equipo. Esto demanda que la misión y la visión sean compartidos por todos. En este sentido la tendencia es sacarle provecho a los desacuerdos y conflictos para integrar los aportes de los miembros, a fin de lograr soluciones efectivas.
- **Coordinación:** esta característica, implica que cada miembro del equipo tiene roles y responsabilidades claras se apropia de los compromisos del equipo como si fueran individuales. De esta forma el trabajo individual se orienta al desempeño común del equipo. En este sentido, el liderazgo, la gerencia, y el coaching, son habilidades de todos los miembros.
- **Comprensión:** la comprensión es un compromiso compartido. Esto requiere habilidad para distinguir entre “puntos de vista”, “interpretaciones”, y los “hechos”, para así coordinar y divulgar el propio punto de vista y ayudar a los otros a considerarlo y considerar el punto de vista del otro. Cualquier miembro del equipo, conoce los clientes, los suplidores, los procesos de trabajo y los resultados del equipo. Esto significa que los objetivos, metas, e hitos son claros y compartidos.
- **Respeto:** apreciar y sentir verdadero aprecio por el otro. Desarrollar y mejorar continuamente la habilidad de ver las cosas, como lo ve la otra persona

“ponerse continuamente los zapatos del otro”, pero sin perder la perspectiva de la objetividad de la realidad operacional. Preguntarse siempre: ¿Quién necesita participar en esta reunión y/o decisión? y luego preguntar ¿A quién es necesario informar respecto a los resultados?

- **Confianza:** tener confianza que los demás van a desempeñar sus responsabilidades de manera optima. Confiar en cada miembro del equipo buscará insumos requeridos para tomar decisiones, consolidando la proactividad individual para modelar este clima.

### **3.3.3. Selección y definición de las áreas y equipos donde se implementará RCM.**

- Analizar el proceso de la planta, concepto operacional
- Identificar las áreas críticas y sus equipos
- Sistemas con alta cantidad de correctivos
- Sistemas con mucho mantenimiento y costoso
- Sistemas con alto potencial de costos por pérdidas de producción
- Sistemas altamente relacionados con seguridad
- Sistemas críticos para producción
- Priorización de los equipos a los cuales se les realizará RCM

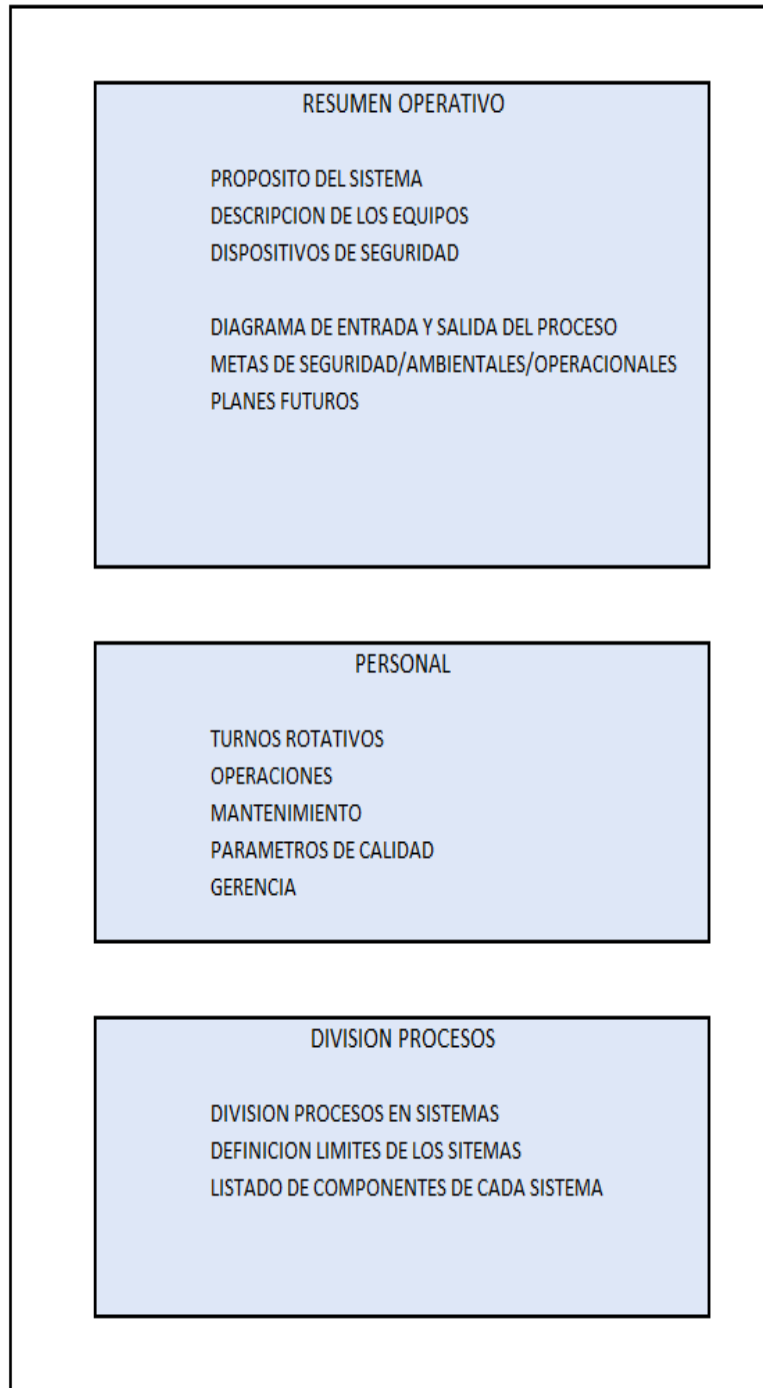
Para este proceso se realiza un estudio de criticidad de los equipos del proceso (Véase tabla 6,7).

**Tabla 6.** De evaluación criticidad

<b>IMPACTO OPERACIONAL</b>				VALOR
PERDIDA DE TODO EL DESPACHO				10
PARADA DEL SISTEMA O SUBSISTEMA CON REPERCUSSION A OTROS SISTEMAS				7
IMPACTA EN NIVELES DE INVENTARIO O CALIDAD				4
NO GENERA NINGUN EFECTO SIGNIFICATIVO SOBRE OPERACIONES Y PRODUCCION				1
<b>FLEXIBILIDAD OPERACIONAL</b>				VALOR
NO EXISTE OPCION DE PRODUCCION Y NO HAY FUNCION DE REPUESTO				4
HAY OPCION DE REPUESTO COMPARTIDO/ALMACEN				2
FUNCION DE REPUESTO DISPONIBLE				1
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO</b>				VALOR
	MAYOR O IGUAL A:	\$20.000		2
	INFERIOR A:	\$20.000		1
<b>IMPACTO EN SEGURIDAD - AMBIENTE - HIGIENE "SAH"</b>				VALOR
AFECTA LA SEGURIDAD HUMANA TANTO EXTERNA COMO INTERNA Y REQUIERE LA NOTIFICACION A ENTES EXTERNOS DE LA ORGANIZACIÓN				8
AFECTA EL AMBIENTE/INSTALACIONES				7
AFECTA LAS INSTALACIONES CAUSANDO DAÑOS SEVEROS				5
PROVOCA DAÑOS MENORES (AMBIENTE - SEGURIDAD)				3
NO PROVOCA NINGUN TIPO DE DAÑOS A PERSONAS, INSTALACIONES O AL AMBIENTE.				1
<b>FRECUENCIA DE FALLAS</b>				VALOR
POBRE	MAYOR A:	2	FALLAS/AÑO	4
PROMEDIO	ENTRE:	1 Y 2	FALLAS/AÑO	3
BUENA	ENTRE:	.5 Y 1	FALLAS/AÑO	2
EXCELENTE	MENOS QUE:	0,5	FALLAS/AÑO	1
<b>EVALUACION DE CRITICIDAD</b>				VALOR
CRITICIDAD TOTAL	FRECUENCIA DE FALLAS x CONCECUENCIAS	2	FALLAS/AÑO	4
PROMEDIO	ENTRE:	1 Y 2	FALLAS/AÑO	3
BUENA	ENTRE:	.5 Y 1	FALLAS/AÑO	2
EXCELENTE	MENOS QUE:	0,5	FALLAS/AÑO	1
<b>EVALUACION DE CRITICIDAD</b>				
CRITICIDAD TOTAL	FRECUENCIA DE FALLAS x CONCECUENCIAS			
CONCECUENCIAS	(IMPACTO OPERACIONAL x FLEXIBILIDAD) + COSTO DE MTTO + IMPACTO "SAH"			

Fuente: MORA G. Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005. p. 277

**Tabla 7.** Desarrollo contexto operacional



Fuente: MORA G. Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005. p. 277

### 3.3.4. Descripción funciones de los equipos

Teniendo definido y claro el contexto operacional del proceso RCM exige definir las funciones del equipo al cual se le va a realizar RCM. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

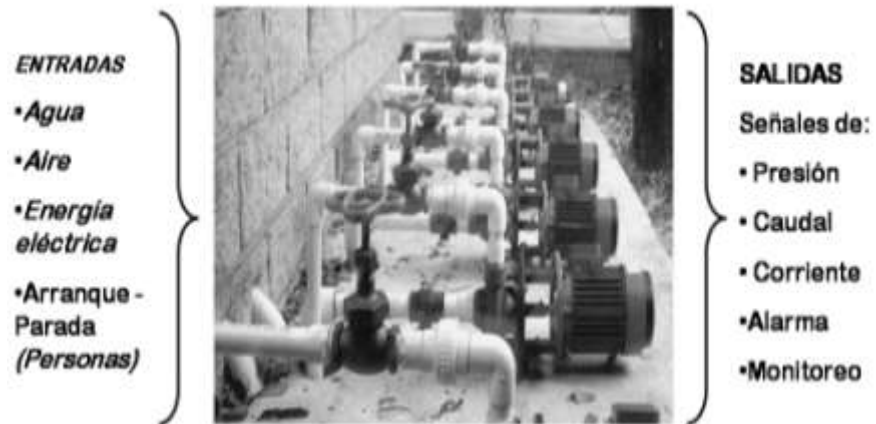
- **Funciones Primarias:** Es en resumen el porque se compró el equipo, es la razón de ser del activo. La función primaria del activo está usualmente definida en su propio nombre. En la descripción de la función primaria del activo contendrá claramente los estándares a los cuales será operado y mantenido. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad del producto, y servicio al cliente.

Se identifican con Verbo+ sujeto eje comprimir aire, cerrar flujo  
Bombear agua, lubricar equipo.

- **Funciones Secundarias:** Son aquellas otras funciones que el activo está en capacidad en adición a los outputs principales descritos por las funciones primarias. Típicas funciones secundarias incluyen: Auxiliares, aislamiento, contención, protección, integridad ambiental, higiene, seguridad/integridad estructural, control, información, monitoreo de condición, calibración, alarmas, aspecto, economía y eficiencia.
- **Análisis Funcional:**
  - Identifica las funciones importantes.
  - Provee una clara documentación básica para el análisis.
  - Reduce la confusión y facilita la identificación del objeto.
  - Puede documentar el objeto y no considerarlo importante.

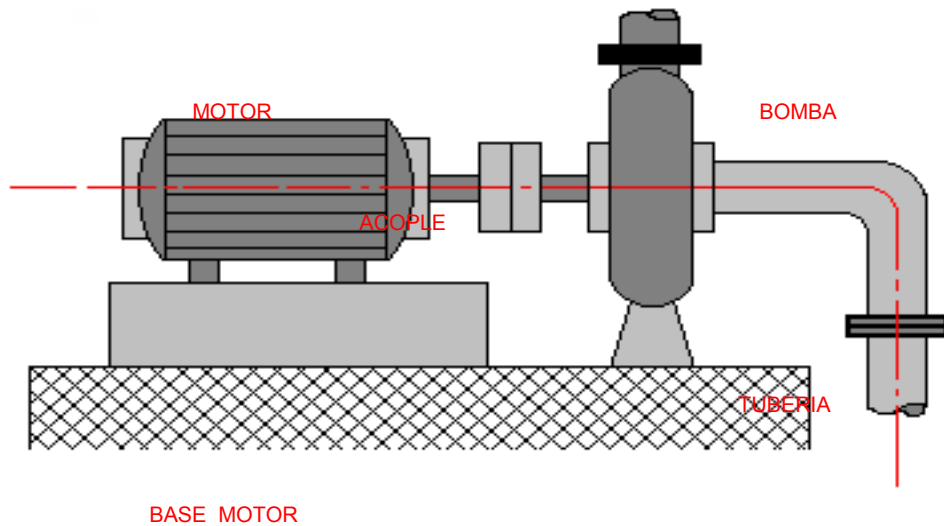
- Identifica cuales son los estándares asociados al objeto en su contexto operacional.
  
- **Límites del Sistema:** Es necesario establecer los límites, para no traslapar los sistemas consecutivos, parte de la definición de las fronteras es definir las entradas y salidas del sistema. Según el nivel de detalle se tendrán fronteras para el sistema y para el subsistema
  - Es necesario establecer los límites mecánicos y eléctricos
  - Las fuentes de aire son limitadas por la solenoide
  - El breaker es usualmente incluido en el sistema pero no el bus eléctrico.
  - El loop de instrumentación es usualmente incluido.
  - Todos los componentes mecánicos son incluidos en el sistema.
  
- **Entradas y salidas típicas:**
  - Señales de alarma
  - Aire de instrumentos
  - Agua del sistema de enfriamiento
  - Líneas de conexión hidráulica
  - Señales de monitoreo
  - Señales de entrada y salida
  - Sistema eléctrico a 120 VA.C

**Figura 21.** Limites de un Sistema de Bombeo



Fuente: Los Autores

**Figura 22.** Ejemplo descripción funciones de los equipos



Fuente: Los autores

El sistema de bombeo es un subsistema de una planta, se identifica como equipo crítico a una de sus partes y se le va a realizar RCM

- **Contexto operacional:** El sistema de bombeo de agua de retorno envía el agua desde una piscina de captación de aguas hasta una torre de enfriamiento a una rata de 10 litros/segundo, la piscina tiene una capacidad de 8 metros cúbicos, la piscina tiene un sistema de control de nivel que mantiene el nivel mínimo de 3 metros cúbicos y un nivel máximo de 7 metros cúbicos, la disponibilidad de el sistema es de 24 horas al día.
- **Función primaria:** Bombear agua a una rata de 10 litros/segundo, con una bomba centrifuga de presión positiva accionada por un motor eléctrico de 15 hp 1750 rpm 440 voltios y acoplada con un sistema tipo araña.
- **Función secundaria:** La bomba está instalada de acuerdo a normas, posee una guarda de protección en el acople, el motor es tipo sellado para trabajo intemperie protección IP65.

### 3.3.5 Análisis e identificación de los modos de Fallas

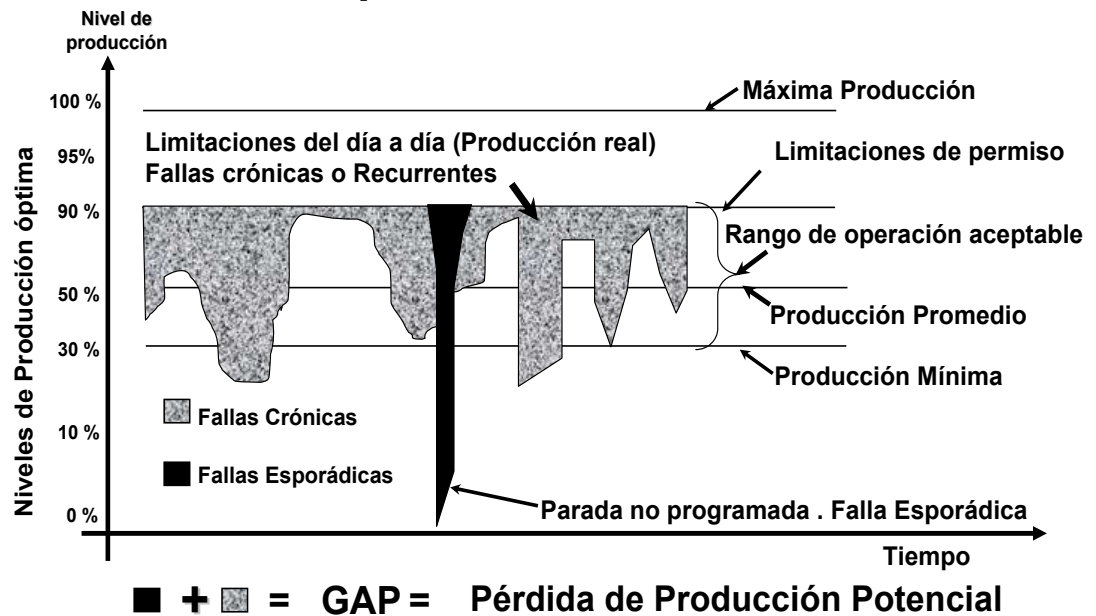
Para conseguir el objetivo principal de RCM como es asignar tareas de mantenimiento se necesita conocer las fallas que afectan las funciones del activo y sus modos de falla.

- **Falla:** Se define “falla” como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga. También se define como el no cumplimiento de un estándar de funcionamiento y toma el nombre de Falla funcional.

De acuerdo a la norma SAEJA1011. Estado en el cual un activo físico ó un sistema es incapaz de realizar una función específica con un nivel de desempeño deseable. Un activo puede tener diferentes funciones, por lo tanto tiene diferentes estados de falla.

- **Tipos de Fallas funcionales:** Frecuente, probable, ocasional, remota, extremadamente remota (Véase figura 23).

**Figura 23.** Fallas Esporádicas y Crónicas.



Fuente: Los Autores

- **Análisis de modo y sus efectos de falla.** En RCM se tiene varios métodos como FMECA, FMEA, AMFE, significan lo siguiente:
  - FMECA Análisis de la causa de falla, criticidad de los modos de fallo
  - FMEA Análisis de los modos y efectos de falla
  - AMFE Análisis modal de fallas y efecto de falla

La diferencia de un análisis FMECA con el AMFE es la calificación de la criticidad al modo de falla que se realiza en FMECA.

- **Modo de Falla:** Un modo de falla se refiere al efecto que produce la falla observada. Es cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso), la descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo. La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo apropiada.
- **¿Por qué analizar los modos de falla?:** Una máquina puede fallar por diversos motivos. Un grupo de máquinas o un sistema como una línea de producción puede fallar por cientos de razones. Para una planta entera, los números ascienden a miles, inclusive hasta decenas de miles.

La mayoría de los gerentes no se sienten muy cómodos al pensar en el tiempo y el esfuerzo involucrado en la identificación de todos estos modos de falla. Muchos deciden que este tipo de análisis es demasiado trabajoso, y abandonan la idea por completo. Pero cuando hacen esto, pasan por lo alto el hecho de que en el día a día el mantenimiento es realmente manejado al nivel de modo de falla. Por ejemplo:

- Las ordenes de trabajo ó pedidos de trabajo surgen para cubrir modos de falla específicos.
- El planteamiento del mantenimiento diario se realiza para tratar modos de falla específicos.
- En la mayoría de las empresas industriales el personal de mantenimiento y operaciones tiene reuniones cada día. Las reuniones casi siempre consisten en discusiones acerca de lo que ha fallado, qué las causó, quien es el responsable, que se está haciendo para reparar el problema y a veces, qué puede hacerse para prevenir que vuelva a suceder. Entonces casi toda la reunión se destina para hablar acerca de los modos de falla.

- Generalmente, los sistemas de registro de historia técnica registran modos de falla individuales (ó al menos qué fue hecho para rectificarlos).

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial
- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.

Las cinco causas principales cuando la capacidad es decreciente:

- Deterioro
  - Fallas de Lubricación
  - Polvo o suciedad
  - Desarme
  - Errores humanos que reducen la capacidad
  - Funcionamiento por encima de la capacidad inicial. Esto ocurre principalmente debido a cuatro razones:
    - Sobrecarga deliberada constante
    - Sobrecarga no intencional constante
    - Sobrecarga no intencional repentina
    - Procesamiento o material de empaque incorrecto.
- **Efectos de falla:** Los efectos de falla describen que pasa cuando ocurre una falla. La descripción de los efectos de falla debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla
- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente
- Las maneras (si las hubiera) en que afecta la producción o las operaciones.
- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.
- Que debe hacerse para reparar la falla.
- Fuentes de información acerca de Modos y efectos de falla.
- El fabricante o proveedor del equipo
- Listas genéricas de modos de falla
- Registros de antecedentes técnicos

**Tabla 8.** Hoja de identificación funciones, modo de falla y efectos de falla

HOJA DE INFORMACION RCM II © 1999 ALADON LLC		ELEMENTO	N°	Realizado por	Fecha	Hoja
		<i>Sistema de Almacenaje de Benceno</i>	<i>RCM 04S</i>			5
		COMPONENTE	Ref	Revisado por	Fecha	de
			<i>3ª Edición</i>			8
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTOS DE LAS FALLAS (¿Qué sucede cuando falla?)			
7	<p>A. Incapaz de detener el sistema de recuperación de benceno y hacer sonar una alarma cuando el nivel del tanque sobrepasa 42.000 litros</p> <p>B. Capaz de detener la recuperación de solvente pero no de hacer sonar una alarma cuando el tanque sobrepasa 42.000 litros</p>	<p>1. Interruptor de último alto nivel falla en posición cerrada</p> <p>1. Falla del circuito de alarma de último alto nivel</p>	<p>Este interruptor sólo es necesario si el interruptor de alto nivel falla. El sistema de recuperación de solvente continúa suministrando benceno. Esto hace que se llene completamente el tanque, causando que rebalse a través del ventilo al sistema de balanceo de vapor. Un interruptor flotante en el sistema de balanceo de vapor (analizado aparte) detecta el benceno líquido y detiene la planta recuperadora de solvente. Tiempo de parada para cambiar el interruptor de último alto nivel 2 horas</p> <p>Este circuito de alarma sólo es necesario si falla el interruptor de alto nivel. Si el circuito de alarma falla pero funciona el interruptor de último alto nivel, la planta recuperadora de solvente es detenida pero no es evidente inmediatamente por qué ocurrió esto. Esto significa que puede tomar más de cinco horas diagnosticar y reparar la falla de interruptor de alto nivel en lugar de tres horas. Toma tres horas reparar el circuito de alarma de último alto nivel</p>			
8	A. Incapaz de detener la bomba cuando para el flujo de benceno a través de los bujes del impulsor	1. Falla unidad de protección de funcionamiento en vacío	Si el flujo de benceno para y la protección de funcionamiento en vacío no funciona, la bomba comienza a recalentarse y la protección térmica apaga la bomba antes de que se vuelva peligrosamente caliente. Sin embargo, es factible que se dañen los bujes antes de que la unidad de alta temperatura tenga la oportunidad de apagar una bomba en vacío. Tiempo para reparar solamente la unidad de funcionamiento en vacío: alrededor de tres horas			
9	A. No detiene la bomba cuando los bujes del impulsor sobrepasan los 70°C	1. Falla la unidad de protección de alta temperatura	La unidad de protección de alta temperatura se necesita cuando el flujo de benceno disminuye tanto que puede calentarse hasta el punto de ebullición al atravesar los bujes. En este caso, el benceno se vaporizará y la unidad de funcionamiento en vacío apagará el sistema. Si la unidad de funcionamiento en vacío falla también en estas circunstancias, los bujes del impulsor se agorran y la sobrecarga del motor apaga al motor. Tiempo para reparar la unidad de alta temperatura: cuatro horas			
10	A. La presión sobrepasa 12 HPa	1. Válvula de alivio de presión del sistema de recuperación de vapor falla cerrada	En un día caluroso, el sistema puede sobrepresurizarse a tal punto que podría fisurarse algún punto débil, liberando benceno o vapor de benceno al medio ambiente. (El sistema de manejo del vapor se analiza aparte)			
	B. La presión baja a menos de -10 HPa	1. La válvula de control de presión del sistema de recuperación de vapor falla cerrada	Cuando la bomba de suministro es activada comienza a formarse vacío en el tanque, haciendo disminuir el caudal y finalmente deteniendo todo. La bomba comienza a cavitar y la unidad de funcionamiento en vacío la apaga. (El tanque mismo puede soportar la presión negativa que sería generada si esto sucede.) Se analiza aparte el sistema de manejo de vapor			
11	A. No se puede drenar el tanque completamente	1. Falta de grasa protectora en el vástago, permite que el vástago se corra por corrosión	La tubería de salida normal puede usarse para desagotar todo menos los últimos 200 litros de benceno (a través de la bomba, o si la bomba falló, por medio de un sifón). El drenaje es necesario para desagotar los últimos 200 litros, y esto sólo tiene que hacerse para llevar a cabo mantenimiento al tanque. Si la válvula de drenaje falla cerrada, el residuo debe ser bombeado afuera a través de la tapa de acceso y el tanque debe ser purgado. Este proceso completo lleva seis horas			

Fuente: ORTIZ P. Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga: Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2008. p. 126

### 3.3.6 Evaluación consecuencias de falla

La naturaleza y la gravedad de los efectos de la falla definen las consecuencias de la misma. En otras palabras, definen la manera en la que los dueños y los usuarios de los activos creerán que cada falla es importante. Los efectos de la falla describen que sucede cuando ocurre la falla, mientras las consecuencias describen cómo (y cuánto) importa. Entonces podemos decir, que si podemos reducir los efectos de una falla en términos de frecuencia ó severidad, estaremos reduciendo sus consecuencias. Si las consecuencias son serias, entonces se harán esfuerzos considerables para evitar, eliminar o minimizar sus consecuencias. Sobre todo si la falla puede afectar la integridad del ser humano, o si tiene efectos serios sobre el medio ambiente. Esto también es válido si las fallas interfieren con la producción o las operaciones, o si pueden causar daños secundarios significativos.

Por otro lado, si la falla solo tiene consecuencias menores, es posible que no se tome ninguna acción proactiva, y que la falla sea simplemente sea reparada una vez ocurra.

- **Funciones ocultas y evidentes:** Una función evidente es aquella cuya falla eventualmente e inevitablemente se hará evidente por si sola a los operadores en circunstancias normales. No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que produzca otra falla. Una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por si sola.

El primer paso en el proceso RCM es separar las funciones ocultas de las evidentes porque las ocultas necesitan de un manejo especial.

- **Categoría fallas evidentes:** Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías de importancia decreciente:
  - Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente
  - Consecuencias operacionales
  - Consecuencias no operacionales
  
- **Consecuencias de fallas ocultas:** fallas ocultas y dispositivos de seguridad.

La aparición de fallas ocultas por sí solo no resultan evidentes, dentro del proceso normal de desarrollo operacional, por lo que para poder identificar o reconocer las fallas ocultas, el grupo de trabajo deberá responder la siguiente cuestión:

- ¿Será la pérdida de función causada por este modo de fallo, por si mismo, ser evidente dentro de las operaciones bajo circunstancias normales? Si la respuesta a esta cuestión es no, el modo de fallo será oculto (no evidente), y si la respuesta es sí, el modo de fallo será evidente.
  
- Los dispositivos de seguridad que cumplen funciones de protección (ocultas) trabajan básicamente de la siguiente forma:
  - a. Alertan a los operadores ante condiciones anormales
  - b. Detienen el equipo en caso de falla
  - c. Eliminan o alivian las condiciones anormales que siguen a una falla y que de otra manera podrían causar daños más serios
  - d. Asumen el control de una función que ha fallado
  - e. Previenen que surjan situaciones peligrosas

En esencia, la función principal de los equipos de protección es asegurar que las consecuencias de fallos de función protegida sean mucho menos serias, dado el

caso de que esta no tuviera protección. Los equipos de protección, son en la mayoría de los casos, parte de un sistema, con al menos dos componentes:

- Equipo de protección
- La función protegida

De forma general, típicas funciones ocultas incluyen: Equipos de emergencia médica, la mayoría de los equipos de detección, combate y protección contra el fuego, los equipos de protección de sobrecarga, y sobre velocidad, los componentes de estructuras redundantes, los sistemas de emergencia de paradas y la mayoría de los equipos de generación de potencia de emergencia.

Rutinas de mantenimiento relacionadas con la prevención de fallas múltiples causados por fallas ocultas.

Uno de los caminos que puede minimizar los efectos de un fallo múltiple es tratar de disminuir la probabilidad de ocurrencia de las fallas ocultas, chequeando periódicamente si la función oculta está trabajando correctamente. La aplicación de estas tareas está orientada básicamente a equipos de protección y componentes de activos tales como circuitos eléctricos o instrumentos de control. El chequeo se debe realizar en condiciones de operación reales o bajo condiciones simuladas.

Pueden existir situaciones donde es imposible aplicar una tarea de búsqueda de fallos ocultos:

- Cuando la función oculta de un equipo de protección no puede ser chequeada sin destruir dicho equipo (como en el caso de fusibles de protección o discos de ruptura).

- Cuando es imposible acceder al equipo con funciones ocultas (problema relacionado con el diseño).
- Donde resulte sumamente peligroso simular las condiciones reales de operación del activo con funciones ocultas.

Finalmente cuando una tarea de búsqueda de fallos ocultos resulta ser no técnicamente factible, existen dos posibles acciones a ejecutar:

- Si el modo de fallo oculto puede generar fallo múltiple que afecte a la seguridad o al ambiente, el rediseño es obligatorio.
- Si el modo de fallo oculto genera un fallo múltiple que no afecta la seguridad y el medio ambiente es recomendable no realizar ninguna actividad de mantenimiento programada, y es posible pensar en un rediseño, si las consecuencias son económicamente muy costosas

### **3.3.7. Selección Actividades de mantenimiento**

Principalmente se conocen dos metodologías con RCM y RCM2.

- **Selección de actividades con RCM.**

- Análisis de Riesgo

**Riesgo: Es producto de la Severidad por la Ocurrencia**  
**Riesgo = (S) × (O).**

- **Ocurrencia:** valor asociado a la probabilidad que el modo de falla ocurre

VALORACIÓN DE LA OCURRENCIA	
4. Frecuente:	1 falla en un mes
3. Ocasional:	1 falla en el año
2. Remota:	1 falla en 5 años
1. Poco probable:	1 falla en 20 años

- **Severidad:** Es un indicador de que tan grave es la consecuencia. Se diseña para cada consecuencia probable

$$S = FOxK_{FO} + SFxK_{SF} + MAxK_{MA} + ICxK_{IC} + ORxK_{OR} + OCxK_{OC}$$

Los valores  $K_i$  son dados por la empresa de acuerdo a las políticas de la empresa (Véase tabla 9):

- FO Consecuencias asociadas a Fallas ocultas
- SF Consecuencias asociadas a Seguridad Física
- MA Consecuencias asociadas a Medio ambiente
- IC Consecuencias asociadas a imagen Corporativa
- OR Consecuencias asociadas operaciones de reparación
- OC Consecuencias asociadas a afectación de clientes

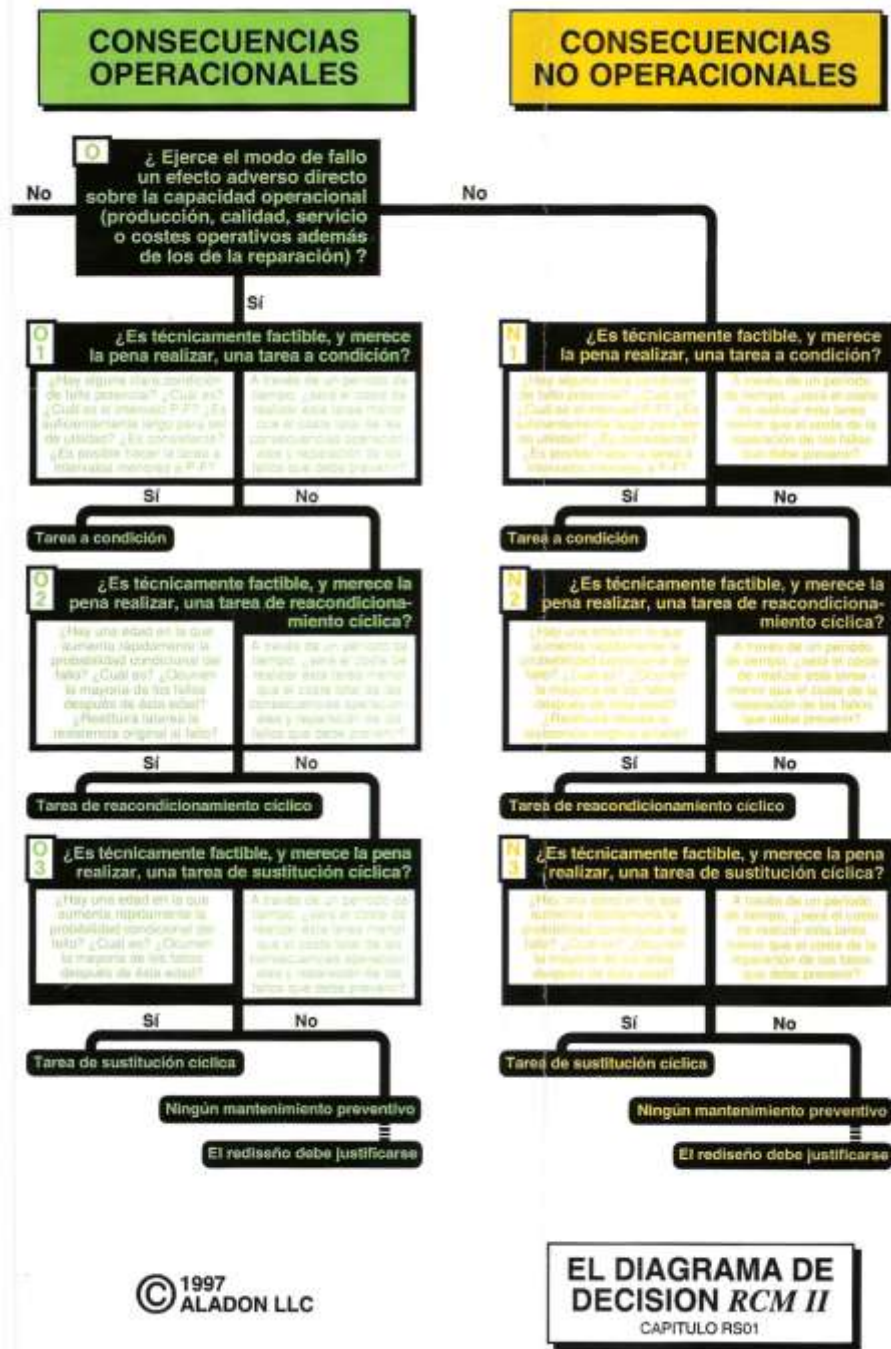


**Figura 24.** Consecuencias del fallo oculto y consecuencias para la seguridad o el medio ambiente.



Fuente: ORTIZ P. Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga: Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2008. p. 126

Figura 25. Consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales



Fuente: ORTIZ P. Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga: Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2008. p. 126



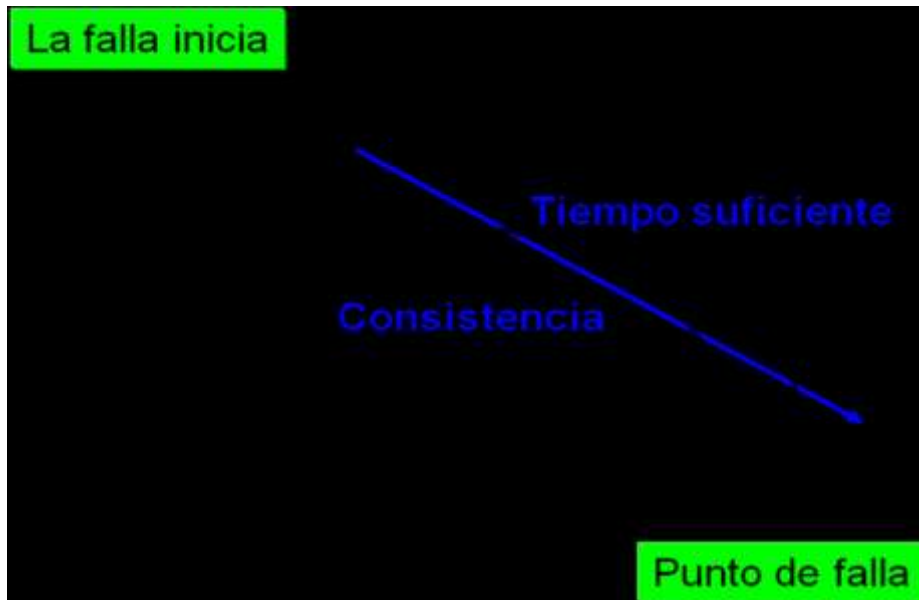
**Tabla 11. Hoja de trabajo RCM**

HOJA DE TRABAJO RCM														Equipo de trabajo:	Fecha de realización	
Componente														Abrobado por	Fecha de aprobación	
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1	Y	N	N	Y	N	N	N							
1	A	2	Y	N	N	N	N	N	N					No realizar mantenimiento preventivo		
1	A	3	Y	N	N	Y	N	N	N					No realizar mantenimiento preventivo		
1	A	4	Y	N	N	Y	Y							Comprobar el nivel de ruido del rodamiento del tornillo sin fin	Semanal	AAA
1	A	5	Y	N	N	N	N	N	N					No realizar mantenimiento preventivo		
1	A	6	Y	N	N	N	N	N	N					No realizar mantenimiento preventivo		
1	A	7	Y	N	N	Y	Y							Comprobar el nivel de ruido del rodamiento de la caja de engranajes	Semanal	AAA
1	A	8	Y	N	N	Y	Y							Comprobar el nivel de aceite de la caja de engranajes y reellenarla con XX90 si fuera necesario	Semanal	AAA
1	A	9												Analizar el sistema de suministro de energía separadamente		
1	A	10												Analizar el motor por separado		
1	B	1	Y	N	N	Y	Y							Use las células de carga del silo para probar la máxima capacidad del transportador, e informe si no puede conseguir 42 Ton/hr durante 15 min.	Cada 6 meses	OOO
1	B	2	Y	N	N	Y	Y							Compruebe escuchando si las correas en cuña del tornillo sin fin están golpeando a los lados de la defensa	Diaria	AAA
2	A	1	Y	N	N	N	N	N	N					No realizar mantenimiento preventivo		
2	A	2	Y	N	N	N	N	N	N					No realizar mantenimiento preventivo		
3	A	1	Y	Y			Y							Chequee la cubierta de la tolva del tornillo sin fin por si tiene indicios de corrosión	Cada 6 meses	EEE
3	A	2	Y	Y			N	Y						Reemplace las placas de la tolva del tornillo sin fin	Cada 2 años	EEE
4	A	1	Y	Y			Y							Com para 3A2 más arriba		
4	A	2	Y	Y			Y							Chequee si la cubierta del tornillo sin fin tiene agujero pequeños	Semanal	AAA

**3.3.8. Actividades Preventivas**

- Tareas programadas a condición:** Las actividades programadas en base a condición (predictivas), se basan en el hecho de que la mayoría de los modos de fallo no ocurren instantáneamente, si no que se desarrollan progresivamente en un periodo de tiempo. Si la evidencia de este tipo de modo de fallos puede ser detectada bajo condiciones normales de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en base a la condición del activo que ayuden a prevenir este modo de fallo y/o eliminar sus consecuencias. Este tipo de fallo se denomina fallo Potencial se define como una condición física identificable la cual indica que una falla funcional está a punto de suceder ó que ya está ocurriendo dentro del proceso (Véase figura 26).

**Figura 26.** Fallo potencial



Fuente: autores

- **Tarea de Reacondicionamiento:** Son aquellas actividades de prevención realizadas a los activos (en la mayoría de los casos activos mayores) a un intervalo de frecuencia menor al límite operativo de la vida del activo, en función del análisis de sus funciones en el tiempo. Las tareas de restauración programadas son conocidas como “overhauls”.
- **Tarea de sustitución:** Este tipo de actividad preventiva está orientada específicamente hacia el remplazo de componentes o partes usadas de un activo, por nuevos, a un intervalo de tiempo menor al de la vida útil antes de que fallen.
- **Tareas de búsqueda de fallos ocultos:** Consisten en acciones de chequeo a los fallos ocultos de los activos con funciones ocultas, a intervalos regulares de tiempo, con el fin de detectar si las funciones ocultas funcionan correctamente, ó están en estado de fallo.

- **Tareas correctivas:** Las actividades que se ejecutan en caso que las actividades de prevención no son efectivas:
  - Rediseño en caso que las actividades de prevención no ayudan a reducir los modos de fallo que afecten la seguridad, el medio ambiente, la operación, es necesario hacer un rediseño que minimice ó elimine las consecuencias de los modos de fallo.
  - Actividades de mantenimiento no programado en el caso que no se consigan actividades de prevención económicamente más baratas que los posibles efectos de los modos de fallo, se podrá tomar la decisión de esperar que ocurra el fallo.

## **4. PROPUESTA IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN LA PLANTA DE LAMINACIÓN**

Es una estrategia que se plantea como resultado del análisis DOFA

### **4.1. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DONDE SE PROPONE APLICAR LA TÁTICA DE RCM**

Resultado análisis de la criticidad de los equipos de Laminación y de la estadística de fallas por equipo.

#### **4.1.1. Estudio de criticidad**

Los equipos más críticos del tren de laminación de acuerdo a los factores considerados impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento, seguridad, ambiente e higiene, frecuencia de fallas son (Véase tabla 12):

**Tabla 12.** Evaluación criticidad equipos asociados al tren de laminación DIACO – MUÑA

ITEM	EQUIPO Y MODO DE FALLA	DESCRIPCION	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA CRITICIDAD
14	ARRASTRE 320 Y FORMADOR DE ESPIRAS	Caja reductora arrastre	10	4	2	1	4	43	172	C
		Motor dc maquina arrastre	10	2	2	1	4	23	92	C
		CONVERTIDOR ARRASTRE 320	10	2	2	1	4	23	92	C
		Encoder Motor Arrastre	10	4	1	2	2	43	86	C
		Electroválvula	10	4	1	2	2	43	86	C
		CONTROL VELOCIDAD ARRASTRE	10	4	2	3	4	45	180	C
		CONVERTIDOR MOTOR FORMADORA	10	2	2	7	4	29	116	C
		Motor dc maquina formadora de espiras	10	2	2	7	4	29	116	C
		Encoder Motor Maquina Formadora	10	4	1	2	2	43	86	C
		Reductor cambio de perfil formadora	10	2	2	7	4	29	116	C
		Centralita cajas arrastre y formadora	10	2	2	3	4	25	100	C
		Moto-bomba centralita cajas arrastre y formadora	10	2	2	3	4	25	100	C
		Electroválvula	10	4	1	2	2	43	86	C
		Sistema de soplado	7	2	1	7	2	22	44	MC
Cabina Control.	10	2	1	7	2	28	56	MC		
15	CABINA CENTRAL DE LAMINACION	TABLERO SISTEMA ATHENA CONTROL VELOCIDAD	10	4	2	3	1	45	45	C
		TABLERO G3A CONTROL FLECHA BUCLEADORES	10	2	1	3	1	24	24	NC
16	CABINA CENTRAL DE LAMINACION	PUPITRE DE CONTROL G3 CAJAS	10	2	1	3	1	24	24	NC
		MAGELIS ALARMAS Y TIEMPO ARRASTRE	10	2	2	1	1	23	23	NC
		MANIPULADOR EN TANDEM	10	2	1	3	2	24	48	MC
		MANIPULADOR PARA SOLO	10	2	1	3	2	24	48	MC
		INDICADOR VELOCIDAD	10	4	1	3	2	44	88	C
		INDICADOR REFERENCIA	10	4	1	3	2	44	88	C
		PANEL ALARMAS TREN 360	7	2	1	3	2	18	36	NC

Fuente: los autores

**Tabla 13.** Evaluación criticidad equipos asociados al tren de laminación DIACO – MUÑA (Parte 1)

EVALUACION CRITICIDAD EQUIPOS ASOCIADOS AL TREN DE LAMINACIÓN DIACO-MUÑA										
ITEM	EQUIPO Y MODO DE FALLA	DESCRIPCION	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA CRITICIDAD
10. BUCLEADORES TRENES DE LAMINACIÓN	BUCLEADOR 1	Cilindro Neumático	10	2	1	7	4	28	112	C
		Detector Bucle	10	2	1	1	4	22	88	C
		Unidad de Mantenimiento Neumático	10	2	1	7	2	28	56	MC
		Rodillos Entrada y Salida	7	2	1	7	4	22	88	C
		Guarda	4	1	1	1	1	6	6	NC
		Fotocelda	10	2	1	7	3	28	84	MC
	BUCLEADOR 2	Cilindro Neumático	10	2	1	7	4	28	112	C
		Detector Bucle	10	2	1	1	4	22	88	C
		Unidad de Mantenimiento Neumático	10	2	1	7	2	28	56	MC
		Rodillos Entrada y Salida	7	2	1	7	4	22	88	C
		Guarda	4	1	1	1	1	6	6	NC
		Fotocelda	10	2	1	7	3	28	84	MC
	BUCLEADOR 3	Cilindro Neumático	10	2	1	7	4	28	112	C
		Detector Bucle	10	2	1	1	4	22	88	C
		Unidad de Mantenimiento Neumático	10	2	1	7	2	28	56	MC
		Rodillos Entrada y Salida	7	2	1	7	4	22	88	C
		Guarda	4	1	1	1	1	6	6	NC
		Fotocelda	10	2	1	7	3	28	84	MC
	BUCLEADOR 4	Cilindro Neumático	10	2	1	7	4	28	112	C
		Detector Bucle	10	2	1	1	4	22	88	C
		Unidad de Mantenimiento Neumático	10	2	1	7	2	28	56	MC
		Rodillos Entrada y Salida	7	2	1	7	4	22	88	C
		Guarda	4	1	1	1	1	6	6	NC
		Fotocelda	10	2	1	7	3	28	84	MC
	BUCLEADOR 5	Cilindro Neumático	10	2	1	7	4	28	112	C
		Detector Bucle	10	2	1	1	4	22	88	C
		Unidad de Mantenimiento Neumático	10	2	1	7	2	28	56	MC
		Rodillos Entrada y Salida	7	2	1	7	4	22	88	C
Guarda		4	1	1	1	1	6	6	NC	
Fotocelda		10	2	1	7	3	28	84	MC	

Fuente: Los autores

Tabla 13. (Parte 2)

EVALUACION CRITICIDAD EQUIPOS ASOCIADOS AL TREN DE LAMINACIÓN DIACO-MUÑA										
ITEM	EQUIPO Y MODO DE FALLA	DESCRIPCION	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA CRITICIDAD
	BUCLEADOR 6	Cilindro Neumático	10	2	1	7	4	28	112	C
		Detector Bucle	10	2	1	1	4	22	88	C
		Unidad de Mantenimiento Neumático	10	2	1	7	2	28	56	MC
		Rodillos Entrada y Salida	7	2	1	7	4	22	88	C
		Guarda	4	1	1	1	1	6	6	NC
		Fotocelda	10	2	1	7	3	28	84	MC
	BUCLEADOR 7	Cilindro Neumático	10	2	1	7	4	28	112	C
		Detector Bucle	10	2	1	1	4	22	88	C
		Unidad de Mantenimiento Neumático	10	2	1	7	2	28	56	MC
		Rodillos Entrada y Salida	7	2	1	7	4	22	88	C
		Guarda	4	1	1	1	1	6	6	NC
		Fotocelda	10	2	1	7	3	28	84	MC
	BUCLEADOR 8	Cilindro Neumático	10	2	1	7	4	28	112	C
		Detector Bucle	10	2	1	1	4	22	88	C
		Unidad de Mantenimiento Neumático	10	2	1	7	2	28	56	MC
		Guarda	4	1	1	1	1	6	6	NC

Fuente: los autores

Tabla 13. (Parte 3)

ITEM	EQUIPO Y MODO DE FALLA	DESCRIPCION	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	FRECUENCIA DE FALLAS	CONSECUENCIAS	CRITICIDAD TOTAL	CATEGORIA CRITICIDAD
4	TREN 510	Motor bomba #1 lado occidental central 510	10	2	1	1	4	22	88	C
		Bomba #1 lado occidental central 510	10	2	1	1	4	22	88	C
		Motor bomba #2 lado oriental central 510	10	2	1	1	4	22	88	C
		Bomba #2 lado oriental central 510	10	2	1	1	4	22	88	C
		BASTIDOR DEL TREN	10	4	2	3	1	45	45	C
		CABINA DE CONTROL	10	2	1	3	2	24	48	MC
		Camino rodillos mesa basculante tren 510	10	4	2	1	4	43	172	C
		Cilindro mesa basculante t510 - lado occidental	10	4	2	1	4	43	172	C
		Cilindro mesa basculante t510 - lado oriental	10	4	2	1	4	43	172	C
		Tanque de Aceite Central Mesa Basculante	10	2	1	1	4	22	88	C
		Motor bomba # 3 centralita mesa basculante	10	2	1	1	4	22	88	C
		Motor bomba # 2 centralita mesa basculante	10	2	1	1	4	22	88	C
		Motor bomba #1 lado norte centralita mesa basculante	10	2	1	1	4	22	88	C
		MESA BASCULANTE	10	4	2	1	4	43	172	C
		Motor #1 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #2 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #3 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #4 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #5 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #6 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #7 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #8 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #9 mesa basculante	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Mesa final de rodillos salida tren 510	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #10 mesa final salida tren 510	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #11 mesa final salida tren 510	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #12 mesa final salida tren 510	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #13 mesa final salida tren 510	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor #14 mesa final salida tren 510	7	2	1	1	3	16	48	MC
		Motor bomba #1 alberca 510	10	2	2	3	4	25	100	C
		Motor bomba #2 alberca 510	10	2	2	3	4	25	100	C
		Motor bomba #3 alberca 510	10	2	2	3	4	25	100	C
		Bomba 1 alberca tren 510	10	2	2	3	4	25	100	C
		Bomba 2 alberca tren 510	10	2	2	3	4	25	100	C
		Bomba 3 alberca tren 510	10	2	2	3	4	25	100	C
		Control de Nivel Alberca tren 510	7	2	1	1	4	16	64	MC

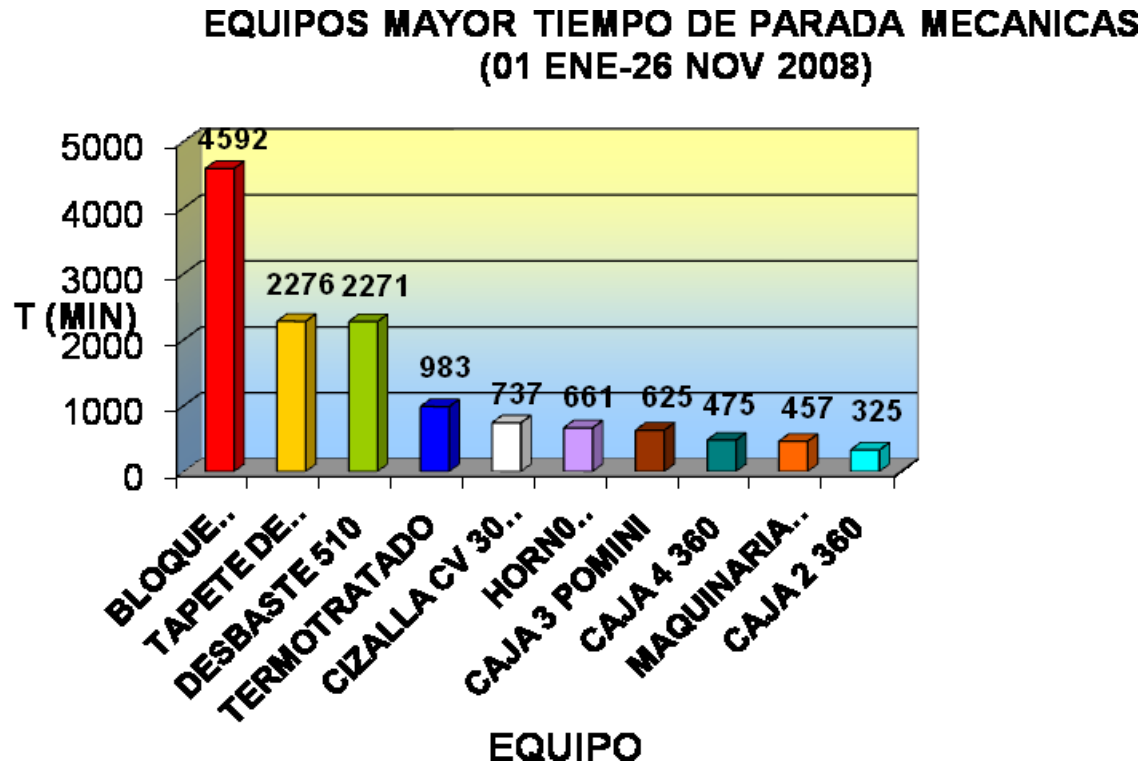
#### 4.1.2. Estadística de falla de los equipos año 2007-2008

Tabla 14. Estadística Fallas Mecánicas

Suma de Total	FALLA																				Total
EQUIPO	ALTA TEMP. ACEITE	BAJA PRESION	BAJA PRESION ACEITE	BAJA TEMP. ACEITE	BAJO NIVEL ACEITE	DANO	DANO RODAMIENTO	DESACOPLE	DESAJUSTE	DESALINEADO	DESCALIBRADO	DESGASTE	ESCAPE ACEITE	ESCAPE AGUA	ESCAPE AIRE	FALTA DE LUBRICACION	FILTROS TAPADOS	FRENADO	ROTURA	TAPADO (A)	Total
ARRASTRE DANIELLI					20		40		10						48				20		78
ARRASTRE TRO 320				25	90	513			10			39							10		119
BLOQUE ACABADOR	147	210	20						1708	120		285					140		1329	5	4592
BUCLEADOR 1									10						8				30		48
BUCLEADOR 2									15						12						27
BUCLEADOR 3									15										40	15	70
BUCLEADOR 4						15			70			20							32		137
BUCLEADOR 5									70			52			35				25		112
CAJA 1 POMINI		15		40	55		20		75				10							15	230
CAJA 2 360		75							30			110	10				30		70		325
CAJA 2 POMINI		29			155																184
CAJA 3 POMINI									25			570							30		625
CAJA 4 360		35			55				105				5				190		85		475
CAJA 4 POMINI				40									40								80
CAJA 7 280					35														116		151
CAJA 9 260									65							75					140
CARGADOR 950													66						16		82
CIZALLA CV 30 NORTE											30	427			155				125		737
CIZALLA CV 30 SUR																			30		30
CIZALLA CV 50											10	110					15				135
COMPRESOR SULLAIR		115											50						30	104	299
COMPRESOR WORTINGTON 2																				10	10
DESBASTE 510		95				52			363	85		50	169	45	10	40			877	485	2271
GRUA 0 CARGUE																			150		150
HORNO CALENTAMIENTO						25		15	45			38	82	40				132	284		661
MAQUINARIA GENERAL		234												127					55	41	457
TAPETE DE ENFRIAMIENTO		15				10	46		147			170	234						1545	109	2276
TERMOTRATADO		15				246			357					345					20		983
<b>Total</b>	<b>147</b>	<b>838</b>	<b>20</b>	<b>105</b>	<b>410</b>	<b>861</b>	<b>106</b>	<b>15</b>	<b>3050</b>	<b>205</b>	<b>40</b>	<b>1871</b>	<b>666</b>	<b>557</b>	<b>268</b>	<b>115</b>	<b>375</b>	<b>132</b>	<b>4919</b>	<b>784</b>	<b>15484</b>

Fuente: Los Autores

Figura 27. Equipos mayor tiempo de parada mecánicas



Fuente: Los Autores

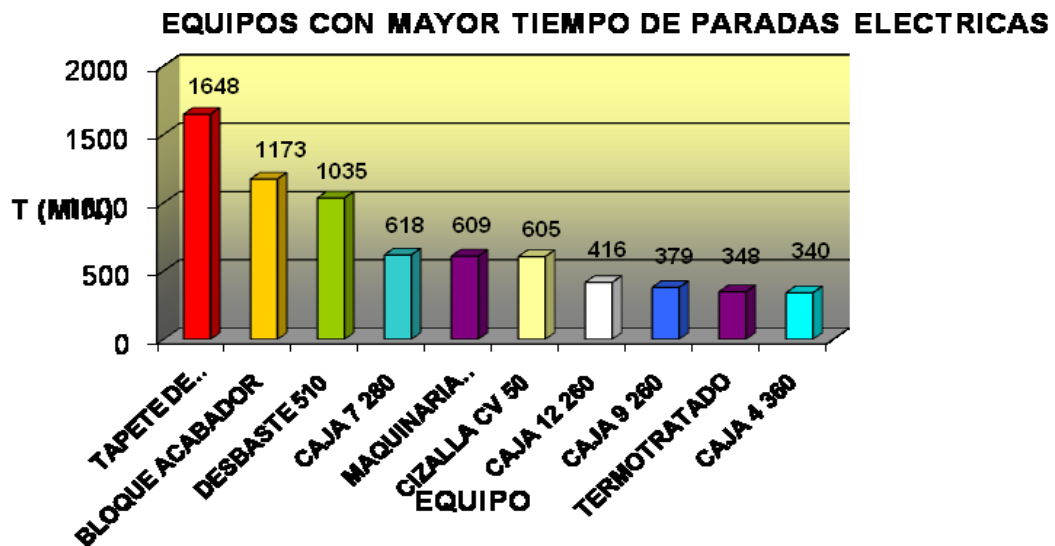
Tabla 15. Estadística Fallas Eléctricas

EQUIPO	FALLAS																Total										
	ASLAMIENTO DEFICIENTE	AJUSTE DE TIEMPOS	AJUSTE TIEMPOS	ALTA TEMPERATURA ACEITE	APAGADO	ATERRIZADO	ATERRIZADO	CAIDA DE TENSION	CORTO CIRCUITO	DANO	DANO BREAKER	DANO FLOTADOR	DANO SWITCH	DANO ZAPATAS	DESAJUSTE	DESCALIBRADO		DESCONECTADO	DISPARO	FALLA	LINCA ABIERTA	PERDIDA DE SENAL	ROTURA	SOBRECARGA			
ARRASTRE DANIELLI																								15	80		
ARRASTRE TRO 320																									10	87	
BLOQUE ACABADOR	22							134	40			25			114	336	242				171	40		90	1173		
BUCLEADOR 2		15																								30	
BUCLEADOR 4																					20					20	
BUCLEADOR 5																					68					68	
BUCLEADOR 6																					78					78	
BUCLEADOR 7																					30					30	
BUCLEADOR 8		20																			48					68	
CAJA 1 POMINI										20														110	140		
CAJA 10 260										20															20	40	
CAJA 11 260								45								10						237			20	312	
CAJA 12 260										255						92	10	25		20					14	416	
CAJA 2 360																								10	10		
CAJA 2 POMINI																									106		
CAJA 3 POMINI										15		50			5	10					70	20				170	
CAJA 4 360				15				15												110						340	
CAJA 4 POMINI																										105	
CAJA 5 280										114															25	20	265
CAJA 6 280										84															35	119	
CAJA 7 280										299										50					15	618	
CAJA 8 280										155															27	267	
CAJA 9 260										170															94	379	
CARGADOR CASE										59																59	
CIZALLA CV 30 NORTE																										180	
CIZALLA CV 30 SUR																										5	
CIZALLA CV 50																										605	
DESBASTE 510										370					190		5			225	160			25		1035	
GRUA 0 CARGUE																				30	40	291	35			20	
GRUA 1													15													195	
GRUA 1 CARGUE																										30	
GRUA 2																										165	
HORNO CALENTAMIENTO										14					2											71	
MAQUINARIA GENERAL										135	14															609	
TAPETE DE ENFRIAMIENTO			36							164																1648	
TERMOTRATADO					10					30																348	
Total	22	35	36	15	10	35	30	385	269	2204	14	50	25	15	584	308	1294	1759	30	445	1479	481	376		9891		

Fuente:

autores

Figura 28. Equipos con mayor tiempo de paradas eléctricas



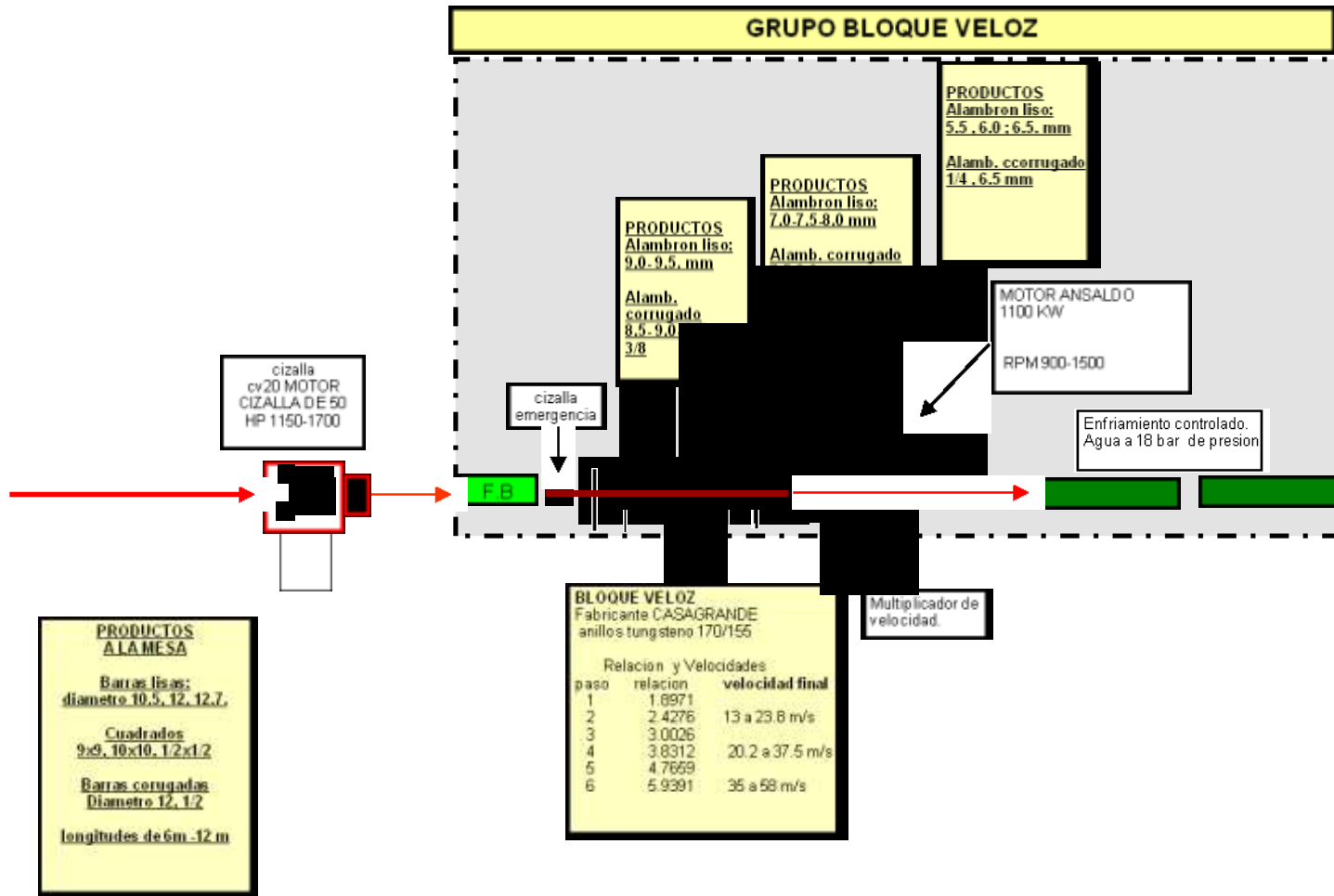
Fuente: Los Autores

#### 4.2. DESCRIPCIÓN CONTEXTO OPERACIONAL BLOQUE VELOZ

El sistema del Bloque veloz es el equipo más crítico de la planta, su función primaria es la de dar la terminación, y el ajuste de dimensión final al material en proceso está integrado por los siguientes sub equipos (Véase figura 27):

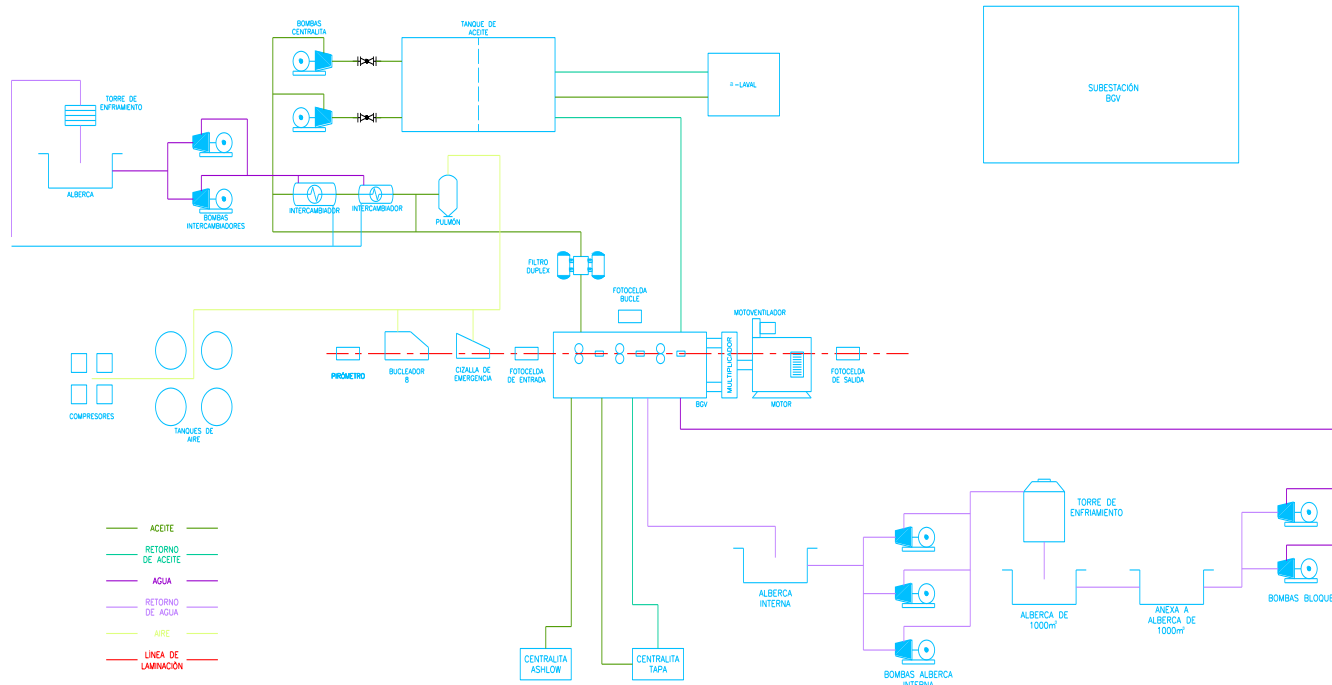
- Grupo mandrinos: son seis módulos
- Multiplicador
- Central lubricación mandrinos
- Sistema refrigeración
- Sistema refrigeración aceite
- Motor
- Bucleador entrada

Figura 29. Grupo bloque veloz



Fuente: Los autores

**Figura 30. Diagrama sistema bloque veloz**



Fuente: Los autores

#### 4.2.1. RCM Bucleador No 8 entrada bloque veloz

- **FUNCIÓN PRIMARIA:** Formar bucle para aliviar tensiones entre las cajas laminadoras el radio del bucle debe estar entre 10 y 50 cms. El Bucleador está integrado por:
  - Detector de Bucle
  - Cilindro neumático
  - Unidad de mantenimiento
  - Electrovalvula
  - Conjunto rodillos y balancín
- **FUNCIÓN SECUNDARIA:** Guiar y contener el material en el proceso de laminado (Véase tabla 17)

.

**Tabla 16. AMFE BUCLEADOR No 8**

HOJA DE TRABAJO RCM						
Equipo: BUCLEADORES		Equipo de trabajo:		Fecha de realización		
Componente		Aprobado por		Fecha de aprobación		
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODOS DE FALLA (Causa de la Falla)	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
1	Formar el bucle estable para alivio de tensiones entre cajas laminadoras. - Radio del bucle 10 - 50cm. - Las medidas de la barra estan entre 5.5 a 40mm. - Temperatura de la barra: > a 800 ° C. - La presión de trabajo del actuador debe estar entre 60 y 80 psi. - El lente del detector de bucle debe estar limpio. - El Detector de bucle debe estar correctamente alineado. - Temperatura del detector entre: 0 - 40° C.	1A	Incapaz de formar el bucle.	1A1	La temperatura esta por debajo de 800 ° C	El rango de detección del fotodetector es 750 a 1200° C. Si la temperatura de la barra esta por debajo entonces no detecta y menos envia señal de posición de esta al sistema de control. Se debe inspeccionar la temperatura de la barra cuando sale del horno.
				1A2	Falla de Tension Electrica al Detector.	24 VDC es la tensión de trabajo del fotodetector y cuando no esta presente el detector no detecta(para elevar el actuador neumatico y activar el sistema de regulacion que sigue a la señal de posición enviada). En la cabina se cae la señal de 100% (10 v) cuando no hay barra. Si no hace bucle puede haber demasiada tensión mecánica entre cajas y salirse la barra del tren y producir daños serios a los equipos.
				1A3	Suciedad o empañamiento en el lente.	Si el lente esta sucio o sufre de condensación interna produce una detección inapropiada o simplemente no detecta.
				1A4	Campo de detección obstruido.	Debido a que el ángulo de observación del detector es de 45°, entonces el barrido vertical a 1m es de 80 cms y el horizontal de 40 mm. Cualquier elemento de mas de 30mm en la rendija obstaculiza la observación del detector y este no detecta y no envia señal de posición.
				1A5	Detector desalineado.	Debido a que el ángulo de observación del detector es de 45°, entonces el barrido vertical a 1m es de 80 cms y el horizontal de 40 mm. Si la caja donde se aloja el detector esta desalineada obstaculiza la observación del detector y este no detecta y no envia señal de posición.
				1A6	Detector defectuoso.	Falla en la detección entonces no habilita el actuador neumatico elevador de bucle y el sistema de regulacion que espera la señal de posición de la barra que es un transmisor de 4-20 mA / 0 a 10V.
				1A7	Diametro inferior a 5mm.	Si la barra esta con un diametro menor a 5 mm a 1 metro de distancia esta no es detectada. El rango de diametro para la detección es de 4.5 mm en adelante.
	- Debe evitarse distorsiones por luz externa al detector. - Debe evitarse obstrucciones físicas para en el area de detección del bucleador. - Debe evitarse formación de vapor en el area.	1B	Incapaz de formar un Bucle estable.	1B1	Suciedad o empañamiento dentro del detector.	Si el lente esta sucio o sufre de condensación interna produce una detección inapropiada o simplemente no detecta.
				1B2	La presión neumatica esta por debajo de 60 psi.	Con la presión neumatica inferior a 60 PSI el actuador neumatico elevador inicial del bucle no acciona después de la detección y dificulta la estabilidad del bucle.
				1B3	Luz externa incidiendo en el detector.	Los rayos del sol e iluminación externa hace que el fotodetector envíe errores y transmisión incorrectas de posición produciendo inestabilidades en el bucle.
				1B4	Temperatura detector: > 40° C.	Esta temperatura es la máxima permisible por el fotodetector y empieza a errar en la detección o simplemente hacer detección sin barra presente.
				1B5	Presencia de vapor dentro del bucleador	Poco agua de refrigeración en la caja laminadora hace que se produzca vapor excesivo y esto produce errores de detección o simplemente no detectar la barra y producir una parada.
				1B6	Demasiada agua de refrigeración que obstaculiza la detección correcta	Demasiada agua de refrigeración de las cajas produce obstaculización del campo de observación del fotodetector y fallar con intermitencia en la señal.
				1B7	Falla en el sistema de regulacion final.	Aunque el bucleador este bien la falla esta posterior a este, pero esta fuera de limite de esta hoja de información.

Fuente: Los autores

Tabla 17. Aplicación hoja de decisión RCM2

HOJA DE TRABAJO RCM																
Equipo										Equipo de trabajo:		Fecha de realización				
Componente										Abroado por:		Fecha de aprobación				
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...
F	FF	MF	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4				
1	A	1A1	Y	N	N	Y	Y							Inspeccionar la temperatura de las barras al entrar al tren continuo. Temperatura > 1000° C	C/H	Operador T-510
1	A	1A2	Y	N	N	Y	Y							Inspeccion a fusibles y cableado de potencia hacia los bucleadores.	Mensual	Carlos Martinez
1	A	1A3	Y	N	N	Y	Y							Realizar limpieza a lente y verificar ventilador de refrigeracion y limpieza de lente.	Diario	Electronico Turno
1	A	1A4	Y	N	N	Y	Y							Realizar inspeccion a los bucleadores en el momento de inspeccion del tren.	Inicio de turno	Operador Tren Continuo
1	A	1A5	N				Y							Realizar inspeccion y ajustar la alineacion del bucleador en la linea entre cajas.	Quincenalmente	Mantenimiento
1	A	1A6	N				Y							Realizar pruebas de funcionamiento: En los terminales G y E se aplica tension y activa el sistema interno de rayos infrarojos para prueba. Esto nos permite verificar el funcionamiento correcto de los dispositivos optoelectronicos y de las conexiones entre el fotodetector y el sistema de regulacion al cual este esta conectado. Una tarea para realizar a futuro es automatizar esta accion y se puede realizar con mas frecuencia y en menos tiempo sin intervencion de Tecnico.	Trimestralmente	Electronicos
1	A	1A7	Y	N	N	Y	Y							Inspeccion al tren en los rodillos	Inicio de turno	Operador Tren Continuo
1	A	1B1	Y	N	N	Y	Y							Realizar limpieza a lente y verificar ventilador.	Diario	Electronico Turno
1	B	1B2	Y	N	N	Y	Y							Inspeccionar presiones y unidades de servicio en los 8 bucleadores	Inicio de turno	Operador Tren Continuo
1	B	1B3	N				N	Y						Modificar la caja del bucleador y reemplazarla cada año para evitar filtracion de luz externa.	anualmente	Mantenimiento Operativo
1	B	1B4	N	Y			Y							Realizar limpieza a lente y verificar ventilador de refrigeracion y limpieza de lente.	Diario	Electronico Turno
1	B	1B5	Y	N	N	Y								Realizar inspeccion a la refrigeracion de los trenes, el agua a cada caja y hacer ajuste cuando se ve formacion de vapor.	Cuando sea necesario	Operador Tren Continuo
1	B	1B6	Y	N	N	Y								1B5	Cuando sea necesario	Operador Tren Continuo
1	B	1B7	N				Y							Verificar las tareas de esta area . Sistema de Regulacion.	Semestralmente	Mantenimiento Electronico.

Fuente: Los autores

#### 4.2.2. RCM Grupo Mandrinos

- **FUNCIÓN PRIMARIA:** Fijar los anillos de laminación para el laminado del material en proceso, para que cumpla con la norma de fabricación, acopla con el modulo de transmisión.
- **FUNCIÓN SECUNDARIA:** Acopla con el modulo de transmisión para la transmisión del movimiento de los anillos (Véase tabla 20,21).

**Tabla 18.** Hoja de trabajo RCM grupo Mandrino (Parte 1)

HOJA DE TRABAJO RCM							
Equipo: BLOQUE VELOZ				Equipo de trabajo:		Fecha de realización	
Componente MANDRINOS				Abrobado por		Fecha de aprobación	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)	
1	FIJAR ANILLOS DE LAMINACION PARA EL LAMINADO DEL MATERIAL EN PROCESO.PARA QUE CUMPLA CON LA NORMA DE FABRICACION.ACOPLA CON EL MODULO DE TRANSMISION	1A	PROCESO DE LAMINADO CON MATERIAL FUERA DE NORMA	1A1	MANDRINO ABIERTO.	INESTABILIDAD DEL MATERIAL AL PASAR POR EL BLOQUE, EL MATERIAL NO CUMPLE CON LAS MEDIDAS DE NORMA.	
				1A2	DESCENTRE DE CANALES	DAÑO PLATO DISTANCIADOR.	
				1A3	MANDRINO CERRADO	CONSUMO DE CORRIENTE ELEVADO, FORMA BUCLE, EL MATERIAL NO CUMPLE CON LAS MEDIDAS DE NORMA	
				1A4	DAÑO BABBITS	CARACTERISTICAS FISICAS DEL BABBIT	
				1A5	JUEGO AXIAL MANDRINOS	MATERIAL FUERA DE NORMA, DESAJUSTE	
				1A6	DAÑO BUSSOLAS	MATERIAL FUERA DE NORMA, RECALENTAMIENTO EJE,DESTRUCCION BUSSOLA	
		1B	MANDRINO DETIENE EL PROCESO DE LAMINACION.	1B1	BUSSOLA SUELTA	DAÑO CONO EJE, DAÑO ESTRIADO EJE, SE PRODUCE ENCHIPADA	
				1B2	DAÑO BABBITS	RECALENTAMIENTO MANDRINO	
				1B3	DESAJUSTE SELLOS	FUGA DE ACEITE	
				1B4	BAJA PRESION DE AGUA	ROTURA DE ANILLOS	
		1B5	ROTURA MANDRINO	ALTA VIBRACION			
		1B6	EJES DESALINEADOS	ENCHIPA BARRA			
		1B8					

Fuente: los autores

Tabla 18. (Parte 2)

HOJA DE TRABAJO RCM

Equipo										Equipo de trabajo:			Fecha de realización		
Componente										Abrobado por			Fecha de aprobación		
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	H4	H5	S4			
1	A	1A1	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar armado de Mandrino de acuerdo a estandar	Diario	Mecanico mandrinos
1	A	1A2	N	N	N	Y	N	N	Y				Verificar alineacion canales en el momento del montaje	NA	Operador Tren Continuo
1	A	1A3	N	N	N	Y	N	N	Y				Verificar calibración abertura mandrino	Diario	Operador Tren Continuo
1	A	1A4	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar rediseño babbit, consultar con fabricante	NA	Mantenimiento
1	A	1A5	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar armado de mandrino de acuerdo a estandar y realizar	Diario	Mantenimiento
1	A	1A6	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar rediseño BOSSOLA, consultar con fabricante	NA	Mantenimiento
1	A	1B1	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar armado de Mandrino de acuerdo a estandar	Diario	Mecanico mandrinos
1	B	1B2	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar rediseño babbit, consultar con fabricante	NA	Mantenimiento
1	B	1B3	N	N	Y	Y	Y	N	Y				Realizar rediseño sellos, consultar con fabricante,Realizar inspección fugas de aceite en el bloque	Diario	Mantenimiento
1	B	1B4	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar rutina de mantenimiento preventivo a sistema bombas refrigeración bloque.	Diario	Mecanico de turno
1	B	1B5	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar tarea a condición, realizar inspección de vibracióni de acuerdo a rutina establecida.	Quincenal	Tecnico de predictivo
1	B	1B6	Y	N	N	Y	N	N	N				Realizar tare a condición inspección alineación canales anillos con el material	Una vez por turno	Operador Tren Continuo

Fuente: Los autores

#### 4.2.3. RCM Central de lubricación bloque veloz

- **FUNCIÓN PRIMARIA:** Suministrar la lubricación a todos los componentes del bloque veloz módulos mandrinos, multiplicador, a una presión entre 4, 2 a 6 bares a una temperatura mínima de 35°C a 40°C máxima. La central está integrada por los siguientes equipos:
  - Tanque de aceite con capacidad de 10000 galones de aceite
  - Filtro 1
  - Filtro 2
  - Motor de 30 kw bomba 1
  - Motor de 30 kw bomba 2
  - Bomba 1
  - Bomba 2
  - Intercambiador refrigeración aceite
  - Tanque Oleoneumático de emergencia
  - Maquina filtro prensa de aceite
  - Sensores de flujo y presión
  - Tablero resistencias y control temperatura aceite
  - Tablero arrancadores bombas
- **FUNCIÓN SECUNDARIA:** Suministrar Lubricación, en caso de un corte de energía durante un tiempo mientras para el equipo (Véase tabla 21).

**Tabla 19.** Hoja de trabajo RCM Central de lubricación bloque veloz (Parte 1)

HOJA DE TRABAJO RCM						
Equipo: BLOQUE VELOZ			Equipo de trabajo:			Fecha de realización
Componente CENTRAL LUBRICACION			Abroado por			Fecha de aprobación
C.F.	FUNCION	C.F.F.	FALLA DE FUNCION	C.M.F.	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
1	SUMINISTRAR LA LUBRICACION A TODOS LOS COMPONENTES DEL BLOQUE VELOZ MÓDULOS, MANDRINOS, MULTIPLICADOR A UNA PRESIÓN ENTRE 4,2 A 6 BARES A UNA TEMPERATURA MINIMA DE 35oC A 40 0C MÁXIMA.	1A	LA PRESION SE CAE POR DEBAJO DE LOS 4,2 BARES	1A1	PERDIDA EFICIENCIA BOMBA	DESGASTE ENGRANAJES Y PALETAS, LA BOMBA NO ALCANZA LA PRESIÓN DE TRABAJO
				1A2	FILTRO SATURADO	EL DIFERENCIAL DE PRESION INDICA FILTRO TAPADO
				1A3	FUGA DE ACEITE	ESCAPE DE ACEITE EN LA TUBERIA, VALVULAS
				1A4	DAÑO VALVULA REGULADORA DE CAUDAL	DESGASTE DE LA VALVULA AL VARIAR SU POSICIÓN NO VARIA LAPRESIÓN
				1A5	DAÑO MOTOR BOMBA	DISPARO PROTECCIÓN TERMOMAGNÉTICA, CALENTAMIENTO ANORMAL ESTATOR, DAÑO RODAMIENTOS
				1A6	DAÑO TRANSMISION POR CORREA ENTRE MOTOR Y BOMBA	DESGASTE DE CORREAS, POLEA DESGASTADA, DEFICIENCIA EN ALINEACION
		1B	LA PRESION ESTA POR ENCIMA DE LOS 6 BARES	1B1	DAÑO VALVULA REGULADORA DE CAUDAL	DESGASTE DE LA VALVULA AL VARIAR SU POSICIÓN NO VARIA LAPRESIÓN
				1B2	OBSTRUCCION TUBERIA A LA SALIDA DE LA BOMBA	LAS MANGUERAS FLEXIBLES QUE CONECTAN A LA TUBERIA PRINCIPAL PRESENTAN ROTURA
		1C	TEMPERATURA ACEITE POR DEBAJO DE 35oC	1C1	DAÑO TABLERO ELECTRICO RESISTENCIAS	LOS CONTACTORES QUE CONTROLAN LA ALIMENTACION DE FUERZA A LAS RESISTENCIAS NO ACCIONAN
				1C2	DAÑO RESISTENCIA	LAS RESISTENCIAS NO PRESENTAN CONSUMO DE CORRIENTE DESPUES DEL CIERRE DE LOS CONTACTORES DE FUERZA
				1C3	DAÑO CONTROL DE TEMPERATURA	INDICACION DE TEMPERATURA ACEITE NO ESTA DE ACUERDO A LO INDICADO EN EL INDICADOR DE TEMPERATURA DE CARATULA, EL CIRCUITO QUE CONTROLA LA ENTRADA Y SALIDA DE LAS RESISTENCIAS NO ACCIONA O ACCIONA EN NIVELES DE TEMPERATURA FUERA DEL RANGO PROGRAMADO
		1D	TEMPERATURA ACEITE POR ENCIMA DE LOS 44 0c	1D1	DAÑO TABLERO ELECTRICO RESISTENCIAS	LOS CONTACTORES QUE CONTROLAN LA ALIMENTACION DE FUERZA A LAS RESISTENCIAS NO ACCIONAN
				1D2	DAÑO CONTROL DE TEMPERATURA	INDICACION DE TEMPERATURA ACEITE NO ESTA DE ACUERDO A LO INDICADO EN EL INDICADOR DE TEMPERATURA DE CARATULA, EL CIRCUITO QUE CONTROLA LA ENTRADA Y SALIDA DE LAS RESISTENCIAS NO ACCIONA O ACCIONA EN NIVELES DE TEMPERATURA
				1D3	DAÑO INTERCAMBIADOR ENFRIAMIENTO TEMPERATURA ACEITE	EL INTERCAMBIADOR NO CUMPLE CON EL DELTA DE TEMPERATURA A DISMINUIR LA TEMPERATURA DEL ACEITE QUE VIENE DEL PROCESO
		1F	SUMINISTRO ACEITE DEBAJO DEL CAUDAL NORMAL	1F1	DAÑO CORREAS TRANSMISIÓN	LA CORREAS PRESENTAN DESGASTE, VIBRAN EN OPERACIÓN
				1F2	DAÑO EN BOMBA	DESGASTE ENGRANAJES Y PALETAS

Fuente: Los autores

Tabla 19. (Parte 2)

HOJA DE TRABAJO RCM						
Equipo: BLOQUE VELOZ			Equipo de trabajo:			Fecha de realización
Componente CENTRAL LUBRICACION			Abroado por			Fecha de aprobación
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA (Causa de la Falla)	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
2	CONTENER 5930 GALONES DE ACEITE Y MANTENER EL ACEITE ENTRE UN NIVEL MINIMO Y UN NIVEL MÁXIMO PARA LA LUBRICACION DEL	2A	BAJO NIVEL DE ACEITE	2A1	DAÑO INTERCAMBIADOR ENFRIAMIENTO TEMPERATURA ACEITE	EL CIRCUITO DE EL ACEITE PRESENTA FUGAS CON PASO DE ACEITE
				2A2	PERDIDA DE ACEITE EN EL BLOQUE	ESCAPES DE ACEITE EN EL BLOQUE
				2A3	DEFICIENCIA EN LOS SELLOS DE LOS MANDRINOS	DESGASTE DE LOS SELLOS DE LOS MANDRINOS
		2B	NIVEL ALTO ACEITE	2B1	FUGA DE ACEITE EN TUBERIAS	ESCAPE DE ACEITE EN LAS TUBERIAS DE LUBRICACION
				2B2	INGRESO DE AGUA AL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	EL NIVEL DEL ACEITE ESTÁ POR ENCIMA DEL NIVEL NORMAL, SELLOS DESGASTADOS EN MANDRINOS
				3	NIVEL BAJO DEL ACEITE EN TANQUE OLEONEUMÁTICO	3A1
3A2	ESCAPE DE ACEITE	ESCAPE DE ACEITE EN ACCESORIOS				
3A3	DAÑO VALVULA DE DESCARGA	POSIBLEMENTE TIENE PASO NO SELLA DEBIDAMENTE				
3B	PRESION AIRE POR DEBAJO DE 90PSI	3B1	DAÑO VALVULA DE SEGURIDAD	POSIBLEMENTE TIENE PASO NO SELLA DEBIDAMENTE		
		3B2	DAÑO VALVULA DE CARGUE MANUAL	POSIBLEMENTE TIENE PASO NO SELLA DEBIDAMENTE		

Fuente: Los autores

Tabla 19. (Parte 3)

HOJA DE TRABAJO RCM															
Equipo							Equipo de trabajo:						Fecha de realización		
Componente							Abrobado por						Fecha de aprobación		
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	H4	H5	S4			
							O1 N1	O2 N2	O3 N3						
1	A	1A1	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar el cambio de la bomba, por una bomba nueva, evaluar reparación de la actual, si el valor de la reparación es menor en un 50% al valor de la bomba nueva.	NA	Mecanico utilidades
1	A	1A2	N	N	N	Y	N	N	Y				Cambio de filtro y realizar limpieza al filtro sucio	NA	Operador Tren Continuo
1	A	1A3	N	Y	N	Y	Y	N	Y				Eliminar fugas de aceite y realizar una tarea a condicion. Realizar una inspección periodica de fugas.	Diario	Operador Tren Continuo
1	A	1A4	N	N	N	Y	N	N	Y				En el checklist de arranque verificar operación valvula reguladora.	Semanal	Mantenimiento
1	A	1A5	N	N	N	Y	N	N	Y				Cambiar motor bomba. Realizar una inspección a los motores eléctricos de las bombas, revisión condición aislamiento, inspección de vibración rodamientos.	Mensual	Mantenimiento
1	A	1A6	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar análisis de vibración, inspección estado de correas.	Mensual	Mantenimiento
1	B	1B1	N	N	N	Y	N	N	Y				En el checklist de arranque verificar operación valvula reguladora.	Semanal	Mantenimiento
1	B	1B2	N	N	N	Y	N	N	Y				Llevar un registro de la presión de operación, realizar análisis de aceite.	Diario y el análisis mensual	Mantenimiento
1	C	1C1	N	N	Y	Y	Y	N	Y				Realizar mantenimiento preventivo tablero	Anual	Mantenimiento
1	C	1C2	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar inspección resistencia .mantenimiento conexiones medición	Anual	Mantenimiento
1	C	1C3	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar mantenimiento preventivo control temperatura, revisión	Anual	Instrumentación

Fuente: Los autores

Tabla 19. (Parte 4)

HOJA DE TRABAJO RCM															
Equipo										Equipo de trabajo:				Fecha de realización	
Componente										Abrobado por				Fecha de aprobación	
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	H4	H5	S4			
							O1 N1	O2 N2	O3 N3						
1	D	1D1	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar mantenimiento preventivo tablero	Anual	Mantenimiento
1	D	1D2	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar mantenimiento preventivo control temperatura, revisión RTD, conexioes, hermeticidad caja de conexiones.	Anual	Instrumentación
1	D	1D3	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar tarea de limpieza intercambiador	Anual	Mantenimiento
1	F	1F1	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar análisis de vibración,inspección estado de correas.	Diario	Mantenimiento
1	F	1F2	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar tare a condición llevando datos de presión bomba,caudal enviado y consumo de corriente para establecer condiciones de la bomba	Anual	Mantenimiento
2	A	2A1	N	N	N	Y	N	N	Y				Incluir inspección intercambiador en la ruta de chequeo diaria del mecánico	Diaria	Mantenimiento
2	A	2A2	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar inspección fugas de aceite en bloque incluir en los ruteos de mantenimiento y operación	Diario	Mantenimiento y Producción
2	A	2A3	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar seguimiento consumo de sellos y consultar con el fabricante	Diario	Mantenimiento
2	B	2B1	N	N	N	Y	N	N	Y				Corregir fugas de aceite	inmediato	Mantenimiento
2	B	2B2	N	N	N	Y	N	N	Y				Inspección diaria niveles aceite en el tanque	Diario	Mantenimiento
3	A	3A1	N	N	N	Y	N	N	Y				Instalar sensor detector de fuga de aceite a circuito de agua	inmediato	Mantenimiento
3	A	3A2	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar inspección instalacion tanque oleoneumático	Diario	Mantenimiento
3	A	3A3	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar inspección vavula en el Check list de arranque	Semanal	Mantenimiento
3	B	3B1	Y	Y	N	Y	Y	N	Y				Realizar la prueba de la valvula de seguridad	Anual	Mantenimiento
3	B	3B2	N	N	N	Y	N	N	Y				Realizar inspección vavula en el Check list de arranque	Semanal	Mantenimiento

#### **4.3. PROPUESTA PARA IMPLEMENTAR RCM EN LOS EQUIPOS CRÍTICOS DE LA PLANTA MUÑA**

Para la implementación de esta práctica en los equipos críticos de la planta se requiere cumplir con los siguientes aspectos:

- Apoyo de la Gerencia de la Planta y la Gerencia corporativa de mantenimiento.
- Mantener activo un grupo multidisciplinario integrado por personal de producción y mantenimiento para realizar un trabajo semanal sobre RCM.
- Entrenar más personas para el uso de esta táctica
- Para realimentar el software de mantenimiento Infomante con los resultados de RCM se requiere una persona de planeación dedicada a realizar esta actividad.
- Establecer un cronograma para el cumplimiento de las actividades planteadas con RCM.
- Establecer un programa de auditorías a los procesos de RCM, con una entidad externa a la planta.
- Realizar seguimiento a los indicadores de mantenimiento después de aplicar RCM en los equipos con el fin de medir la efectividad de esta táctica

## **5. COSTO DE MANTENIMIENTO**

La segunda estrategia derivada del análisis DOFA es la de identificar oportunidades de ahorro en base a seguimiento de indicadores para mejorar el costo de mantenimiento.

### **5.1. CLASIFICACIÓN DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO**

Los costos de mantenimiento se pueden clasificar en cuatro grupos:

- **Costos fijos:** la principal característica es que no dependen del volumen de producción ni de ventas. En mantenimiento estos costos son la mano de obra y los materiales necesarios para el mantenimiento preventivo.
- Este gasto tiende a asegurar el estado de la instalación a mediano y largo plazo.
- **Costos variables:** estos costos son proporcionales a la producción realizada.
- Estos costos en mantenimiento están relacionados con el mantenimiento correctivo de la planta, influyen en la variación del costo total de mantenimiento cuando suceden las paradas no programadas que interrumpen el proceso de producción.
- **Costos financieros:** estos costos se refieren al valor de los repuestos que deben permanecer en almacén, clasificados como críticos.

## 5.2. COSTOS DE ACUERDO AL TIPO DE MANTENIMIENTO

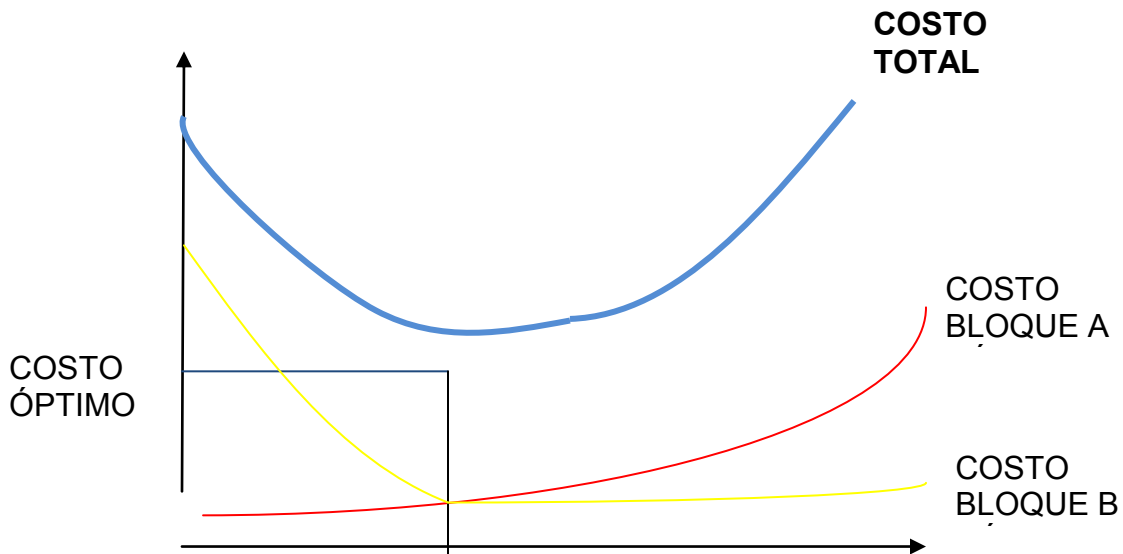
**Tabla 20.** Costos de acuerdo al tipo de mantenimiento

BLOQUE A MANTENIMIENTO PROACTIVO	BLOQUE B MANTENIMIENTO DESPUÉS DE LA FALLA
MANO DE OBRA MANTENIMIENTO PREVENTIVO	MANO DE OBRA MANTENIMIENTO CORRECTIVO
MANO DE OBRA MANTENIMIENTO PROGRAMADO	REPUESTOS POR AVERIAS
REPUESTOS PROGRAMADOS	COSTOS DE FALLAS
MANO DE OBRA INDIRECTA	
PINTURAS, LUBRICANTES, ETC	
COSTOS FINANCIEROS	COSTOS ENERGÉTICOS
PARADAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	COSTOS AMBIENTALES

Fuente: los autores

## 5.3. COSTO ÓPTIMO DE ACUERDO AL TIPO DE MANTENIMIENTO

**Figura 31.** Costo óptimo de acuerdo al tipo de mantenimiento



Fuente: los autores

#### 5.4. COSTOS OCULTOS DE MANTENIMIENTO

En mantenimiento se presentan eventos que inciden en el costo de mantenimiento, y que no son visibles a la gestión de mantenimiento, estos costos se llaman ocultos debido a que no los identificamos según el origen son:

- Los reprocesos
- Tiempos perdidos
- La pérdida de material
- La baja productividad
- Falta de coordinación
- Reparaciones mayores en el correctivo
- Alta accidentalidad
- En la figura 31 se ilustra los ítems que se refieren a los costos ocultos del mantenimiento.

**Figura 32.** Costos ocultos de mantenimiento



Fuente: los autores

## 5.5 RELACIÓN COSTO DE MANTENIMIENTO CON LA PRODUCTIVIDAD Y LA DISPONIBILIDAD.

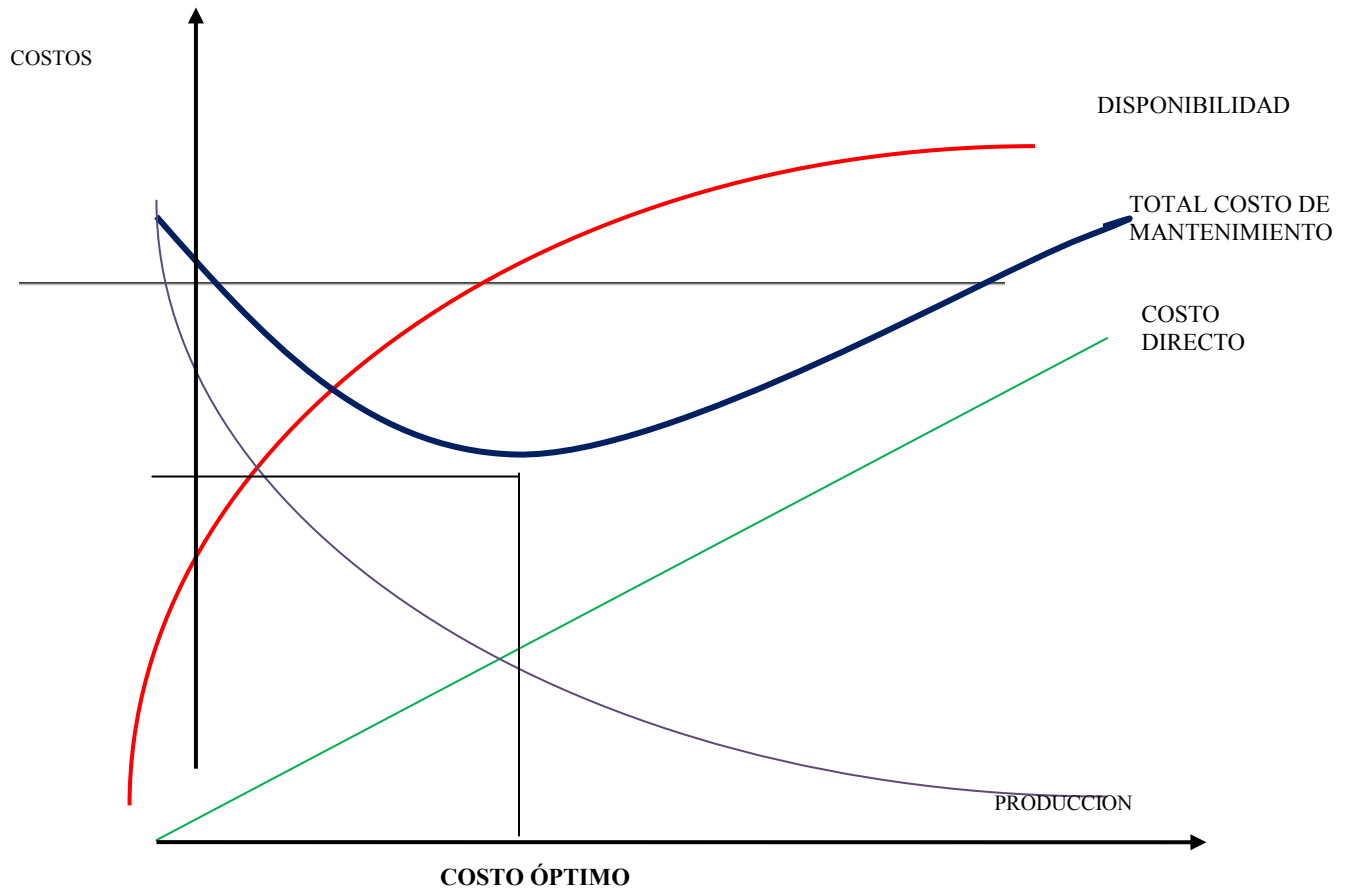
Mantenimiento es un proceso básico para conseguir los mejores resultados de productividad a un costo efectivo, para ello se debe relacionar tres indicadores fundamentales en los resultados de la planta:

- Disponibilidad
- Productividad
- Costo de mantenimiento

Para conseguir un desempeño mejor del costo de mantenimiento es necesario partirlo en costos directos e indirectos:

- **Costos directos:** son los costos visibles para el área contable, llevados en ERP de la Planta, registrados en los movimientos contables, estos son:
  - Mano de obra
  - Contrataciones
  - Repuestos
  - Gastos financieros generados por el stock de repuestos almacenados
- **Costos indirectos:** son los costos generados por pérdidas de producción Generadas por el mantenimiento programado con parada de planta, y las pérdidas de producción generadas por las fallas de mantenimiento (Véase figura 33)

**Figura 33.** Curva del costo de mantenimiento



**Fuente:** los autores

Los indicadores que frecuentemente se aplican en mantenimiento son el tiempo perdido por mantenimiento y el costo específico por tonelada. En general las pérdidas de producción no son consideradas, pero en un mercado fuerte como el de hoy, es un factor decisivo.

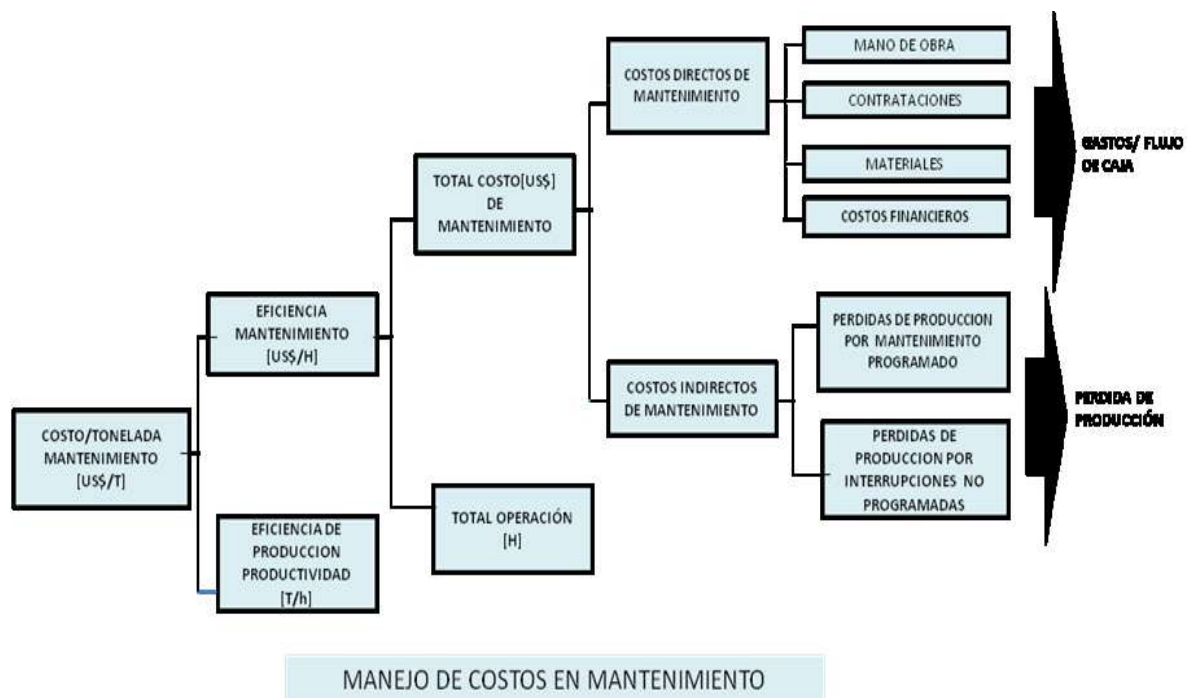
Las paradas por mantenimiento no planeado y los retardos no planeados deben ser también reportados como tons/hora perdidas.

La complejidad de medir la eficiencia del mantenimiento es descrita en la figura No \_\_\_\_, donde además de los costos de mano de obra, contrataciones, repuestos, los indicadores de producción como el tiempo de operación y la productividad determinan la eficiencia real de mantenimiento en costo por tonelada.

Para alcanzar la real eficiencia de mantenimiento su estrategia necesita ser adaptada a la situación del mercado, lo cual significa que los costos directos e indirectos deben ser controlados.

- En caso de un mercado limitado, es crucial reducir los gastos de mano de obra, repuestos, contrataciones para reducir los costos directos.
- En un mercado de alta demanda, vale la pena invertir más dinero en orden a obtener mayor disponibilidad y así incrementar la producción

**Figura 34.** Manejo de costos en mantenimiento



Fuente: Los autores

**Tabla 21.** Cronograma de implementación capacitación de INFOMANTE – DIACO S.A. – MUÑA

		SOPORTE S.A. S.R.L.		CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN CAPACITACION DE INFOMANTE - DIACO S.A. - MUÑA			DIAS		SEMANAS					
		Revisó: Paola Albadán												
		Fecha Revisión : Julio 7 de 2.008												
ASUNTO / ITEM / MODULO	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	HORA S	FECHA DE INICIO	FECHA DE ENTREGA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
INSTALACION	Establecer fechas duración de las capacitaciones. Realizar Cronograma	Consultor Soporte / Paola Albadán	P R	7-jul-08										
	Definir Interfaces con el sistema STONE. (Realizar reuniones técnicas conceptuales)	Jorge Guiroga (soporte) / Ing. de Sistemas /Desarrollo Diaco S.A.	P R	Por definir										
	Hacer Presentación de Lanzamiento.	Soporte / Gestor, planeadores, Gestor, Ing. De Proyectos, Funcionario de Sistemas	P R	1 10-jul-08										
	Conocer Procesos Administrativos	Gestor, planeadores	P R	1 10/07/2008 - 2 p.m.										
	Definir Grupo de Trabajo. Responsabilidades	Consultor Soporte / Gestor, planeadores, Ing. De Proyectos	P R	1 10/07/2008 - 2 p.m.										
	Plantear Tipo de Informes de avance de actividades.	Gestor, planeadores, Ing. De Proyectos	P R	1 10/07/2008 - 2 p.m.										
	Definir zona piloto.	Gestor, planeadores	P R	1 10/07/2008 - 2 p.m.										
SEGURIDAD	Definir usuarios / Funcionarios los permisos de cada uno	Gestor, planeadores, Funcionario sistemas Diaco	P R	0,5 10/07/2008 - 2 p.m.										
	Capacitación Módulo de seguridad	Gestor, planeadores, Funcionario sistemas	P R	1 11/07/2008 - 8 a.m.										
	Capacitación sobre manejo de claves.	Gestor, planeadores,	P R	1 11/07/2008										

Fuente: DIACO – MUÑA

## 5.6. INDICADORES DE COSTOS DE MANTENIMIENTO

- Costo de mantenimiento por producción

Este indicador muestra la influencia total que tiene el costo de mantenimiento sobre el costo total del producto

$$CMMP=[CTMN÷CTP]×100$$

- Indicador costo de mantenimiento preventivo con respecto al costo total

$$\text{CMPR} = \text{CMPT} \div [\text{CMPT} + \text{CMCO} + \text{CMPRE}] \times 100$$

- Indicador costo del valor acumulado del mantenimiento realizado a un equipo y el valor de compra de un equipo nuevo.

$$\text{CMRP} = [\sum \text{CTMN} \div \text{VLRP}] \times 100$$

- Indicador que relaciona el costo de la mano de obra con el costo total de mantenimiento

$$\text{CRMO} = [\text{CMOP} \div \text{CTM}] \times 100$$

## **6. PLAN DE MEJORA PROGRAMA CMMS**

La tercera estrategia derivada del análisis DOFA de Mantenimiento es el de realizar un plan de mejora de la aplicación del INFOMANTE

### **6.1 CAPACITACIÓN EN LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE DE MANTENIMIENTO**

En el segundo semestre de año 2008 se llevó a cabo una capacitación sobre la aplicación de CMMS de mantenimiento, el software INFOMANTE, esta capacitación se realizó con la empresa SOPORTE quien suministró este programa. La capacitación estuvo dirigida a todo el personal de mantenimiento de acuerdo a los módulos que debía conocer y manejar, con la finalidad que todo el personal tenga la competencia para utilizar esta herramienta que es de vital importancia para la gestión de mantenimiento. La capacitación abarcó los siguientes temas:

- Instalación de software
- Seguridades
- Utilitarios
- Documentación técnica
- Herramientas
- Equipos
- Mantenimiento sistemático
- Solicitudes de trabajo
- Orden de trabajo
- Costo de equipos
- Tiempos perdidos
- Indicadores de gestión

En la tabla 22 está el cronograma de la capacitación.

**Tabla 22. Cronograma de capacitación**

		SOORTE A CIA. LTDA.		CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN CAPACITACION DE INFOMANTE - DIACO S.A.- MUÑA																	
		Revisó: Paola Albadán		DIAS SEMANAS MESES																	
Fecha Revisión : Julio 7 de 2.008																					
ASUNTO / ITEM / MODULO	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	HORA S	FECHA DE INICIO	FECHA DE ENTREGA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
INSTALACION	Establecer fechas duración de las capacitaciones. Realizar Cronograma	Consultor Soporte / Paola Albadán	P R	7-jul-08																	
	Definir Interfaces con el sistema STONE. (Realizar reuniones técnicas conceptuales)	Jorge Quiroga (soporte) / Ing. de Sistemas /Desarrollo Diaco S.A	P R	Por definir																	
	Hacer Presentación de Lanzamiento.	Soporte / Gestor, planeadores, Gestor, Ing De Proyectos, Funcionario de Sistemas	P R	10-jul-08																	
	Conocer Procesos Administrativos	Gestor, planeadores	P R	10/07/2008 - 2 p.m.																	
	Definir Grupo de Trabajo Responsabilidades	Consultor Soporte / Gestor, planeadores, Ing De Proyectos	P R	10/07/2008 - 2 p.m.																	
	Plantear Tipo de Informes de avance de actividades	Gestor, planeadores, Ing De Proyectos	P R	10/07/2008 - 2 p.m.																	
	Definir zona piloto	Gestor, planeadores	P R	10/07/2008 - 2 p.m.																	
SEGURIDAD	Definir usuarios / Funcionarios los permisos de cada uno	Gestor, planeadores, Funcionario sistemas Diaco	P R	0.5 11/07/2008 - 2 p.m.																	
	Capacitación Módulo de seguridad	Gestor, planeadores, Funcionario sistemas	P R	1 11/07/2008 - 8 a.m.																	
	Capacitación sobre manejo de claves, configuración de permisos	Gestor, planeadores, Funcionario sistemas Diaco	P R	0.5 11/07/2008 - 8 a.m.																	
	Capacitación Notificaciones por correo	Gestor, planeadores, Funcionario sistemas Diaco	P R	1 11/07/2008 - 8 a.m.																	
UTILITARIOS	Explicación funcionamiento opciones utilitarios	Planeadores	P R	1 11/07/2008 - 8 a.m.																	
DOCUMENTACION TECNICA	Definir la codificación de los Planos, Catálogos Manuales.	Gestor, Planeadores, Ing. Proyectos	P R	1 14/07/2008 - 2 p.m.																	
	Establecer documentar el Procedimiento o Instructivo para administración de los Planos, Catálogos Manuales.	Gestor, Planeadores, Ing. Proyectos	P R	1 14/07/2008 - 2 p.m.																	
	Realizar capacitación en el módulo de Planos, Catálogos Manuales.	Gestor, Planeadores, Ing. Proyectos	P R	1 14/07/2008 - 2 p.m.																	
	Realizar inventario de Planos, Catálogos Manuales.	Gestor, Planeadores, Ing. Proyectos	P R	Tarea																	
	Recopilar ficha técnica e Ingresar al sistema la información de Planos, Catálogos Manuales.	Gestor, Planeadores, Ing. Proyectos	P R	Tarea																	
HERRAMIENTAS	Definir Clases de Herramientas Unidades de Medida.	Gestor, planeadores	P R	0.5 17/07/2008 - 2 p.m.																	
	Definir codificación de Herramientas.	Gestor, planeadores	P R	0.5 17/07/2008 - 2 p.m.																	
	Establecer las bases para documentar el Procedimiento o Instructivo para administración de las Herramientas.	Gestor, planeadores	P R	Tarea																	
	Definir los socios a realizar de las Herramientas.	Gestor, planeadores	P R	1 17/07/2008 - 2 p.m.																	
	Realizar capacitación en el módulo de Herramientas.	Gestor, planeadores	P R	1 17/07/2008 - 2 p.m.																	
	Realizar Inventario de Herramientas.	Planeadores	P R	Tarea																	
	Recopilar ficha técnica e Ingresar al sistema la información de Herramientas.	Planeadores	P R	Tarea																	







## 6.2. IMPLEMENTACIÓN MEJORAS

Como resultado de la capacitación y teniendo en cuenta que el CMMS de mantenimiento debe tener las siguientes características:

- Registro de todos los equipos, partes y componentes, al menos hasta tres niveles.
- Generación y control de todas las ordenes de trabajo
- Planes de mantenimiento de corto, mediano y largo plazo
- Inventarios y gestión de repuestos e insumos
- Solicitudes automáticas de compra cuando se rompa el inventario mínimo de cualquier repuesto ó insumo.
- Salarios e historia de todos los empleados
- Costos de todos los recursos de mantenimiento.
- Costos fijos, variables, financieros, y de no confiabilidad de todas las ordenes de trabajo y equipos
- Registros históricos minuto a minuto de operación y mantenimiento de equipos, de tiempos de fallas y reparaciones, de tiempos administrativos, de demora, tiempos de suministros.
- Índices rendimientos e indicadores propios e/internacionales de mantenimiento.

Se está llevando a cabo un plan de mejora con el siguiente cronograma (Véase figura 35):

**Figura 35.** Cronograma

Tarea	Responsable	Plazo Proyectado	Realizado	Plazo Realizado	Puntos Problemáticos	Contramedidas	Sem.
DESEÑAR CONTINGENCIA PARA LOS EQUIPOS CRITICOS	OSCAR CAYO	20/02/2009 hasta 30/07/2009		05/02/2009 hasta 24/02/2009	se realizará ROM a los equipos más críticos de la planta.		
CONTINUAR ACTUALIZANDO LISTADO DE EQUIPOS CRITICOS	OSCAR CAYO	19/02/2009 hasta 30/04/2009		25/02/2009	Se continuara con los principales motores de Laminacion	Añadir	
REALIZAR ROM A TAPETE DE ENFRIAMIENTO Y DEJO	MANUEL ANTONIO MACHADO MARTINEZ	01/09/2009 hasta 30/11/2009				Añadir	
REALIZAR ROM AL TREN 530	JOS FELIPE MORALES PARRA	03/08/2009 hasta 30/09/2009				Añadir	
REALIZAR ROM A TREN CONTINUO	ALBERTO MENDOZANO	01/07/2009 hasta 31/08/2009				Añadir	
REALIZAR ROM A BEV	JOS FELIPE MORALES PARRA	18/05/2009 hasta 30/06/2009				Añadir	
FORMAR GRUPO PARA ROM	OSCAR CAYO	01/04/2009 hasta 30/05/2009				Añadir	

Fuente: DIACO – MUÑA

### 6.3. INDICADORES DE PLANEACIÓN DE MANTENIMIENTO

Para mantener el proceso de planeación se propone establecer los siguientes indicadores para Planeación mantenimiento:

- Back log de mantenimiento
- Mantenimiento Planeado/mantenimiento total
- Mantenimiento preventivo/mantenimiento total
- Mantenimiento Predictivo/mantenimiento total
- Mantenimiento Correctivo/mantenimiento total
- Costos por orden de trabajo
- Ordenes de trabajo diligenciadas/colaborador
- Mano de obra utilizada para el total de ordenes de trabajo

- Porcentaje de cumplimiento tiempo programado para mtto

Indicadores de mano de obra:

- Horas de paro por hora realizadas: este indicador muestra la relación entre las horas empleadas para producción y las de paro del equipo por averías.

#### **HORAS DE PARO POR MTTO**

**HPHP =** \_\_\_\_\_

**HORAS DE PRODUCCIÓN REALIZADAS**

- Trabajos de mantenimiento preventivo: relación entre las horas hombre programadas para mantenimiento preventivo y las horas hombre disponibles para mantenimiento.

#### **TOTALIDAD HH PARA MANTE PREVEN**

**TBMP=** \_\_\_\_\_

**HH EMPLEADAS PARA MATTO**

- Trabajos de mantenimiento correctivo: relación entre las horas hombre empleadas en mantenimiento correctivo y las horas hombre totales empleadas para mantenimiento (Véase gráfica 36).

#### **TOTAL HORAS HOMBRE PARA MTTO CORRECTIVO**

**TBCM=** \_\_\_\_\_

**HH EMPLEADAS PARA MTTO**

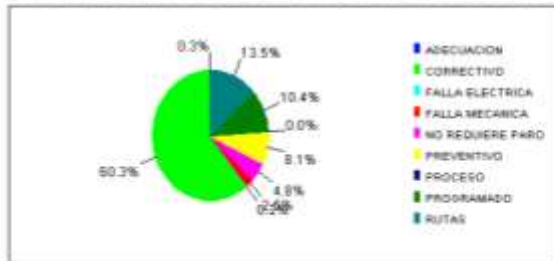
**Figura 36.** Costos detallados de orden de trabajo por fecha de consolidado por tipo de paro

**COSTOS DETALLADOS DE ORDEN DE TRABAJO POR FECHA DE CONSOLIDADO POR TIPO DE PARO**

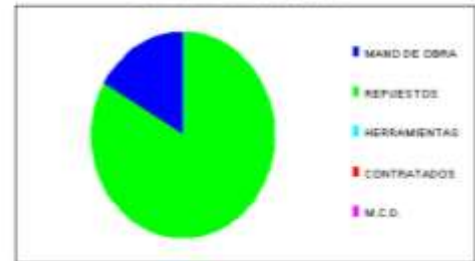
FECHA: 27/02/2009      RANGO DE FECHAS: 01/06/2008 - 27/02/2009      PAGINA: 1  
 INFORMANTE:      SMOXDET

COBIGO	DESCRIPCION	MANDO DE OBRA	REPUESTOS	HERRAMIENTAS	M.C.B.	CONTRATADOS	TOTAL
ADEC	ADCUACION	84,400.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84,400.00
CORR	CORRECTIVO	1,072,506.50	18,043,904.00	0.00	0.00	0.00	19,116,410.50
F.ELE	FALLA ELECTRICA	18,000.00	0.00	30,000.00	0.00	0.00	48,000.00
F.MEC	FALLA MECANICA	34,875.00	742,710.00	0.00	0.00	0.00	777,585.00
F.PRO	PROCESO	4,650.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,650.00
NO PARO	NO REQUIERE PARO	1,363,779.00	154,011.00	0.00	0.00	0.00	1,517,790.00
PREV	PREVENTIVO	1,812,977.50	747,326.00	0.00	0.00	0.00	2,560,303.50
PROOR	PROGRAMADO	2,911,674.00	393,976.00	0.00	0.00	0.00	3,305,650.00
RUT	RUTAS	4,279,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,279,000.00
<b>TOTALES</b>		<b>11,581,422.00</b>	<b>20,981,327.00</b>	<b>30,000.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>32,633,149.00</b>
<b>PORCENTAJE DEL TOTAL:</b>		<b>36.54</b>	<b>63.36</b>	<b>0.09</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	

**COSTOS DETALLADOS DE ORDEN DE TRABAJO POR FECHA DE CONSOLIDADO POR TIPO DE PARO**



**DISTRIBUCION POR TIPO DE COSTO**



## CONCLUSIONES

Las estrategias planteadas para mejorar el desempeño de mantenimiento RCM, mejora de la aplicación del CMMS INFOMANTE, el control del costo de mantenimiento están relacionadas. RCM requiere una información que se encuentre sistematizada y actualizada en el CMMS, RCM produce como resultado documentación que alimenta el CMMS para que en los planes de mantenimiento establecidos en RCM se realicen; el control del costo de mantenimiento empezará desde la elaboración de estos planes de mantenimiento, cada orden de trabajo emitida por INFOMANTE (CMMS de mantenimiento Planta Muña) debe tener asignados todos los recursos necesarios que han sido establecidos para realizar la tarea necesaria para que determinado MODO DE FALLA sea prevenido.

Todo el sistema de Gestión de la Planta facilita la práctica de RCM. El sistema de mantenimiento integrado tendrá con RCM una táctica que se complementa con todos los pilares del sistema de mantenimiento integrado, así:

El mantenimiento planeado establece las mejores técnicas de mantenimiento, aplicando RCM se establecerá la aplicación efectiva de estas técnicas, porque a todos los equipos no se le aplican las mismas técnicas de mantenimiento, esto dependerá de los modos de falla conocidos en los equipos y las actividades asignadas para prevenirlos.

La educación y entrenamiento de los operadores de mantenimiento y producción. RCM identifica necesidades de entrenamiento y adicionalmente los modos de falla de los equipos deben ser conocidos por los operadores de mantenimiento y producción, esto se puede tener en la base de datos del CMMS.

Gerenciamiento de datos, para determinar lo efectivo de RCM se llevan los indicadores de Confiabilidad, Mantenibilidad y costo de mantenimiento.

El mantenimiento autónomo se puede combinar con RCM ya que las dos prácticas se basan en trabajo en equipo para un solo fin mayor confiabilidad y mantenibilidad de los equipos para tener más tiempo productivo de los equipos a un costo óptimo. El control del estado del equipo que realizan los operadores de producción a veces resulta insuficiente, y los modos de fallo establecidos con RCM darán a los operadores de producción y mantenimiento una información más sólida sobre el tipo de mantenimiento que debe aplicarse.

La mejora de la calificación en las prácticas de GBS de mantenimiento contribuyen a que al aplicar RCM a los equipos críticos de la planta, el mantenimiento establecido para cada modo de falla sea efectivo, estas prácticas son: Inspección predictiva, mantenimiento Preventivo, Planificación y ejecución del correctivo programado. La gestión de documentos suministra la información de los equipos para realizar el RCM y también recibe documentación como resultado de los AMFE.

En cuanto a los Análisis de Falla, el resultado de los análisis genera el establecer los modos de falla ó si es una falla conocida revisar los modos de falla y la efectividad de las actividades establecidas en el mantenimiento planeado.

Para iniciar el grupo RCM en planta Muña, en el año 2008 se capacitaron en la táctica tres facilitadores de producción, cinco facilitadores de mantenimiento, y tres gestores de mantenimiento, producción y mantenimiento autónomo, a partir de Abril del presente año se realizará capacitación en RCM a los operadores de mantenimiento y producción.

En el mes de Mayo se conformará el primer grupo de RCM que trabajará en el Boque Veloz, uno de los equipos más críticos de la planta.

En el mes de Julio se conformará el segundo grupo para trabajar en el RCM del tren intermedio. En Agosto se conformará un tercer grupo para trabajar en el Tren desbaste y en Septiembre el cuarto grupo para trabajar RCM en el Tapete de enfriamiento.

La actualización del CMMS de mantenimiento inicio el año 2008 con una capacitación en los módulos de INFOMANTE dirigida a Ingenieros de Planeación, facilitadores de producción y mantenimiento, en base a esto se establecieron las acciones para actualizar nuestro sistema actual de información de mantenimiento, para ello está dedicado tiempo completo un ingeniero de planeación, se tendrá actualizado esta aplicación en Julio de 2009.

Con esta estrategia de mantenimiento los indicadores de la Planta deben alcanzar un nivel óptimo para Colombia

## BIBLIOGRAFIA

AIRON & STEEL. Technology Maintenance at Minimills effective but also efficient. Indianapolis :Aistech 2007.

GOMEZ CUBILLOS, Rafael. Administración y estilos gerenciales. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander 2006,44p

GONZÁLES BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2006.

MORA GUTIERRÉZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales ó de servicios. Medellín: AMG. 2005.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Edición en Español. Gran Bretaña: Aladon. 2004.

ORTIZ PLATA, Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga. 2008 CD. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander.

PINILLA. Pablo. Sistemas de información. Bucaramanga. 2008 CD. Posgrado Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

SILVA ROBLES. Wilson. Modelo de gestión de mantenimiento para la planta de cementos Andino, basado en la filosofía RCM2. Bucaramanga: 2006. Proyecto de grado (Especialista en Gerencia de Mantenimiento). Universidad Industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica