

**DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN LA
CONFIABILIDAD, RCM, E INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO, RBI, PARA
LA LÍNEA CRÍTICA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA PARA
CONCENTRADOS DE LA EMPRESA ITALCOL S.C.A UBICADA EN GIRÓN,
SANTANDER**

PEDRO JOSÉ VEGA MENDOZA

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2009**

**DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN LA
CONFIABILIDAD, RCM, E INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO, RBI, PARA
LA LÍNEA CRÍTICA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA PARA
CONCENTRADOS DE LA EMPRESA ITALCOL S.C.A UBICADA EN GIRÓN,
SANTANDER**

PEDRO JOSÉ VEGA MENDOZA

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

**Director
ROSSVAN JOHAN PLATA V.
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2009**

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga ____ - ____ - 2009

DEDICATORIA

A Dios, a la vida, a mi familia y especialmente a mis padres por todo el amor y bendiciones que me han entregado.

Pedro José Vega Mendoza

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar mis agradecimientos a todas las personas que me brindaron el apoyo, la guía y los ánimos para el desarrollo del proyecto.

Al Ing. Rossvan Johan Plata, director de la tesis por la guía, acompañamiento y asesoría brindada durante todas las fases del proyecto.

A la empresa Itacol S.C.A, su gerente Ing. Carlos Perez, al Director Nacional de Producción Juan Carlos García, por la confianza, herramientas y apoyo dado para el proyecto.

A todo el personal del área mantenimiento por el tiempo dedicado a las reuniones requeridas para el diseño de la estrategia de mantenimiento, por los aportes brindados y por su disponibilidad para el proceso de implementación de la estrategia de mantenimiento.

A mis colegas del área de producción por la compañía y retroalimentación que le dieron al proyecto.

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	22
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	23
1.1 ITALCOL S.C.A NACIONAL	23
1.1.1 Misión	23
1.1.2 Visión	23
1.1.3 Política de Calidad	23
1.1.4 Valores corporativos	24
1.1.5 Filosofía de negocios	24
1.1.6 Reseña histórica	25
1.1.7 Organigrama de ITALCOL S.C.A Nacional	26
1.1.8 Productos	27
1.1.9 Plantas de producción	30
1.2 ITALCOL S.C.A GIRÓN – SANTANDER	31
1.2.1 Ubicación	31
1.2.2 Productos elaborados	32
1.2.3 Organigrama	32
1.2.4 Descripción del proceso de producción	33
1.2.5 Cantidades producidas	35
1.2.6 Área de mantenimiento	35
1.2.7 Estrategia de mantenimiento actual	37
2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	39
3. JUSTIFICACIÓN	40
4. OBJETIVOS	41
4.1 OBJETIVO GENERAL	41
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
5. MARCO TEÓRICO	43

5.1	MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD	43
5.1.1	Historia del RCM	43
5.1.1.1	Historia del mantenimiento	43
5.1.1.2	RCM	45
5.1.1.3	Evolución del RCM	47
5.1.2	Fases de desarrollo del RCM	49
5.1.2.1	Fase 1: Listado y codificación de equipos	50
5.1.2.2	Fase 2: Determinación de fallas funcionales y técnicas	51
5.1.2.3	Fase 3: Determinación de los modelos de fallas	52
5.1.2.4	Fase 4: Análisis de la gravedad	53
5.1.2.5	Fase 5: Determinación de medidas preventivas	54
5.1.2.6	Fase 6: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas	57
5.1.3	Análisis de criticidad	59
5.1.3.1	Resultados del análisis de criticidad	61
5.1.4	Tareas de mantenimiento	63
5.1.4.1	Tareas de Reacondicionamiento Cíclico	64
5.1.4.2	Tareas de Sustitución Cíclica	64
5.1.4.3	Tareas a condición	65
5.1.4.4	Acciones a falta de tareas preventivas	66
5.2	INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO (RBI)	67
5.2.1	Beneficios del RBI	68
5.2.2	Información requerida para el desarrollo de RBI	69
5.2.2.1	Ecuación de pérdida de producción	69
5.2.2.2	Histórico de inspección de equipos	70
5.2.2.3	Inventario de equipos	70
5.2.2.4	Costos de mantenimiento	70
5.2.3	Contenido del informe final de RBI	70
5.2.4	Aspectos técnicos para el desarrollo de la metodología RBI	71
5.2.4.1	Nivel de riesgo	71
5.2.4.2	Definición de lazos de corrosión	71
5.2.4.3	Clasificación de confianza	72
5.2.4.4	Análisis de criticidad	72
5.2.4.5	Planeación de tareas	72

5.2.4.6	Definición de recomendaciones	74
5.2.4.7	Resultados del RBI	74
5.2.5	Metodología de la inspección basada en riesgo	74
5.2.5.1	Análisis del riesgo	74
5.2.5.2	Revisión del Plan de Mantenimiento e inspección	75
6.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO	76
6.1	COMPRESOR	76
6.1.1	Descripción funcional	78
6.1.2	Sistemas del compresor	79
6.1.2.1	Sistema de refrigeración y lubricación	79
6.1.2.2	Sistema de descarga del compresor	81
6.1.2.3	Sistema de regulación	82
6.1.2.4	Sistema de admisión de aire	84
6.1.3	Cuadro de mandos	85
6.1.4	Funciones de los mandos del compresor	86
6.2	CALDERA	88
6.2.1	Componentes de la caldera	89
6.2.2	Descripción funcional	90
6.2.3	Sistemas de la caldera	91
6.2.3.1	Sistema de adición de carbón	91
6.2.3.2	Sistema de adición de aire	91
6.2.3.3	Sistema de adición de agua	93
6.2.3.4	Sistema de extracción de aire	93
6.2.4	Control de operacional de la caldera	94
6.3	MEZCLADORA METALTECO DE CINTAS PARA CUATRO TONELADAS	95
6.3.1	Sistemas de la mezcladora	96
6.3.1.1	Sistema de mezcla	97
6.3.1.2	Sistema de descargue	97
6.3.1.3	Sistema de transmisión de potencia	97
7.	DESARROLLO DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO RCM	99
7.1	Grupo de trabajo para RCM	99

7.1.1	Reuniones del grupo de trabajo para RCM	100
7.2	Análisis de criticidad	102
7.2.1	Listado de sistemas a estudiar dentro del análisis de criticidad	102
7.2.2	Recolección de datos.	105
7.2.3	Resultados análisis de criticidad	105
7.3	Análisis de las consecuencias de cada modo de falla	110
7.4	Tareas de mantenimiento	117
7.4.1	Escalas de valoración de consecuencias	117
7.4.1.1	Escala de valoración para la seguridad física	117
7.4.1.2	Escala de valoración para consecuencias operacionales	118
7.4.1.3	Escala de valoración para consecuencias para el medio ambiente	119
7.4.1.4	Escala de valoración para consecuencias no operacionales	119
7.4.1.5	Escala de valoración para consecuencias en la imagen de la empresa	119
7.4.2	Peso de cada consecuencia	120
7.4.3	Elección de las tareas de mantenimiento	137
7.5	Standard Jobs	137
7.5.1	Standard Jobs Compresor	139
7.5.1.1	Cambio de aceite	139
7.5.1.2	Cambio de sellos y rodamientos del motor	140
7.5.1.3	Cambio del filtro de aire	142
7.5.1.4	Cambio de filtro de aceite	143
7.5.1.5	Electroválvula	144
7.5.1.6	Rodamientos del tornillo	145
7.5.1.7	Sistema de regulación	146
7.5.2	Standar Jobs Mezcladora	148
7.5.2.1	Acople Rex – Omega	148
7.5.2.2	Arreglo de cintas	149
7.5.2.3	Ajuste de la cadena	150
7.5.2.4	Cambio de sellos y rodamientos del motor	151
7.5.2.5	Cambio del eje de chumaceras	153
7.5.2.6	Cambio y limpieza de Electroválvula	154

7.5.2.7	Cambio de empaque compuertas	155
7.5.2.8	Reparación general del empaque cilíndrico	156
7.5.2.9	Inspección del reductor	157
7.5.2.10	Rodamientos compuertas	158
7.5.2.11	Cambio de valvulina del reductor	159
7.5.3	ESTÁNDAR JOB DE LA CALDERA	160
7.5.3.1	Reparación de aquatubos incrustados	160
7.5.3.2	Cambio de eslabón de la Parrilla Viajera	161
7.5.3.3	Deshollinado de la caldera	162
7.5.3.4	Mantenimiento a la esclusa del ciclón	163
7.5.3.5	Inspección del Mcdonell y la bomba de adición de agua	164
7.5.3.6	Cambio del piñon motriz de la parrilla viajera	165
7.5.3.7	Cambio de pirotubos	166
7.5.3.8	Revisión de la línea de purgas	167
7.5.3.9	Mantenimiento a los ventiladores primarios y de tiro inducido	168
		170
8.	RBI	171
8.1	Alcance del RBI	171
8.2	Metodología para desarrollo de RBI	171
8.3	Desarrollo de Metodología de RBI	172
8.3.1	Caracterización de las Líneas de Corrosión	172
8.3.2	Valoración de criticidades para los circuitos de corrosión	175
8.3.3	Parámetros de inspección	180
8.3.4	Cálculo de velocidad de corrosión	181
9.	COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	184
9.1	Costo de la estrategia de mantenimiento correctiva actual	184
9.1.1	Costo de la caldera	184
9.1.2	Costo del compresor	187
9.1.3	Costo de la mezcladora	187
9.1.4	Costo total de estrategia de mantenimiento actual	189
9.2	Costo de implementación de estrategia diseñada	190

9.2.1	Costo de la mano de obra	190
9.2.2	Costos de la estrategia de mantenimiento diseñada	190
9.2.3	Costo total de la estrategia de mantenimiento	202
BIBLIOGRAFÍA		203

LISTA DE TABLAS

	Pàg
Tabla 1. Productos por línea de producto	28
Tabla 2. Toneladas producidas mensualmente	36
Tabla 3. Acciones del mantenimiento tradicionales y acciones con RCM	48
Tabla 4. Criterios de evaluación de criticidades	60
Tabla 5. Funciones de los mandos de control del compresor	87
Tabla 6. Personal y cargo del grupo de trabajo para RCM	101
Tabla 7. Reuniones del grupo de trabajo para RCM	101
Tabla 8. Sistemas de la caldera	103
Tabla 9. Sistemas del compresor	104
Tabla 10. Sistemas de la mezcladora	106
Tabla 11. Análisis de criticidad de la Caldera	107
Tabla 12. Análisis de criticidad del compresor	108
Tabla 13 Análisis de criticidad de la Mezcladora	110
Tabla 14. Lista jerarquizada de la caldera	110
Tabla 15. Lista jerarquizada del compresor	110
Tabla 16. Lista jerarquizada de la mezcladora	112
Tabla 17. Análisis de fallas de la caldera	114
Tabla 18. Análisis de fallas del compresor	116
Tabla 19. Análisis de fallas de la mezcladora	118
Tabla 20. Tabla de escala de valoración para consecuencias de la seguridad física	119
Tabla 21. Tabla de escala de valoración para consecuencias operacionales	119
Tabla 22. Tabla de escala de valoración para consecuencias al medio ambiente	120
Tabla 23. Tabla de escala de valoración para consecuencias no operacionales	120
Tabla 24. Tabla de valoración para consecuencias en la imagen de la empresa	120
Tabla 25. Peso de cada consecuencia	121
Tabla 26. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera	122
Tabla 27. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el compresor	129

Tabla 28. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la mezcladora	134
Tabla 29. Stadar Jobs creados por equipo	138
Tabla 30. Formato de caracterización de las líneas de corrosión	174
Tabla 31. Tipos de corrosión y código	176
Tabla 32. Niveles de criticidad	176
Tabla 33. Matriz de valoración para criticidades de los circuitos de corrosión	177
Tabla 34. Valoración de criticidades de los circuitos de corrosión	178
Tabla 35. Técnicas de inspección	181
Tabla 36. Parámetros de inspección	182
Tabla 37. Cálculo de la velocidad de corrosión	184
Tabla 38. Histórico de las paradas de la caldera con su costo	186
Tabla 39. Histórico de las paradas del compresor con su costo	188
Tabla 40. Histórico de las paradas de la mezcladora con su costo	189
Tabla 41. Costo total anual de estrategia de mantenimiento actual	190
Tabla 42. Costo de personal para realizar tarea de mantenimiento	191
Tabla 43. Costo de mantenimiento preventivo de la caldera	196
Tabla 44. Costo de mantenimiento preventivo del compresor	198
Tabla 45. Costo de mantenimiento preventivo de la mezcladora	200
Tabla 46. Costo de las inspecciones	202
Tabla 47. Costo anual de estrategia de mantenimiento diseñada	204

LISTA DE FIGURAS

	Pàg
Figura 1. Organigrama de ITALCOL S.A.C. Nacional	27
Figura 2. Organigrama ITALCOL S.C.A. regional Santander	33
Figura 3. Organigrama del departamento de producción	37
Figura 4. Organigrama del área de mantenimiento	38
Figura 5. Técnicas de mantenimiento en cada generación	45
Figura 6. Nuevos modos de falla	49
Figura 7. Fases de desarrollo del RCM	50
Figura 8. Estructura del proceso de listado y codificación de equipos	51
Figura 9. Ecuación de criticidad	60
Figura 10. Matriz de criticidad	62
Figura 11. Lista jerarquizada	63
Figura 12. Proceso de selección de tareas de mantenimiento	64
Figura 13. Límite de vida segura	66
Figura 14. Componentes del compresor de tornillo rotativo	79
Figura 15. Sistemas y componentes del compresor	81
Figura 16. Descripción de los sistemas de descarga, refrigeración y lubricación del compresor	83
Figura 17. Descripción del sistema neumático de regulación	85
Figura 18. Descripción del sistema de admisión de aire	85
Figura 19. Descripción del cuadro de mando del compresor	86
Figura 20. Sistemas y componentes de la caldera	93
Figura 21. Sistemas y componentes de la mezcladora	97
Figura 22. Resultados de Análisis de Criticidad en Matriz general de criticidad de la caldera	109
Figura 23. Resultados de Análisis de Criticidad en Matriz general de criticidad del compresor	109
Figura 24. Resultados de Análisis de Criticidad en Matriz general de criticidad de la mezcladora	109
Figura 25. Probabilidades de falla para cada combinación TAG-MODO DE FALLA .	179
Figura 26. Consecuencias de fallas para cada combinación TAG-MODO DE FALLA.	180
Figura 27. Criticidades para combinación TAG-MODO DE FALLA	180
Figura 28. Fórmula de la Velocidad de Corrosión	183

LISTA DE FOTOS

	Pàg
Foto 1. Planta de producción en Funza - Cundinamarca	31
Foto 2. Planta de producción en Girón - Santander	32
Foto 3. Compresor sullair de tornillo de 25 hp	78
Foto 4. Caldera Mixta de 250 Bhp	89
Foto 5. Sección pilotobular de la caldera de 250 Bhp	90
Foto 6. Mezcladora Metalteco de cintas para cuatro toneladas	95

LISTA DE ANEXOS

	Pàg
ANEXO A. FORMATO DE HOJA DE VIDA DE MAQUINARIA	205
ANEXO B. FORMATOS DE REPORTES DE INSPECCIÓN	206
ANEXO C. INFORMACIÓN GENERAL DE REPARACIÓN	214

GLOSARIO

ACONDICIONADOR: subcomponente de la peletizadora en el cual el alimento concentrado se le agrega vapor para desdoblar sus componentes proteicos y ganar humedad.

ACTIVO (ASSET): Maquinaria, equipo, edificios, plantas y otros ítems requeridos permanentemente para producir y suministrar un producto.

AVAILABILITY: característica de falla, propiedades generales como patrón de falla y comportamiento de un modo de falla o numero de modos de falla.

CAUSA DE FALLA: circunstancia durante el diseño, manufactura o uso que conlleva a una falla.

CHUMACERA COLGANTE: soporte con bujes de bronce que permite sostener el eje de un transportador de tornillo sin fin.

CONFIABILIDAD: Probabilidad de que un equipo o sistema logre cumplir una función establecida durante un intervalo de tiempo cuando es operado bajo ciertas condiciones establecidas.

COMPONENTE: una de las partes que conforman a un ítem, pudiendo ser hardware o software, y puede estar subdividido en otros componentes.

CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM): mantenimiento basado en condición y mantenimiento proactivo que se realiza de acuerdo a una necesidad producto de un monitoreo de condición, también es llamado como mantenimiento predictivo.

CONDITION MONITORING (Monitoreo de Condición): medición continua o periódica y la interpretación de la información que indica la condición de un ítem y determina la necesidad de su mantenimiento.

CONSECUENCIA DE FALLA: daño real o potencial de una falla de una planta para la seguridad, economía o ambiente.

CRITICIDAD: medición del riesgo de un ítem bajo las siguientes asunciones: no mantenimiento, independiente de inspección y considerando la falla no revelada de la función de protección.

DEFECTO: es denominado a la condición anormal que puede causar una reducción o pérdida de la capacidad de un ítem de realizar las funciones requeridas.

DISPONIBILIDAD: habilidad de un ítem para estar en un estado de desempeñar las funciones requeridas bajo unas condiciones dadas en un instante o intervalo dado de tiempo.

ELEVADOR DE CANJILONES: equipo de transporte que permite llevar el producto a determinada altura mediante unos recipientes.

ESTIMATED TIME BETWEEN FAILURES WITHOUT MAINTENANCE (ETBF): tiempo estimado entre fallas si no se realiza mantenimiento recomendado por las observaciones humano e intervenciones realizadas.

ESTIMATED TIME BETWEEN CONCEQUENCES UIT MAINTENANACE (ETBC): tiempo estimado entre fallas con realización de tareas de mantenimiento preactivas.

EXTRUDER: equipo que mediante la adición de vapor y compresión permite preparar la soya y el maíz para ser utilizado como materia prima en el proceso de producción, este también permite hacer alimento para acuicultura y mascotas.

FALLA FUNCIONAL: terminación de la habilidad de un ítem para realizar una función requerida, o su funcionamiento no es de acuerdo con los requerimientos específicos.

FALLA NO REVELADA: cualquier falla cuya ocurrencia puede ser solo detectada por falla a una función en demanda, o por inspección, o por una prueba.

FALLA REVELADA: la ocurrencia de la falla es obvia por la terminación de la habilidad de ítem afectado para realizar su función requerida.

FUNCIÓN: propósito específico de una entidad o su acción característica.

INSPECCIÓN: actividades de medición, exámenes, pruebas, cálculos de una o mas características de un producto o servicio, y compararlos con los requerimientos específicos para determinar una conformidad.

INTEGRIDAD: cuando un sistema esta en unas condiciones de operación especificas y que no hay riesgo posible que su falla afecte las personas, el ambiente o el valor del activo.

ÍTEM: unidad de hardware, software, o ambos, que es capaz de cumplir un propósito específico.

MCDONEL: equipo que permite medir el nivel de agua de la caldera.

MODO DE FALLA: descripción cualitativa de cómo un ítem puede fallar.

MODO DOMINANTE DE FALLA: modo de falla con alta probabilidad de ser responsable de una falla funcional bajo consideración.

RADIADOR: equipo que permite la transferencia de calor hacia el producto para que este sea secado.

RACERAS: compuerta de acción mecánica o neumática que permite o no el paso del producto en proceso de una tolva o transportador a un destino específico.

RIESGO: combinación de la probabilidad o frecuencia de la ocurrencia de un peligro definido y la magnitud de la consecuencia de lo ocurrido.

RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE (RCM): estrategia de mantenimiento que es centrado en confiabilidad, el cual es desarrollado como un proceso estructurado y soportado en una decisión multidisciplinaria para la determinación del costo-efectivo de los requerimientos óptimos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional.

RISK BASED INSPECTION (RBI): metodología de manteniendo para equipos estáticos, basada en el riesgo de falla para determinar la estrategia de inspección.

TOLVA: equipo de almacenamiento temporal de producto en proceso.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN LA CONFIABILIDAD, RCM, E INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO, RBI, PARA LA LÍNEA CRÍTICA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA PARA CONCENTRADOS DE LA EMPRESA ITALCOL S.C.A UBICADA EN GIRÓN, SANTANDER

AUTOR(ES): PEDRO JOSÉ VEGA MENDOZA
FACULTAD: Facultad de Ingeniería Mecánica
DIRECTOR: ROSSVAN JOHAN PLATA

RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño de la estrategia de mantenimiento basada en RCM y RBI para línea crítica de producción de la planta de ITALCOL en Girón Santander, la cual está compuesta por la Mezcladora, Caldera, Compresor y línea estática de la caldera. Logrando de esta manera aumentar la confiabilidad de los equipos por medio del cambio de la estrategia de mantenimiento actual que es correctiva para plantear una estrategia preventiva.

Para el desarrollo del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM se conformó un grupo interdisciplinario de personal de la empresa, se definieron los equipos y los sistemas que los conforman, para luego hacer el análisis de criticidad de cada uno de sus sistemas y determinar cuáles sistemas requieren mayor atención por su alta criticidad, posteriormente se realizó el análisis de fallas en el cual a partir de la función principal del equipo se plantearon las fallas funcionales que se pueden presentar, además de sus modos de falla y el efecto de las mismas. Después se realizó el análisis de las consecuencias de cada modo de falla, para lograr de esta manera diseñar tareas de mantenimiento en las cuales se especificó el intervalo de tiempo en que se deben realizar y el responsable de su ejecución. Por último para el RCM se realizaron los Standar Jobs que son procedimientos estandarizados que tienen como objetivo brindar una guía para la realización de las tareas de mantenimiento.

Para el desarrollo de la metodología de RBI, la cual se aplicó a la línea estática de la caldera, se definieron los circuitos de corrosión a los cuales se plantearon los Tags y los modos de falla, evaluando en cada uno las consecuencias y la probabilidad de ocurrencias para hallar su criticidad y elaborar el plan de inspección a los equipos que mayor criticidad presentan.

PALABRAS CLAVES: Itacol, RCM, RBI, línea crítica, caldera, mezcladora, compresor, mantenimiento.

GENERAL SUMMARY

TITLE:

DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN LA CONFIABILIDAD, RCM, E INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO, RBI, PARA LA LÍNEA CRÍTICA DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA PARA CONCENTRADOS DE LA EMPRESA ITALCOL S.C.A UBICADA EN GIRÓN, SANTANDER

AUTHOR: PEDRO JOSÉ VEGA MENDOZA

FACULTY: Faculty of _____ Engineering

DIRECTOR: ROSSVAN JOHAN PLATA

SUMMARY

This project presents the design of the maintenance strategy based on RCM and RBI for critical line production plant Itacol Giron Santander, which is composed of the mixer, boiler, compressor and static line of the boiler. Achieving thus increasing reliability of equipment by changing the current maintenance strategy is right for raising a preventive strategy.

For the development of Reliability Centered Maintenance RCM formed an interdisciplinary group of company personnel, defined the system and equipment that form them, then do the analysis of criticality of each of their systems and determine which systems require more attention for its high criticality, subsequently conducted the analysis of faults in which after the team's main function raised the functional failures that may occur in addition to its failure modes and the effect thereof. After the analysis was made of the consequences of each failure mode, thus achieving maintenance design in which specified the time interval to be performed and is responsible for its implementation. Finally for the RCM was made Standar Jobs are standardized procedures that aim to provide a guide for carrying out maintenance tasks.

Develop the methodology of RBI, which was applied to the static line of the boiler, identified corrosion circuits which raised the tags and failure modes, evaluating the consequences each and the probability of occurrences to find their criticality and develop the inspection plan to the teams that have higher criticality.

KEY WORDS: Itacol, RCM, RBI, Critical line, boiler, mixer, compressor, maintenance.

INTRODUCCIÓN

Los departamentos de producción de las empresas manufactureras en la búsqueda del aumento de la productividad y desarrollo de productos de alta calidad han identificado el mantenimiento como la forma por la cual aumentan la confiabilidad de los equipos y por ende la capacidad productiva. Es por esto que se han desarrollado diferentes estrategias de mantenimiento desde los inicios de la actividad productiva en las cuales los objetivos han sido disminuir los costos y aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

La dirección nacional de producción de ITALCOL S.C.A. consientes de que la estrategia actual de mantenimiento correctiva no brinda la confiabilidad requerida para su línea crítica de producción de su planta en Girón en Santander, plantea la necesidad del diseño de una estrategia de mantenimiento la cual busque aumentar la confiabilidad de la caldera, la mezcladora y el compresor, equipos que conforman la línea crítica, además de disminuir los costos que están asociados al mantenimiento.

Como respuesta a la necesidad planteada por la dirección nacional de producción, se diseñó la estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad RCM e inspección basada en el Riesgo RBI, metodologías de mantenimiento preventivas.

Para el desarrollo de la estrategia de mantenimiento se conformó un grupo interdisciplinario conformado por personal de la empresa, con el que se realizaron reuniones para hacer una retroalimentación de los avances y mejoramiento del proyecto, además de servir de sensibilización para la continuidad del proyecto que es la implementación.

Tanto para el RCM como para el RBI, se definieron los equipos a los cuales se les aplicó la metodología, se realizó el análisis de criticidad para definir cuales sistemas o equipos requieren mayor atención, además se plantearon las tareas de mantenimiento y Standar Job para el RCM y para el RBI se diseñó el plan de inspección.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1 ITALCOL S.C.A NACIONAL¹

ITALCOL S.C.A con NIT 860.026.895-8, es una Sociedad Comandita por Acciones, la cual realiza actividades económicas como venta de alimentos concentrados, venta de materias primas, negocio de mascotas, manejo integral de plantas y preparación de premezclas. Contando con nueve plantas de producción en Colombia y una en Panamá además tiene como proyecto a corto plazo la construcción de plantas de producción en Venezuela y Ecuador.

1.1.1 Misión

Italcol existe para satisfacer la necesidad de alimentación, en busca permanente de una mejor nutrición, manteniendo y desarrollando una oferta de productos, social, económica y ambientalmente sostenibles, procurando el mejoramiento continuo del nivel de vida de nuestra comunidad.

1.1.2 Visión

ITALCOL S.C.A. se proyecta como líder del mercado andino de alimentos balanceados para animales, manteniendo altos estándares de calidad, una continua investigación y desarrollo de nuevos productos, generando valor garantizando la satisfacción de nuestros clientes, manteniendo un alto compromiso social y ambiental con la comunidad y el país

1.1.3 Política de calidad

En ITALCOL entendemos la calidad como el compromiso de todo el grupo humano con la satisfacción del cliente. Este compromiso se demuestra en la investigación y mejoramiento continuo de nuestros procesos.

Es así como atendemos las necesidades de nuestros clientes; produciendo y suministrando alimentos concentrados para animales, según las especificaciones requeridas, las cuales tienen optimas condiciones de precio y servicio que permiten alcanzar los resultados zootécnicos para cada especie.

¹ Programa Nacional de Capacitación. Información Corporativa. Departamento de Gestión Humana. ITACOL S.C.A. Nacional. Diciembre del 2008

Esperamos consolidar nuestro liderazgo en el mercado y con responsabilidad, respeto y profesionalismo constituimos como el mejor aliado de nuestros clientes, haciendo de nuestro nombre sinónimo de calidad, cumplimiento y confianza.

1.1.4 Valores corporativos

Los valores corporativos de ITALCOL son:

RESPETO: Reconocimiento del valor de cada persona, aceptando los diferentes criterios dentro de la filosofía corporativa

ÉTICA: Comportamiento adecuado según los parámetros de la organización y de la sociedad

SOLIDARIDAD: Actuar unificado, apoyo conjunto en el logro de objetivos comunes con nuestros colaboradores, clientes y comunidad

CALIDAD: Asegurar que los servicios, productos y procesos para satisfacer las necesidades de los clientes externos e internos

SERVICIO: Gestión integrada para atender y satisfacer los requerimientos de nuestros clientes externos e internos

LEALTAD: Fidelidad y reserva con los principios corporativos, procesos e información organizacional y de nuestros clientes

1.1.5 Filosofía de negocios

El equipo humano de ITALCOL está comprometido en el desarrollo de la empresa dentro de los siguientes lineamientos estratégicos:

- Portafolio de productos amplio y suficiente, desarrollado dentro de los mejores estándares de calidad.
- Permanente investigación y desarrollo en procura de la mejor y más sana nutrición.
- Amplia visión internacional, penetrando y cubriendo aquellos mercados donde nuestras ventajas competitivas tienen reales posibilidades.
- Un posicionamiento corporativo basado en la seriedad, calidad, confiabilidad y fortaleza competitiva.

- Apoyo y asesoría permanente a los clientes y mercados atendidos, anticipando sus necesidades con soluciones efectiva

1.1.6 Reseña histórica

ITALCOL S.C.A. en sus inicios era una industria familiar localizada en una finca de Suba (Cundinamarca), la cual por medio de una maquina, cumplía funciones de molino y mezcla para la producción de alimento concentrado para porcinos con un fin de autoabastecimiento. Constituida bajo escritura publica en 1.970, nació con el objeto de producir un tipo de alimento que completara o reemplazara la dieta regular de los animales con fines comerciales.

Dada la creciente demanda del mercado de los concentrados, se vio en la necesidad de trasladar la fabrica a una bodega en la ciudad de Bogota para comenzar la producción y la venta masiva de concentrados. En ese entonces, la empresa empleaba a diez trabajadores y contaba con una maquina movida por un motor de combustión, hecho que incrementó los niveles de producción y mejoro el nivel de ventas existentes.

Con esta nueva adquisición e impulsado por las necesidad del mercado la empresa abrió su actividad productiva hacia la avicultura y el ganado vacuno.

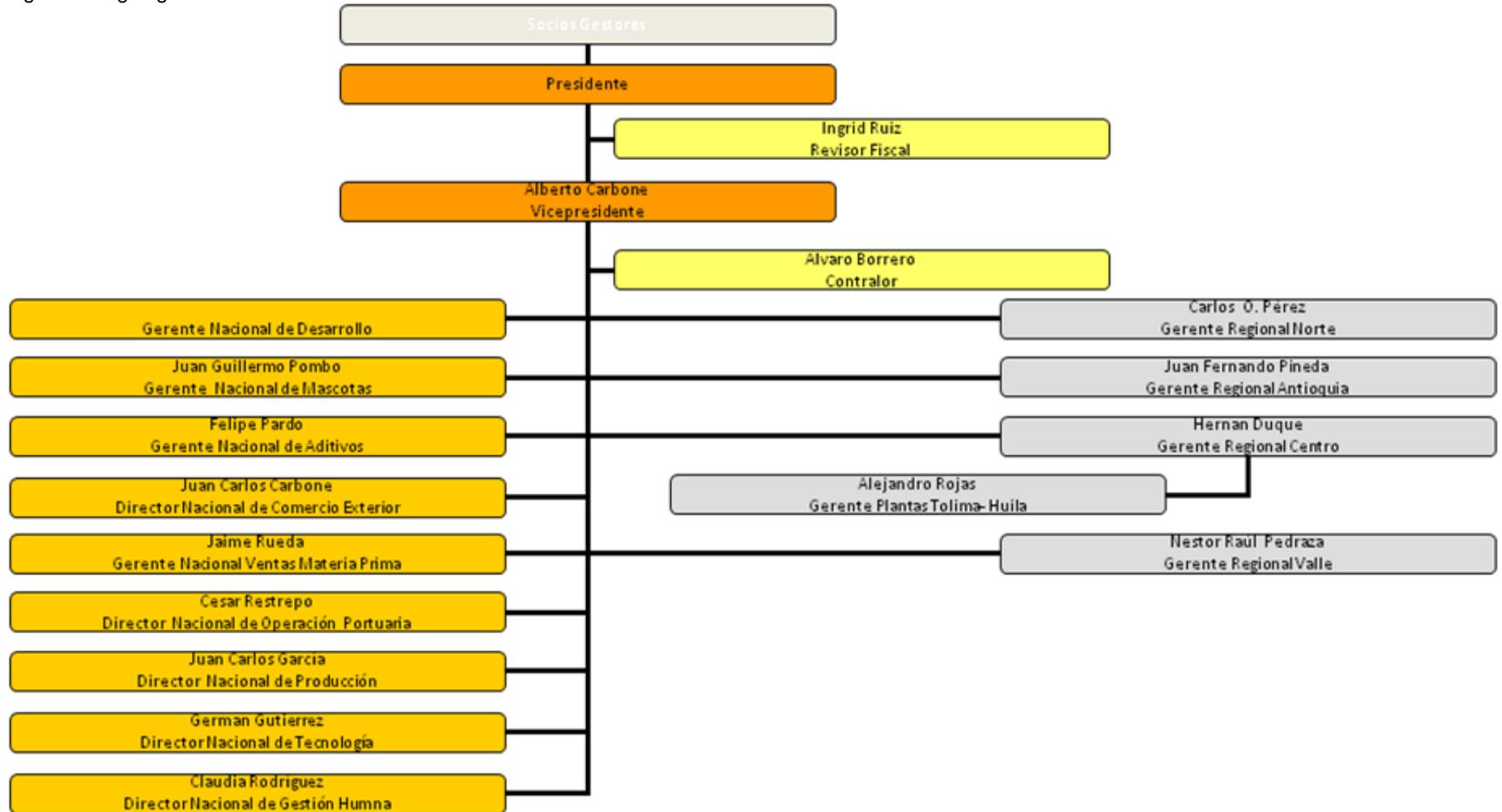
El progreso en la producción de los 70`s incremento la demanda, que comenzó a extenderse por todo el país, siendo Bucaramanga el principal mercado en desarrollo. Por lo tanto, y con el ánimo de disminuir costos, se organizo un centro de producción que abasteciera la zona de los santanderes.

Hacia mediados de los 80`s y con el fin de explotar el potencial del sector avícola en el sur occidente del país, se construyó una planta de producción en la periferia de la ciudad de Palmira con maquinaria altamente tecnificada.

En 1.993 se concluyó la construcción de la planta de producción, en la vía Mosquera (Cundinamarca) con tecnología de punto en producción, reemplazando la planta existente en Bogota. Esta es considerada como la más grande productora a nivel nacional de alimentos concentrados. Además ITALCOL cuenta con una planta en el puerto marítimo de Barranquilla y otra en el ciudad de Medellín, con el fin de abastecer el mercado nacional. Hoy en día ITALCOL es considerada la empresa líder del sector de alimentos.

1.1.7 Organigrama de ITALCOL S.C.A Nacional

Figura 1. Organigrama de ITALCOL S.C.A Nacional



Fuente: PROGRAMA NACIONAL DE CAPACITACIÓN. Como es nuestra organizacional. Departamento de Gestión Humana. 2008

1.1.8 Productos

Los productos que ofrece ITALCOL al mercado se clasifican por las siguientes líneas de producto:

- Línea de avicultura
- Línea de porcicultura
- Línea ganadera
- Línea de equinos
- Línea de Acuicultura
- Línea de mascotas
- Línea de materias primas y aditivos.

En la siguiente tabla se muestran los productos por línea de producto, las cantidades en que son vendidos los productos es por bultos de 40 kilogramos o toneladas según los requerimientos específicos de los clientes.

Tabla 1. Productos por línea de producto

LÍNEA	PRODUCTOS
Avicultura	Súper pollita preiniciador Súper Pollita Iniciación Súper Polla Levante Prepostura Súper huevo prepico Prepico 100 Polla campesina Pollita Iniciación R.P Polla Levante R.P Prepostura R.P Prepico R.P Super huevo Inc. P. Machos Reprod. Codorniz
Porcicultura	Súper Cerdito Preiniciador Fase 1 Súper Cerdito Preiniciador Súper cerdito iniciación Súper Cerdo Levante Súper Cerdo Levante M

LÍNEA	PRODUCTOS
Porcicultura	<p>Súper Cerdo Engorde Súper Cerdo Engorde Finalizador Súper cerda gestación Súper cerda Lactancia Súper cerda Lactancia Primeriza Cerdo Levante Cerdo Engorde Cerdo Ceba Cerde Cría Porcimix</p>
Ganadera	<p>Cría y Levante Preiniciador Terneras Superterneras Supernovillas Mega Pro 35 Ternero Texturizado</p> <p>Ganadería de Carne Vaca lechera Leche 16 Prelactancia Creмосa Megavaca Producción 75 Dairy Profit Ital-leche</p> <p>Sales Italsal Lechería 4%,6%,8%,10% Italsal Trópico 4%,6%,8%,10% Italsal 4%</p>
Equinos	<p>Brío Equinos Caballos de Fuerza</p>

LÍNEA	PRODUCTOS
Acuicultura	Súper Mojarra 40 Súper Mojarra 34 Súper Mojarra 30 Súper Mojarra 24 Súper Mojarra 20 Súper trucha iniciación Súper trucha levante Súper trucha finalización
Mascotas	Chunky Cats Italcan Chunky Agility Italcan plus Multican
Materias primas y aditivos	Maíz amarillo Soya Torta de soya Premezclas

Fuente: Autor del proyecto con base en Catalogo de productos ITALCOL S.C.A-2008.

1.1.9 Plantas de producción

Actualmente la empresa posee nueve plantas, que son:

SEDE PRINCIPAL: Funza (Cundinamarca)

SUCURSALES: Girón (Santander)
Girardota (Antioquia)
Barranquilla (Atlántico)
Villavicencio (Meta)
Ibagué (Tolima)
Palmira (Valle del Cauca)
Neiva (Huila)
Ciudad Panamá (Panamá)

Además la empresa se encuentra en el desarrollo de estudios para el montaje de plantas de producción en:

Manta (Ecuador)

Venezuela

Cucuta (Norte de Santander)

Eje Cafetero

Y una bodega para el recibo de materia prima en el Puerto de Barranquilla.

En la Foto 1. se muestran las instalaciones de la planta de producción principal de ITALCOL S.C.A en Funza (Cundinamarca)

Foto 1. Planta de producción en Funza - Cundinamarca



Fuente: Programa Nacional de Capacitación. Reseña Histórica, Planta en Funza Cundinamarca. Departamento de Gestión Humana. ITACOL S.C.A. Nacional. Diciembre del 2008

1.2 ITALCOL S.C.A GIRÓN – SANTANDER

Como decisión estratégica de la Gerencia Nacional se empieza la construcción de la planta en Girón (Santander) en el año de 1976, atraídos por el gran potencial avícola que presentaba el departamento, por lo cual la primera línea de producción con que conto la planta fue la avícola.

En el año de 1984 se construye la planta en la ubicación actual e inicia labores cuatro años más tarde con una capacidad diseñada de 10.000 toneladas mes. Con el transcurso de los años la planta ha ido creciendo y aumentando las líneas de producto que son elaborados, pasando desde la sola elaboración de línea avícola a la totalidad de líneas de productos que ofrece la empresa, esto lo ha logrado por la actualización y ampliación tecnológica constante lo cual la ha llevado a que actualmente cuente con una capacidad diseñada de 26.000 toneladas mes de productos de la más alta calidad e innovación.

1.2.1 Ubicación

La planta de ITALCOL S.C.A en Girón Santander se encuentra ubicada en el Kilometro 6 Autopista Vía Girón.

Foto 2. Planta de producción en Girón - Santander



Fuente: Programa Nacional de Capacitación. Reseña Histórica, Planta en Girón Santander. Departamento de Gestión Humana. ITACOL S.C.A. Nacional. Diciembre del 2008

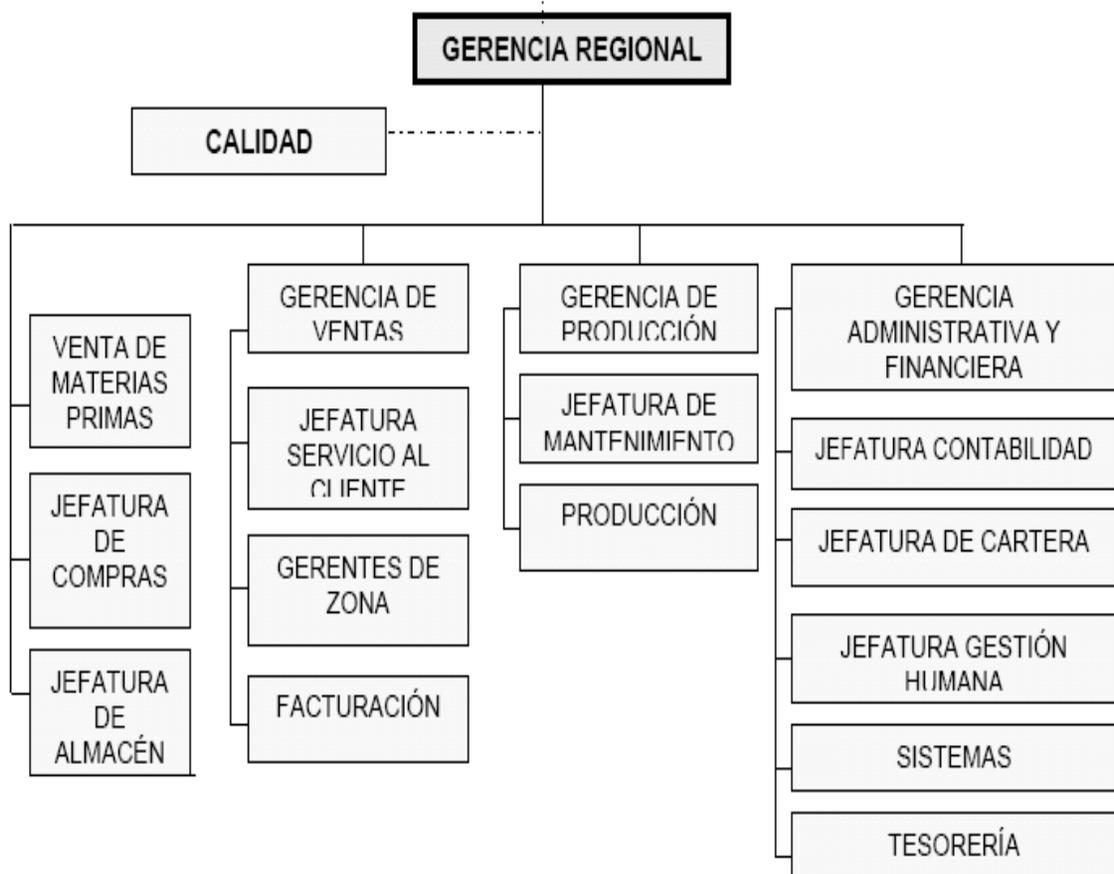
1.2.2 Productos elaborados

Los productos elaborados en la planta de Girón Santander son la totalidad de los productos las líneas de avicultura, porcicultura, ganaderai, equinos, acuacutura , materias primas y aditivos y en la línea de mascotas solo elabora en este momento Italcán.

1.2.3 Organigrama

La planta de Girón cuenta con estructura organizacional con cuatro departamentos que son venta de materias primas, gerencia de ventas, gerencia de producción, gerencia administrativa y financiera, además de estos cuatro departamentos cuenta con una línea staff de calidad.

Figura 2. Organigrama ITALCOL S.C.A. regional Santander



Fuente: Planeación estratégica de ITALCOL. Estructura Organizacional de Girón Santander. ITALCOL Sucursal Girón Santander. Enero del 2007

1.2.4 Descripción de proceso de producción²

El proceso de producción para la elaboración de alimentos balanceados para animales cuenta con las siguientes etapas:

1. RECIBO DE MATERIAS PRIMAS: El área de almacén es la encargada de ingresar y ubicar las materias primas que llegan, tanto nacionales como importadas, según el número consecutivo entregado en portería.

2. MUESTREO DE MATERIA PRIMA: Control de calidad es el área responsable de autorizar la entrada de materia prima, analizando según un plan de muestreo si cumple o no con los parámetros de compra previamente establecidos.

3. MATERIA PRIMA CONFORME: Una vez realizados los análisis, la materia prima puede ser autorizada, rechazada o tratada. Para poder ingresar al proceso de producción debe ser autorizada según los informes de infección a la materia prima.

4. RECIBO Y PESAJE DE MATERIA: Cuando ya es autorizada la materia prima, el vehículo que la transporta, pasa a báscula donde se determina el peso neto y se da entrada a almacén.

5. DESCARGUE DE MATERIA PRIMA: Dependiendo del tipo de materia, esta es almacenada bien sea en bodegas, en silos o tanques.

6. VACEO Y/O TRANSPORTE: Para dar inicio al proceso productivo las materias primas son transportadas desde silos o vaceadas en los transportadores desde las bodegas a tolvas de premolienda o dosificación. Así mismo los líquidos son transportados desde los tanques de almacenamiento, a los de dosificación de líquidos.

7. MOLIENDA: Se muelen las materias primas que lo requieran, como el maíz, con el objetivo de homogenizar su tamaño con las otras y así obtener una adecuada mezcla.

8. FABRICACIÓN DE PREMEZCLAS: Es un proceso alterno donde según la formulación dada por el nutricionista se elabora la mezcla exacta de aditivos (premezcla), para adicionar posteriormente al alimento.

9. VACEO POR PESA MENOR: Tanto las premezclas como las materias primas menores en la formulación son pesadas y vaceadas directamente a la mezcladora.

² Autor del proyecto con base en entrevista a Ing. Juan Carlos García Gerente Nacional de Producción

10. DOSIFICADO: Ya molidas las materias primas y según la formulación hecha por nutricionistas, se dosifican y mezclan.

11. PELETIZADO: Dependiendo de la presentación requerida por el cliente, el producto dosificado pasa por una maquina denominada peletizadora donde se empaca el producto y se vuelve pastillas (pelet).

12. QUEBRANTADO: Si se requiere una presentación menos gruesa a la de una pastilla, el producto ya peletizado para por los quebrantadores los cuales hacen al alimento más fino.

13. EXTRUSIÓN: Es otro proceso normalmente utilizado por la línea de mascotas y acuicultura, donde a través de una maquina llamada extruder, se cocina el producto a mayores temperaturas.

14. EMPACADO: El producto ya terminado pasa a tolvas de empaque donde se empaca en sacos y se etiqueta, pero si el producto va a granel pasa directamente a ser almacenado en tolvas graneleras para su posterior despacho.

15. ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO TERMINADO: El producto ya empacado pasa por bandas transportadoras a las bodegas de producto terminado para ser almacenado.

16. CARGUE DE PRODUCTO TERMINADO: Según los turnos para cargue dados por el proceso de almacén en portería, se despacha el producto a los clientes.

17. PESAJE: El vehículo en el que se va transportar el producto terminado ya sea a clientes o puntos de distribución, es pesado en báscula para determinar su peso neto y salir de las instalaciones de ITALCOL.

1.2.5 Cantidades producidas

El sistema de producción es un sistema por líneas de producción, por lo cual la planeación de producción se realiza por lotes de productos o corridos por tipos de productos. En la Tabla 2 se muestran las toneladas mensuales de todos los alimentos para animales que se produjeron por mes en la planta de ITALCOL S.C.A en Girón Santander.

Tabla 2. Toneladas producidas mensualmente

No.	MES	TONELADAS
1	Marzo / 09	14.000
2	Febrero /09	14.800
3	Enero /09	12.500
4	Diciembre /08	15.600
5	Noviembre /08	15.000
6	Octubre /08	14.200
7	Septiembre /08	14.800
8	Agosto /08	14.100
9	Julio /08	13.900
10	Junio /08	14.500
11	Mayo/08	15.200
12	Abril/08	16.100
13	Marzo /08	15.350
14	Febrero /08	14.000
15	Enero /08	12.120
PROMEDIO		14.411

Fuente: Elaboración propia con datos de los informes trimestrales del Departamento de producción

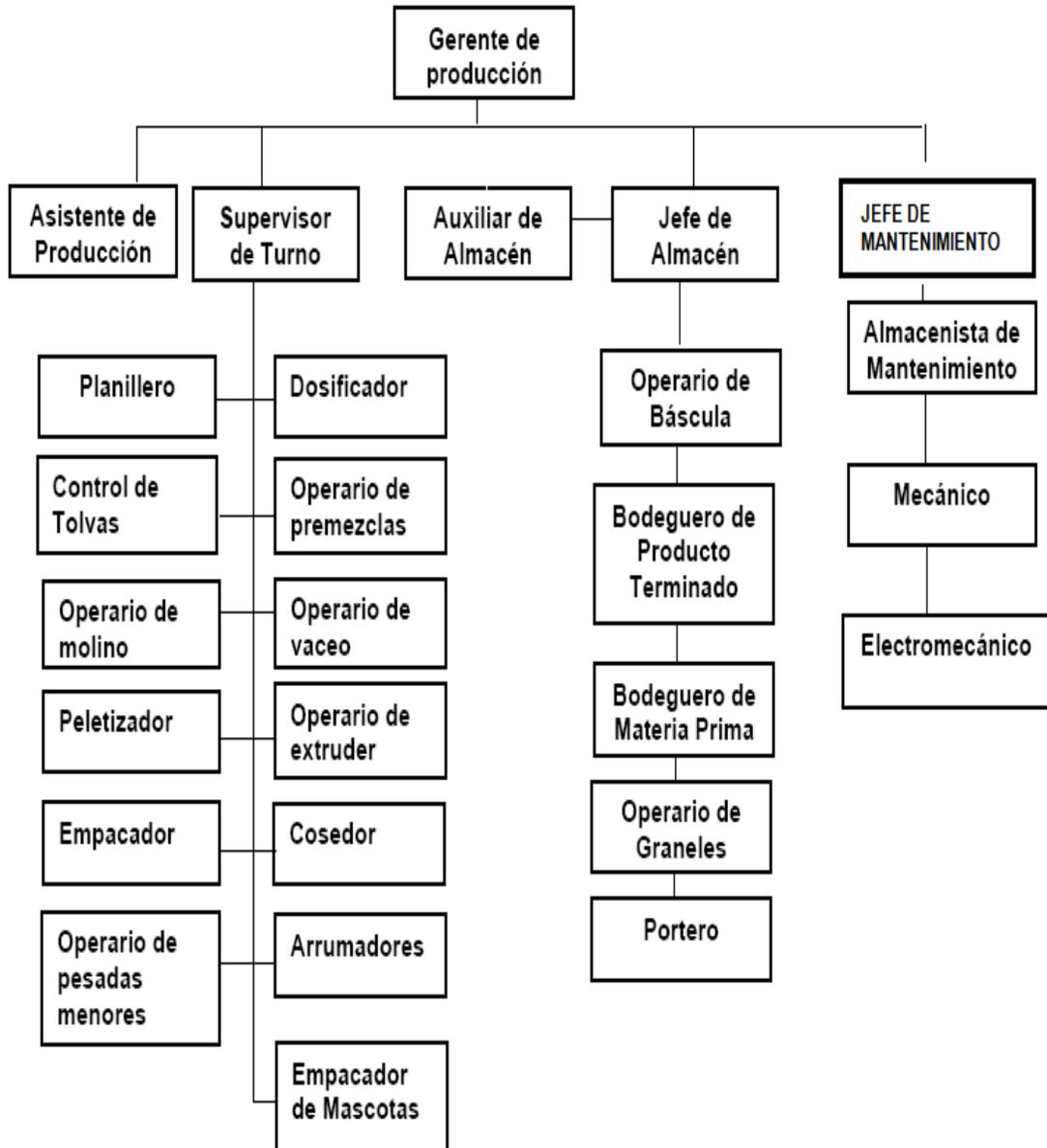
1.2.6 Área de mantenimiento

El área de mantenimiento de la planta de producción de ITALCOL S.C.A. en Girón Santander cuenta con las siguientes funciones:

- Mantenimiento correctivo a la maquinaria y equipo de la planta de producción.
- Informes de investigación sobre daños ocurridos en maquinaria y equipo.
- Reparación parcial o total de maquinaria y equipo defectuoso.
- Ajustes parciales o totales a la maquinaria por requerimientos específicos de producción.

El área de mantenimiento está suscrita al departamento de producción como se muestra en la Figura 3, en la cual está el organigrama del departamento de producción.

Figura 3. Organigrama del departamento de producción



Fuente: Planeación estratégica de ITALCOL. Estructura Organizacional de Departamento de producción. ITALCOL. Sucursal Girón Santander. Enero del 2007

En esta área el jefe de mantenimiento es el encargado de recibir las órdenes de trabajo y enviar al supervisor y su equipo humano de electromecánicos, mecánicos y auxiliares a la maquinaria que presenten fallas, para de esta manera

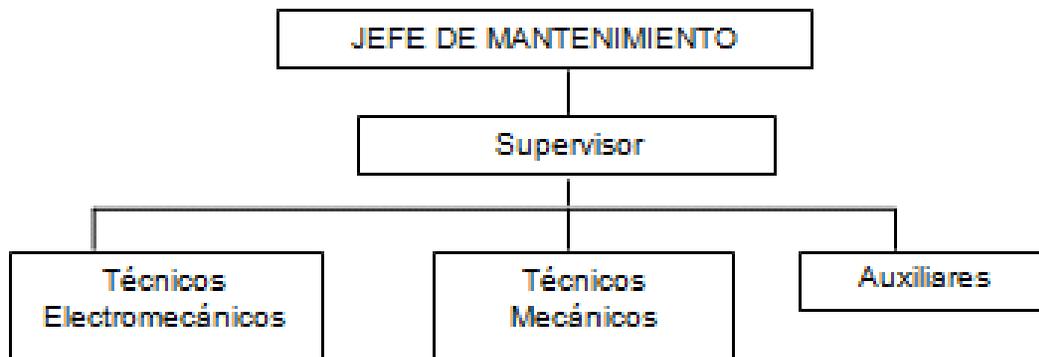
realizar las tareas correspondientes para dar un resultado en la confiabilidad operacional y disponibilidad de los equipos.

Para realizar los trabajos de mantenimiento a los equipos, ya sea porque están programados para un mantenimiento correctivo (CM), el jefe de mantenimiento y los supervisores son los encargados de recibir las ordenes de trabajo que son solicitadas por los operarios de las diferentes maquinas de la planta que presentan fallas, para de esta manera detectar las fallas, causas y consecuencias de la mismas.

El seguimiento realizado por el personal de mantenimiento a los equipos se realiza en inspecciones diarias, debido a las causas frecuentes de las maquinas de la planta, en las cuales el personal de mantenimiento debe diligencias un formato de mantenimiento en el cual se especifica la maquina, la falla que presenta, las causas y consecuencias de la misma y posibles arreglos que queden pendientes.

El personal del área de mantenimiento está conformado por un jefe de mantenimiento, un supervisor, seis técnicos electromecánicos, cinco técnicos mecánicos y dos auxiliares.

Figura 4. Organigrama del área de mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

1.2.7 Estrategia de mantenimiento actual

El seguimiento realizado a la maquinaria de la empresa ITALCOL S.C.A, es un mantenimiento correctivo; este mantenimiento se refleja en inspecciones diarias, de acuerdo a las fallas que se presentes en los equipos que conforman el sistema y de esta manera subsanar o corregir las mismas, para que de esta manera no existan retrasos prolongados en la producción y en la entrega de los productos a los clientes.

El proceso para realizar el mantenimiento correctivo a los equipos consiste en detectar por parte de los operarios de la planta la maquinaria que presente fallas, de esta manera se informa al jefe de mantenimiento o al supervisor de la falla que se está presentando y la maquinaria correspondiente, lo siguiente a realizar es diligenciar la orden de trabajo, en la cual se debe especificar la maquina, el encargado de la misma, la falla que presenta; posteriormente se delega este trabajo a un mecánico encargado en la planta, el cual debe por su parte detectar las causas y posibles consecuencias que acarrea la falla y las especificaciones de mantenimiento que se realizaron a la maquina, para de esta manera tener un control de mantenimiento.

2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La planta de alimentos balanceados para animales ITALCOL S.C.A de Girón, Santander, cuenta con una línea de producción la cual está compuesta por las secciones de recibo, molienda, dosificado, mezcla, peletizado, extrudizado y empaque. De la totalidad de los equipos de producción, la caldera, el compresor, y la mezcladora conforman la línea crítica de producción, debido a que un no funcionamiento de alguno de estos equipos genera el detenimiento total de la planta.

Como respuesta de la empresa a los requerimientos de confiabilidad en estos equipos de la línea crítica, en los últimos años se ha evolucionado en la implementación y aplicación de mantenimiento para la maquinaria de la planta de producción de alimentos balanceados para animales, desarrollando el mantenimiento correctivo. Los cambios presentados en la planta y la gran demanda de los productos de la empresa ITALCOL S.C.A, inducen a nuevas técnicas de mantenimiento para de esta manera no contar con retrasos en la producción y en la entrega de los productos a los clientes.

Actualmente el mantenimiento correctivo no está respondiendo a las condiciones cambiantes y a la confiabilidad requerida en los equipos de la línea crítica. Estos incluyen un conocimiento rápido del crecimiento del grado de las fallas que se presentan en la maquinaria de la planta, afectando la seguridad de los empleados y la productividad de la planta y acarreando de esta manera falta de disponibilidad de la planta y altos costos por suspender la producción de alguna maquinaria para realizarle el mantenimiento correspondiente.

Frente a estos cambios y dificultades que se evidencian, se plantea diseñar una estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad, RCM, e inspección basada en el riesgo, RBI, para la línea crítica de producción de Italcol S.C.A. en su planta de Girón, Santander. Para de esta manera lograr que en la planta se aumente la productividad y confiabilidad, se disminuyan los costos de mantenimiento, se mejoren los procesos de inspección, reparación y remplazo de equipo y se reduzca el número de días de parada no programados por daños en equipos.

3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la planta de concentrados de ITALCOL S.C.A en Girón, Santander, maneja un programa de mantenimiento reactivo (correctivo) que no ha sido capaz de asegurar la confiabilidad de los equipos involucrados en la línea crítica, debido a las elevadas cantidades de producción que actualmente se producen y a la falta de un mantenimiento preventivo.

Los equipos de la línea crítica deben brindar una eficaz confiabilidad a la producción, por lo cual necesitan un programa de mantenimiento que permita disminuir las posibles fallas aumentando la disponibilidad de los mismos. Por lo cual se plantea la necesidad de aplicar un programa de mantenimiento basado en Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad - RCM y en la metodología de inspección basado en el riesgo – RBI.

El RCM brinda confiabilidad, desde el mismo momento que el equipo esta funcionado, sin tener que esperar una parada por daño, además de garantizar adecuados y eficientes procedimientos estandarizados de mantenimiento con el fin asegurar el trabajo realizado por cada integrante del departamento de mantenimiento. Y la metodología de inspección basada en el riesgo RBI, es una metodología de mantenimiento enfocada al aseguramiento de la integridad de los equipos estáticos con una efectividad económica y sin comprometer la seguridad.

Con las estrategias de mantenimiento RCM y RBI en la empresa ITALCOL S.C.A de Girón, Santander, se pretende reducir costos de mantenimiento, implementar procedimientos estandarizados para cada componente de la línea crítica, reducir el tiempo de mantenimiento y aumentar la eficiencia de los equipos y por consiguiente elevar la productividad de la producción. Además, la estrategia de mantenimiento RCM y RBI para la línea crítica de producción de la planta de ITALCOL S.C.A de Girón, Santander, serviría de guía para la implementación de estrategias de mantenimiento basadas en RCM y RBI en todas las plantas de producción de concentrados con que cuenta la empresa.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una estrategia de mantenimiento para una caldera de carbón VR de 250 Hp, un compresor Sullair de tornillo y una mezcladora de cintas de 6 toneladas, pertenecientes a la línea crítica de producción de la planta de alimentos balanceados para animales de la empresa ITALCOL S.C.A ubicada en Girón, Santander; mediante la metodología RCM(mantenimiento centrado en la confiabilidad) y RBI(metodología de inspección basada en el riesgo) con el propósito de contar con un mantenimiento programado que asegure el normal desarrollo de la producción.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar y clasificar la información de la caldera de carbón VR de 250 Hp, el compresor Sullair de tornillo y la mezcladora de cintas de 6 toneladas, en las cuales se registren las características físicas y operacionales de la maquinaria que se someterán al proceso RCM. Resultado: Descripción de las funciones, fallas funcionales, criticidad y modos de falla de los equipos involucrados en el proceso. Indicador: La información de los equipos recolectará a partir de sus manuales, vistas de campo y reuniones RCM acorde a lo planteado por la estrategia de mantenimiento centrada en la confiabilidad.
2. Consolidar las tareas de mantenimiento con la misma frecuencia para la caldera de carbón VR de 250 Hp, el compresor Sullair de tornillo y la mezcladora de cintas de 6 toneladas. Resultado: Análisis de producción vs costo de mantenimiento para optimizar los beneficios económicos asignados a la estrategia de mantenimiento. Indicador: Las tareas seguirán las normas MST (Maintenance Schedule Task)
3. Elaborar los SJ (Standard Jobs) para las tareas de mantenimiento del plan, con sus respectivos recursos requeridos. Resultado: Guía para el personal de mantenimiento con el fin de garantizar la correcta ejecución técnica del trabajo de mantenimiento. Indicador: Las tareas de mantenimiento se rigen mediante la norma ISO 9001 versión 2000.
4. Diseñar un programa de inspección basado en el riesgo para el mantenimiento del equipo estático de la línea crítica. Resultado: Minimizar el potencial de falla en los equipos y racionalizar el uso de recursos en la

ejecución de las inspecciones. Indicador: Se usara la estrategia RBI (Risk Based Maintenance).

5. MARCO TEÓRICO

5.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

Se denomina RCM (Reliability Centered Maintenance) a un proceso específico y estructurado empleado para definir la estrategia de mantenimiento de los activos de una instalación o planta industrial, con el objetivo de administrar los modos de fallas que causan las fallas funcionales en cualquiera de los activos físicos dentro de un contexto operacional determinado y claramente definido.

El mantenimiento basado en la confiabilidad nació durante 1960 y 1970 por la United Airlines de Estados Unidos con la finalidad de ayudar a las empresas aeronáuticas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas, así como disminuir el número de accidentes por millón de despegues.

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

- La integración de la revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente. Esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.
- Enfocando las tareas de mantenimiento en las áreas de producción que mayor incidencia tienen en el funcionamiento total de la planta y desempeño de la misma, para de esta manera garantizar que la inversión realizada en mantenimiento genere el impacto económico esperado³.

5.1.1 Historia del RCM

Para el análisis de la historia del RCM, se mencionara primero la historia del mantenimiento y luego la del RCM.

5.1.1.1 Historia del mantenimiento

La historia del mantenimiento se divide en tres generaciones:

³ MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (Reliability – centred Maintenance) Edición en Español. Jhon Mourbray. Traducido por ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOS, Buenos Aires, Argentina – Madrid, España. Edición en Español 2004.

- **Primera Generación**

La primera generación cubre el período hasta la Segunda Guerra Mundial, en esa temporada la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los periodos de paradas no generan impactos negativos en la producción, además de que la maquinaria se caracterizaba por ser sencilla y diseñada para una función determinada, lo que la hacía que fuera confiable y fácil de reparar. En esos días la maquinaria se reparaba solo cuando se dañaba en su totalidad.

- **Segunda generación**

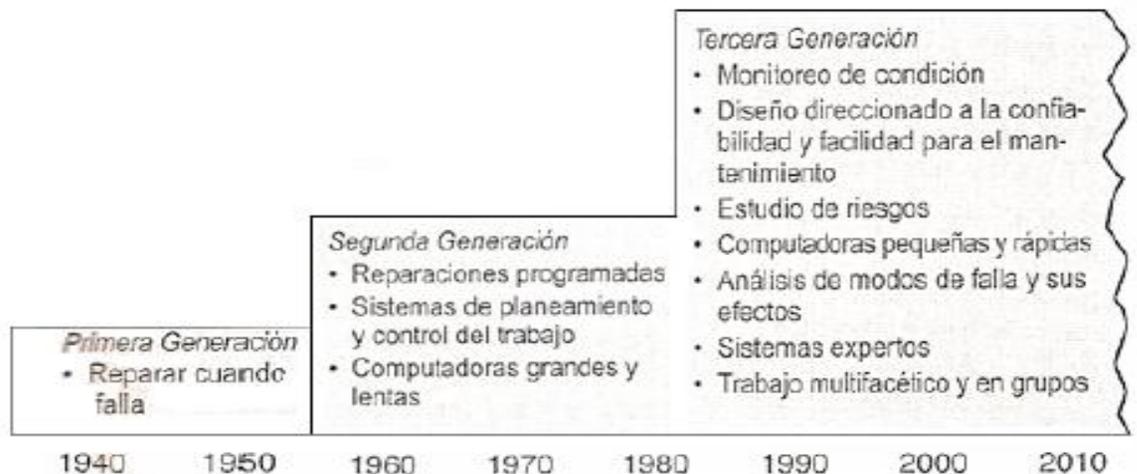
La segunda generación comprende los años de 1.960 a 1.980. En este intervalo de tiempo en que ocurrió la segunda guerra mundial, el contexto operacional cambio sustancialmente debido a que en los tiempos de guerra aumento significativamente la demanda de diferentes productos, lo cual genero que las industrias se mecanizaran, generando gran dependencia de las empresas hacia la maquinaria. En estos años el mantenimiento se basaba en la revisión completa de los equipos a intervalos fijos de tiempo y tenía como objetivo lograr la mayor disponibilidad de la planta, mayor vida de los equipos y reducir los costos.

- **Tercera generación**

La tercera generación comienza en los años 80's y está vigente actualmente. En esta generación las expectativas del mantenimiento son lograr mayor disponibilidad y confiabilidad de la planta, mayor seguridad, garantizar la calidad del producto, minimizar los daños al ambiente, mayor vida de los equipos y mayor relación coste-eficacia.

En la Figura 5. se mencionan las técnicas de mantenimiento en cada una de las generaciones.

Figura 5. Técnicas de mantenimiento en cada generación



Fuente: Johnn Moubray. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

5.1.1.2 RCM⁴

Al final de 1.950, la aviación comercial en el mundo estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues, lo cual sería equivalente a dos accidentes diarios actualmente. Dos tercios de los accidentes ocurridos en 1.950 eran causados por fallas en los equipos, el hecho de que una cifra tan alta de accidentes fuera provocado por fallas en los equipos implicaba que al menos inicialmente, se debía que hacerse énfasis en la seguridad de los equipos.

La concepción que se tenía era que los motores y otras partes importantes se deterioraran después de cierto tiempo, esto condujo a creer que las reparaciones periódicas impedirían que las piezas de gastaran y así prevenir fallas, por lo que en esos días el mantenimiento significaba hacer reparaciones periódicas, cuando se dieron cuenta que esta concepción era errónea, plantearon que el intervalo de tiempo entre reparaciones debía ser menor ya que el desgaste de las piezas ya había iniciado, a pesar de que recortaron este tiempo las fallas no se disminuyeron sino que al contrario presentaron un aumento.

De esta manera el RCM tiene sus inicios a principios de 1.960. El trabajo del desarrollo inicial fue realizado por la industria de Aviación Civil Norteamericana y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento no eran solo costosas sino también altamente peligrosas. Esto inspiró a la industria a evaluar una serie de grupos de dirección de mantenimiento para reexaminar todo lo que ellos estaban haciendo para mantener todos sus aviones funcionando. Estos grupos estaban conformados por representante de los fabricantes de aviones, las aerolíneas y la fuerza aérea americana.

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

El RCM es uno de los procesos desarrollados durante 1960 y 1970 con la finalidad de ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas.

A mediados de 1.970, el gobierno norteamericano quiso saber más acerca de la filosofía moderna en materia de mantenimiento de aeronaves, y solicitaron un reporte sobre este a la industria aérea. Dicho reporte fue escrito por Stanley Nowlan y Howard Heap de Unit Airlines, este informe fue titulado como REALIABILITY CENTERED MAINTENANCE (Mantenimiento centrado en la confiabilidad) y publicado en 1.975, y aun hoy sigue siendo uno de los

⁴ ARIZA RINCÓN, Albert Jair. Aplicación de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a equipos de minería a cielo abierto tomando como piloto la flota de taladros de voladura. UIS 2008, 63 p.

documentos más importantes en la historia del manejo de los activos físicos. El informe desarrollado por Nowlan y Heap represento un avance en la filosofía MSG – 2 y fue usado como base para el MSG-3, el cual fue difundido en 1980 como: Documento para la Planeación del Programa de Mantenimiento para Fabricantes/ Aerolíneas. El MSG-3 fue influenciado por el libro de Nowlan y Heap (1978), este ha sido revisado tres veces, la primera en 1988, de nuevo en 1993 y la tercera en el 2001, hasta el presente es usado para desarrollar programas de mantenimiento prioritarios al servicio para nuevos tipos de aeronaves incluyendo el reciente Boeing 777 y el Airbus 330/340⁵.

El departamento de Defensa de los Estados Unidos aprendió que la aviación comercial había encontrado un enfoque revolucionario para programar el mantenimiento y busco beneficiarse de esta experiencia. Una vez que el departamento de Defensa publicó el libro de Nowlan y Heap, el ejército Americano se propuso desarrollar procesos RCM para su propio uso: uno para el ejército, uno para la fuerza área y otro para la armada.

Otra aplicación del RCM se dio a principios de 1.980, el instituto para la investigación de la energía eléctrica, un grupo de investigación comercial para las compañías generadoras de energía en Norteamérica realizó dos pruebas de RCM en la industria de la energía nuclear americana. Su interés se dio debido a la creencia de que esta industria estaba logrando niveles adecuados de seguridad y confiabilidad, pero se hacía demasiado mantenimiento a sus equipos, lo cual significaba que su propósito era reducir costos de mantenimiento en vez de mejorar la confiabilidad, y el proceso RCM era modificado consecuentemente por lo que modificaron significativamente el proceso planteado por Nowlan y Heap. Este proceso modificado fue adoptado sobre una base amplia por la industria de la energía nuclear Americana en 1987, y se implementaron variaciones de su enfoque por otras compañías de energía, alguna de otra rama de la generación eléctrica, distribución industrial y la industria petrolera.

En la década de 1990 el concepto RCM se hizo más popular y empezaron a aparecer varias metodologías de mantenimiento que sus autores también llamaban RCM, pero estos métodos eran muy distantes al originalmente propuesto, así que surgió la necesidad de sacar una normatividad que definiera cuando una metodología podía llamarse RCM.

En 1.996 la SAE empezó a trabajar en un modelo afín con el RCM, invitando a un grupo de representantes de la aviación, de la armada estadounidense y comunidades de naves para que le ayudaran a desarrollar una norma para programas de mantenimiento planeados. Estos representantes de la armada se habían estado reunido previamente, por cerca de una año, para desarrollar un proceso RCM que pudiera ser común a la aviación y los buques. Es así como ellos

⁵ Copias de MSG-3,2001, se encuentran en Air Transport Association, Washington, DC.

previamente habían hecho una considerable cantidad de trabajo antes de empezar a reunirse bajo el auspicio de la SAE.

A finales de 1.997, se unió a este grupo un número de representantes principales del RCM provenientes de la industria. En esta ocasión, se dieron cuenta de que era mejor enfocarse enteramente en el RCM. Entonces el grupo encontró un mejor enfoque para esta norma en 1.999, presentándola a la SAE para ser sometida a votación. La norma aprobada por la SAE⁶ no representa un proceso RCM estándar, su título es “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM”, si los criterios no lo satisfacen, no debía llamarse, “Proceso RCM”, esto no necesariamente significa que los procesos que no cumplan con la norma SAE no sean procesos RCM validos para la formación de estrategias de mantenimiento, simplemente significa que el término RCM no debería ser aplicado a tales procesos.

5.1.1.3 Evolución del RCM⁷

En el transcurso de los años, el mantenimiento ha recibido significantes aportes provenientes del campo de la estadística y de la teoría de la confiabilidad. Antes de que surgiera el RCM se tenían varios conceptos acerca de la administración del mantenimiento. En la Tabla 3 se menciona como ha evolucionado al nuevo sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 3. Acciones del mantenimiento tradiciones y acciones con RCM

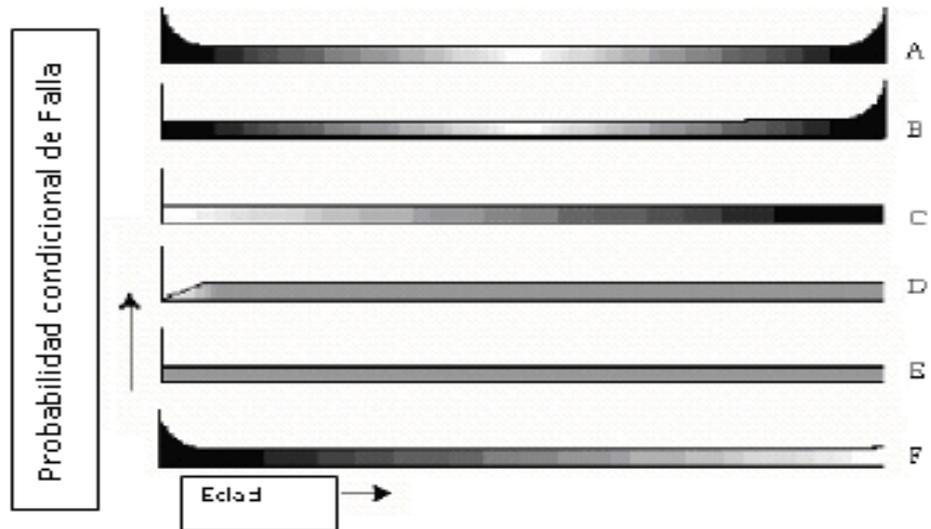
ACCIONES MANTENIMIENTO TRADICIONAL	ACCIONES CON RCM
Mantenimiento para conservar los equipos en buen estado	Mantenimiento para conservar las funciones de los activos físicos
Mantenimiento rutinario para prevenir la falla	Mantenimiento rutinario para evitar, reducir o eliminar las consecuencias.
El objetivo del mantenimiento era optimizar la disponibilidad de la planta a un costo fijo	Su objetivo no es solo optimizar la disponibilidad de la planta, sino también en aumentar la seguridad, la integridad ambiental, la calidad de los productos y el servicio al cliente
La mayoría de los equipos tienden a fallar a medida que envejecen	Se presentan modelos de fallas de los equipos determinados por curvas de probabilidad de falla contra vida útil.
Los tres tipos de mantenimiento convencional son: predictivo, preventivo y correctivo	Con la nueva estrategia de mantenimiento se adiciona el tipo detectivo

En la Figura 5. se muestran los nuevo modos de falla y sus respectivas explicaciones.

⁶ Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, SAE JAE1011, Commonwealth, Warrendale, PA 15096-0001, USA.

⁷ ARIZA RINCÓN, Albert Jair. Aplicación de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a equipos de minería a cielo abierto tomando como piloto la flota de taladros de voladura. UIS 2008, 68 p.

Figura 6. Nuevos modos de falla



Fuente: MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCM II. New York: SOPORTE y CIA LTD, 1.997, p7.

- **Modelo A**

También se conoce como la curva de la bañera. Comienza con una alta incidencia de la falla (conocida como mortalidad infantil o desgaste de funcionamiento) seguida por una frecuencia de falla que aumenta gradualmente o constante, y luego por una zona de desgaste.

- **Modelo B**

Muestra una probabilidad de falla constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste.

- **Modelo C**

Muestra una probabilidad de falla ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida que sea identificable.

- **Modelo D**

Muestra una probabilidad de falla baja cuando el componente es nuevo o se acaba de comprar, luego un aumento rápido a un nivel constante.

- **Modelo E**

Muestra una probabilidad constante de falla en todas las edades (falla aleatoria).

- **Modelo F**

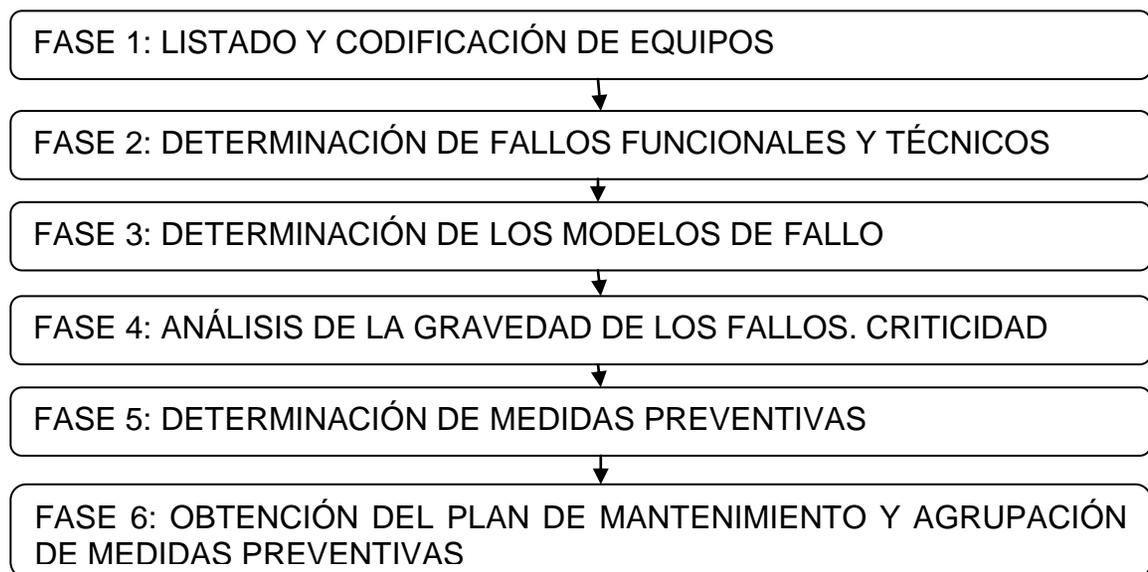
Comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de falla que aumenta despacio o que es constante.

Los estudios hechos en la aviación civil demostraron que el 4% de las piezas está de acuerdo con el modelo A, el 2% con el B, el 5% con el C, el 7% con el D, el 14% con el E y no menos del 68% con el modelo F. En general, los modelos de las fallas dependen de la complejidad de los elementos. Aclarando que el número de veces que ocurren estos modelos en la aviación no es necesariamente el mismo que en la industria, pero hay una relación que entre más complejo sean los equipos más veces se encontrarán los modelos de falla E y F.

5.1.2 Fases de desarrollo del RCM

El desarrollo del RCM está compuesto por siete fases, las cuales se muestran en la Figura 6.

Figura 7. Fases de desarrollo del RCM



Fuente: Jhon Moubray, Mantenimiento centrado en la confiabilidad

5.1.2.1 Fase 1: Listado y codificación de equipos⁸

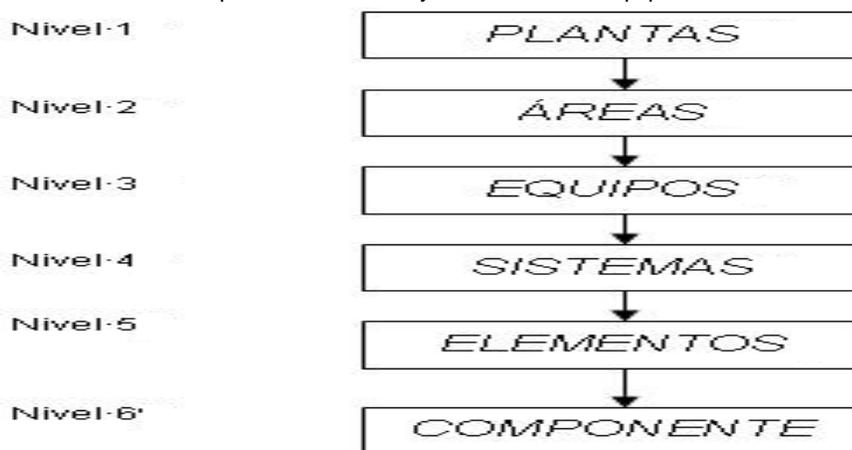
El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de fallas según la metodología de RCM es elaborar una lista ordenada de los equipos según el

⁸ GARCIDA, Samuel: Plan de mantenimiento basado en RCM, [en línea] publicado en 2006 [citado Enero 2009] disponible en la página de internet: <http://mantenimientoindustrial.com/RCM+Fase+1+Listado+de+funciones>

alcance establecido para el mismo. Esta lista no debe ser una simple lista en la que se enlisten los equipos y maquinaria sino que debe ser una lista estructurada en la que se establezcan las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes.

En una planta industrial se pueden identificar los siguientes niveles en el momento elaborar la lista estructurada de equipo y maquinaria, como se muestra en la Figura 7, en la que se plantea que se debe partir de lo general que es la planta o nivel uno para llegar a lo particular que son los componentes que es el nivel 6.

Figura 8. Estructura del proceso de listado y codificación de equipos



Fuente: Jhon Moubray, Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Una empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de las cuales puede estar dividida en diferentes zonas o áreas funcionales. Estas áreas pueden tener en común la similitud de sus equipos, una línea de producto determinada o una función. Cada una de estas áreas está formada por un conjunto de equipos, iguales o diferentes, que tienen una entidad propia. Cada equipo, a su vez, está dividido en una serie de sistemas funcionales, que se ocupan de una misión. Los sistemas a su vez se descomponen en elementos y los componentes son partes más pequeñas de los elementos, y son las partes que habitualmente se sustituyen en una reparación.

5.1.2.2 Fase 2: Determinación de fallas funcionales y técnicas⁹

Una falla es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Si se realiza correctamente el listado de funciones, es muy fácil determinar las fallas:

⁹ GARCIDA, Samuel: Plan de mantenimiento basado en RCM, [en línea] publicado en 2006 [citado Enero 2009] disponible en la página de internet: <http://mantenimientoindustrial.com/RCM+Fase+2+Determinacion+de+fallos>

se tendrá una posible falla por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo) y no se cumpla.

Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallas funcionales y fallas técnicas. Se define como falla funcional aquella falla que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal. Naturalmente, son los más importantes.

Las fallas técnicas afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos. Una falla técnica es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de este. Estas fallas, aunque de una importancia menor que las fallas funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallas funcionales del sistema.

Las fuentes de información para determinar los fallos son muy diversas. Entre las principales se encuentran las siguientes: consulta al histórico de averías, consultas al personal de mantenimiento y de producción y estudio de los diagramas lógicos y funcionales de la planta.

▪ **Históricos de averías**

El histórico de averías es una fuente de información muy valiosa a la hora de determinar las fallas potenciales de una instalación. El estudio del comportamiento de una instalación, equipo o sistema a través de los documentos en los que se registran las averías e incidencias que pueda haber sufrido en el pasado, aporta una información esencial para la identificación de fallas.

En algunas plantas no existe un archivo histórico de averías suficientemente fiable, un archivo en el que se hayan registrado de forma sistemática cada una de las averías que haya tenido cada equipo en un periodo determinado. Pero siempre es posible buscar una fuente que nos permita estudiar el historial del equipo:

- Estudio de las partes de trabajo, de averías, etc. Agrupando las partes de trabajo por equipos es posible deducir las incidencias que afectan a la maquina en un periodo determinado
- Diarios de incidencias. El personal a turnos utiliza diarios en los que refleja los incidentes sufridos, como medio para comunicárselos al turno siguiente. Del estudio de estos diarios también es posible obtener información sobre averías e incidentes en los equipos.

▪ **Personal de mantenimiento**

Siempre es conveniente conversar con cada uno de los miembros que componen el departamento de mantenimiento, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales y las formas de evitarlos. Esta consulta ayudara además, a que el personal de mantenimiento se implique en el RCM.

- **Personal de producción**

La consulta al personal de producción ayudara a identificar las fallas que mas interfieren con la operación de la planta.

- **Diagramas lógicos y diagramas funcionales**

Estos diagramas suelen contener información valiosa, incluso fundamental, para determinar las causas que pueden hacer que un equipo o un sistema se detengan o se disparen sus alarmas. Los equipos suelen estar protegidos contra determinadas fallas, bien mostrando una alarma como aviso del funcionamiento incorrecto, bien deteniéndolos o impidiendo que se pongan en marcha si no se cumplen determinadas condiciones. El estudio de la lógica implementada en el sistema de control puede indicarnos posibles problemas que pudiera tener la instalación

5.1.2.3 Fase 3: Determinación de los modelos de falla¹⁰

Una vez determinados todas las fallas que pueden presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de falla. Se podrá definir el modo de falla como la causa primaria de una falla, o como las circunstancias que acompañan una falla concreta.

Cada falla, funcional o técnica, puede presentar, múltiples modos de falla. Cada modo de falla puede tener a su vez múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se denomina las causas raíz.

No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos requeridos son excesivos. El análisis termina abandonándose con pocos avances. Por los tanto, es importante definir con que grado de profundidad se van a estudiar los modos de falla, de forma que el estudio sea abordable y técnicamente factible. Es aconsejable estudiar los modos de falla y causas primarias de estas fallas, y no seguir profundizando.

5.1.2.4 Fase 4: Análisis de la gravedad de las fallas, criticidad¹¹

El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de falla y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

¹⁰ GARCIDA, Samuel: Plan de mantenimiento basado en RCM, [en línea] publicado en 2006 [citado Enero 2009] disponible en la página de internet: <http://mantenimientoindustrial.com/RCM+Fase+3>

¹¹ GARCIDA, Samuel: Plan de mantenimiento basado en RCM, [en línea] publicado en 2006 [citado Enero 2009] disponible en la página de internet: <http://mantenimientoindustrial.com/RCM+Fase+4+Criticidad>

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es: ¿Qué pasa si ocurre? Una sencilla explicación de lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, estaremos en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento.

Consideraremos tres posibles casos: que la falla sea crítica, que la falla sea importante o que sea tolerable.

En lo referente a la seguridad y al impacto medioambiental de la falla, se considera que la falla es crítica, si existen ciertas posibilidades de que pueda ocurrir, y ocasionar un accidente grave, bien para la seguridad de las personas o bien para el medioambiente. Se considera que es importante si, aunque las consecuencias para la seguridad y el medioambiente fueran graves, la probabilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, se considera que la falla es tolerable si tiene poca influencia en estos dos aspectos.

En cuanto a la producción, podemos decir que una falla es crítica si supone una parada de planta, una disminución del rendimiento o de la capacidad productiva, y además, existe cierta probabilidad de que la falla pudiera ocurrir. Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento, la falla debe ser considerada como importante. Y por último, la falla será tolerable si no afecta a la producción, o lo hace de modo despreciable.

Desde el punto de vista del mantenimiento, si el costo de la reparación (de la suma de la falla mas otras fallas que pudiera ocasionar) supera una cantidad determinada, la falla será crítica. Sera importante si esta en un rango inferior y será tolerable por debajo de cierta cantidad.

- Para que una falla sea crítica, debe cumplir alguna de estas condiciones:
 - Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra
 - Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción.
 - Que la reparación de la falla mas las fallas que provoque este (fallas secundarias) sea superior a cierta cantidad.

- Para que una falla sea importante:
 - No debe cumplir ninguna de las condiciones que la hagan crítica.Además debe cumplir alguna de estas condiciones:
 - Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja.
 - Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que probabilidad de que ocurra sea baja.
 - Que el costo de reparación sea medio.

- Para que una falla pueda ser considerada tolerable:
No debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente, además de no afectar la producción de la planta y tenga un costo de reparación bajo.

5.1.2.5 Fase 5: Determinación de medidas preventivas¹²

Determinados los modos de falla del sistema que se analiza y clasificados estos modos de falla según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten evitar la falla y minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio RCM.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cinco tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. Es aquí donde se ve la enorme potencia del análisis de fallas: no solo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitaren estas fallas, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios. Y todo ello, con la garantía de que tendrán un efecto muy importante en la mejora de resultados de una instalación.

- **Tareas de mantenimiento**

Son los trabajos que se pueden realizar para cumplir el objetivo de evitar la falla o minimizar sus efectos. Las tareas de mantenimiento pueden, a su vez, ser de los siguientes tipos:

Tipo 1: Inspecciones visuales. Las inspecciones visuales siempre son rentables. Sea cual sea el modelo de mantenimiento aplicable, las inspecciones visuales suponen un costo muy bajo, por lo que es interesante inspeccionar a todos los equipos de la planta en alguna ocasión.

Tipo 2: Lubricación. Consiste en verificar que el nivel de agente lubricante en el equipo sea óptimo, para así evitar la fricción destructiva de sus componentes.

Tipo 3: Verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos propios del equipo. Este tipo de tareas consiste en la toma de datos de una serie de parámetros de funcionamiento utilizando los propios medios de los que dispone el equipo.

¹² GARCIDA, Samuel: Plan de mantenimiento basado en RCM, [en línea] publicado en 2006 [citado Enero 2009] disponible en la página de internet: <http://mantenimientoindustrial.com/RCM+Fase+5+Medidas+preventivas>

Tipo 4: Verificaciones del correcto funcionamiento, realizados con instrumentos externos del equipo. Se pretende, con este tipo de tareas, determinar si el equipo cumple con unas especificaciones prefijadas, pero para cuya determinación es necesario desplazar determinados instrumentos o herramientas especiales, que pueden ser usadas por varios equipos simultáneamente, y que por tanto, no están permanentemente conectadas a un equipo. Podemos dividir estas verificaciones en dos categorías:

A) Las realizadas con instrumentos sencillos, como pinzas amperimétricas, termómetros por infrarrojos, etc.

B) Las realizadas con instrumentos complejos, como analizadores de vibraciones, detección de fugas por ultrasonidos, termógrafos, análisis de la curva de arranque de motores, etc.

Tipo 5: Tareas condicionales. Se realizan dependiendo del estado en que se encuentre el equipo. No es necesario realizarlas si el equipo no da síntomas de encontrarse en mal estado. Estas tareas pueden ser:

- Limpiezas condicionales, si el equipo da muestras de encontrarse sucio.
- Ajustes condicionales, si el comportamiento del equipo refleja un desajuste en alguno de sus parámetros.
- Cambio de piezas, si tras una inspección o verificación se observa que es necesario realizar la sustitución de algún elemento

Tipo 6: Tareas sistemáticas, realizadas cada cierta hora de funcionamiento, o cada cierto tiempo, sin importar como se encuentre el equipo. Estas tareas pueden ser:

- Limpiezas
- Ajustes
- Sustitución de piezas

Tipo 7: Grandes revisiones, también llamados Mantenimiento Cero Horas, Overhaul o Hard Time, que tienen como objetivo dejar el equipo como si tuviera cero horas de funcionamiento.

- **Determinación de la frecuencia de las tareas de mantenimiento**

Una vez determinadas las tareas, es necesario determinar con qué frecuencia es necesario realizarlas. Existen tres posibilidades para determinar esta frecuencia:

1. Si se tienen datos históricos que permita conocer la frecuencia con la que se produce el fallo, se puede utilizar cualquier técnica estadística que permita determinar cada cuanto tiempo se produce el fallo si no se actúa sobre el equipo.

2. Si se dispone de una función matemática que permitan predecir la vida útil de una pieza, se puede estimar la frecuencia de intervención a partir de dicha función.

3. Si no se dispone de las informaciones anteriores, la determinación de la frecuencia con la que deben realizarse las tareas de mantenimiento propuestas debe hacerse en base a la opinión de expertos.

Con el fin de facilitar la elaboración del plan de mantenimiento, es conveniente especificar la especialidad de la tarea (mecánica, eléctrica, predictiva, de operación, de lubricación, etc.)

- **Mejoras y modificaciones de la instalación**

Determinadas las fallas que pueden prevenirse más fácilmente modificando la instalación, o introduciendo mejoras, se pueden implementar las siguientes mejoras:

- Cambios en los materiales. Manteniendo el diseño de las piezas, el cambio que se realiza es en la calidad de los materiales que se emplean.
- Cambios en el diseño de una pieza. La geometría de algunas piezas hace que en determinados puntos acumulen tensiones que facilitan su falla. Un simple cambio en el diseño de estas piezas puede hacer que cumplan su función perfectamente y que su probabilidad de rotura disminuya sensiblemente.
- Instalación de sistemas de detección, bien de aviso o bien para evitar que el equipo funcione en condiciones que puedan ser perjudiciales
- Cambios en el diseño de una instalación. En ocasiones no es una pieza, sino todo un conjunto el que debe ser rediseñado, para evitar determinados modos de fallo.
- Cambios en las condiciones de trabajo del ítem

- **Cambios en los procedimientos de operación**

El personal que opera suele tener una alta incidencia en los problemas que presenta un equipo. Se puede decir, sin lugar a dudas, que esta es la medida más eficaz en la lucha contra las averías. Como desventaja de esta medida preventiva es que todos los cambios suelen tener una inercia alta para llevarlos a cabo, por lo que es necesario prestar la debida atención al proceso de implantación de cualquier cambio en un procedimiento.

- **Cambios en procedimientos de mantenimiento**

Algunas averías se producen porque determinadas intervenciones del personal de mantenimiento no se hacen correctamente. La redacción de procedimientos en los que se indique claramente cómo deben realizarse determinadas tareas, y en los que figuren determinados datos (tolerancias, ajustes, pares de apriete, etc.) es de gran utilidad.

- **Capacitación de personal**

Bien para evitar que determinados fallos ocurran, o bien para resolverlos rápidamente en caso de que sucedan, en ocasiones es necesario prever acciones formativas, tanto para el personal de operación como para el de mantenimiento. La formación en determinados procedimientos, la formación en un riesgo en particular o el repaso de un diagrama unifilar, o el estudio de una avería sucedida en una instalación similar son ejemplos de este tipo de acción.

5.1.2.6 Fase 6: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas¹³

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que luego nos facilitara su implementación.

El resultado de esta agrupación es:

- Plan de Mantenimiento

El plan de mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos.

- Lista de mejoras técnicas a implementar

Tras el estudio, se tendrá una lista de mejoras y modificaciones que son convenientes realizar en la instalación. Estas mejoras estarán condicionadas a la disponibilidad de recursos de la planta.

- Capacitación de personal

Las actividades de formación determinadas estarán divididas normalmente en formación para personal de mantenimiento y formación para personal de operación. En algunos casos, es posible que se sugiera formación para contratistas, en tareas en que estos están involucrados.

¹³ GARCIDA, Samuel: Plan de mantenimiento basado en RCM, [en línea] publicado en 2006 [citado Enero 2009] disponible en la página de internet: <http://mantenimientoindustrial.com/RCM+Fase+6+Plan+de+mantenimiento>

- Lista de Procedimientos de operación y mantenimiento a modificar

Se habrá generado una lista de procedimientos a elaborar o a modificar que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos. Habrá un tipo especial de procedimientos, que serán los que hagan referencia a medidas provisionales en caso de falla.

5.1.3 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la prioridad de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita que la toma de decisiones sea acertada y efectiva, además de direccionar los recursos en áreas donde sea más relevante y se necesite mejorar la confiabilidad operacional.

Los criterios que se tienen en cuenta para realizar un análisis de criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costo de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. Logrando relacionar estos criterios en una ecuación matemática, en la cual cada criterio es evaluado para cada sistema. La ecuación de criticidad es la que muestra en la Figura 9.

Figura 9. Ecuación de criticidad

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Consecuencia = a + b, siendo

a = Impacto operacional * Flexibilidad operacional

b = Costo de mantenimiento + Impacto en Seguridad, Ambiente e Higiene (SAH)

Fuente: Jhon Moubray. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

En la Tabla 4, se muestran los criterios de evaluación de cada una de las criticidades, ya que para cada pregunta se tiene una serie de respuesta con ponderaciones diferentes, además esta ponderación se presenta y se asigna un valor específico a cada ítem o parámetro dependiendo de las características del equipo a evaluar.

Tabla 4. Criterios de evaluación de criticidades

FRECUENCIA DE FALLAS	
Una falla máxima por día	4
Una falla máxima por semana	3
Una falla máxima por trimestre	2
Menos de una falla por año	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
Hay opción de opción de repuesto compartido/almacén	2
Función de repuesto disponible	1
IMPACTO OPERACIONAL	
Pérdida de todo el despacho	10
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7
Impacto en niveles de inventario o calidad	4
No generar ningún efecto significativo sobre la operación y producción	1
IMPACTO EN SEGURIDAD, AMBIENTE E HIGIENE	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere de notificación a entes externos de la organización	8
Afecta el ambiente e/o instalaciones	7
Afecta instalaciones causando daños severos	5
Provoca daños menores en seguridad y ambiente	3
No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones y ambiente	1
COSTO DE MANTENIMIENTO	
Mayor o igual a US 7.000	2
Inferior a US 7.000	1

Fuente: Jhon Moubray. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Los criterios o parámetros que se utilizan para la elaboración de las tablas de ponderación y el cálculo de los valores de criticidad de los sistemas son:

- **Frecuencia de falla**

Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función.

- **Impacto operacional**

Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

- **Costo de mantenimiento**

Costos de materias primas, materiales, repuestos y mano de obra requeridos.

- **Flexibilidad operacional**

En caso de falla que opción de producción se puede llevar a cabo, además del grado de disponibilidad de repuesto para atender la emergencia de la falla causante de la pérdida de función.

- **Impacto en seguridad**

Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas, instalaciones y otros equipos.

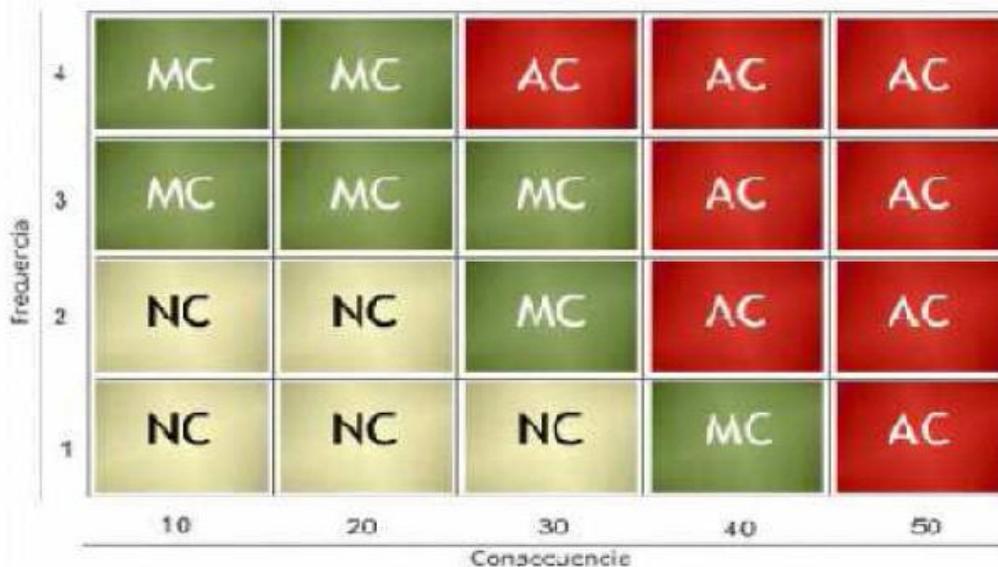
- **Impacto ambiental**

Posibilidad de alteración negativa en los bióticos y abióticos por la ocurrencia de la falla.

5.1.3.1 Resultados del análisis de criticidad

Después de haber evaluado cada sistema en cada uno de los criterios según las ponderaciones de cada uno y de haber calculado la criticidad por medio de la ecuación, se prosigue con la ubicación de cada sistema en la matriz de criticidad, la cual está compuesta en el eje X con consecuencias y en el eje y con frecuencia. Los sistemas se ordenan de mayor a menor grado de criticidad como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Matriz de criticidad



Fuente: Jhon Moubray. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Los sistemas se clasifican en:

NC: No críticos
MC: Mediana Criticidad
AC: Alta criticidad

Y los colores significan:

Sistema crítico
Sistema medianamente Crítico
Sistema No Crítico



Después de ubicar los sistemas en la matriz de criticidad se procede a ordenarlos en una lista como se muestra en la Figura 11, en la cual se ubican de mayor a menor criticidad.

Figura 11. Lista jerarquizada

SISTEMA	CRITICIDAD
Adición de carbon	96
Adición de Agua	90
Extracción de Aire	58
Adición de Aire	48

Fuente: Jhon Moubray. Mantenimiento centrado en la confiabilidad

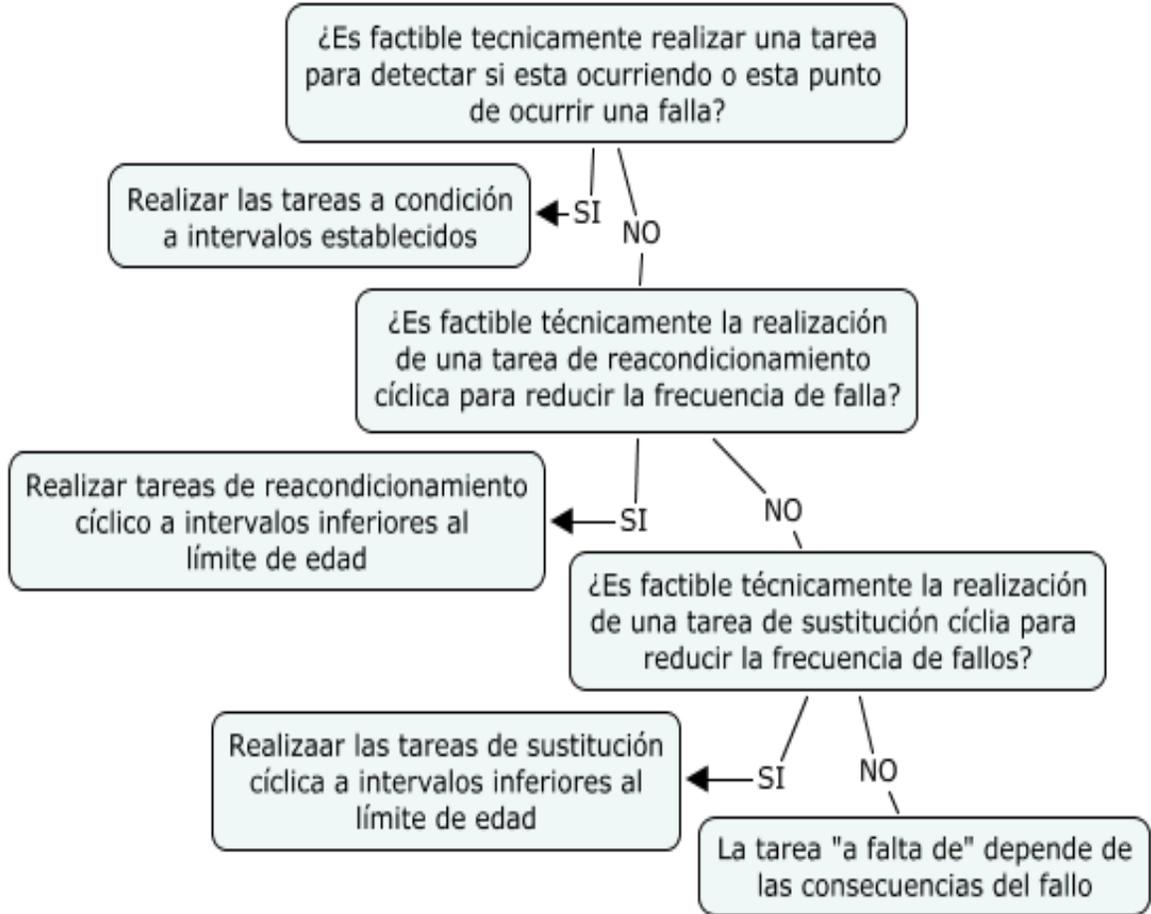
5.1.4 Tareas de mantenimiento¹⁴

Las tareas de mantenimiento se inician antes de que ocurran la falla, abarca tanto el mantenimiento preventivo como el predictivo y para RCM significan reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, mantenimiento a condición y acciones a falta de.

Para la realización de estas tareas de mantenimiento es necesario relacionar la vida del activo con el nivel de esfuerzos al cual están sometidos los equipos, de acuerdo al patrón de falla que el activo presente. Si una tarea de mantenimiento es técnicamente factible o no, depende de las características técnicas del modo de falla y no de lo económico, puesto que este último hace parte del proceso de evaluación de las consecuencias. En la Figura 2 se resume el proceso de selección de las tareas de mantenimiento.

¹⁴ ARIZA RINCÓN, Albert Jair. Aplicación de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a equipos de minería a cielo abierto tomando como piloto la flota de taladros de voladura. UIS 2008, 96 p.

Figura 12. Proceso de selección de tareas de mantenimiento



RCM reconoce cada una de las categorías más importantes de tareas de mantenimiento, como se mencionan enseguida:

5.1.4.1 Tareas de Reacondicionamiento Cíclico

Consiste en reconstruir un componente o hacer una gran reparación a un conjunto o ensamble completo antes del límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento, y su frecuencia está regida por la edad en la que empezó a evidenciar muestras de un incremento rápido en la probabilidad de falla. Este tipo de tarea requiere el conocimiento de un historial del activo, en caso contrario que no se disponga de información, es prácticamente imposible realizar tareas de reacondicionamiento cíclico, sin embargo es caso de equipos susceptibles a fallas que impliquen costos muy elevados debe someterse el equipo a programas de investigación de su vida útil para establecer un patrón de falla y determinar los beneficios posibles que podrían alcanzarse con las tareas de reacondicionamiento cíclico.

Las técnicas de reacondicionamiento cíclico son factibles si:

- Hay una edad identificable en la cual el activo muestre un incremento acelerado en la probabilidad de falla.
- La mayoría de las piezas sobreviven a dicha edad (a menos que los fallos tengan consecuencias para la seguridad o el entorno, en cuyo caso, todos los elementos deben superar esta edad.
- Es posible conseguir su estado inicial, realizando esta tarea.

Frente a las acciones correctivas esta tarea posee un tiempo menor ya que es posible planear con anticipación la tarea programada y son más costo-eficaces.

5.1.4.2 Tareas de Sustitución Cíclica

Consiste en descartar un elemento o componente antes del límite de edad específico, independientemente de su condición en ese momento. Se entiende que al cambiar el componente que alcanzó su vida útil será restaurada su capacidad inicial. La frecuencia de las tareas de sustitución cíclica está gobernada por la edad para la cual la pieza o componente muestra un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

Las técnicas de sustitución cíclicas son técnicamente factibles si:

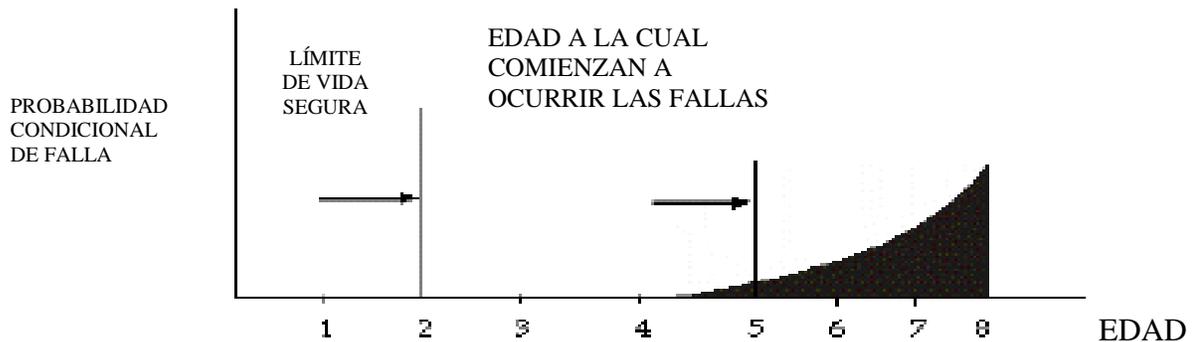
- Hay una edad identificable en el cual el activo muestra un incremento acelerado en la probabilidad de falla.
- La mayoría de los elementos sobreviven a dicha edad.

Sin embargo no siempre que se repone un componente de un activo, se consigue que el sistema sea seguro frente a esta sustitución. La técnica RCM reconoce dos tipos diferentes de límites de edad al ocuparse de las tareas de sustitución cíclica, como son:

- **Límite de vida segura**

Los límites de vida segura solo se aplican a fallas que tienen consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, por tanto los patrones de falla que presenten una zona de “mortalidad de infantil”, deben aplicarse a modos de falla en que no se espera ninguna falla antes de alcanzar la zona de desgaste definitivo. En la Figura 13 se muestran las etapas de probabilidad condicional de falla en la vida útil del equipo.

Figura 13. Límite de vida segura



Fuente: MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance RCM II. New York: SOPORTE y CIA LTDA, 1997. P.56

- **Límite de vida económica**

Aplica a determinar un intervalo de sustitución cíclica basado en algo más que una fracción del tiempo medio entre fallas para minimizar en lo posible los costos debidos al consumo de repuestos que requieren las tareas de sustitución cíclica, esto es aplicable a fallas que no afectan la seguridad y el medio ambiente.

5.1.4.3 Tareas a condición

Son fallas que no están relacionadas con la edad. Los patrones de falla de los activos casi nunca se acomodan a la creencia común en el cual el deterioro de los componentes es proporcional a la vida en servicio, debido a esto en los casos en los cuales no es posible programar una tarea basada en reacondicionamiento o sustitución cíclica la técnica RCM emplea un recurso adicional que es el mantenimiento a condición que se basa en prevenir los incrementos de los esfuerzos asociados a los activos como prioridad frente a las modificaciones que puedan hacerse al activo mismo.

Para realizar las tareas de inspección para el mantenimiento a condición la técnica RCM contempla cuatro categorías bajo las cuales es posible determinar la falla potencial, como son:

- **Técnicas de monitoreo de condición**

Emplean equipos especiales para monitorear las fallas basadas en diferentes tipos de efectos físicos que pueden presentar los componentes: efectos físicos, dinámicos, de partícula, químicos, físicos, de temperatura, eléctricos.

- **Técnicas basadas en variaciones en la calidad del producto**

Si una función se define en cuanto a parámetros restringidos a un límite de especificaciones superior y otro inferior puede determinarse la falla potencial

mediante pruebas de control de calidad evaluando si el producto se sale de los límites de control.

- **Técnicas de monitoreo de los efectos primarios**

Contemplan el monitoreo de variables como la presión, el caudal, velocidad. Temperatura, etc. El monitoreo puede hacerse mediante instrumento o mediante computadoras conectadas a los elemento.

- **Técnicas de inspección basada en los sentidos humanos**

Son técnicas basadas en las percepciones que pueden tener las personas en sus sentidos, Se presentan inconvenientes cuando se puede tomar muy subjetivo debido a la dificultad de unificar criterios, sin embargo constituye una alternativa muy eficaz en costos, en mantenimiento se le conoce como inspección manual.

5.1.4.4 Acciones a falta de tareas preventivas

Se contemplan cuando no es posible establecer una alternativa preventiva apropiada para el manejo de la falla, se fundamentan en tareas de búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento correctivo.

5.2 INSPECCIÓN BASADA EN EL RIESGO (RBI)

En mayo de 1993 el Instituto Norteamericano del Petróleo (American Petroleum Institute-API) inició un proyecto denominado Inspección basado en el Riesgo (*Risk Based Inspección-RBI*) en cual participaron una serie de empresas, entre las cuales se destacaban Shell, Unocal, Exxon, Texaco, Dow Chemical, Mobil, Chevron. Entre estas empresas se elaboró un documento llamado *Base Resource Document* que ha servido como la base de un modelo normado que establece un estándar para el desarrollo e implementación de un sistema que permite la identificación de los aspectos de riesgos operacionales críticos de los procesos industriales.

La Inspección Basada en Riesgo (RBI) es una metodología de mantenimiento enfocada al aseguramiento de la integridad de equipos estáticos de una manera costo efectiva sin comprometer la seguridad, es decir, la metodología que consiste en la evaluación del nivel de riesgo de cada componente estático la planta. El nivel de riesgo es evaluado a través del cálculo de la frecuencia de falla de cada equipo como una función directa de los mecanismos de daño que puedan afectar a cada equipo y del cálculo de las consecuencias económicas, daños al personal, la planta, medio ambiente y pérdidas de producción.

Según Jhon Moubray, “La metodología de inspección basada en riesgo (RBI), permite minimizar el potencial de falla en los equipos a la vez que racionaliza el uso de recursos para realizar las inspecciones debido a que es una herramienta sistemática para la toma de decisiones. La RBI se basa en la definición misma de riesgo: la probabilidad de ocurrencia de una falla multiplicada por la consecuencia que genera la falla; de esta forma se pueden gestionar y priorizar los esfuerzos de inspección para producir planes detallados que propendan por mantener la operación de los equipos en un nivel aceptable de riesgo.”¹⁵

Los códigos aplicables que rigen la metodología son, el API RP -580 que describe aspectos conceptuales y elementos necesarios para un RBI de alta calidad, de esta forma incluye diversos tratamientos del concepto de RBI disponible de numerosas fuentes; el API publication 581 que describe la metodología específica de RBI desarrollado por el grupo patrocinador de API RBI, forma una aproximación paso a paso a RBU que es aceptable con respecto a API RP 580, el API 510/API

¹⁵ MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD Jhon Moubray, [en línea] publicado en 2003 [citado Enero 2009] disponible en la página de internet: http://www.confiableidad.net/art_05/RCM/rcm_10.pdf

RB - 572- Inspección de Recipientes a Presión y el API 570 – inspección de tuberías.¹⁶

5.2.1 Beneficios del RBI¹⁷

Los beneficios de la implementación de la metodología RBI son:

- Facilita planificación del mantenimiento

La planificación de actividades de mantenimiento de equipos e instalaciones se fundamenta en la aplicación de una metodología sistemática, basada en la utilización de criterios objetivos, permitiendo identificar los componentes que más influyen en el riesgo de la instalación, sobre los cuales habrá que focalizar los esfuerzos de inspección, y definir para cada caso, el alcance, la periodicidad y métodos óptimos para su mantenimiento.

- Aumenta seguridad de las instalaciones

Su aplicación garantiza alto nivel de integridad mecánica de los equipos y reducción de los mecanismos de fallo posibles. Esto se consigue tras la identificación de los equipos que poseen un mayor riesgo, a cuyo mantenimiento se destinan mayores esfuerzos y recursos.

- Reduce riesgos de personal

La RBI permite conseguir una reducción del riesgo sobre todo el personal de la instalación o las contratistas que realicen la inspección, si tras su aplicación se identifica la posibilidad de ampliar el periodo de inspección en aquellos lugares que pueden resultar más peligrosos o en lugares de difícil acceso.

- Reduce los costes directos e indirectos

Uno de sus mayores atractivos es que permite aumentar la seguridad de las instalaciones reduciendo los costes, tanto directos como indirectos, asociados al fallo de equipos.

¹⁶ DUARTE HERRERA, DIEGO ALEXANDER. Estructuración del programa de confiabilidad para líneas de proceso conforme a la metodología de inspección basada en el riesgo (RBI), para la GCB. UIS.2006, p,24

¹⁷ LA INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO, Ing. Víctor Ortiz Álvarez (consultor en sistemas de gestión de mantenimiento) [en línea] publicado en 2004 [citado Enero 2009] disponible en la página de internet: <http://www.industriaaldia.com/articulos/65-2.pdf>

5.2.2 Información requerida para el desarrollo de RBI¹⁸

Para el desarrollo de la metodología RBI es necesario contar con información veraz y real que busque reflejar todas las variables involucradas para el desarrollo de la metodología. Esta información es:

5.2.2.1 Ecuación de pérdida de producción

Las ecuaciones de pérdida de las diferentes funciones de la planta de producción deben quedar claramente definidas, de tal forma que no sean modificadas en el transcurso del desarrollo de la metodología RBI, ya que cualquier cambio implicaría la necesidad de revisar todos los análisis que se han realizado hasta el momento de cambio, por lo anterior las ecuaciones de perdidas deben ser validadas y aprobadas por todas las personas que estén involucradas con el desarrollo de la metodología.

La ecuación de pérdida debe ser el reflejo del lucro cesante por hora cuando se deja de operar la unidad, por lo cual al determinarlas se debe tener en cuenta todos los procesos de la planta y las interacciones entre los mismos además de contar con información acerca de los pronósticos y costos de la planta de producción.

Para el planteamiento de la ecuación de pérdida se recomienda tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Para la determinación de la ecuación de pérdida también se debe tener en cuenta a parte del lucro cesante por no producción, las pérdidas económicas por degradación de productos, materias primas o insumos para producción.
- Se debe revisar los valores cero de pérdida ya que las fallas presentadas no serán consideradas críticas.
- Tener en cuenta productos intermedios o en proceso.
- Definirlas en la condición más probable partiendo de estadísticas.
- Debe ser revisada por el encargado de la producción y mantenimiento.

¹⁸ Op.cit.,p.29.

5.2.2.2 Histórico de inspección de equipos

El histórico de equipos es información clave para el desarrollo de la metodología RBI. Los datos históricos que se deben recolectar son:

- Número de registro del equipo.
- Fecha de inspección.
- Descripción del resultado de la inspección.
- Rata de corrosión: Velocidad de corrosión calculada a partir de los resultados de inspección.
- Cor.Allow. Remanente: Corrosión allowance remanente después de la última inspección.
- Forma en que se obtuvo la rata de corrosión.
- Avances encontrados desde inspección anterior.

5.2.2.3 Inventario de equipos

La persona encargada de la inspección debe recolectar los inventarios de equipos estáticos de la planta de producción. Los datos necesarios para inventarios son:

- Tag Number: Número de registro del equipo.
- Asset Description: Descripción del equipo.
- Equipment Type: Tipo de equipo de acuerdo a nomenclatura utilizada.
- Material: Nomenclatura genérica del material de acuerdo a ASTM.
- Installed Date: Fecha de instalación en formato mes-año.
- Design Cor. Allow: Corrosión Allownce original del equipo según diseño.

5.2.2.4 Costos de mantenimiento

Es necesario determinar los costos de las tareas de mantenimiento y de reparación de todos los equipos estáticos de la planta de producción. Se debe tener en cuenta los costos ejecutados y no los presupuestados.

5.2.3 Contenido del informe final de RBI

El contenido del informe final del desarrollo del RBI, debe contener los siguientes aspectos:

- Objetivo.
- Alcance o equipos a los que se les va desarrollar RBI.

- Presentación del equipo de trabajo y programa desarrollo.
- Ecuación de pérdida y sus componentes.
- P & ID's con los lazos de corrosión definidos.
- Distribución de la criticidad de los equipos.
- Tareas de inspección definidos por RBI.

5.2.4 Aspectos técnicos para el desarrollo de la metodología RBI¹⁹

Para el desarrollo de los pasos de la metodología RBI, se recomienda tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

5.2.4.1 Nivel de riesgo

El nivel de riesgo es el grado de probabilidad de falla y las consecuencias que esta pueda ocasionar.

El nivel de riesgo se evalúa, calculando la frecuencia de falla de cada equipo como una función directa de los mecanismos de daño que puedan ocasionar y el cálculo de las consecuencias económicas en términos de daños al personal, a la instalación, al medio ambiente y / o las pérdidas de producción que puedan generar.

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia de Falla} \times \text{Consecuencia}$$

El valor del riesgo obtenido, es utilizado para realizar una jerarquización e identificar las áreas de mejora y de oportunidad para el diseño y aplicación de una estrategia de inspección.

Para medir ello se utiliza como principal indicador de medición, el Riesgo económico.

5.2.4.2 Definición de lazos de corrosión

Los lazos de corrosión se determina por todo el equipo de trabajo que conforma el taller de RBI, con base en la definición de que lazo de corrosión es un conjunto de equipos y tuberías sometidos a los mismos mecanismos de degradación, al mismo criterio de selección de materiales y a las mismas condiciones de operación.

¹⁹ Ibid.,p34.

5.2.4.3 Clasificación de confianza

La clasificación de la confianza se basa principalmente en tres cuestionamientos, lo cuales son:

- ¿El mecanismo de degradación es estable y se puede controlar apropiadamente?. Generalmente los mecanismos relacionados con la edad son estables y los no relacionados con la edad no son estables ya que se pueden presentar en cualquier momento por un cambio operacional. El mecanismo se puede controlar solo si tiene control sobre las variables que lo producen.
- ¿Se han realizado múltiples inspecciones confiables?. La respuesta a este cuestionamiento es si cuando se han inspeccionado dos o más veces con la técnica adecuada en búsqueda del mecanismo de daño que se esta analizando.
- ¿Los parámetros de proceso relevantes se han monitoreado confiablemente? La respuesta a esta pregunta es si, cuando se lleva un registro organizado y con análisis de tendencia de las variables que determinan el mecanismo de daño de análisis.

5.2.4.4 Análisis de criticidad

La probabilidad de falla se define de manera diferente para cada modo de falla. Se deben analizar los tres tipo de consecuencias: Económicas, Seguridad y Ambientales. Las consecuencias económicas deben incluir todos los tiempos de lucro cesante e incluir de los costos de mano de obra y materiales. Si existe consecuencias ambientales como vertimientos, toxicidad o contaminación se deben especificar y evaluar los posibles impactos ambientales que se pueden generar.

Cabe resaltar que cuando se disminuye el riesgo de un modo de falla es porque se logra disminuir la probabilidad de falla pero no las consecuencias que esta puede generar.

5.2.4.5 Planeación de tareas

Para la planeación de las tareas de los talleres de RBI existe una nomenclatura definida que debe ser usada para las tareas de inspección, esta es:

- Cañuelas Espesor: Se usa en el análisis del lado interno de tubos de intercambiador (TI)
- IV: Inspección visual.
- P Hidrostática: Prueba Hidrostática.
- PLP: Prueba de Líquidos Penetrantes.
- PM: Prueba de partículas Magnéticas.
- P Neumatica: Prueba Neumática.
- Retiro Muestras: Cuando se requieren análisis de laboratorio.
- RP: Réplicas Metalográficas.
- TG: Termografía.
- UT Defectología: Ultrasonido para encontrar y dimensionar grietas.
- UT Espesores: Toma de espesores de ultrasonidos.

La frecuencia de inspección para los modos de falla relacionados con la edad se basan en la Tabla 4 . Se debe tener en cuenta que las tareas no quedan atrasadas si se utiliza el intervalo máximo de inspección.

Tabla 4. Frecuencia de inspección para los modos de falla relacionados con la edad

INTERVALO MÁXIMO DE INSPECCIÓN	INTERVALO REAL DE INSPECCIÓN RECOMENDADO		
	EQUIPOS ESTÁTICOS	TUBERÍA FRÍA < 400 F	TUBERÍA CALIENTE Y TUBOS DE HORNOS
< 4 años	Planeación individual	Planeación individual	Planeación individual
Entre 4 y 8 años	4 años – SD Intrusiva	4 años - OSI	4 años – SD
Entre 8 y 12 años	8 años – SD Intrusiva	8 años - OSI	8 años - SD
Entre 12 y 16 años	4 años – OSI o SD No Intrusiva	12 años – OSI	12 años - SD
Mayor a 16 años	12 años – SD Intrusiva	12 años - OSI	12 años - SD

Siempre y cuando sea posible, se debe maximizar la inspección en operación no invasiva con el objetivo de disminuir los costos por parada de la planta.

Para los modos de falla no relacionados con la edad, la frecuencia de inspección debe ser de Inspección por Oportunidad a menos que por su análisis de criticidad y confianza se requiera un análisis especial o ninguna tarea de inspección.

5.2.4.6 Definición de recomendaciones

El objetivo de una recomendación es proponer una actividad complementaria a la actividad de inspección o monitoreo y que es necesaria para asegurar la integridad de un equipo.

Las recomendaciones se hacen en cada lazo de corrosión y debe contener los siguientes elementos:

- Tag del equipo: Objeto de la recomendación.
- Recomendación: Acción deseada y resultado esperado de la acción.
- Prioridad: Debe estar relacionado con los análisis de criticidad y confianza realizados.
- Departamento y persona responsable de la ejecución.

5.2.4.7 Resultados del RBI

El resultado de un RBI está centrado en tres productos específicos:

- Plan de inspección de la planta.
- Ventajas operativas de integridad
- Recomendaciones de integridad (proceso, operación, mantenimiento y confiabilidad).

5.2.5 Metodología de la inspección basada en riesgo

Se fundamenta en normas API 580: Risk Based Inspection y API 581: Risk Based Inspection. Base Resource Document y sigue el siguiente procedimiento:

5.2.5.1 Análisis del riesgo

Se fundamenta en normas API 580: Risk Based Inspection y API 581: Risk Based Inspection. Base Resource Document y sigue el siguiente procedimiento:

- Análisis del riesgo

Consiste en evaluar el riesgo de cada uno de los equipos que forman parte de la instalación y se compone de las siguientes etapas:

- Evaluación de consecuencias

Mediante estimación de costes asociados a daños al medio ambiente, sobre la salud de las personas (tanto de trabajadores como de poblaciones cercanas), a equipos, socioeconómicos y pérdida de producción (lucro cesante).

- Evaluación de la probabilidad de fallo (veces / año)

Identificando los posibles mecanismos de fallo (corrosión, fatiga mecánica, fragilización, daños externos, etc.), determinando la probabilidad genérica de fallo y aplicando factores de corrección que tengan en cuenta las particularidades de la instalación (características del proceso, sistemas de control disponibles, sistemas de gestión implantados, factores externos, etc.).

- Evaluación del riesgo

Mediante matriz de riesgos.

5.2.5.2 Revisión del Plan de Mantenimiento e inspección

El análisis de riesgos realizado permite identificar los componentes que más influyen en el riesgo de la instalación, al objeto de focalizar en ellos los esfuerzos de inspección, y definir el programa óptimo de inspección, en función de su influencia en el riesgo, determinándose el alcance, la periodicidad y la técnica de mantenimiento.

6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

6.2 COMPRESOR²⁰

El tipo de compresor con que cuenta la planta de Girón es un compresor neumático, este tipo de compresor está conformado por dos rotores (tornillo), macho y hembra, los cuales están conformados por 4 y 6 lóbulos respectivamente, cada uno gira de una forma sincrónica dentro de una carcasa con poca separación.

El compresor cuenta con un puerto de entrada, donde el aire es succionado por el engranaje de los rotores. A medida que van girando los rotores, el aire queda atrapado en una cavidad progresivamente más pequeña con la que se comprime el aire hasta que llega a su compresión total en el puerto de descarga, este proceso se realiza de forma continua y sin impulsos.

En el puerto de entrada, para controlar el volumen de aire que ingresa, se usa una válvula de modulación, permitiendo, de esta forma que el motor del compresor funcione a una velocidad constante, mientras entrega un volumen bajo al 100% de capacidad, con poca variación en la presión del sistema. El diseño de control varia y el volumen bajo varia de 0 a 40% de la carga total. Por lo general tiene un descargador que libera el compresor y reduce el consumo de energía cuando no hay demanda de aire.

El compresor de tornillo, está diseñado para una presión de trabajo de 114,7 psi y una máxima de 129,7 psi. El compresor, a diferencia del reciprocante, esta acoplado directamente a un motor eléctrico de 1750 rpm. La eficiencia de los rotores a su velocidad periférica, es directamente proporcional a su diámetro.

El aceite, en los compresores de tornillo no solo mantiene lubricado el equipo, también actúa como un agente de sellado y lo mantiene refrigerado. Este último, se logra enfriando el aceite, que a su vez remueve el calor del compresor. El sistema de lubricación incluye depósito de aire, aceite, enfriador, filtros, reguladores y tuberías externas a la carcasa del compresor. En algunos casos, se usa la flecha del tornillo para activar una bomba que hace circular el aceite, otros compresores usan presión para lograr el mismo fin.

La relación de volúmenes de aire comprimido – potencia del compresor, se puede ver a continuación:

²⁰ MANUAL DE INSTRUCCIONES Y LISTA DE PIEZAS DE REPUESTO. Compresor de Aire Industrial Series LS – 10 Estándar y 24 KT. Sullair Corporation. 200

- De 20 a 30 hp pueden generar de 3.66 a 4.16 ft^3/min

- De 40 a 50 hp pueden generar de 3.75 a 4.80 ft^3/min

El compresor consta de un motor eléctrico, un motor de arranque, un sistema de refrigeración y de lubricación, un sistema de control de la capacidad e instrumentos de medida.

Este tipo de compresor por aire cuenta con un ventilador controlado por un motor eléctrico que empuja el aire a través del sistema de refrigeración, expulsando así el calor de compresión del fluido de refrigeración.

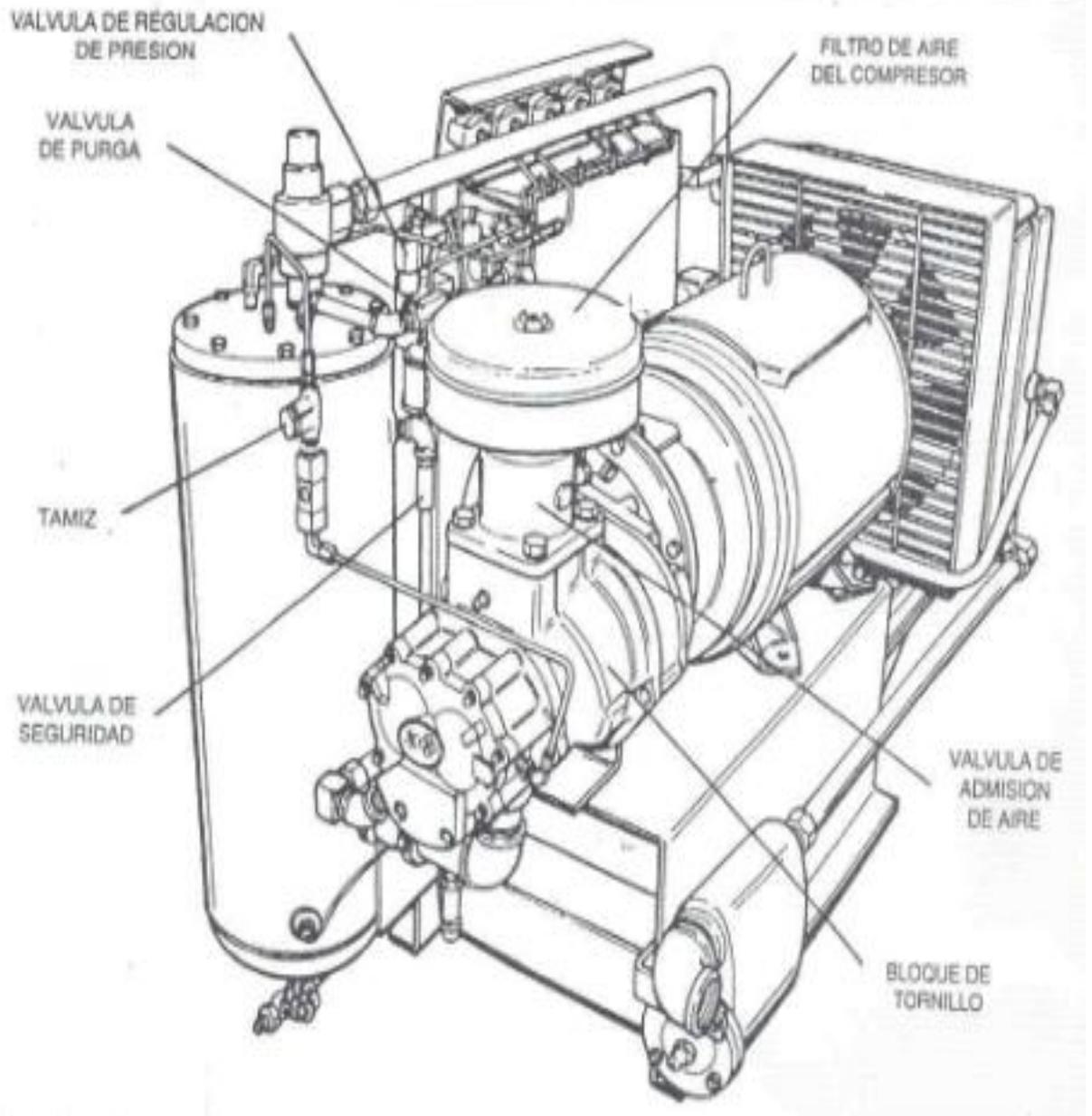
En la Foto 3, se muestra el compresor con que cuenta la empresa actualmente en su planta de Girón, Santander y en la Figura 14, se muestran los principales componentes del compresor.

Foto 3. Compresor sullair de tornillo de 25 hp



Fuente: Autor del proyecto

Figura 14. Componentes del compresor de tornillo rotativo



Fuente: Manual de Compresor de Aire Industrial Series LS -10 Estandar Y 24 Kt, SULLAIR, pag.6.

6.1.1 Descripción funcional

El compresor está provisto de un compresor volumétrico de tornillo rotativo de una etapa de engrase forzado para suministrar un vacío sin impulsos.

El fluido es inyectado en el compresor en gran cantidad y se mezcla directamente con el gas mientras que los tornillos internos giran para comprimir el aire. La corriente de fluido tiene, esencialmente, tres funciones:

1. Refrigeración: controla la elevación de la temperatura del aire, normalmente asociada al calor de compresión.
2. Estanqueidad de las líneas de fuga entre los tornillos y el estator.
3. Lubricación. Actúa como una película lubricante entre los tornillos, lo que permite que uno de los tornillos accione directamente al otro, (tornillo libre).

Después de la descarga de la mezcla gas fuera del compresor, el fluido se separa del gas. Después, el aire atraviesa un refrigerador secundario y un separador antes de volver circuito de servicio, mientras que el aceite es refrigerado para inyectarlo de nuevo.

6.1.2 Sistemas del compresor

El compresor se encuentra compuesto por cuatro sistemas, estos son:

- Sistema de refrigeración y lubricación.
- Sistema de descarga del compresor.
- Sistema de regulación.
- Sistema de admisión de aire.

Cada uno de estos sistemas está compuesto por unos componentes como se muestra en la Figura 15.

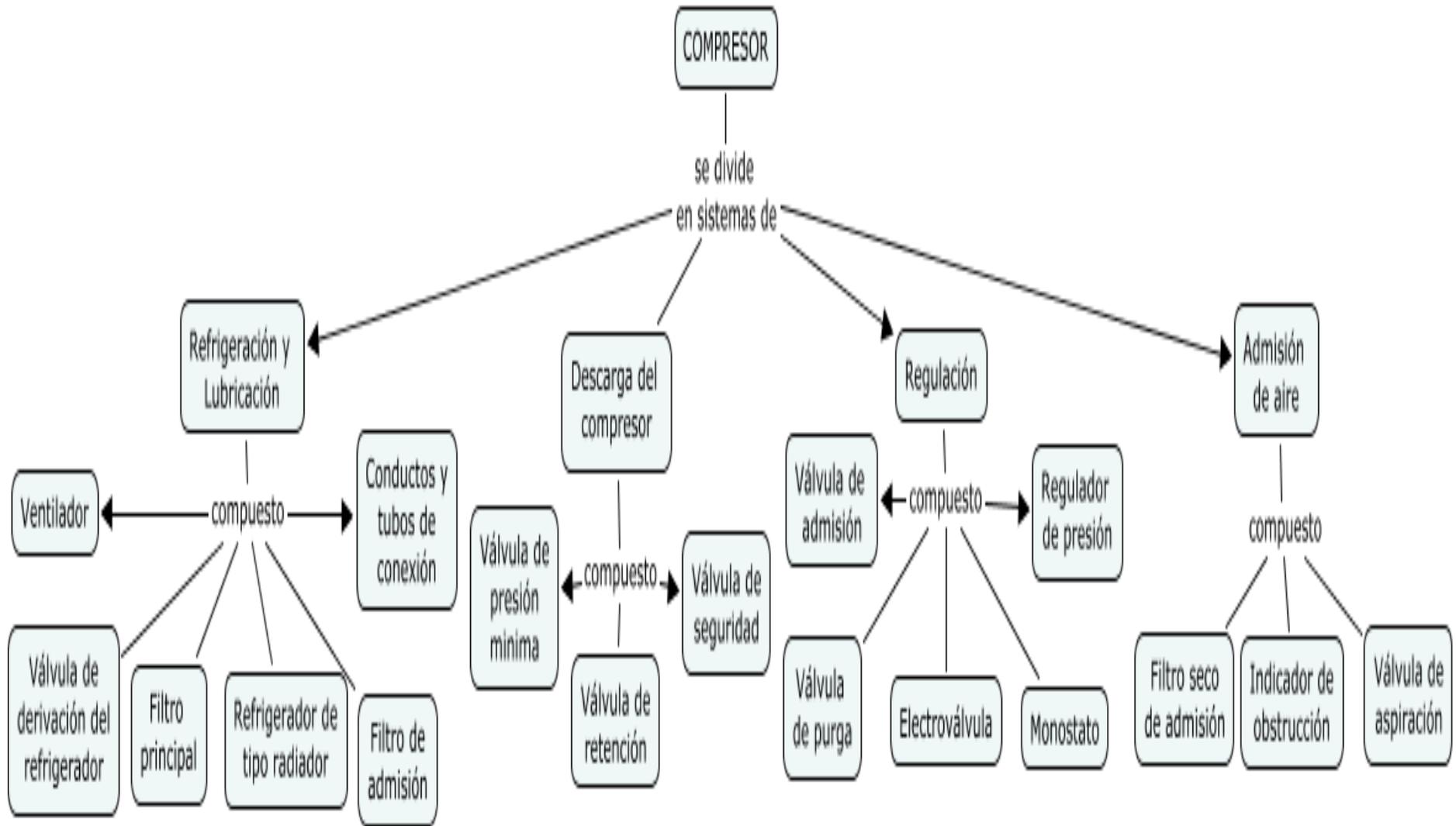
6.1.2.1 Sistema de refrigeración y lubricación

El sistema de refrigeración y lubricación consta de un ventilador, un refrigerador de tipo radiador, un filtro principal, una válvula de derivación del refrigerador, un filtro de admisión y conductos y tubos de conexión.

El fluido es bombeado del colector / cárter hacia la válvula térmica. La válvula térmica tiene una temperatura nominal de 77°C. A temperaturas más bajas, el fluido atraviesa la válvula térmica y el filtro, además penetra directamente en el compresor.

A medida que la temperatura se descarga para por encima de 77°C, la válvula térmica empieza a cerrarse bajo el efecto del calor de compresión y una parte del fluido es empujado hacia el refrigerador, del refrigerador al filtro y , al final, pasa de nuevo al compresor, además una parte del fluido es dirigido hacia los soportes de rodamiento que sostienen los tornillos en el interior del compresor.

Figura 15. Sistemas y componentes del compresor



Fuente: Autor del proyecto

6.1.2.2 Sistema de descarga del compresor

El compresor descarga el aire comprimido al cárter. El colector tiene, esencialmente, tres funciones:

1. Actuar como separador primario del fluido.
2. Servir como carter de fluido.
3. Abrigar el elemento de separación de fluido.

El mezclado de aire comprimido penetra en el carter y es dirigido contra la pared del depósito. Su sentido de desplazamiento queda modificado y su velocidad de desplazamiento reducida considerablemente, lo que origina la caída de las mayores gotitas de fluido al fondo del carter. El porcentaje fraccionario de fluido que queda en el aire comprimido es recogido cuando el aire comprimido atraviesa el separador. Un circuito de retorno (o tubo aspirante) une el fondo del elemento de separación con la zona de admisión del compresor. El fluido recogido en el fondo del separador se envía hacia el compresor gracias a la diferencia de presión entre el colector y la admisión del compresor. Un indicador, situado en el circuito de retorno, permite observar el chorreo de fluido. Un orificio taladrado en el circuito de retorno (protegido por un filtro tamiz) asegura un chorreo adecuado. Un indicador, situado en el panel de control, indica cualquier caída de presión anormal en el cajetín separación.

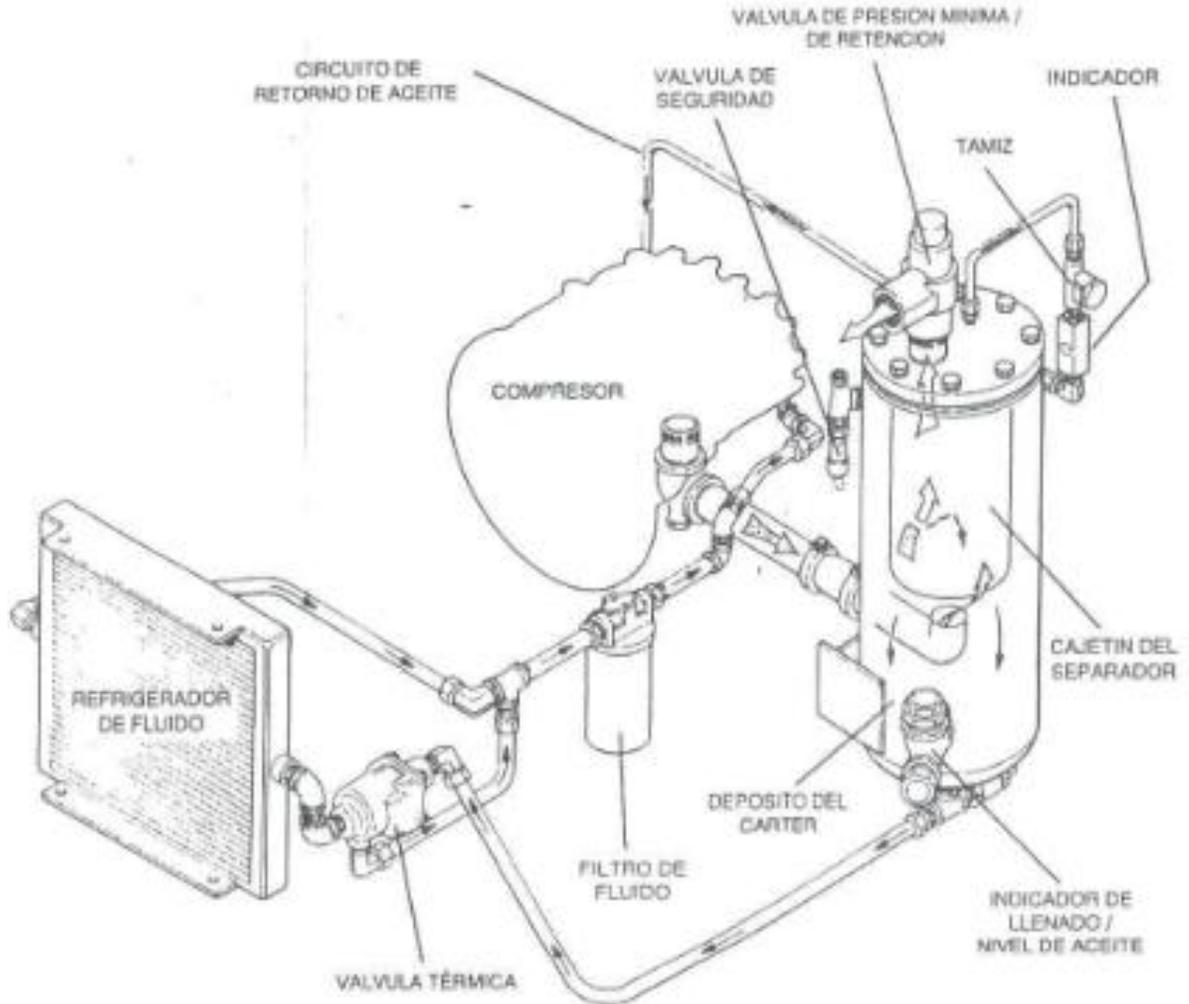
Es el colector es del tipo ASME. Una válvula de presión mínima / de retención, situada antes del separador, asegura en todas las condiciones, una presión mínima de 3,4 bar en el colector. Esta presión es necesaria para permitir una separación adecuada aire / aceite y para asegurar una circulación correcta de fluido.

Una válvula de retención, integrada en la válvula de presión mínima de retención permite impedir el funcionamiento del aire comprimido del circuito de servicio en el colector en el comento de la parada o cuando se utiliza en vacío el compresor.

Una válvula de seguridad (situada al lado de la vía húmeda del separador) está ajustada para abrirse cuando la presión del cárter sobrepasa los 13,9 bar. Una autómatas termostática para el compresor cuando la temperatura de descarga alcanza 116 ° C.

El llenado del cárter de fluido se hace por un tapón de llenado situado bastante bajo en el depósito para evitar llenar demasiado el cárter. Un indicador permite que el operador controle casualmente el nivel de aceite cárter.

Figura 16. Descripción de los sistemas de descarga, refrigeración y lubricación del compresor



Fuente: Manual de Compresor de Aire Industrial Series LS -10 Estandar Y 24 Kt, SULLAIR, pag.8.

6.1.2.3 Sistema de regulación

La finalidad del sistema de control del compresor es regular la admisión de gas del compresor para que corresponda con la cantidad de aire comprimido que se utiliza.

Del 0% al 10% de la salida del aire, el sistema de regulación va a cerrar automáticamente el compresor y reducir considerablemente el consumo de energía. El sistema de regulación está formado por una válvula de admisión, una válvula de purga, una electroválvula, un manóstato y un regulador de presión. La descripción funcional del sistema de regulación se indica abajo según cuatro fases distintas de funcionamiento del compresor:

- Modo arranque – 0 a 3,4 bar

Cuando el pulsador marcha del compresor esta pulsado, la presión del cárter se eleva rápidamente de 0 a 3,4 bar. Durante este periodo, el regulador de presión y la electroválvula están cerrados; la válvula de admisión está completamente abierta debido al chorreo de aire y las bombas del compresor funcionan a su potencia específica. Durante esta fase, la presión de aire se eleva en el compresor y está aislada del circuito de servicio por la válvula de presión mínima, ajustada a 3,4 bar a aproximadamente.

- Modo normal – 3,4 a 7,9 bar

Cuando la presión del aire sube por encima de 3,4 bar, la válvula de presión mínima de retención se abre y suministra aire comprimido en el circuito de servicio. A partir de este momento, la presión de aire en el circuito está controlada de forma permanente por un indicador de presión de circuito, y un manóstato ajustado a 7,9 bar durante esta fase. La válvula de admisión de aire sigue abierta para asegurar una capacidad máxima de funcionamiento.

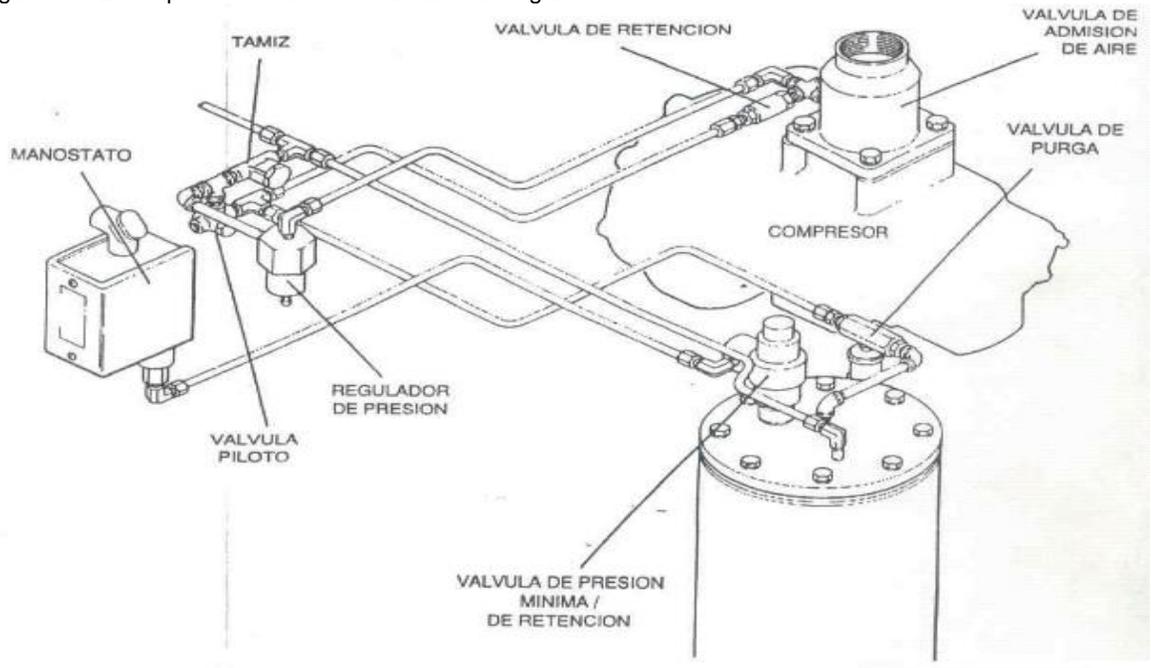
- Modo modulación – 7,9 a 8,6 bar

Si se utiliza una cantidad de aire comprimido inferior a la capacidad nominal del compresor, la presión de servicio subirá por encima de 7,9 bar. El regulador de presión se abre entonces progresivamente, haciendo intervenir así la presión del aire atmosférico, por medio del circuito de control, en el pistón de la válvula de admisión y, por consiguiente, una reducción de la cantidad de aire que penetra en el compresor hasta que corresponda a la cantidad de aire que se utiliza. El sistema de regulación funciona continuamente de esta manera, entre los límites de 7,9 y 8,6 bar, para responder a las variaciones de demanda del sistema.

- En vacío – por encima de 8,6 bar de presión de circuito

Cuando no se utiliza ninguna cantidad de aire, la presión del circuito de servicio se eleva hasta el valor de ajuste (presión de corte) del manóstato. El manóstato se abre e interrumpe la alimentación eléctrica de la electroválvula. En esta ocasión, la electroválvula permite la aplicación directa de la presión del aire del depósito del cárter sobre el pistón de la válvula de admisión, lo que la mantiene cerrada. De forma paralela, la electroválvula transmite una señal neumática a la válvula de purga. La válvula de purga abre el cárter a la atmosfera, lo que permite reducir la presión del cárter hasta una presión entre 2,1 y 2,8 bar. La válvula de retención del circuito de servicio impide la descarga de la presión del circuito en el cárter.

Figura 17. Descripción del sistema neumático de regulación

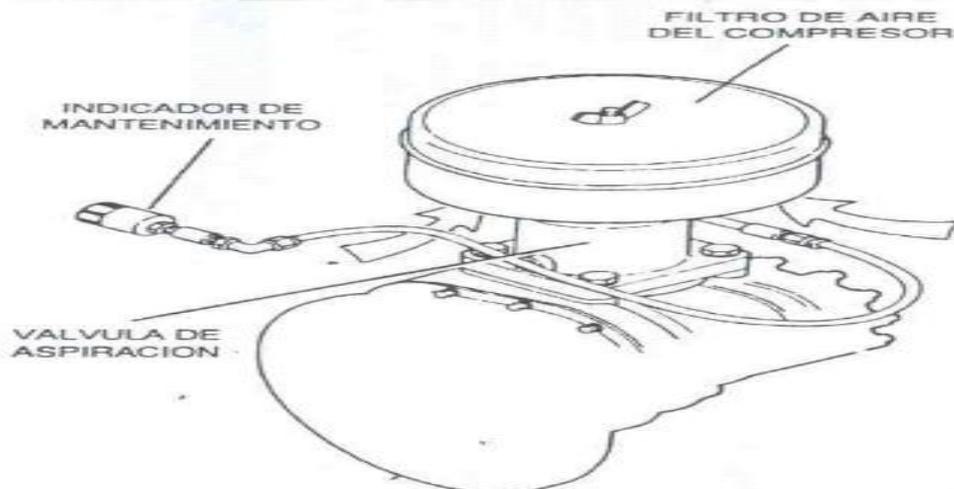


Fuente: Manual de Compresor de Aire Industrial Series LS -10 Estandar Y 24 Kt, SULLAIR, pag,10.

6.1.2.4 Sistema de admisión de aire

El sistema de admisión de aire del compresor consta de un filtro seco de admisión, un indicador de obstrucción y una válvula de aspiración. El indicador de obstrucción (situado en el conducto de admisión del compresor) indica la condición del filtro de aire. La válvula de aspiración de aire de modulación del tipo champiñón controla directamente la cantidad de aire admitida en el compresor como respuesta al regulador de presión

Figura 18. Descripción del sistema de admisión de aire



Fuente: Manual de Compresor de Aire Industrial Series LS -10 Estandar Y 24 Kt, SULLAIR, pag,11.

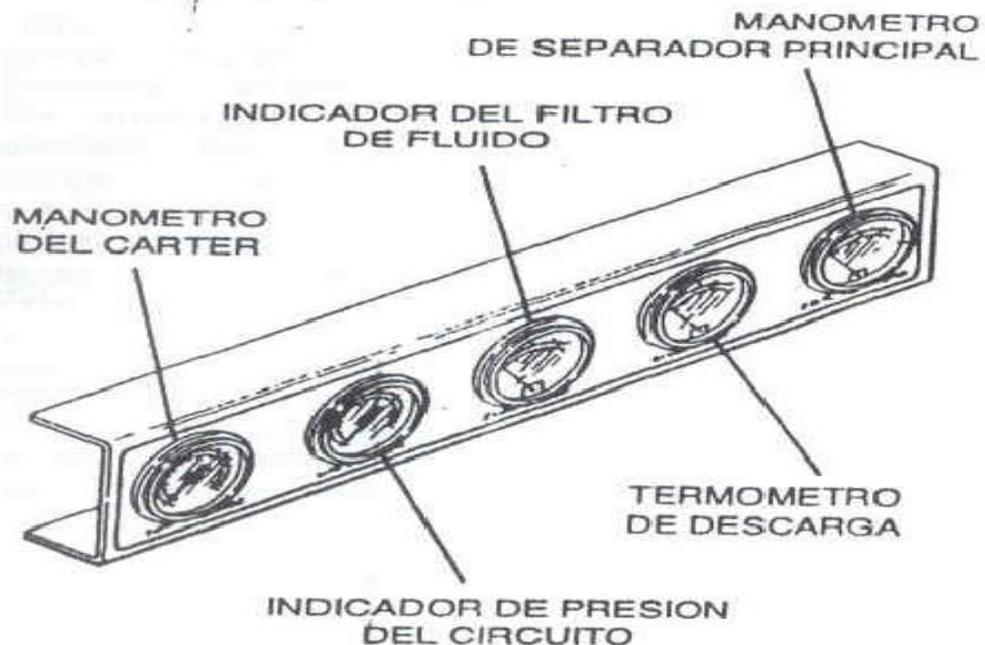
6.1.3 Cuadros de mandos

Los instrumentos de medida del compresor están agrupados en un panel de control, estos permiten controlar de forma permanente las condiciones de utilización de la maquina.

Los cuadros de mando e indicadores son:

- El manómetro del cárter: controla de forma permanente la presión del cárter en diferentes condiciones de carga y/o vacío.
- El manómetro del circuito: está conectado por el lado seco del colector antes de la válvula de retención. Controla de forma permanente la presión del aire.
- El termómetro de aceite: controla la temperatura del aceite en el cárter. La medida indicada normalmente es de 77°C a una temperatura ambiental de 21°C.
- El contador de horas: registra las horas de servicio acumuladas.
- El indicador de obstrucción del filtro de aire: controla el estado del cajetín y señala en rojo que la obturación del cajetín es demasiado importante.
- El indicador de mantenimiento del separador: controla el estado del cajetín de separación, indica cuando debe reemplazarse.

Figura 19. Descripción del cuadro de mando del compresor



Fuente: Manual de Compresor de Aire Industrial Series LS -10 Estandar Y 24 Kt, SULLAIR, pag,12.

6.1.4 Funciones de los mandos del compresor

En la Tabla 5 se enlistan los controles con que cuenta el compresor y sus respectivas funciones.

Tabla 5. Funciones de los mandos de control del compresor

CONTROL	FUNCIÓN
Pulsador de puesta en marcha	Pulsar este pulsador para poner en tensión el compresor.
Pulsador de parada	Pulsar este pulsador para poner fuera el compresor.
Contador de horas	Permite registrar la acumulación de las horas de servicio del compresor.
Manómetros del circuito	Permite controlar de forma permanente la presión de aire en el circuito de servicio.
Manómetro del cárter	Permite controlar de forma permanente la presión del colector en diversas condiciones de carga o vacío.
Indicador de temperatura de aceite	Permite controlar la temperatura de aceite en el cárter.
Indicador de mantenimiento	Indica cuando es necesario reemplazar del filtro de fluido el cajetín filtrante.
Indicador de mantenimiento del separador	Indica cuando es necesario reemplazar el elemento de separación.
Indicador de mantenimiento del filtro de aire	Señala en color rojo que es necesaria una intervención en el cajetín filtrante.
Indicador del nivel de fluido	Indica el nivel de aceite en el cárter.
Indicador de retorno de fluido	Permite controlar el derrame del fluido en el circuito de retorno.
By – pass del refrigerador	Controla el caudal de aceite hacia y alrededor del refrigerador.
Válvula de presión mínima de retención	Mantiene una presión mínima de 3,4 bar en el cárter del compresor.
Automata termostático de descarga	Para el compresor cuando la temperatura de descarga del compresor sobrepasa los 116°C.
Interruptor de parada de alta presión	Diseñado para parar el compresor cuando la presión en el cárter supera los 3,9 bar.
Válvula de admisión de modulación	Controla la cantidad de aire que entra al compresor.
Regulador de presión	Abre la línea de presión entre el cárter y la válvula de admisión de aire para permitir que la válvula de admisión regule el caudal de aire en función de la demanda.

CONTROL	FUNCIÓN
Electrovalvula	Lleva el regulador de presión en forma de derivación lo que origina el cierre de la válvula de admisión cuando el compresor alcanza la presión mínima de servicio. Activa también la válvula de purga.
Manostato	Detecta la presión en el circuito de servicio. Cuando esta presión alcanza el ajuste mínimo el manóstato señala a la electroválvula que descargue el compresor.
Válvula de purga	Libera la presión del cárter hacia la atmosfera en condiciones de funcionamiento, de vacío y de parada.
Válvula de regulación del nivel de agua	Controla la cantidad de agua de refrigeración que se utiliza en el refrigerador para mantener el compresor a la temperatura normal del servicio de 77°C.

Fuente: Elaboración propia con base en entrevista realizada a Ing. Miguel Angel Torres Munar. Asesor Industrial de IMOCOM.

6.2 CALDERA²¹

La caldera es un recipiente a presión diseñado para la generación de vapor a partir del agua y una fuente de energía en procesos específicos. El equipo consiste de un recipiente de presión de acero o hierro fraguado con dos componentes básicos: la cámara de combustión y la cámara de agua.

La cámara de combustión es un gran hogar o tubo de humo, rodeado por agua, que se calienta o hierve por el calor transferido, en cuyo caso se conoce como caldera de tubos de humo o piro-tubular. Cuando la cámara de combustión esta revestida con tubos que contienen agua, la caldera se conoce como de tubos de agua o acuotubular. La caldera mixta, que presenta una combinación de las dos anteriores, tiene la capacidad de encender combustibles sólidos, como carbón y madera, al igual que incorporar quemadores de gas o gasolina en la misma cámara de combustión. Las calderas de parrilla viajera presentan una determinada exigencia en lo que respecta a la calidad del carbón como elemento combustible. La granulometría del combustible debe ser de tamaño 2" promedio con piezas de ¼ y menores no superiores al 25%. El contenido de humedad debe ser máximo del 10 %.

La caldera con que cuenta ITALCOL en la planta de Girón, es una Caldera mixta de marca VR serie T 338, de combustible de carbón de parrilla viajera, con una capacidad de 500 BHP (6.818 kilos de vapor con alimentación de agua a 50 °C), y una presión máxima de operación de 200 psi.

En la Foto 4. se muestra la vista panorámica de la caldera, en la cual se observa las dos partes de la caldera, la acuatubular y la pilotubular, y en la Foto 5. se observa la sección pilotubular de la caldera.

Foto 4. Caldera Mixta de 250 Bhp

²¹ DESCRIPCIÓN GENERAL DE CALDERA. Ingenieris VR, Shneider Electric. 2001



Fuente: Autor del proyecto

Foto 5. Sección pilotobular de la caldera de 250 Bhp



Fuente: Autor del proyecto

6.2.1 Componentes de la caldera

Los principales componentes de la caldera son:

- Ventilador de tiro inducido
Cantidad: 1
Motor: 36 HP 1750 R.P.M. marca SIEMENS
Tipo: Centrifugo
Modelo: MH 2026
- Variador de velocidad del tiro inducido
Marca: Telemecanique
Modelo: ATV 71
Ref.: ATV 71 HD 30 M N 4
- Ventilador de aire primario
Cantidad: 1
Motor: 6,6 1740 R.P.M. marca SIEMENS
Ref.. BCS 245
Tipo: Centrifugo
- Variador de velocidad del aire primario
Marca: Telemecanique

Modelo: ATV 31
Ref.: ATV 31 HU 55 N 4 Z

- Ventilador de aire secundario

Cantidad: 1
Motor: 1,2 3400 R.PM. marca SIEMENS
Ref.: BCS 122 ancho parcial al 50%
Tipo: Centrifugo

- Actuador neumático dámper de regulación aire a la parrilla

Marca: Prisma
Ref.: POOS
Cantidad: 3
Válvula solenoide: 3/2 110 V 6014
Marca: BURKERT

- Parrilla viajera

Cantidad: 1
Motoreductor 1: Flender tipo SC 63 – NF71/ 12c-11
Reductor 2: Flender tipo D 108 k4
Reducción final: $i: 4270,95/1$
Torque: $T: 3.100 \text{ Nm}$
Motor: 0,11 Kh 530 RPM

- Variador de velocidad alimentador de carbón

Marca: Danfoss
Modelo: FC 300

6.2.2 Descripción funcional

Los componentes básicos de la caldera son: una parte acuotobular (hogar) y una parte pitotobular (recuperador de calor o pirotubo). El hogar y el pirotubo se encuentran interconectados por el lado de agua y por el lado de vapor garantizándose que estos trabajen como un solo elemento a la misma presión y condición.

El combustible entra al hogar por medio de una parrilla viajera construida con eslabones fabricados en fundición de hierro. La combustión del carbón se realiza en forma controlada sobre la parrilla viajera con aire primario (insuflado por entre unas ranuras ubicadas entre los eslabones de la parrilla) y secundario o de sobrefuego. Estos aires son suministrados al hogar por un ventilador de tiro inducido.

6.2.3 Sistemas de la caldera

El compresor se encuentra compuesto por cuatro sistemas, estos son:

- Sistema de adición de carbón.
- Sistema de adición de aire.
- Sistema de adición de agua.
- Sistema de extracción de aire.

Y cada uno de estos sistemas está compuesto por unos componentes como se muestra en la Figura 20.

6.2.3.1 Sistema de adición de carbón

Este sistema es el encargado de suministrarle el combustible a la caldera, el cual está compuesto por dos partes:

- Parrilla viajera

Es la encargada de transportar el carbón cuando está en el proceso de combustión, al mismo tiempo que lo transporta por toda la sección acuotubular logra entregarle la energía suficiente al agua para que se evapore. Otra de sus funciones es el transporte de las cenizas del carbón incinerado hacia su disposición final.

- Reductor

La función de este componente es generar el movimiento de la parrilla viajera.

6.2.3.2 Sistema de adición de aire

La función de este sistema es entregar el aire suficiente para la combustión, está compuesto por:

- Rotor

Es el encargado de realizar el movimiento de las aspas del ventilador, para que este succione y descargue el aire hacia la parrilla viajera.

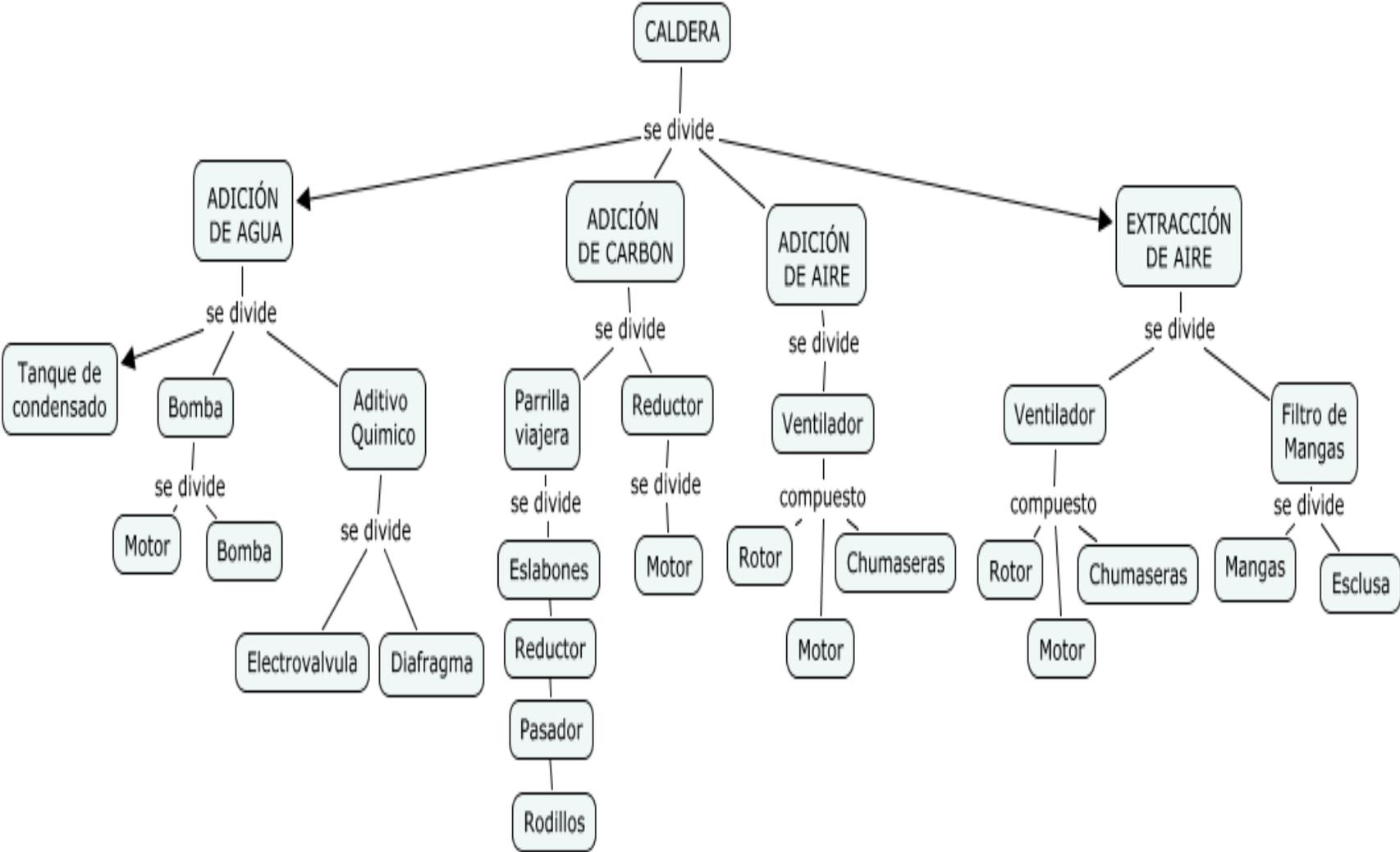
- Motor

Es el que induce los movimientos del rotor.

- Chumaseras

Son las que tienen centrado el eje del rotor y permite que el movimiento del motor se realice de una manera más suave.

Figura 20. Sistemas y componentes de la caldera



Fuente: Autor del proyecto

6.2.3.3 Sistema de adición de agua

Es el sistema el cual proporciona a la caldera el agua que se convertirá en vapor, esta agua debe tratarse para eliminar las sales y otras sustancias disueltas que provocan problemas de sedimentación, corrosión e incrustaciones en los tubos de la caldera.

Los componentes de este sistema son:

- **Bomba**

La función principal de la bomba de alimentación de agua es mantener la caldera con un nivel mínimo de agua que permita un funcionamiento continuo y seguro. El funcionamiento se controla por el Mcdonell el cual es un dispositivo automático que da la orden de encendido cuando el nivel de agua en la caldera está por debajo del nivel normal de operación. Las bombas deben impulsar el agua a la presión de operación de la caldera.

- **Aditivo químico**

A razón que la vida útil de cualquier caldera depende de la calidad del agua que se esté alimentando, el aditivo químico es un una bomba que se se encarga de adicionar químicos al agua para garantizar que el nivel de pH, dureza total, oxígeno, hierro, cobre y materiales aceitosos.

- **Tanque de condensado**

Es un recipiente cilíndrico, que debe tener un volumen adecuado para proporcionar agua a la caldera cada vez que esta la requiera. Este tanque cuenta con las siguientes condiciones y elementos para el adecuado funcionamiento de la caldera:

- Conexión para la entrada de agua fría.
- Entrada para el retorno del condensado proveniente del condensador.
- Salida para la bomba de alimentación con sus respectivos filtros y válvulas de cierre.
- Ducto de aire para evitar sobre presiones en el tanque y una llave para purgar el tanque eliminando suciedad que se deposite en el fondo.
- Termómetro para controlar la temperatura en el tanque.

6.2.3.4 Sistema de extracción de aire

El sistema de extracción de aire es el encargado de aspirar el vapor y el aire que se encuentra en el sistemas, además de separar del vapor el material particulado y los gases resultantes de la combustión pasándolos por un filtro de mangas para

retirarlos y de esta manera evitar que se realicen emisiones atmosféricas contaminantes.

Este sistema está compuesto por:

- Ventilador

El ventilador es el encargado de succionar el aire de combustión y direccionarlo hacia el filtro de mangas y posteriormente a la chimenea.

- Filtro de mangas

Es el encargado de retener el material particulado del aire para retirarlas del proceso.

6.2.4 Control de operacional de la caldera

La caldera está equipada con un sistema de control de operación del tipo modulado discreto que da tres distintas opciones de cantidad de carbón a quemar.

Para lograr estas variaciones la caldera cuenta con variaciones de velocidad tanto del motoreductor que opera la parrilla viajera de carbón así como los ventiladores de tiro inducido, aire primario y actuadores neumáticos que regulan la entrada de aire primario a cada una de las zonas con que cuenta la parrilla viajera.

En el controlador de dos eventos ubicado en el tablero de control se debe elegir el set point de presión. Cuando la presión de la caldera está ubicada en un valor inferior al obtenido de restar 7 PSI del set point el alimentador de carbón trabajara en llama alta. Cuando la presión se ubica entre el valor anterior y el set point menos 5 PSI la operación será en llama media, y pasara a llama baja cuando la presión se encuentre en un valor por encima de este y debajo del set point.

Las tres velocidades de operación tanto de la parrilla viajera como de los ventiladores de tiro inducido y aire primario, se deberán ajustar en cada uno de los respectivos variadores de velocidad y podrán ser reajustadas a los consumos de vapor específico de la planta. Las posiciones prefijadas de los actuadores neumáticos que regulan el aire primario también se podrán modificar para darle ajustes a la caldera.

6.3 MEZCLADORA METALTECO DE CINTAS PARA CUATRO TONELADAS

La mezcladora es una máquina que permite obtener una mezcla uniforme y aleatoria de ingredientes sólidos y líquidos, obteniendo en una mínima cantidad de tiempo una mezcla homogénea sin la destrucción de los nutrientes.

La mezcladora con que cuenta la planta de ITALCOL S.C.A. en Girón, es una mezcladora de cintas para cuatro toneladas que fue fabricada por la empresa Metalteco en el año de 1.994. Sus características técnicas generales es que cuenta con un motoreductor de 60 hp con salida de 90 rpm con factor de servicio de cuatro.

La mezcladora horizontal de doble cinta o listón es la que más se usa en la industria de los alimentos balanceados, ya que cuenta con unas referencias técnicas y funciones que favorece el proceso de producción de concentrado, tales como: transporte de material de un extremo a otro mientras los revuelve, realiza una descarga rápida y total mediante una compuerta neumática, añade hasta un 5 % de líquidos, está equipada con paletas, con lo que permite que se añada un porcentaje más alto de líquidos,

En la Foto 6. se muestra la vista isométrica de la mezcladora.

Foto 6. Mezcladora Metalteco de cintas para cuatro toneladas



Fuente: Autor del proyecto

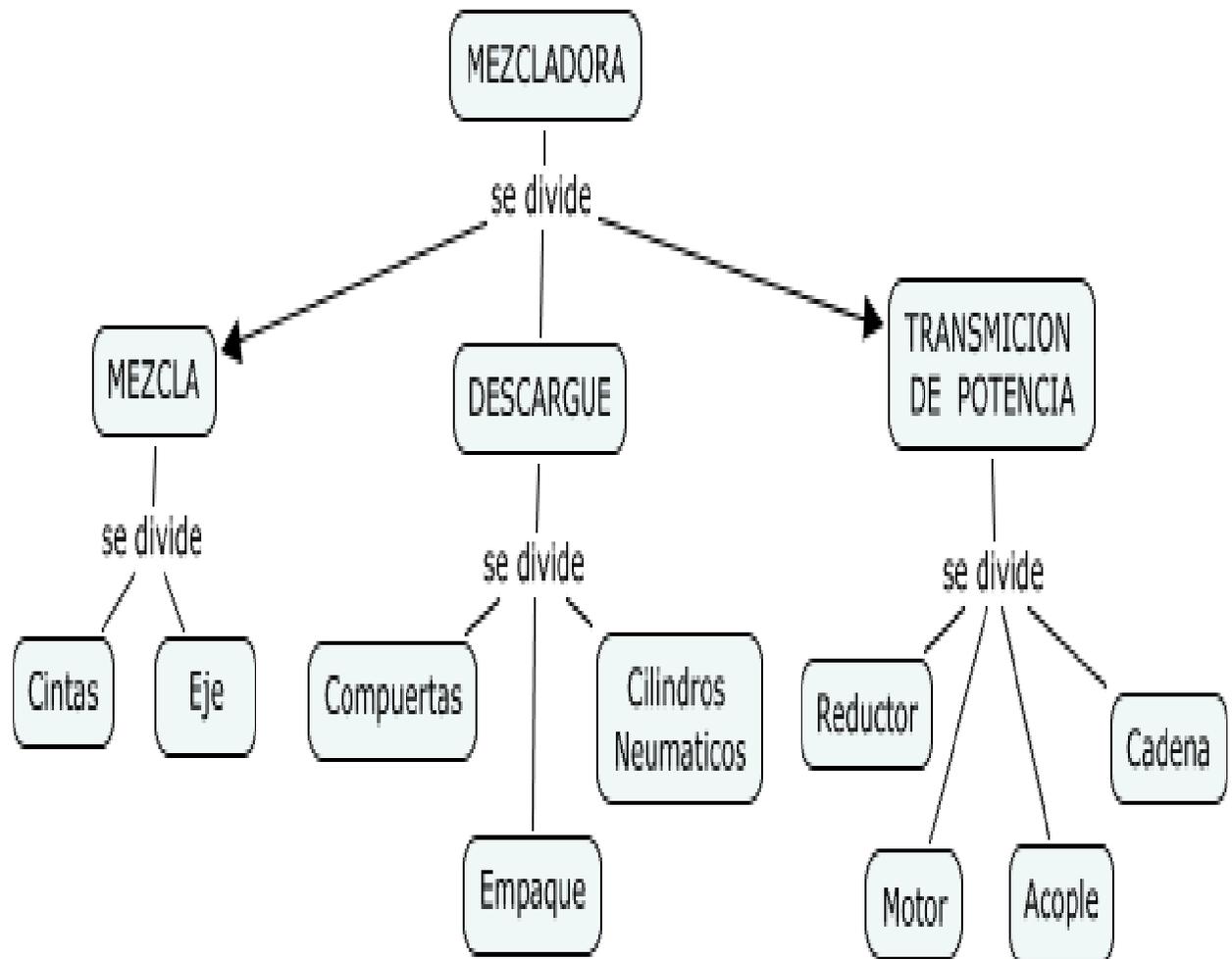
6.3.1 Sistemas de la mezcladora

La mezcladora se encuentra compuesto por tres sistemas, estos son:

- Mezcla
- Descargue
- Transmisión de potencia

Y cada uno de estos sistemas está compuesto por unos componentes como se muestra en la Figura 21.

Figura 21. Sistemas y componentes de la mezcladora



Fuente: Autor del proyecto

6.3.1.1 Sistema de mezcla

El sistema de mezcla en la mezcladora es el encargado de compactar los diferentes ingredientes formulados en cada uno de los productos que ofrece la empresa, garantizando la adecuada adherencia de los ingredientes.

Este sistema está compuesto por:

- Cintas

Las cintas realizan la función de darle al producto velocidad axial y radial, para lograr la compactación del producto.

- Eje

El eje se encarga de sostener e inducir el movimiento de las cintas.

6.3.1.2 Sistema de descargue

El sistema de descargue se encarga de pasar el producto a una tolva de compensación cuando este alcanza la compactación de todos los ingredientes, además de garantizar la hermeticidad de la mezcladora mientras se realiza el mezclado.

Este sistema está compuesto por:

- Compuertas

Las compuertas se abren y se cierran cuando hay salida de producto terminado.

- Empaque

Garantiza la hermeticidad de las compuertas de la mezcladora.

- Cilindros Neumáticos

Activa la apertura y cierra de las compuertas de la mezcladora.

6.3.1.3 Sistema de transmisión de potencia

El sistema de transmisión de potencia brinda la velocidad y fuerza necesaria para mover el eje de la mezcladora y así lograr compactar los ingredientes.

- Reductor

Reduce la velocidad de salida del motor hacia la mezcladora, para que la compactación sea homogénea.

- Motor

Brinda la potencia necesaria para mover las cuatro toneladas que mezcla por bache la mezcladora.

- Acople

Une el motor al reductor, garantizando la adecuada relación de transmisión de potencia y velocidad entre motor y reductor.

- Cadena

Transmite la velocidad y potencia entre la caja reductora y la mezcladora.

7. DESARROLLO DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO RCM

El desarrollo de la estrategia de mantenimiento RCM para la línea crítica de producción , la cual está comprendida por la caldera, la mezcladora y el compresor de la planta de ITALCOL S.C.A en Girón, busca pasar de un mantenimiento correctivo que genera grandes costos por la baja confiabilidad de los equipos y por la pérdida de producción por el no funcionamiento de la maquinaria, a un mantenimiento preventivo el cual está basado en RCM, para así aumentar la confiabilidad de los equipos y de esta manera la productividad de la planta.

Para el desarrollo de la metodología RCM, se conformo un grupo de trabajo el cual está comprendido por un facilitador y personal especialista de la empresa en esta maquinaria, para lograr un conocimiento integral de los equipos y de la metodología RCM. Luego se realizo el análisis de criticidad para todos los sistemas de la maquinaria para determinar cuáles sistemas son los más críticos y requieren mayor atención, después de este paso se realizo el análisis de fallas, el cual a partir de la función principal de cada equipo se determinan las fallas funcionales y a cada falla funcional se le hayan sus modos de falla y por último a cada modo de falla se determinan los efectos de falla.

Luego se realizó un análisis de las consecuencias de cada modo de falla, en el cual a cada modo de falla se le evaluaron las consecuencias en seguridad física, medio ambiente, operacionales, no operacionales y pérdida de imagen de la empresa, además de determinar la tarea de mantenimiento que se debe realizar, con su periodo de ejecución, responsable y clase.

Para finalizar con la metodología RCM se elaboraron los Estándar Job, los cuales buscan estandarizar los trabajos de mantenimiento, hacerlos sincrónicos y servir de guía de realización para el personal que los ejecute.

7.1 Grupo de trabajo para RCM

El grupo de trabajo que se conformo para el desarrollo del RCM es personal de la empresa, este grupo es un grupo interdisciplinario de los departamentos de producción y mantenimiento, los cuales tiene un alto conocimiento sobre el funcionamiento y desarrollo de las actividades productivas de la maquinaria a estudiar.

En la Tabla 6. se nombra el personal que conformo el grupo de trabajo y su cargo dentro de la empresa.

Tabla 6. Personal y cargo del grupo de trabajo para RCM

NOMBRE	CARGO
Pedro José Vega Mendoza	Jefe de Mantenimiento
Ferney González	Supervisor de Mantenimiento
José Luis Ortiz	Electromecánico
Jorge Enrique Peña	Electromecánico
José Mario Duarte	Calderista
José Bolívar	Supervisor de Producción
Juan Pablo Pino	Supervisor de Producción
Carlos Mario Mendoza	Dosificador

Fuente: Autor del proyecto

Con el personal anteriormente nombrado se escogió como facilitador del desarrollo de estrategia de mantenimiento de RCM a Pedro José Vega Mendoza, persona que tendrá como funciones guiar y facilitar el proceso de implementación del RCM, asegurando que se realice de forma ordenada y efectiva.

7.1.1 Reuniones del grupo de trabajo para RCM

Para el desarrollo de la metodología de RCM, se realizaron reuniones con el objetivo de desarrollar todos los puntos del RCM, y de esta manera lograr que todos los miembros del grupos dieran sus aportes y verificaran que la información contenida en los informes sea veraz y acorde a la realidad del funcionamiento productivo de la empresa.

Las limitaciones para el desarrollo de estas reuniones fue la disponibilidad de tiempo de los participantes, ya que se debían desarrollar en un horario en que coincidieran el horario de trabajo de los participantes debido a que el número de jornadas de trabajo es tres en el día.

En la Tabla 7, se muestran las fechas de las reuniones, su objetivo y observaciones.

Tabla 7. Reuniones del grupo de trabajo para RCM

No.	FECHA	OBJETIVO	OBSERVACIONES
1	02/02/2009	-Realizar reunión de apertura y el facilitador expone los objetivos, alcance, actividades, descripción y ventajas del desarrollo de la metodología RCM. -Se asignan responsabilidades del personal para el desarrollo de RCM.	----

No.	FECHA	OBJETIVO	OBSERVACIONES
2	11/02/2009	-Presentación de información sobre descripción general del equipo y aportes del grupo sobre recopilación general de los equipos.	No asistió José Bolívar por incapacidad.
3	24/02/2009	-Desarrollo del análisis de criticidad por todo el grupo para la maquinaria de la línea crítica.	Asistió Ing. Juan Carlos García, Jefe de producción Nacional, para supervisar desarrollo de RCM
4	3/03/2009	-Desarrollo del análisis de criticidad por todo el grupo para la maquinaria de la línea crítica.	----
5	10/03/2009	Revisión del informe de análisis de criticidad.	----
6	25/03/2009	-Desarrollo del análisis de falla.	----
7	15/04/2009	-Desarrollo del análisis de falla	No asistió Juan Pablo Pino por viaje a Girardota
8	20/04/2009	Revisión del informe de análisis de falla y retroalimentación.	No asistió Ferney González por viaje a planta de Funza.
9	24/04/2009	Desarrollo del análisis de las consecuencias de cada modo de falla	----
10	04/05/2009	Desarrollo del análisis de las consecuencias de cada modo de falla	No asistió Jorge Enrique Peña por incapacidad
11	11/05/2009	Revisión del análisis de las consecuencias de cada modo de falla	----
12	20/05/2009	Revisión del desarrollo de toda la estrategia de mantenimiento RCM.	Asistió Ing. Juan Carlos García, Jefe de producción Nacional, para escuchar resultado final de desarrollo RCM.

Fuente: Autor del proyecto

7.2 Análisis de criticidad

Para el desarrollo del análisis de criticidad se guío por lo expuesto en el marco de teórico en el numeral 5.1.3

Con los siguientes pasos se desarrollo el análisis de criticidad.

7.2.1 Listado de sistemas a estudiar dentro del análisis de criticidad

En tablas 8, 9 y 10, se mencionan los sistemas de la caldera, compresor y mezcladora que se analizaran dentro del análisis de criticidad.

Tabla 8. Sistemas de la caldera

SISTEMA	ELEMENTOS	FUNCIÓN
Sistema de adición de agua	Tanque de condensado, bomba, aditivo químico, motor, bomba, electroválvula, diafragma	Proporcionar a la caldera 10 gpm de agua, que se convertirá en vapor
Sistema de adición de carbón	Parrilla viajera, reductor, eslabones, reductor, pasador, rodillos, motor	Suministrar 250 kg/h de carbón a la a la caldera,
Sistema de adición de aire	Ventilador, rotor, motor, chumaseras	Entregar 5000 cfm de aire para que se genere la combustión
Sistema de extracción de aire	Ventilador, filtro de mangas, rotor, motor, chumaseras, mangas y esclusas	Mantener por lo menos 800 rpm en el ventilador de tiro inducido y emitir menos de 200 mg/m ³ de material particulado a la atmosfera

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 9. Sistemas del compresor

SISTEMA	ELEMENTOS	FUNCIÓN
Sistema de refrigeración y lubricación	Ventilador, válvula de derivación del refrigerador, filtro principal, refrigerador de tipo radiador, filtro de admisión, conductos y tubos de conexión.	Mantener una temperatura máxima de 70 °C en el sistema y una presión de lubricación de 3 bar
Sistema de descarga del compresor	Válvula de presión mínima, válvula de retención, válvula de seguridad	Descargar no menos 4.53 m ³ /h de aire de manera constante.
Sistema de regulación	Válvula de admisión, válvula de purga, electroválvula, monostato, regulador de presión	Mantener las presiones de entrada y del sistema 4 y 7,6 bar, respectivamente, así como realizar 2 purgas por hora.
Sistema de admisión de aire	Filtro seco de admisión, indicador de obstrucción, válvula de aspiración	Permitir la entrada de por lo menos 4.53 m ³ /h de aire al compresor.

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 10. Sistemas de la mezcladora

SISTEMA	ELEMENTOS	FUNCIÓN
Sistema de mezcla	Cintas y eje	Compactar en un 97,5% los diferentes componentes de la formula en un tiempo no mayor a 6 minutos.
Sistema de descargue	Compuertas, empaque y cilindros neumáticos	Desocupar las 4 toneladas de producto en un tiempo no mayor a 1,5 minutos.
Sistema de transmisión de potencia	Reductor, motor, acople, cadena	Reducir los 1750 rpm del motor a 65 rpm y transferir 240 Nm a , al eje de la mezcladora.

Fuente: Autor del proyecto

7.2.2 Recolección de datos

El segundo paso para el análisis de criticidad es realizar el registro de evaluación de criticidad según los criterios expuestos en el marco teórico numeral 5,1,3 en la Tabla 4.

En la Tabla 11 se muestra la evaluación de criticidad de la caldera, en el cual se identifica que el sistema con mayor criticidad es el sistema de adición de carbón con una puntuación de 96, seguido del sistema de adición de agua con un puntaje de 90 y con menores valores de criticidad son los sistemas de extracción de aire con un puntaje de 58 y el sistema de adición de aire con la menor criticidad total con un puntaje de 48.

En la Tabla 12 se muestra la evaluación de criticidad del compresor, en el cual se hayo que la criticidad máxima de un sistema del compresor es de un puntaje de 42 para el sistema de descarga del compresor, seguido del sistema de refrigeración y lubricación con un puntaje de 36, después el sistema de regulación con un puntaje de 24 y por último el sistema de menor criticidad es el sistema de admisión de aire con un puntaje de 10.

En la Tabla 13 se muestra la evaluación de criticidad de la mezcladora, en la cual se evaluó la criticidad en los tres sistemas, obteniéndose la siguiente puntuación: para el sistema de mezcla se obtuvo un puntaje de 96 siendo el sistema con mayor criticidad, seguido del sistema de potencia con un valor de 46 y por último el sistema de descargue con una puntuación de 36.

7.2.3 Resultados del análisis de criticidad

Como resultados del análisis de criticidad se ubicaron los resultados en la matriz de criticidad, la cual está compuesta por dos ejes, el eje X indica la consecuencia y en el eje Y se ubica la frecuencia de falla. Para después ordenar de mayor a menor grado de criticidad a los sistemas analizados en la lista jerarquizada.

En las Figuras 22, 23, 24 están los resultados de análisis de criticidad en Matriz General de Criticidad para la caldera, compresor y mezcladora respectivamente.

En las Tablas 14,15,16 están las listas jerarquizadas de la caldera, compresor y mezcladora, tablas en las cuales se ubican los sistemas de mayor a menor criticidad y se clasifican los sistemas en sistema crítico color rojo, sistema medianamente crítico color verde y sistema no crítico color gris.

Tabla 11. Análisis de criticidad de la Caldera

	ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER							
	DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN							
	ÁREA DE MANTENIMIENTO							
	FORMATO DE EVALUACIÓN PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD							Hoja 1 de 1
EQUIPO		CALDERA						
FUENTES DE INFORMACIÓN		Personal de mantenimiento, bitácora de mantenimiento, registro de costos e inventarios						
FECHA		MAYO DEL 2009		ELABORADO POR:		Pedro Jose Vega Mendoza		
No	SISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL
1	Adición de Agua	3	10	2	2	8	30	90
2	Adición de Carbon	2	10	4	1	7	48	96
3	Adición de Aire	2	10	2	1	3	24	48
4	Extracción de Aire	2	10	2	1	8	29	58

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 12. Análisis de criticidad del compresor

	ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER							
	DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN							
	ÁREA DE MANTENIMIENTO							
	FORMATO DE EVALUACIÓN PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD							Hoja 1 de 1
EQUIPO		COMPRESOR						
FUENTES DE INFORMACIÓN		Personal de mantenimiento, bitácora de mantenimiento, registro de costos e inventarios						
FECHA		MAYO DEL 2009		ELABORADO POR:		Pedro Jose Vega Mendoza		
No	SISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL
1	REFRIGERACIÓN Y LUBRICACIÓN	2	4	4	1	1	18	36
2	DESCARGA DEL COMPRESOR	1	10	4	1	1	42	42
3	ADMISIÓN DE AIRE	1	4	2	1	1	10	10
4	REGULACIÓN	2	10	1	1	1	12	24

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 13 Análisis de criticidad de la Mezcladora

	ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER							
	DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN							
	ÁREA DE MANTENIMIENTO							
	FORMATO DE EVALUACIÓN PARA ANÁLISIS DE CRITICIDAD						Hoja 1 de 1	
EQUIPO		MEZCLADORA						
FUENTES DE INFORMACIÓN		Personal de mantenimiento, bitácora de mantenimiento, registro de costos e inventarios						
FECHA		MAYO DEL 2009		ELABORADO POR:		Pedro Jose Vega Mendoza		
No	SISTEMA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SAH	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL
1	MEZCLA	2	10	4	2	7	49	98
2	DESCARGUE	2	7	2	1	3	18	36
3	POTENCIA	2	10	2	2	1	23	46

Fuente: Autor del proyecto

Figura 22. Resultados de Análisis de Criticidad en Matriz general de criticidad de la caldera

Frecuencia	4					
	3			Adición de Agua		
	2		Adición de Aire	Extracción de Aire	Adición de carbon	
	1					
		10	20	30	40	50
		Consecuencia				

Fuente: Autor del proyecto

Figura 23. Resultados de Análisis de Criticidad en Matriz general de criticidad del compresor

Frecuencia	4					
	3					
	2	Refrigeración y Lubricación	Regulación			
	1	Admisión de Aire			Descargue Compresor	
		10	20	30	40	50
		Consecuencia				

Fuente: Autor del proyecto

Figura 24. Resultados de Análisis de Criticidad en Matriz general de criticidad de la mezcladora

Frecuencia	4					
	3					
	2	Descargue	Potencia		Mezcla	
	1					
		10	20	30	40	50
		Consecuencia				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 14. Lista jerarquizada de la caldera

SISTEMA	CRITICIDAD
Adición de carbon	96
Adición de Agua	90
Extracción de Aire	58
Adición de Aire	48

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 15. Lista jerarquizada del compresor

SISTEMA	CRITICIDAD
Descarga del Compresor	42
Refrigeración y Lubricación	18
Regulación	12
Admisión de aire	10

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 16. Lista jerarquizada de la mezcladora

SISTEMA	CRITICIDAD
Mezcla	98
Potencia	46
descargue	36

Fuente: Autor del proyecto

Como conclusión al análisis de criticidad se concluye que el sistema crítico de la caldera es el sistema de adición de carbón, los sistemas medianamente críticos son los de adición de agua y el de extracción de aire y el sistema no crítico es el de adición de aire.

Para el compresor se concluye que no tiene sistema crítico y un sistema medianamente crítico es el sistema de descarga del compresor y los sistemas de

refrigeración y lubricación, el de regulación y el sistema de admisión de aire son sistemas no críticos. La baja criticidad de los sistemas del compresor se debe principalmente por la disponibilidad inmediata de repuestos y mano de obra para la reparación y los tiempos cortos de reparación.

Para la mezcladora se concluye que el sistema crítico es el de mezcla y los medianamente crítico son los sistemas de potencia y de descargue.

7.3 Análisis de las consecuencias de cada modo de falla

El análisis de las consecuencias de cada modo de falla, se realizó bajo la guía del facilitador del Grupo de Trabajo para RCM y con el aporte de los demás participantes del grupo. El objetivo principal de este análisis es lograr que a partir de la función principal de la maquinaria que se estaba analizando (caldera, compresor y mezcladora), se lograra identificar las fallas funcionales que se pueden presentar y a partir de estas fallas funcionales hallar sus modos de falla y a cada modo de falla identificar el efecto de falla que se pueden evidenciar.

En las Tablas 17, 18 y 19 están los análisis de falla de la caldera, el compresor y la mezcladora respectivamente.

después de este paso se realizó el análisis de fallas, el cual a partir de la función principal de cada equipo se determinan las fallas funcionales y a cada falla funcional se le hallan sus modos de falla y por último a cada modo de falla se determinan los efectos de falla.

Tabla 17. Análisis de fallas de la caldera

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN DE RCM				
	PLANTA		Girón - Santander	
	EQUIPO	Caldera	HOJA	1 DE 2
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO	EFFECTOS DE FALLA
1 Producir 6468 lb/h de vapor de agua a una presión de 180 psi consumiendo de carbón	1 La Caldera no arranca	*La caldera tiene menos del 50% de la capacidad total de agua.	1A1	*El McDonell no envía señal a la parrilla viajera de arranque
		*La parrilla viajera no tiene movimiento.	1A2	*El carbón no llega al final de la sección acuatubular
	2 Presión de salida no alcanza el 75% de la presión máxima	* La válvula de seguridad está calibrada a menos de 160 psi	1B1	* La válvula se abre y permite el paso de vapor al ambiente cuando la presión del sistema está debajo de los 180 psi
		* La cantidad de agua que ingresa a la caldera es inferior a 10 gpm	1B2	* El Mc Donell marca nivel bajo de agua
		*El ventilador de aire primario no entrega los 5000 cfm necesarios para hacer la combustión	1B3	*La llama de fuego en el hogar es muy roja y la velocidad del rotor del ventilador es muy baja
		*Las purgas en una hora son inferiores a 12	1B4	* En los tubos de la caldera están almacenadas suciedades
		* Las compuertas de entrada de aire están cerradas en un 50%	1B5	* La combustión de la caldera no es optima y la llama no esta lo suficientemente alta
	3 La presión de salida no alcanza el 50% de la presión máxima	*Tubos incrustados	1C1	* Fuga de agua de gran caudal en los acuatubos o los pirtubos

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN DE RCM

	PLANTA	Girón - Santander		
	EQUIPO	Caldera	HOJA	2 DE 2

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO	EFFECTOS DE FALLA
1 Producir 6468 lb/h de vapor de agua a una presión de 180 psi consumiendo de carbón 250 kg/h	4	* La Cuchilla dosificadora de carbón está totalmente abierta	1D1	* Pasa demasiado carbón que no se alcanza a quemar y se almacena en la salida de cenizas
		* El arco refractario tiene menos del 75% de la totalidad de ladrillos y conrax.	1D2	* La llama de fuego pasa el 50% del recorrido de la parrilla viajera
	5	* Un eslabón de la parrilla se rompió y esta atascando el sistema	1E 1	* La velocidad de la parrilla viajera es menor a 5 m/h
		* El piñón de motriz tiene sus dientes reducidos en un 50%.	1E 2	* La cadena de la parrilla se salta en el piñón
		* Los rodillos no tensionan con -1" de elasticidad del máximo de la tensión	1E 3	La parrilla cuelga por debajo de la sección acuatubular, y este peso le dificulta el desplazamiento
	6	*Las mangas se encuentran tapadas en un 50%	1F1	* En la base de la chimenea se encuentra demasiado hollín.
		* La esclusa gira a una velocidad menor de 25 rpm	1F2	* La cantidad de hollín en el recipiente de recibo de la esclusa es inferior a 50 gr en un minuto
		*El ventilador de tiro inducido gira a menos de 800 rpm	1F3	* Las mangas están totalmente obstruidas
		* Los filtros de aire se encuentran tapados en un 90%.	1F4	* Sanciones económicas para la empresa

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 18. Análisis de fallas del compresor

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN DE RCM					
	PLANTA		Girón - Santander		
	EQUIPO	Compresor	HOJA	1 DE 2	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO	EFFECTOS DE FALLA	
1 Suministrar $4,53 \frac{m^3}{min}$ a 7,6 bar de aire comprimido a una velocidad de 1770 rpm a 60HZ	1	El compresor no arranca	*Los rodamientos del motor se fundieron en la guía	2A1	*El rotor del motor no se mueve
			*El eje del tornillo compresor gira a menos de 1416 rpm	2A2	*El amperaje del motor se eleva a mas de 30 Amp y el eje del tornillo no se mueve.
	2	Presión de servicio es mayor a 8 bar	*Los contactos del manóstató no se abre cuando la presión del sistema no llega a los 8 bar	2B1	* No censa la presión necesaria en el sistema
			*Interruptor de parada esta ajustado a una presión superior a 7,6bar	2B2	*El compresor se detiene sin haber llegado a su máxima presión
			*El tiempo de funcionamiento de la electroválvula es mayor a 2 segundos	2B3	*La palanca de regulación no se desliza hasta la parada de descarga
			*El equipo se purga menos de 2 veces en una hora.	2B4	*No se libera la presión del Carter cuando esta alcanza los 2.4 bar.
	3	Autómata termostático de descarga abierto	*El caudal de aire de entrada es menor a 4 bar	2C1	* Aumento de la temperatura del equipo
			*La válvula termica no se cierra cuando la temperatura del sistema alcanza 70°C	2C2	*El equipo no permite el paso de aire para que se refrigere.
	4	La presión de descarga es inferior a 6.8 bar.	*Fugas o válvulas abiertas en el circuito de servicio	2D1	* Se solicita demasiado aire.

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN DE RCM

	PLANTA	Girón - Santander		
	EQUIPO	Compresor	HOJA	1 DE 2

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO	EFFECTOS DE FALLA
1 Suministrar $4,53\text{m}^3/\text{min}$ a 7,6 bar de aire comprimido a una velocidad de 1770 rpm a 60HZ	5 La presión de lubricación esta por debajo de 3 bar	*Válvula de admisión defectuosa o sucia	2E 1	La válvula no se abre en su totalidad a pesar de tener 100% de aire
		*El filtro de aceite está muy sucio	2E 2	*Filtro de aceite obstruido
		*El nivel de aceite es muy alto.	2E 3	*Demasiado aceite en el aire de salida.
		*El aceite perdió sus propiedades	2E 4	*El fluido forma demasiada espuma
	6 La válvula de seguridad se abre antes de 9,3 bar	*Interruptor de retención desajustado 2 posiciones a la izquierda.	2F1	*Se cae la presión del sistema

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 19. Análisis de fallas de la mezcladora

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN DE RCM					
	PLANTA		Girón - Santander		
	EQUIPO	Mezcladora	HOJA	2 DE 2	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO	EFFECTOS DE FALLA	
Mezclar no menos de 32000 kg/h producto en grupos 8 batches de 4000 kg cada uno en un máximo de 7.5 minutos con una homogeneidad del 97.5%	1	La homogeneidad del producto es menor a 97,5%	* Más del 2.5% de las cintas se encuentran rotas	3A1	* Los ingredientes de la mezcla no alcanzan a acoplarse en su totalidad *El producto final no alcanza la compactación ideal *Ruido excesivo en el interior de la mezcladora y baja la velocidad del mezclado
			* El reductor no transmite el 90% del par máximo del motor	3A2	* El producto no se agita bien, impidiendo que se complete la homogeneidad
	2	Cada bache tarda más de 7,5 min en alcanzar la mezcla ideal y en hacer su descargue	* Los rodamientos de la compuerta neumática se están pegando	3B1	*Las compuertas emplean mayor tiempo descargando el producto
			* Las cintas están gastadas en un 50 %	3B2	* La tiempo de mezcla del producto aumenta un 50%
			*Fuga de aire en el sistema neumático	3B3	*Aumento en el tiempo de activación de los cilindros y por ende en el descargue del producto
	3	El producto a la salida de la mezcladora redujo su peso en más de 2%	* El espesor de los empaques de la mezcladora es menor a 5mm.	3C1	* Fuga de la compuerta de la mezcladora
			* El recorrido del pistón neumático es menor a 50 cm.	3C2	* No se alcanza a descargar todo el bache en la tolva de alivio
			* Fugas de producto por la estructura de la tolva	3C3	* Perdida de 0.1 a 1 kg en un minuto de mezcla

HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN DE RCM

	PLANTA	Girón - Santander		
	EQUIPO	Mezcladora	HOJA	2 DE 2

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CÓDIGO	EFFECTOS DE FALLA
Mezclar no menos de 32000 kg/h producto en grupos 8 batches de 4000 kg cada uno en un máximo de 7.5 minutos con una homogeneidad del 97.5%	4 La transmisión de potencia está por debajo de 65 rpm a 240 N.m	* El acople Rex-Omega tiene un juego superior a 3,5 mm	3D1	*Se transmite el 75% de la potencia y torque final a una velocidad de 55 rpm
		* El paso de la cadena 120 tiene una deflexión de 1"	3D2	*El sistema recibe una carga adicional en el arranque que pueda llegar a romper la cadena o los dientes de los piñones
		* La caja reductora presenta una fuga de valvulina	3D3	* La caja presenta una disminución de velocidad que puede pegar rodamientos, piñones y ejes
		* Las chumaceras del eje principal botaron todos sus rodamientos	3D4	El eje pierde su centricidad, disminuye su velocidad y el producto no alcanza su total compactación

Fuente: Autor del proyecto

7.4 TAREAS DE MANTENIMIENTO

El siguiente paso en el desarrollo de la estrategia de mantenimiento RCM es la elaboración de tareas de mantenimiento que se deben realizar, su periodicidad y el responsable de su ejecución. Estas tareas de mantenimiento se diseñan a partir del análisis de las consecuencias que se pueden presentar por cada modo falla.

Para el análisis de las consecuencias se evalúan los siguientes tipos de consecuencias que pueden ocurrir:

- Consecuencias para la seguridad física.
- Consecuencias para el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.
- Consecuencias en la pérdida de imagen de la empresa.

7.4.1 Escalas de valoración de consecuencias

Para la evaluación de cada una de estas consecuencias se plantea una escala de valoración para cada una.

7.4.1.1 Escala de valoración para la seguridad física

La valoración de las consecuencias en la seguridad física de los modos de falla, está relacionada con si la pérdida de la función por un modo de falla puede afectar la salud del personal tanto externo como interno, debido si se presentan lesiones o pérdidas humanas. En la Tabla 20 se muestran la escala de valoración para la seguridad física.

Tabla 20. Tabla de escala de valoración para consecuencias de la seguridad física

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	No hay tipo de lesión ni muerte	0
Insignificante	Afecta máximo a una persona dejando lesiones insignificantes, que no producen incapacidad ni la muerte	1
Secundario	Afecta como máximo tres personas dejando lesiones insignificantes que pueden generar incapacidad parcial, pero no la muerte	2
Grave	Afecta hasta siete personas dejando lesiones insignificantes o graves que pueden generar incapacidad parcial o de por vida, pero no la muerte	3
Muy Grave	Afecta mas de siete personas pudiendo dejar lesiones muy graves que pueden generar incapacidad temporal de por vida o la muerte	4

7.4.1.2 Escala de valoración para consecuencias operacionales

Para valorar las consecuencias operacionales se tiene en cuenta si la pérdida de la función por un modo de falla puede afectar la producción de alimentos concentrados, debido por la pérdidas por la indisponibilidad de la caldera, compresor o mezcladora, por tener que reacondicionar y pagar mantenimientos.

Tabla 21. Tabla de escala de valoración para consecuencias operacionales

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	No tiene incidencia sobre la producción de la planta y por ende de las consecuencias operacionales de los sistemas de la caldera, compresor y mezcladora	0
Insignificante	Tiene poca incidencia sobre los sistemas de rotación, propulsión y accesorios, pero sin afectar las condiciones de operación de equipos asociados	1
Secundario	Tiene más incidencia sobre el funcionamiento de la maquinaria, afectando condiciones operacionales de los sistemas de los equipos	2
Grave	Afecta las condiciones operaciones de los sistemas de la caldera, compresor o mezcladora	3
Muy Grave	Genera daños en los sistemas más importantes que están directamente relacionados con el funcionamiento de los equipos	4

7.4.1.3 Escala de valoración para consecuencias para el medio ambiente

La valoración de las consecuencias para el medio ambiente está relacionada con el análisis si la pérdida de la función por un modo de falla puede incurrir en una infracción a una regulación ambiental.

Tabla 22. Tabla de escala de valoración para consecuencias al medio ambiente

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	No afecta al medio ambiente	0
Insignificante	Causa impacto ambiental no significativo, no genera sanciones	1
Secundario	Causa impacto ambiental, requiere control de la empresa, no genera sanciones económicas	2
Grave	Causa impacto ambiental, requiere control tanto de la empresa como agentes externos, genera sanciones económicas	3
Muy Grave	Causa impacto ambiental significativo, con grandes sanciones económicas por incumplimiento legal	4

7.4.1.4 Escala de valoración para consecuencias no operacionales

Las consecuencias no operacionales esta relacionados con el costo de reparación, consecución de repuestos y gastos de mano de obra originados por el modo de falla.

Tabla 23. Tabla de escala de valoración para consecuencias no operacionales

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	No se requiere de repuestos ni mano de obra fuera de la empresa	0
Insignificante	Los repuestos son de bajo costos, fáciles de adquirir y se generan bajos costos en mano de obra	1
Secundario	Los repuestos son de mediano costo, difíciles de conseguir y el costo de la mano de la obra es significativo	2
Grave	Los repuestos son de alto costo, se demoran en conseguir y la de mano de obra es muy costosa.	3
Muy Grave	Los repuestos son de muy alto costo, se demoran en conseguir más de 3 meses y el costo de mano de obra es altísimo	4

7.4.1.5 Escala de valoración para consecuencias en la imagen de la empresa

Las consecuencias en la imagen de la empresa están relacionadas por la pérdida de imagen de la empresa por empleados, contratistas, comunidad, proveedores, clientes o entidades regulatorias

Tabla 24. Tabla de valoración para consecuencias en la imagen de la empresa

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	Perjudica la imagen de la empresa	0
Insignificante	Se conoce a nivel interno de la empresa	1
Secundario	Se conoce a nivel local, la empresa puede perder prestigio ante el cliente	2
Grave	Se conoce a nivel nacional afecta prestigio de la empresa	3
Muy Grave	Se conoce a nivel internacional y afecta el prestigio de la empresa a nivel internacional	4

7.4.2 Peso de cada consecuencia

Para la valoración total de la consecuencia que genera la presencia de cada modo de falla, se le asigna un peso a cada tipo de consecuencia como se muestra en la Tabla 25, para luego multiplicar la valoración de cada consecuencia por el peso asignado a cada tipo de consecuencia y luego se realiza la sumatoria de

estas multiplicaciones y se halla el valor total de las consecuencias por modo de falla.

Tabla 25. Peso de cada consecuencia

CONSECUENCIA	PESO
Consecuencia para la seguridad física	0,3
Consecuencia para el medio ambiente	0,25
Consecuencias operacionales	0,1
Consecuencias no operacionales	0,1
Consecuencia por pérdida de la imagen	0,25

7.4.3 Elección de las tareas de mantenimiento

Después de haber analizado las consecuencias de la presencia de cada modo de falla, se elige la tarea de mantenimiento que tenga como objetivo prevenir la presencia del modo de falla o en dado caso corregirla.

Cuando se elige la tarea de mantenimiento, se debe precisar la frecuencia a la que se debe realizar, la unidad de tiempo que se maneja es de días. Además de la frecuencia se designa el cargo de la persona que lo debe ejecutar; en algunos casos como la empresa no cuenta con el personal capacitado ni con los equipos requeridos para la realización del mantenimiento, se designa a contratistas de la empresa que son especialistas en la realización de estas tareas de mantenimiento. También se debe precisar la clase de tarea de mantenimiento que es, pudiendo ser preventivo, correctivo, de operación e inspección modificación.

En las Tablas 26, 27 y 28 se encuentran las evaluaciones de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera, compresor y mezcladora respectivamente.

Tabla 26. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera

MODO DE FALLA	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase	
	1A1	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Verificar la señales que genera el McDonell y el buen funcionamiento de los relevos	30	Electromecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0					
	C. Operacionales	3	0,1	0,3					
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2					
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0					
	Total			0,5					
MODO DE FALLA	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase	
	1A2	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Revisión del estado de acoplamiento entre reductor y piñón motriz y ajustar la cuña si es necesario	8	Electromecanico	Preventivo
		C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
		C. Operacionales	3	0,1	0,3				
		C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
		C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
	Total			0,5					
MODO DE FALLA	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase	
	1B1	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9	Calibración de la valvula de seguridad de la caldera en el banco de prueba, esta se debe calibrar para 180 psi	180	ControlFluid (Contratista)	Preventivo
		C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
		C. Operacionales	3	0,1	0,3				
		C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
		C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75				
	Total			2,35					
MODO DE FALLA	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase	
	1B2	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Tomar un aforo del flujo de agua enviada a la caldera por parte de la bomba	8	Calderista	Preventivo
		C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
		C. Operacionales	1	0,1	0,1				
		C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
		C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
	Total			0,2					

Tabla 26. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera (Continuación)

MODO DE FALLA 1B2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio de rodamientos y sellos del motor de la bomba de la caldera	365	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total			0,2					
MODO DE FALLA 1B2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Bajar el impeller de la bomba de adición de agua y limpiarlo bomba	30	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total			0,2					
MODO DE FALLA 1B3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio de sellos y rodamientos del motor del ventilador primario de aire.	365	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total			0,5					
MODO DE FALLA 1B3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Ajuste y tensión de correas del ventilador primario de aire	8	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total			0,75					

Tabla 26. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera (Continuación)

MODO DE FALLA	CONSECUENCIA				Tarea	Período(d)	Lo Ejecuta	Clase
	Valor	Peso	Total					
1B3	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Analisis de vibraciones y compensar, si es necesario, el ventilador primario	120	Vibromontajes (Contratistas)	Preventivo
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
	Total			0,75				
1B4	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Revision del sistema electro-neumatico de las purgas automaticas de vapor verificando señales, voltajes y amperajes correspondiente	30	ElectroMecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
	Total			0,9				
1B4	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Bajar y limpieza de las valvulas de purga asi como las secciones de tubo adyacentes	30	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
	Total			0,9				
1B5	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Abrir las compuertas de alimentación de aire primario deacuerdo a la necesidad de vapor	-	Calderista	Operación
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
	Total			0,95				

Tabla 26. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera (Continuación)

MODO DE FALLA 1C1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6	Retirar seccion de tubo con fuga e parchar con una nueva seccion de igual características	-	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	4	0,1	0,4				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,65				
MODO DE FALLA 1D1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Verificar el grado de apertura de de la cuchilla reguladora y graduarla en 15 cm para obtener una cama de carbon de 10 cm	1	Mecanico	Inspección Modificación
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,05				
MODO DE FALLA 1D2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Verificar que el arco refractario cuente con la totalidad de ladrillos y el concrax necesario	30	Mecanico	Inspección
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,35				
MODO DE FALLA 1D2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Retirar arco refractario antiguo, preapar una nueva mezcla de concrax e instalar los ladrillos para crear un nuevo arco	450	VR JCT (Contratistas)	Correctivo
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,35				

Tabla 26. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera (Continuación)

MODO DE FALLA 1C1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6				
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	4	0,1	0,4				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,65	Retirar seccion de tubo con fuga e parchar con una nueva seccion de igual características	-	Mecanico	Correctivo
MODO DE FALLA 1D1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0				
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,05	Verificar el grado de apertura de de la cuchilla reguladora y graduarla en 15 cm para obtener una cama de carbon de 10 cm	1	Mecanico	Inspección Modificación
MODO DE FALLA 1D2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3				
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,35	Verificar que el arco refractario cuente con la totalidad de ladrillos y el concrax necesario	30	Mecanico	Inspección
MODO DE FALLA 1D2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3				
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,35	Retirar arco refractario antiguo, preapar una nueva mezcla de concrax e instalar los ladrillos para crear un nuevo arco	450	VR JCT (Contratistas)	Correctivo

Tabla 26. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera (Continuación)

MODO DE FALLA 1F2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Alinear y tensionar la cadena de la esclusa del ciclon del filtro de mangas	30	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,75				
MODO DE FALLA 1F2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Cambio de rodamientos, sellos y cuña de la esclusa del ciclon	365	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,75				
MODO DE FALLA 1F3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Alineación y tensión de las correas del ventilador del tiro inducido	15	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				0,8				
MODO DE FALLA 1F3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio de rodamientos y sellos del motor del ventilador de tiro inducido	365	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				0,8				

Tabla 26. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la caldera (Continuación)

MODO DE FALLA 1G3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio de chumaceras del eje del ventilador de tiro inducido	730	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				0,8				

MODO DE FALLA 1G3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Análisis de vibraciones y compensar, si es necesario, el ventilador primario	120	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				0,8				

MODO DE FALLA 1F4	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6	Deshollinado de la caldera en general(limpieza de chimenea, filtro y pirotubos)	30	Calderista	Preventivo
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5				
Total				2,15				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 27. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el compresor

MODO DE FALLA 2A1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0				
	C. Medio Ambiente	0	0,2	0				
	C. Operacionales	4	0,1	0,4				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				0,75				
MODO DE FALLA 2A1 <th>CONSECUENCIA</th> <th>Valor</th> <th>Peso</th> <th>Total</th> <th rowspan="6">Tarea</th> <th rowspan="6">Periodo(d)</th> <th rowspan="6">Lo Ejecuta</th> <th rowspan="6">Clase</th>	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0				
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	0	0,1	0				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,2				
MODO DE FALLA 2A2 <th>CONSECUENCIA</th> <th>Valor</th> <th>Peso</th> <th>Total</th> <th rowspan="6">Tarea</th> <th rowspan="6">Periodo(d)</th> <th rowspan="6">Lo Ejecuta</th> <th rowspan="6">Clase</th>	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0				
	C. Medio Ambiente	0	0,2	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				0,65				
MODO DE FALLA 2B1 <th>CONSECUENCIA</th> <th>Valor</th> <th>Peso</th> <th>Total</th> <th rowspan="6">Tarea</th> <th rowspan="6">Periodo(d)</th> <th rowspan="6">Lo Ejecuta</th> <th rowspan="6">Clase</th>	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0				
	C. Medio Ambiente	0	0,2	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				0,65				

Tabla 27. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el compresor (Continuación)

MODO DE FALLA 2B2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6	Ajustar la valvula de reguladora de presion +/- 1 vuelta por cada PSI de mas o de menos	60	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,45				

MODO DE FALLA 2B3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Cambio de electro valvula 5/2 de control de aire cuando se queda totalmente pegada	730	Electromecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total				1,05				

MODO DE FALLA 2B3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Bajar, limpiar y lubricar el vastago de la electrovalvual 5/2 cuando el tiempo de respuesta es mayor a 2 segundos	180	Electromecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	0	0,1	0				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,2				

MODO DE FALLA 2B4	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Calibrar la valvula de alivio del carter a 2.4 bar	30	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	0	0,1	0				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,6				

Tabla 27. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el compresor (Continuación)

MODO DE FALLA 2C1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0				
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	0	0,1	0				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,35	Bajar y limpiar el filtro principal de admisión de aire	30	Mecanico	Preventivo

MODO DE FALLA 2C1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0				
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	0	0,1	0				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,3	Cambio del filtro principal de admisión de aire	180	Mecanico	Correctivo

MODO DE FALLA 2C2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0				
	C. Medio Ambiente	1	0,2	0,2				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	0	0,1	0				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,3	Cambio de la valvula termica de regulación de aire	365	Mecanico	Correctivo

MODO DE FALLA 2D1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3				
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,75	Recorrido por la línea de descarga principal en busca de fugas de aire	90	Mecanico	Preventivo

Tabla 27. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el compresor (Continuación)

MODO DE FALLA 2D1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3				
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,75	Limpieza del diafragma regulador de presion	30	Mecanico	Preventivo
MODO DE FALLA 2D1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3				
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,75	Cambio del difragma regulador de presión.	180	Mecanico	Correctivo
MODO DE FALLA 2E1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3				
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,75	Bajar, limpiar y reemplazar los sellos de la valvula de regulaci3n del lubricante	120	Mecanico	Preventivo
MODO DE FALLA 2E1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3				
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,95	Reemplazar la valvula de regulacion del lubricante	730	Mecanico	Correctivo

Tabla 27. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para el compresor (Continuación)

MODO DE FALLA 2E2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Cambiar el filtro de aceite por uno nuevo.	180	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,85				
MODO DE FALLA 2E2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Retirar aceite del sistema hasta que alcance el nivel indicado	180	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,45				
MODO DE FALLA 2E3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Cambio de la totalidad de aceite del sistema.	180	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,85				
MODO DE FALLA 2F1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Ajustar el interruptor de retención del sistema a 9,3 bar	180	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0				
Total				0,85				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 28. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la mezcladora

MODOS DE FALLA 3A1-3A3-3B2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Verificar el estado de las cintas asi como su acople al eje principal	30	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5				
Total				1				
MODOS DE FALLA 3A1-3A3-3B2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Si se encuentra alguna cinta muy gastada, rota o no acoplada al eje principal, proceder a cambiar la totalidad de la cinta	-	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5				
Total				1				
MODO DE FALLA 3A2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Con el estetoscopio industrial verificar los sonidos de la caja reductora	60	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5				
Total				1				
MODO DE FALLA 3A2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Alinear y tensionar la cadena de transmision del reductor hacia el piñon motriz de la mezcladora	15	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5				
Total				1				

Tabla 28. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la mezcladora (Continuación)

MODO DE FALLA 3A2	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio de sellos y rodamientos del motor de 60 hp de la mezcladora	365	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	4	0,1	0,4				
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75				
Total			1,35					
MODO DE FALLA 3B1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Lubricación de las chumaceras de la compuerta de la mezcladora	30	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total			0,55					
MODO DE FALLA 3B1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio de los dos rodamientos de la compuerta de descargu	540	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5				
Total			0,8					
MODO DE FALLA 3B1	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Limpieza y cambio de piezas defectuosas de la valvula neumatica 5/3 que controla la apertura o cierre de la compuerta neumatica	120	Electromecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
Total			0,55					

Tabla 28. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la mezcladora (Continuación)

MODOS DE FALLA	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	3B1-3C2	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Limpieza y cambio de empaquetaduras de los cilindros neumaticos	180	Electromecanico
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
	Total			0,55				
MODO DE FALLA	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	3C1	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6	Cambio de los empaques de caucho-espuma de 1(1/2)" x (1/4)" de la compuerta de la mezcladora	30	Mecanico
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
	Total			1,55				
MODO DE FALLA	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	3C3	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6	Corrido por el perimetro de la mezcladora para detectar fugas	7	Mecanico
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5				
	C. Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25				
	Total			1,55				
MODO DE FALLA	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	3D1	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio del acople rex-omega # 8 entre el motor y la caja reductora	360	Mecanico
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5				
	Total			0,9				

Tabla 28. Evaluación de consecuencias y tareas de mantenimiento para la mezcladora (Continuación)

MODO DE FALLA 3D3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Verificar que el nivel de valvulina de la caja reductora este por encima del 95% del total	30	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Image	0	0,25	0				
Total				0,3				
MODO DE FALLA 3D3	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio total de los 2 galones de valvulina de la caja reductora	365	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	2	0,1	0,2				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Image	0	0,25	0				
Total				0,3				
MODO DE FALLA 3D4	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Lubricacion de las chumaceras de soporte del eje	30	Mecanico	Preventivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Image	2	0,25	0,5				
Total				0,9				
MODO DE FALLA 3D4	CONSECUENCIA	Valor	Peso	Total	Tarea	Periodo(d)	Lo Ejecuta	Clase
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Cambio de las chumacera de soporte del eje de la mezcladora	365	Mecanico	Correctivo
	C. Medio Ambiente	0	0,3	0				
	C. Operacionales	3	0,1	0,3				
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1				
	C. Perdida De Image	2	0,25	0,5				
Total				0,9				

Fuente: Autor del proyecto

7.5 STANDAR JOBS

Con el objetivo de contar con procedimientos estandarizados para la realización de las tareas de mantenimiento, de tal forma que se asegure que los operarios o contratistas que los realicen lo hagan de manera uniforme y adecuada, se realizaron Stándar Jobs para las tareas de mantenimiento de la caldera, mezcladora y compresor.

Estos procedimientos se realizaron bajo las directrices de control de documentos de la ISO 9001:2008, debido que actualmente la empresa se encuentra en proceso de diseño e implementación de un sistema de gestión de la calidad y por lo cual todo procedimiento que se realice se debe hacer acorde al procedimiento de elaboración de documentos.

Cada uno de los procedimientos contiene identificación, objetivo, alcance, seguridad industrial requerida, herramientas necesarias, repuestos requeridos, actividades a realizar y control de cambios.

En la Tabla 29, se enuncian los Standar Jobs que se realizaron por equipo.

Tabla 29. Stadar Jobs creados por equipo

EQUIPO	STANDAR JOB	CÓDIGO
Compresor	<ul style="list-style-type: none"> -Cambio de aceite -Cambio de sellos y rodamientos del motor -Cambio del Filtro de aire -Cambio del filtro de aceite -Cambio y limpieza de Electroválvula -Cambio de rodamientos del tornillo -Sistema de regulación 	<ul style="list-style-type: none"> -MTO-CPCA01 -MTO-CPSRM01 -MTO-CFA01 - MTO-CFAC01 - MTO-ET01 - MTO-RT01 - MTO-SR01
Mezcladora	<ul style="list-style-type: none"> -Acople Rex-Omega -Arreglo de cintas -Ajustes de la Cadena - Cambio de sellos y rodamientos del motor -Cambio de Chumaseras del eje -Limpieza y cambio de la Electroválvula -Cambio de Empaque de compuertas -Reparación general del Empaque cilíndrico -Inspección de Reductor -Rodamientos Compuertas -Cambio de válvulina del reductor 	<ul style="list-style-type: none"> - MTO-CARO01 - MTO-ACO01 -MTO-AJC01 - MTO-CSRM01 - MTO-CH01 - MTO-CLE01 - MTO-CECO01 - MTO-REC01 -MTO-IR01 -MTO-RC01 -MTO-CVR01

EQUIPO	STANDAR JOB	CÓDIGO
Caldera	<ul style="list-style-type: none"> - Reparación de aquatubos incrustados. - Cambio de eslabón de la Parrilla Viajera. - Deshollinado de la caldera. - Mantenimiento a la esclusa del ciclón. - Inspección del Mcdonell y la bomba de adición de agua. - Cambio del piñón motriz de la parrilla viajera. - Cambio de pirotubos. - Revisión de la línea de purgas. - Mantenimiento a los ventiladores primarios y de tiro inducido. 	<ul style="list-style-type: none"> -MTO-RA01 -MTO- CEPV01 -MTO-DHC01 -MTO- MEC01 -MTO-MRCB101 -MTO-CPM01 -MTO-CPT01 MTO-RLP01 -MTO-VPTI01

Fuente: Autor del proyecto

7.5.1 Standar Jobs Compresor

7.5.1.1 Cambio de aceite

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	Título: Cambio de aceite		Modo de falla: 3D3	
	Código N°	MTO- CPCA01	Versión:	1.0.0
	Sección:	Mantenimiento	Creado:	19-jul-2009
	Responsable:	Mécanico		Página 140 de 1
	Elaborado:	Pedro Jose Vega Mendoza	Equipo:	Compresor
OBJETIVO				
Cambiar el aceite lubricante del sistema de la mejor forma sin desperdiciar aceite y dejando el nivel optimo en el menor tiempo posible				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes ■ Gafas ■ Casco 				
Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llave expansiva ■ Tanque de recibo 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Tapón de 1" ■ 2 galones de aceite neumático 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Poner el recipiente debajo del tapón de alivio del carter. 2. Retirar el tapón con la llave expansiva, cuando se desocupe poner el otro tapón con teflón. 3. Retirar la tapa del Carter y depositar el aceite nuevo, volver a tapar. 4. Encender la máquina para que el aceite se reparta por todos los lados. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>		<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009			

7.5.1.2 Cambio de sellos y rodamientos del motor

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	Título: Cambio de Sellos y rodamientos del motor		Modo de falla: 2A1 - 3 A 2	
	Código N°	MTO- CPSRM01	Versión:	1.0.0
	Sección:	Mantenimiento	Creado:	19-jul-2009
	Responsable:	Mecánico y Electromecánico		Página 141 de 217
	Elaborado:	Pedro Jose Vega Mendoza	Equipo:	Compresor
OBJETIVO				
Cambiar los sellos y rodamientos del motor del compresor de manera correcta y en el menor tiempo posible				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Gafas ■ Guantes ■ Casco 				
Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de 9/16. ■ Extractor. ■ Pinza Amperimetrica. ■ Alicata. ■ Porra de Caucho ■ Pinza para chaetas. ■ Llave Expansiva ■ Llave de 1” ■ Destornillador mediano. ■ Sincel. 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Rodamientos SFK ■ Sellos ■ Chavetas 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al supervisor de turno del trabajo a realizar ■ Disparar el contactar de arranque del motor ■ Poner letrero de NO Operación en el tablero de control del compresor 				

ACTIVIDADES

1. Desconectar los cables de la bornera del motor.
2. Con la llave de 1" desajustar los tornillos y Retirar el motor de su base al mismo que desacoplar su eje con el eje del tornillo del compresor.
3. Con el destornillador de pala retirar la tapa del ventilador, luego retirar la chaveta del ventilador y sacarlo.
4. Con la llave de 9/16" desajustar las tuercas de la tapa del motor.
5. Con la porra y el cincel retirar los sellos y luego los rodamientos.
6. Aplicar grasa Frixo a los nuevos rodamientos e instalarlos en su lugar, luego se montan los sellos.
7. Volver a instalar las tapas, el ventilador y volver el motor a su posición original.
8. Conectar el motor y prenderlo, verificar el amperaje con la pinza no debe ser mayor a 5 A.

CONTROL DE CAMBIOS

<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.1.3 Cambio del filtro de aire

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	Título: Cambio de filtro de aire		Modo de falla: 2C1	
	Código N°	MTO- CFA01	Versión:	1.0.0
	Sección:	Mantenimiento	Creado:	19-jul-2009
	Responsable:	Mecánico		Página 143 de 1
Elaborado:	Pedro José Vega Mendoza	Equipo:	Compresor	
OBJETIVO				
Realizar el cambio del filtro de aire de la manera correcta en el menor tiempo posible				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Gafas ■ Guantes ■ Tapabocas 				
Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Alicata. ■ Paño de Limpieza 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Kit de Reparación P/N 042445 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Notifique al supervisor de turno del trabajo a realizar. ■ Instalar letrero de precaución en el tablero de control del equipo 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar el exterior de la caja del filtro. 2. Con el alicate aflojar la tuerca de mariposa y retirar la tapa del filtro. 3. Retirar el filtro y limpiar el interior de la caja con el paño humedecido. 4. Limpiar o reemplazar el filtro y ponerlo sobre el zocalo. 5. Volver a poner la tapa en su lugar ajustándola con el tuerca mariposa. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.1.4 Cambio de filtro de aceite

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	<i>Título:</i> Cambio de filtro de aire		Modo de falla: 2E1 – 2E2	
	<i>Código N°</i>	MTO- CFAC01	<i>Versión:</i> 1.0.0	
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009	
	<i>Responsable:</i>	Mecánico		Página 144 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i>	Compresor
OBJETIVO				
Efectuar el cambio del filtro de aceite y que este quede en óptimas condiciones en el tiempo justo				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Gafas ■ Guantes ■ Tapabocas 				
Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llave de tubo de 4" 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Filtro de aceite P/N 250025-525(Incluye filtro y empaque) 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Notifique al supervisor de turno del trabajo a realizar. ■ Instalar letrero de precaución en el tablero de control del equipo 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con la llave de tubo, retirar el filtro de aceite para así como su empaque de estanqueidad. 2. Limpiar la base del nuevo filtro donde se pondrá el empaque. 3. Aplicar una ligera película de aceite sobre el nuevo empaque. 4. Introducir totalmente, con la mano, el empaque nuevo en la ranura de la base del filtro. 5. Montar el filtro armado y volver a apretar con la llave de tubo. 6. Volver a poner en marcha el compresor y verificar que no haya fugas. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.1.5 Limpieza y cambio de la Electroválvula

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	<i>Título:</i> Limpieza y cambio de la electroválvula		Modo de falla: 2B3	
	<i>Código N°</i>	MTO- ET01	<i>Versión:</i>	1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i>	19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico		Página 145 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i>	Compresor
OBJETIVO				
Realizar la limpieza o cambio de la electroválvula 5/2 de la forma correcta y en el tiempo justo				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes ■ Casco ■ Gafas ■ Tapa Oídos 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de ½" y 1" ■ Alicata ■ Paño 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Aceite Neumático ■ Destornillador de estrella Mediano 		
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Racores de ½" ■ 4 m de Manquera neumática 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Electroválvula 5/2 para racor de ½" 		
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Notifique al supervisor de turno del trabajo a realizar. ■ Instalar letrero de precaución en el tablero de control del equipo 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Manualmente retirar todas las mangueras y luego con la llave de 1" desajustar todos los racores que llegan y salen de la electroválvula. 2. Soltar las bobina de la electroválvula. 3. Con el destornillador soltar todos los tornillos que sostienen el cuerpo de la electroválvula. 4. Sacar y limpiar el vástago del cuerpo de la electroválvula así como su respectivo resorte. 5. Remojar el cuerpo de la electroválvula en ACPM. 6. Realizar todo el procedimiento a revés y dejar la electroválvula funcionando. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.1.6 Cambio de Rodamientos del tornillo

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Cambio de rodamientos del tornillo		Modo de falla: 2 A 2
	<i>Código N°</i>	MTO- RT01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico	Página 146 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Compresor
OBJETIVO			
Cambiar los rodamientos del tornillo compresor de la forma adecuada en el menor tiempo posible			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes ■ Casco ■ Gafas 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llave de 9/16" ■ Pinzas Para Chaveta 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Alicates ■ Destornillador de Estrella 	
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Rodamientos SKF ■ Chavetas 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar los tornillos de la tapas del bloque del tornillo compresor con la llave de 9/16" 2. Sacar los rodamientos e insertar los nuevos con una delgada película de grasa. 3. Verificar el movimiento de tornillo induciéndolo manualmente, si se mueve fácilmente seguir al siguiente paso, si no bajar de nuevo los rodamientos y aplicar más grasa. 4. Volver a instalar las tapas con sus respectivos tornillos. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.1.7 Sistema de regulación

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Mantenimiento al sistema de regulación		Modo de falla: 2B2 - 2F1
	<i>Código N°</i>	MTO- SR01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Contratistas	
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Compresor
OBJETIVO			
Ajustar los límites superiores e inferiores de presiones de la forma adecuada en el tiempo indicado			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere: <ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes ■ Casco ■ Gafas ■ Tapa Oídos 			
HERRAMIENTAS			
Las suministra el contratista acorde del estado en que este el sistema de regulación y el mantenimiento que requiera			
REPUESTOS			
Las suministra el contratista acorde del estado en que este el sistema de regulación y el mantenimiento que requiera			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Girar el tornillo de ajuste del diferencial hacia el límite inferior (nuevo cebado). Haciendo girar el tornillo en el sentido contrario a las agujas de un reloj, se amplía el diferencial reduciendo solamente el ajuste del nuevo cebado. 2. Después del ajuste del manóstato, es conveniente ajustar el regulador de presión en la presión en que la modulación de descarga de aire debe activarse. En el caso presente, esta presión será de 8,2 bar. Se ajusta el regulado aflojando la contratuerca del regulador de presión. Cuando la contratuerca ya esta aflojada, girar el tornillo de ajuste en el sentido de las agujas de un reloj para aumentar la presión o en sentido contrario para reducirla. 3. Para ajustar el regulador, continuar cerrando la válvula de servicio hasta que la presión del circuito alcance 8,2 bar. En este punto, el regulador debería transmitir 			

una señal a la válvula de admisión para que empiece a cerrarse. Si la presión del circuito sigue subiendo o si la modulación no se activa ajustar el regulador como se describe arriba. Después de este ajuste la presión del circuito debería ser de unos 8,2 bar con un vacío de 2,54 cm Hg debajo del vacío de admisión.

4. Cerrar la válvula de servicio. La presión del circuito debería empezar a subir cuando la presión alcanza 125 lb, la válvula de admisión debe estar en posición cerrada máxima. El vacío de admisión en este nivel debe ser de unos 63,5 cmHg. La máquina deberá lanzar la descarga al mencionado nivel.
5. Abrir la válvula de servicio hasta que la presión del circuito sea de 7,5 bar. La máquina estará preparada para funcionar. Comprobar de nuevo la presión de descarga cerrando la válvula de servicio. La máquina debería realizar la descarga a 8,2 bar por el manómetro.
6. Comprobar la presión del Carter en vacío. Para tal fin se debe parar el compresor, desmontar la tapa del manómetro y desconectar uno de los cables conectados al micro interruptor. Después de haber desconectado el cable, rodear el hilo limpio con cinta aislante. Con esta modificación se arranca y se verifica la presión del carter que debe marcar entre 2,1 y 2,5 bar. Después de hacer este test se debe volver a conectar el cable de la forma original.

CONTROL DE CAMBIOS

<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.2 Standar Jobs Mezcladora

7.5.2.1 Cambio del Acople Rex – Omega

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	<i>Título:</i> Cambio del Acople Rex – Omega		Modo de falla: 3D1	
	<i>Código N°</i>	MTO- CAR001	<i>Versión:</i>	1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i>	19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico		Página 149 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i>	Mezcladora
OBJETIVO				
Cambiar el acople Rex-Omega # 8 de la forma adecuado en el menor tiempo				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes, casco y gafas 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llave de 9/16", porra y cincel 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción, al supervisor y dosificador de turno ■ Disparar el contactar del motor de la mezcladora 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Masas de acople omega maquinadas con eje de 3" con Cuñero de ¾" ■ Carcasa de acople omega #8 ■ Cuñas de 2(1/2)" x ¾ " 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con la llave de 9/16" retirar todos los tornillos de ajuste de la carcasa con la masa. 2. Usando el cincel y la porra retirar las masas del acople tanto del eje del motor como del reductor. 3. Con la porra y el cincel retirar las dos cuñas. 4. Lijar el Cuñero e instalar la nueva cuña. 5. Instalar las nuevas masas y alinear las masas. 6. Instalar las carcasas. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.2.2 Arreglo de cintas

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	<i>Título:</i> Arreglo de cintas		Modo de falla: 3 A1 – 3 A 3 - 3B2	
	<i>Código N°</i>	MTO- AC01	<i>Versión:</i>	1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i>	19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico		Página 150 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i>	Mezcladora
OBJETIVO				
Realizar una revisión exhaustiva de las cintas de la mezcladora y ejecutar las reparaciones pertinentes en el tiempo ideal				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, mascarilla, guantes, botas de seguridad y overol completo. 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción, supervisor y dosificador. ■ Desencadenar la mezcladora. ■ Disparar el contacto del motor. ■ Cerrar con llave el tablero de control y llevarse la respectiva llave. 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Equipo de soldadura lincon, varillas de soldadura para acero inoxidable, porra y pulidora DeWalt. 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Sección de cinta en acero inoxidable suministrada por Metalteco 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ingresar a la mezcladora por el manhold superior. 2. Con la porra, pegarle a todas las soldaduras entre las cintas y el eje principal de la mezcladora. 3. Si se encuentra alguna cinta suelta, se procede a soldarla a su eje. 4. Si se encuentra partida en dos por la mitad, se procede a cortar con la pulidora sus pegues al eje para quitar la cinta completa. Luego se pule el corte y se procede a instalar la nueva punteándola, después se mide y si la medida es correcta se procede a soldar los puntos de apoyo en su totalidad 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.2.3 Ajustes de la Cadena

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Alineación y tensión de cadena de transmisión de potencia		Modo de falla: 3 A 2
	<i>Código N°</i>	MTO- AJC01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico	Página 151 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Mezcladora
OBJETIVO			
Alinear y tensionar la cadena de la mejor manera en el tiempo ideal.			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Gafas, guantes y casco 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de 1(1/2)", 9/16" ■ Alicates ■ Flexometro ■ Regla graduada. 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ No se requieren 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con las llaves de 9/16" retirar la guardacadena. 2. De forma cualitativa verificar la tensión de la cadena. 3. Si se encuentra muy destensioanda, mover la base del reductor y el motor usando la llave de 1(1/2)", hasta que la cadena tenga una deflexión de máximo 1". 4. Si moviendo la caja reductora y el motor, la cadena no se tensiona, se procede a quitarlo los pasos necesarios hasta que tensiona bien. 5. Tomar las medidas entre ejes y verificar su linealidad y reportar estos datos. 6. Volver a instalar la guarda cadena. 7. Documentos relacionados 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.2.4 Cambio de sellos y rodamientos del motor

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	Título: Cambio de Sellos y rodamientos del motor		Modo de falla: 3 A 2	
	Código N°	MTO- CSRM01	Versión: 1.0.0	
	Sección:	Mantenimiento	Creado: 19-jul-2009	
	Responsable:	Mecánico y Electromecánico		Página 152 de 2
	Elaborado:	Pedro José Vega Mendoza	Equipo:	Mezcladora
OBJETIVO				
Cambiar los sellos y rodamientos del motor de la mezcladora de manera correcta y en el menor tiempo posible				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes ■ Guantes ■ Gafas 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de 9/16, 1/2" . ■ Extractor. ■ Pinza Amperimetrica. ■ Alicate. ■ Porra de Caucho ■ Pinza para chaetas. 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Llave Expansiva ■ Llave de 1" ■ Destornillador mediano. ■ Cincel. ■ Llave bristol 		
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción, supervisor de turno y supervisor del trabajo a realizar. ■ Disparar el contacto de arranque del motor. ■ Poner letrero de NO OPERACIÓN en el tablero de control de la mezcladora. 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Rodamientos SKF_____ ■ Sellos de _____ ■ Chavetas_____ 				

ACTIVIDADES

1. Desconectar los cables de la bornera del motor.
2. Con la llave de ½” soltar los tornillos del acople rex omega, luego retirar con el cincel y la porra la masa del acople del motor.
3. Con la llave de 1” desajustar los tornillos y Retirar el motor de su base al mismo que desacoplar su eje con el eje del tornillo del compresor.
4. Con el destornillador de pala retirar la tapa del ventilador, luego retirar la chaveta del ventilador y sacarlo.
5. Con la llave de 9/16” desajustar las tuercas de la tapa del motor.
6. Con la porra y el cincel retirar los sellos y luego los rodamientos.
7. Aplicar grasa Frixo a los nuevos rodamientos e instalarlos en su lugar, luego se montan los sellos.
8. Volver a instalar las tapas, el ventilador y volver el motor a su posición original.
9. Conectar el motor y prenderlo, verificar el amperaje con la pinza no debe ser mayo a 10 A.

CONTROL DE CAMBIOS

<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.2.5 Cambio del eje Chumaceras

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	<i>Título:</i> Cambio de Chumaceras del eje		Modo de falla: 3D4	
	Código N°	MTO- CH01	Versión:	1.0.0
	Sección:	Mantenimiento	Creado:	19-jul-2009
	Responsable:	Mecánico		Página 154 de 1
	Elaborado:	Pedro José Vega Mendoza	Equipo:	Mezcladora
OBJETIVO				
Cambiar y lubricar las chumaceras del eje de la mezcladora de la forma correcta en el tiempo indicado				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes, casco y gafas y botas de seguridad 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de ½", porra, caballete de soporte, extractpr y pulidora DeWalt 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción, supervisor y dosificador. ■ Desencadenar la mezcladora. ■ Disparar el contactor del motor. ■ Cerrar con llave el tablero de control y llevarse la respectiva llave. 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Chumaceras de manguito de alta carga SKF de 4". ■ Platinas de ¼" x 4". 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar la cadena y con el extractor sacar el piñón motriz de la mezcladora. 2. Desajustar los tornillos de soporte de las chumaceras. 3. Sacar las chumaceras, a medida que van saliendo poner el caballete de soporte al eje. 4. Agregar grasa a la chumacera e insertarla en el eje, a medida que se va introduciendo cambiar el caballete de posición. 5. Calzar la chumacera hasta que el eje tenga el nivel deseado. 6. Volver a insertar el piñón. 7. Realizar la misma labor para la otra chumacera omitiendo el trabajo relacionado con el motor 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.2.6 Cambio y limpieza de Electroválvula

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Cambio o limpieza de electroválvula		Modo de falla:3 B1
	<i>Código N°</i>	MTO- CLE01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Electromecánico	Página 155 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Mezcladora
OBJETIVO			
Realizar la limpieza o cambio de la electroválvula 5/2 de la forma correcta y en el tiempo justo.			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes, casco y gafas y tapa oídos 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de ½” alicate, paño, aceite neumático y destornillador de estrella mediano 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Racores de ½” ■ 4 m de Manquera neumática. ■ Electroválvula 5/2 para racor de ½” 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Manualmente retirar todas las mangueras y luego con la llave de 1” desajustar todos los racores que llegan y salen de la electroválvula. 2. Soltar las bobina de la electroválvula. 3. Con el destornillador soltar todos los tornillos que sostienen el cuerpo de la electroválvula. 4. Sacar y limpiar el vástago del cuerpo de la electroválvula así como su respectivo resorte. 5. Remojar el cuerpo de la electroválvula en ACPM. 6. Realizar todo el procedimiento a revés y dejar la electroválvula funcionando. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.2.7 Cambio de Empaque de compuertas

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Cambio de empaque de la compuerta		Modo de falla: 3C1
	<i>Código N°</i>	MTO- CEC01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Electromecánico	
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Mezcladora
OBJETIVO			
Realizar el cambio de la empaquetadura de la compuerta de la mezcladora, sin dejar fuga alguna en el menor tiempo indicado			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, gafas, guantes, mascarilla filtrante, botas de seguridad, overol completo 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Cuchillo, espátula, Lija # 80, Pegante Tlp-Tock 			
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción, supervisor y dosificador. ■ Desencadenar la mezcladora. ■ Disparar el contactor del motor. ■ Cerrar con llave el tablero de control y llevarse la respectiva llave. 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ 16 m de caucho espuma de 1(1/2)" x 1/4" 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con el cuchillo levantar el empaque defectuoso en todo el perímetro de las compuertas de la mezcladora. 2. Con la lija # 80, quitar todo rastro de pegante o empaque antiguo al mismo tiempo que dejar la superficie uniforme y limpia. 3. Con la espátula, esparcir todo el pagamento a lo largo de la sección de la compuerta. 4. Poner el empaque sobre el pegamento, en cada metro pisar la sección anterior. 5. Esperar 15 min que el pegante se adhiera bien a las superficies. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.2.8 Reparación general del Empaque cilíndrico

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO															
	Título: Reparación general del Empaque cilíndrico		Modo de falla: 3B1 - 3C2												
	Código N°	MTO- REC01	Versión: 1.0.0												
	Sección:	Mantenimiento	Creado: 19-jul-2009												
	Responsable:	Electromecánico	Página 157 de 1												
	Elaborado:	Pedro José Vega Mendoza	Equipo: Mezcladora												
OBJETIVO															
Realizar la reparación general del cilindro neumático de la forma correcta en el tiempo justo															
ALCANCE															
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento															
SEGURIDAD INDUSTRIAL															
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:															
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, gafas y guantes 															
HERRAMIENTAS															
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de ½", ¼", Alicates, Llave brístol de ¼" 															
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO															
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción, supervisor y dosificador 															
REPUESTOS															
<ul style="list-style-type: none"> ■ Kit de reparación cilindro neumático 40-60 ■ Aceite neumático ■ Racores de ½" 															
ACTIVIDADES															
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con la llave de ¼" retirar la tuerca que sujeta el vástago con la horquilla del pivote de la compuerta de la mezcladora. 2. Con la llave de ¼" retirar el soporte que une el cilindro a la mezcladora. 3. Con el alicate retirar el pin de ajuste del eje del cilindro al soporte. 4. Con la llave brístol retirar los 4 tornillos de cada tapa que centra el vástago y mantiene la hermeticidad del cilindro. 5. Retirar los dos racores del cilindro e instalar los nuevos. 6. Retirar los empaques del vástago, limpiarlo e instalar los nuevos empaques. 7. Limpiar el cilindro en su interior y lubricar todo el sistema. 8. Instalar las tapas y ajustar hasta que quede bien sellado. 9. Volver a poner el cilindro en su soporte original y dejar bien ajustado la horquilla 															
CONTROL DE CAMBIOS															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Versión del Documento</th> <th>Fecha de Publicación</th> <th>Detalle de los cambios</th> <th>Lugar del Documento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.0</td> <td>19-jul-2009</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Versión del Documento	Fecha de Publicación	Detalle de los cambios	Lugar del Documento	1.0	19-jul-2009									
Versión del Documento	Fecha de Publicación	Detalle de los cambios	Lugar del Documento												
1.0	19-jul-2009														

7.5.2.9 Inspección del Reductor

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Inspección del reductor		Modo de falla: 3 A2
	<i>Código N°</i>	MTO- IR01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico	
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Mezcladora
OBJETIVO			
Realizar un inspección tanto de los rodamientos de la entrada del reductor así como los rodamientos de la salida para prevenir su daño inesperado			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, gafas, tapabocas y guantes 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Estetoscopio Industrial y Tacómetro 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ No se requieren 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con el vástago del estetoscopio industrial, tocar la sección adyacente al eje de entrada 2. Con el vástago del estetoscopio industrial, tocar la sección adyacente al eje de salida del reductor. 3. Analizar la sección media del reductor con el estetoscopio. 4. En todos los casos reportar y dar a conocer los resultados. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.2.10 Rodamientos compuertas

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Mantenimiento a los rodamientos de las compuertas		Modo de falla: 3B1
	<i>Código N°</i>	MTO- RC01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico	Página 159 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Mezcladora
OBJETIVO			
Cambiar las chumaceras de la compuerta de descargue de la mejor forma en el tiempo preciso.			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, gafas y guantes 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llave de ¾, porra, pincel, hombrosolo, equipo de oxicorte, equipo de soldadura y pulidora 			
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción, supervisor y dosificador 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Kit de reparación cilindro neumático 40-60 ■ Aceite neumático ■ Racores de ½" 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Desconectar las mangueras de los cilindros neumáticos y desconectar las bobinas de las electroválvulas. 2. Estando la compuerta cerrada, soportar las bisagras y retirar cada chumacera, soltando las tuercas de las chumaceras con la llave de ¾". Si se encuentra la chumacera con mucho ajuste usar el equipo de oxicorte para cortar las chumaceras. 3. Lubricar las nuevas chumaceras con grasa parafinica Premium mara frixo y proceder a montar las chumaceras y ajustar la chumacera con cada prisionero. 4. Con la pulidora quitar los soportes instalados. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.2.11 Cambio de válvulina del reductor

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Cambio de válvulina del reductor		Modo de falla: 3D3
	<i>Código N°</i>	MTO- 01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico	Página 160 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Mezcladora
OBJETIVO			
Cambio de los dos galones de válvulina de la forma correcta en el tiempo justo			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, gafas y guantes 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de ½", ¼", Alicates, Llave brístol de ¼" 			
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción, al supervisor y dosificador de turno. ■ Disparar el contactor del motor de la mezcladora 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ 2 galones de válvulina meropa. 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar el nivel de válvulina en el reductor, mediante el nivel que tiene al costado derecho. 2. Si en el nivel esta bajo o el lubricante cumplió un año, retirar el tapón inferior del reductor, almacenar la válvulina antigua en la pimpina. 3. Ponerle teflón al tapón y volver instalarlo al reductor. 4. Retirar el tapón superior y agregar la válvulina, prestando atención al nivel del lubricante en el reductor, mediante el visor. 5. Cuando se alcanza el nivel deseado se vuelve a tapar , se limpian los lugares adyacentes y manualmente se le dan 3 vueltas al eje del reductor para que la válvulina se esparza en todo el interior. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.3 STANDAR JOB DE LA CALDERA

7.5.3.1 Reparación de aquatubos incrustados

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Reparación de aquatubos incrustados		Modo de falla: 1C1
	<i>Código N°</i>	MTO- RA01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico	Página 161 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Caldera
OBJETIVO			
Reparar los aquatubos incrustados de la forma correcta en el tiempo justo			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Guantes para soldar, careta para pulir, gafas y tapabocas 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Pulidora, equipo de soldadura Lincoln de alto amperaje, expander y porra 			
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Notificar a la gerencia regional y a la gerencia de producción. ■ Dejar la presión de agua dentro de la caldera descienda a 0. 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> • Secciones de Tubos de 2(1/4)" sch 40 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con la pulidora cortar la sección de tubo afectada e introducir una sonda y lavar con la hidrolavadora. 2. Cortar una sección de tubo idéntica que la sección que se retiro. 3. Pulir la sección del corte y el tramo de tubo de reemplazo. 4. Soldar las dos secciones con una buena profundidad y sin porosidades. 5. Cepillar y volver a soldar por lo menos en dos oportunidades y pulir las unió de las dos secciones. 6. Realizar pruebas hidrostáticas al trabajo para corregir cualquier fuga existente generada por el trabajo. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.3.2 Cambio de eslabón de la Parrilla Viajera

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	<i>Título:</i> Cambio de eslabón de la Parrilla Viajera		Modo de falla: 1E1	
	<i>Código N°</i>	MTO- CEPV01	<i>Versión:</i>	1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i>	19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico - Calderista		Página 162 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i>	Caldera
OBJETIVO				
Cambio de los eslabones de la parrilla viajera de la caldera de la forma correcta en el menor tiempo posible.				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, guantes para altas temperaturas y gafas 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Porra, Cincel de 1" x 10" y Alicata 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Notificar al gerente de producción y al supervisor de turno. ■ Cambiar los parámetros de la caldera a velocidad media. ■ Cambiar la velocidad de la parrilla viajera a lenta. 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Eslabón VR 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con el alicate retirar el pin de seguridad del pasador. 2. Con la porra y el cincel sacar el pasador de una forma lenta y precisa (esto lo hace el calderista) 3. El mecánico esta atento a retirar el pasador dañado penas queda liberado, y de forma inmediata inserta el nuevo pasador. 4. Al mismo tiempo con la porra, se golpea el lado opuesto del pasador hasta que <ol style="list-style-type: none"> a. éste retorne a su posición original, cuando esto suceda insertar el pin de seguridad. 5. Repetir la operación con el otro pasador que atraviesa el eslabón. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.3.3 Deshollinado de la caldera

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Deshollinado de la caldera		Modo de falla: 1F1, 1F4
	<i>Código N°</i>	MTO- DHC01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico - Calderista	Página 163 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Caldera
OBJETIVO			
Deshollinar la caldera de la forma correcta en el tiempo justo			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, tapabocas. Gafas y botas plásticas 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llave de 9/16" y 1", Pala, Carretilla, Porra de Goma, Hidrolavadora 			
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción y supervisor de turno ■ Apagar la Caldera 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ No se requieren 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Abrir todas las compuertas de la caldera y dejar los ventiladoras prendidos a velocidad baja. 2. Con la porra de goma, golpear el filtro de mangas y recoger el hollín en la carretilla previamente ubicada. 3. Con la porra golpear todo el área de la chimenea para que el hollín depositado en las paredes y en los filtros descienda hasta la base de la misma. 4. Con llave de 9/16" retirar la mirilla de la chimenea de la caldera y con la pala retirar el hollín y depositarlo en la carretilla. 5. Con la hidrolavadora lavar todo el espejo de la caldera y cada pirotubo. 6. Con la llave de 1" retirar las bridas de los aquatubos principales y lavar el tubo hasta que salga agua por el otro extremo, se suspende el lavado cuando el agua que sale sea ligeramente transparente. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.3.4 Mantenimiento a la esclusa del ciclón

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	Título: Mantenimiento a la esclusa del ciclón		Modo de falla:1F2	
	Código N°	MTO- MEC01	Versión:	1.0.0
	Sección:	Mantenimiento	Creado:	19-jul-2009
	Responsable:	Mecánico - Calderista		Página 164 de 1
	Elaborado:	Pedro José Vega Mendoza	Equipo:	Caldera
OBJETIVO				
Realizar el mantenimiento general a la esclusa del ciclón de la caldera de la forma correcta en el tiempo justo				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, guantes y gafas 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llave de 9/16" y 1", Pala, Carretilla, Porra de Goma, Hidrolavadora 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al gerente de producción y supervisor de turno 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Rodamientos, Chavetas, Cuña de ¼" x 1", Piñón 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar los elementos de transmisión, con el alicate retirar la cadena luego con el extractor sacar el piñón y por ultimo con la porra y el cincel retirar la cuña. 2. Con la llave de 9/16" retirar los tornillos de las tapas de la esclusa. 3. Con el extractor sacar las tapas y luego con el cincel y la porra retirar el rotor. 4. Con la porra y el cincel sacar los rodamientos de los orificios de las tapas e instalar los rodamientos nuevos previamente engrasados. 5. Enviar el rotor y el cuerpo de la esclusa al centro de mecanizado para corregir el desgaste tanto de las paredes como de las paletas del rotor y reconstruir el cuerno. 6. Instalar la cuña e instalar el piñón con manguito. 7. Alinear el piñón de la esclusa con el piñón del motor, instalar cadena y tensionar. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.3.5 Inspección del Mcdonell y la bomba de adición de agua

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	Título: Inspección del Mcdonell y la bomba de adición de agua		Modo de falla:1A1
	Código N°	MTO- MCBA01	Versión: 1.0.0
	Sección:	Mantenimiento	Creado: 19-jul-2009
	Responsable:	Electromecánico	Página 165 de 1
	Elaborado:	Pedro José Vega Mendoza	Equipo: Caldera
OBJETIVO			
Realizar la correcta inspección del funcionamiento del sistema eléctrico del McDonell y la bomba de adición de agua			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere: <ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, guantes y gafas 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Pinza amperimétrica y voltímetro, ■ Llave de ½", ¾", ■ Alicata, Destornillador 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Racores de 3/8", ■ Hidrolavadora 	
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO			
1. Informar al supervisor de turno			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ No se requieren 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar con el destornillado la tapa del McDonell y con el amperímetro verificar continuidad del sistema y ajustar los cables a sus borneras. 2. En el tablero de control inducir los relevos de control de las purgas y hacer la medición con el multímetro, si marca 110v todo está bien. Si marca menos revisar la continuidad del relevo y de su base, también ajustar los cables a las borneras y repetir la primera acción. 3. Verificar el encendido del relevo de la bomba y tomar la medición de voltaje de sus terminales así como el amperaje del motor. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.3.6 Cambio del piñón motriz de la parrilla viajera

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Cambio de l piñón motriz de la parrilla viajera		Modo de falla: 1A2, 1E3, 1E2
	<i>Código N°</i>	MTO- CPM01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecanico-Calderista	Página 166 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Caldera
OBJETIVO			
Cambiar el piñón motriz de la parrilla viajera de la forma correcta en el tiempo justo			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco, guantes y botas de seguridad 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Diferencial de 2 Ton, Porra, Cincel, Extractor y Cadena 			
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Notificar a la gerencia de producción ■ Disparar los contactores y totalizadores del tablero de control ■ Señalizar en el tablero de control 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Piñón de manguito_ ■ Cuña de ¾" x 2" 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Soportar la diferencial en la viga dispuesta para tal fin al lado del bajante de la tolva e carbón. 2. Pasar la cadena por la mitad de la parrilla, darle dos vueltas y engancharla a la diferencial. 3. Quitar el pasador de la parte exterior de la parrilla y dejarlo caer suavemente, la mismo tiempo que se eleva la otra sección de la parrilla con la diferencial. 4. Con la porra y el extractor retirar el piñón motriz, si y tiene mucho ajuste cortarlo con el equipo de corte. 5. Cambiar la cuña e insertar el nuevo piñón, cuando este en el punto indicado, ajustar el manguito hasta que el piñón queda fijo. 6. Bajar la parrilla hasta que descansa en el nuevo piñón. 7. Retirar la cadena de sección superior de la parrilla y sujetar la sección inferior, subirla hasta que se pueda volver a insertar el pasador por las cavidades de los eslabones. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.3.7 Cambio de pirotubos

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO			
	<i>Título:</i> Cambio de pirotubos		Modo de falla: 1C1
	<i>Código N°</i>	MTO- CPT01	<i>Versión:</i> 1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	VR o JCT (Contratistas)	
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i> Caldera
OBJETIVO			
Cambiar los Pirotubos de la caldera de la forma correcta en el menor tiempo posible			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDAD INDUSTRIAL			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco ■ Guantes ■ Botas de seguridad ■ Careta para soldar ■ Careta para pulir y tapabocas 			
HERRAMIENTAS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Pulidora, Equipo de soldadura Lincoln de alto amperaje, Expander y Porra 			
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO			
<ul style="list-style-type: none"> ● Notificar a la gerencia regional y a la gerencia de producción. 			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> ■ Tubos de 1(1/2)" sch 40 de 4,5 m de longitud. 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Con la pulidora quitar las soldaduras que une los tubos al espejo en cada extremo de la sección pirotubular. 2. Pulir cada orificio del espejo por donde se introducirá el tubo. 3. Introducir los tubos necesarios y fijarlos manualmente en los orificios. 4. Introducir el expander y darle las vueltas necesarias para que el tubo quede bien ajustado al espejo. 5. Soldar el tubo al espejo, dar un cordón rápido de soldadura, para que el espejo no se contraiga, luego cepillar y dar otro cordón. 6. Realizarle una prueba hidrostática al trabajo para corregir fugas en las uniones. 			
CONTROL DE CAMBIOS			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.3.8 Revisión de la línea de purgas

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	<i>Título:</i> Revisión de la línea de purgas		Modo de falla: 1B4	
	<i>Código N°</i>	MTO- RLP01	<i>Versión:</i>	1.0.0
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i>	19-jul-2009
	<i>Responsable:</i>	Mecánico		Página 168 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i>	Caldera
OBJETIVO				
Revisión de la línea de purgas de la caldera de la forma adecuada en el menor tiempo posible.				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco dieléctrico ■ Guantes ■ Botas dieléctrico 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Pinza amperimétrica y voltímetro. ■ Llave de ½", ¾" ■ Alicata ■ Destornillador ■ Racores de 3/8" ■ Hidrolavadora 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Informar al supervisor de turno 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ No se requieren 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. En el tablero de control inducir los relevos de control de las purgas y hacer la medición con el multímetro, si marca 110v todo está bien. Si marca menos revisar la continuidad del relevo y de su base, también ajustar los cables a las borneras. 2. Dejando la válvula abierta, soltar las bridas adyacentes a la misma (se usa la llave de ¾") y lavar la tubería con la hidrolavadora, hasta dejar el tubo con 0 incrustaciones. 3. Cambiar los racores y mangueras de cada electroválvula. 4. Lubricar los actuadores de las válvulas. 5. Ajustar tornillos y verificar alineación de ejes y válvulas. 6. Realizar mantenimiento a la electroválvula 5/3 como se estipula en el manual de mantenimiento de este dispositivo en la sección de mezcla. 7. Limpieza a todo el cuerpo de la electroválvula. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
1.0	19-jul-2009			

7.5.3.9 Mantenimiento a los ventiladores primarios y de tiro inducido

PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO				
	<i>Título:</i> Revisión de ventiladores		Modo de falla:1B3,1F31G3	
	<i>Código N°</i>	MTO- VPTI01	<i>Versión:</i> 1.0.0	
	<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i> 19-jul-2009	
	<i>Responsable:</i>	Mecánico y Electromecánico		Página 169 de 1
	<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i>	Caldera
OBJETIVO				
Realizar el mantenimiento general de los ventiladores primario y tiro inducido de la forma correcta en el tiempo justo				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD INDUSTRIAL				
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Casco ■ Botas de Seguridad ■ Gafas ■ Guantes 				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Llaves de 9/16, 1", 1(1/4)", 1(1/2)" ■ Destornillador de estrella. ■ Extractor ■ Porra ■ Cincel ■ Alicata ■ Pinza Amperimetricas ■ Pinzas Para Chavet ■ Chave Bristol de 1/2" 				
ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> ■ Notificar a la gerencia de producción ■ Disparar los contactores y totalizadores del tablero de control ■ Señalizar en el tablero de control 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> ■ VP rodamientos __ ■ VP sellos__ ■ VP chavetas__ ■ VI rodamientos__ ■ VI sellos__ ■ VP chavetas_ 				

ACTIVIDADES

■ Rodamientos y Sellos del Motor

1. Con la llave de 1(1/4)" soltar los tornillos y mover el motor para distensionar las poleas.
2. Con el extractor retirar la polea motriz.
3. Retirar la tapa del ventilador, luego con las pinzas para chavetas retirar la chaveta que sujeta el ventilador y proceder a sacarlo del eje.
4. Con la llave de 9/16" retirar los tornillos de las tapas del motor.
5. Con la porra y el cincel retirar los sellos y rodamientos antiguos, al insertar el nuevo juego, asegurarse de lubricar

■ Cambio de Chumaceras

1. Repetir paso 1 anterior.
2. Con el extractor soltar las dos poleas.
3. Co la llave bristol de 1/2" soltar los prisioneros que ajustan las chumaceras al eje
4. Con la llave de 1" desajustar los tonillos de soporte de la chumacera y sacar las chumaceras dándole un nuevo soporte temporal al eje.
5. Introducir las chumaceras y repetir los pasos anteriores

■ Tensión Correas

1. Alinear los ejes del motor y del ventilador
2. Montar las correas y mover el motor con las tuercas de ajuste hasta que se obtenga una tensión de +/- 1/2" de elongación.

NOTA: En todos los casos es indispensable balancear el rotor del ventilador.

CONTROL DE CAMBIOS

<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

7.5.3.10 Mantenimiento a las compuertas de admisión de aire



PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO

<i>Título:</i> Mantenimiento a las compuertas de admisión de aire		<i>Modo de falla:</i> 1B1	
<i>Código N°</i>	MTO- CA01	<i>Versión:</i>	1.0.0
<i>Sección:</i>	Mantenimiento	<i>Creado:</i>	19-jul-2009
<i>Responsable:</i>	Electromecánico		Página 171 de 1
<i>Elaborado:</i>	Pedro José Vega Mendoza	<i>Equipo:</i>	Caldera

OBJETIVO

Realizar el mantenimiento general de las compuertas de admisión de aire de la forma adecuada en el tiempo justo

ALCANCE

Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento

SEGURIDAD INDUSTRIAL

Para el desarrollo de este procedimiento requiere:

- Casco, guantes y gafas

HERRAMIENTAS

- Llaves de ½", 3/16"
- Alicates

ANTES DE REALIZAR UN TRABAJO

- Informar al gerente de producción, al supervisor y dosificador de turno

REPUESTOS

- Bujes de ½"

ACTIVIDADES

1. Con la llave de ½" soltar los tornillos de ajuste del cuerpo y retirar la compuerta.
2. Con la llave de 3/16" soltar los tornillos de ajuste de la patina del eje y el dumper y retirarla desde el costado.
3. Sacar manualmente los bujes y de inmediato insertar los nuevos.
4. Repetir los pasos de los puntos 2 y 1.

CONTROL DE CAMBIOS

<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0	19-jul-2009		

8. RBI

8.1 Alcance del RBI

El alcance del RBI en el desarrollo de la presente tesis corresponde a las líneas estáticas de producción que son críticas debido a que un daño o reparación que se le debieran realizar causa la detención o merma de la producción, la línea estática que es crítica en la planta de producción es la línea estática de la caldera. Se excluye la línea del compresor debido a que esta no es crítica ya que la planta de producción cuenta con dos líneas estáticas para esta máquina, siendo una línea, la del compresor anterior y otra la del actual; además según los registros en el área de mantenimiento y el personal de la empresa la línea estática del compresor no es crítica debido a su baja frecuencia de falla, además cuando se presentan fallas se cuenta con la posibilidad de conectar al compresor a la línea estática del compresor anterior por medio una válvula de tres vías, esto hace que la producción de la planta no se vea afectada por los daños presentados en la tubería del compresor. El alcance del RBI no incluye la línea estática de la mezcladora ya que esta máquina no cuenta con una de estas.

8.2 Metodología para desarrollo de RBI

El proceso de desarrollo de la metodología RBI consistió en primera instancia en la generación de una base de datos con toda la información relevante de la línea estática de la caldera, la cual permitiera evaluar la integridad de la misma. Luego de este paso se definieron los circuitos de corrosión, teniendo en cuenta que cada circuito corrosión tiene unas condiciones similares que hacen que este expuesto a los mismos mecanismos de degradación. Luego de este se dividieron los circuitos de corrosión en TAG. El siguiente paso fue la valoración de criticidades para los circuitos de corrosión, en el cual a cada tag de las líneas de corrosión se le evaluaron las consecuencias y probabilidad de ocurrencia para así de esta manera determinar su criticidad. Después de evaluar las criticidades de cada Tag se determinaron los parámetros de inspección y se calculo la velocidad de corrosión.

8.3 Desarrollo de Metodología de RBI

8.3.1 Caracterización de las Líneas de Corrosión

Los circuitos de corrosión que se definieron para la línea estática de la caldera son:

- Adición de agua.
- Generación de vapor.
- Distribuidor y transporte de vapor

A cada una de estas líneas de corrosión se definieron las siguientes características como se muestra en la Tabla 30: recorrido de línea, temperatura, material, servicio, diámetros, espesores de tubería, presión de pruebas hidrostática y espesores de aislamiento

Tabla 30. Formato de caracterización de las líneas de corrosión

	ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER				
	DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN				
	ÁREA DE MANTENIMIENTO			Elaborado por: Pedro Jose Vega Mendoza	
	FORMATO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE CORROSIÓN				Hoja 1 de 2
No.	NOMBRE LINEA/CARACTERÍSTICAS	ALMACENAMIENTO DE AGUA	TRANSPORTE DE AGUA	AQUATUBOS	PIROTUBOS
1	RECORRIDO LINEA	-	25 m	20 tubos de 1,5m	40 tubos de 2m
2	TEMPERATURA	75-85°C	70-80°C	400	400
3	MATERIAL	Lamina HR Calibre 12	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON
4	SERVICIO	Almacenar el agua del acueducto y los condensados del proceso.	Transportar agua del tanque de almacenamiento a la caldera.	Permitir el intercambio de calor en el primer paso de la caldera.	Conducir el fuego para calentar el agua
6	DIAMETROS	1,5 m	1(1/4)"	2" - 4"	2(1/2)"
6	ESPEORES DE TUBERIA	-	SCH 40	SCH 40	SCH 40
7	PRESION PRUEBA HIDROSTATICA	-	180	180	180
8	ESPERORES DE AISLAMIENTO	NO PRESENTA	NO PRESENTA	NO PRESENTA	NO PRESENTA



ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

ÁREA DE MANTENIMIENTO

Elaborado por: Pedro Jose Vega Mendoza

FORMATO DE CARACTERIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE CORROSIÓN

Hoja 2 de 2

No.	NOMBRE LINEA/CARACTERÍSTICAS	TRANSPORTE VAPOR	DISTRIBUIDOR	PELETIZADO	EXTRURIZADO
1	RECORRIDO LINEA	5 m	-	25	25
2	TEMPERATURA	150	150	150	150
3	MATERIAL	ACERO AL CARBON	Tubo Acero al carbon de 12" x 1,5m	ACERO AL CARBON	ACERO AL CARBON
4	SERVICIO	Dejar que el vapor pase de la caldera al distribuidor.	Redireccionar el vapor a las diferentes lineas de producción	Transportar el vapor hasta el distribuidor de las peletizadoras.	Transportar el vapor hasta el distribuidor de la extruder.
6	DIAMETROS	3	12"	3"	2"
6	ESPEORES DE TUBERIA	SCH 40	3/16"	SCH 40	SCH 40
7	PRESION PRUEBA HIDROSTATICA	180	180	180	180
8	ESPERORES DE AISLAMIENTO	NO PRESENTA	NO PRESENTA	NO PRESENTA	NO PRESENTA

Fuente: Autor del proyecto

8.3.2 Valoración de criticidades para los circuitos de corrosión

Para la valoración de criticidades de cada uno de los tag de las líneas de corrosión se determinaron en primera instancia los tipos de corrosión que se pueden presentar y el código de cada una, como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Tipos de corrosión y código

TIPOS DE CORROSIÓN Y CÓDIGO	
CÓDIGO	TIPO DE CORROSIÓN
M-1	Corrosión por Oxígeno
M-2	Corrosión por Caústica
M-3	Corrosión por Cenizas de Combustible
M-4	Corrosión por Bajo pH durante Servicio
M-5	Corrosión por Bajo Esfuerzo

Fuente: Autor del proyecto

El siguiente paso que se realizó para la evaluación de criticidades fue la valoración de probabilidades y consecuencias de falla, ya que la criticidad se halla según la combinación de probabilidad de ocurrencia y según la consecuencia de falla que mayor tenga efecto. La combinación de estas dos variables da como resultado seis niveles de criticidad que se muestran en la Tabla 32.

Tabla 32. Niveles de criticidad

NIVELES DE CRITICIDAD	
LETRA	CRITICIDAD
N	No significativa
L	Baja
M	Media
MH	Medianamente alta
H	Alta
E	Extrema

Fuente: Autor del proyecto

Las cinco clases de probabilidad que se pueden presentar son: extrema, alta, media, baja e insignificante. Las clases de consecuencias que pueden ocurrir son consecuencias económicas, de salud y seguridad, y de ambiente,

cada una de estas consecuencias puede ser insignificante, baja media, alta y extrema, la consecuencia que se tendrá en cuenta para determinar el nivel de criticidad es la que mayor severidad presente.

Para determinar el nivel de criticidad se utilizo una matriz la cual se basa en la que proporciona la API 581, pero ajustada a las condiciones de la empresa, con esta matriz se busca determinar el nivel de criticidad según la combinación de las variables probabilidad y consecuencia. En la Tabla 33 se muestra la matriz que fue utilizada.

Con base en la matriz que se muestra en la Tabla 33, se evaluó la criticidad de cada Tag – Modo de falla, como se muestra en la Tabla 34, para esta evaluación de criticidad se valoro cada consecuencia de falla asignándole a cada una un valor, para luego determinar cuál de estos tres tipos de consecuencia presentan mayor severidad y es la que se va a tener en cuenta para la determinar la criticidad. Luego de determinar el valor de la consecuencia de falla de mayor severidad, se determinó la probabilidad de ocurrencia y con estos valores se utilizo la matriz para valoración de criticidades para determinar el nivel de criticidad para cada combinación Tag – Modo de falla.

Tabla 33. Matriz de valoración para criticidades de los circuitos de corrosión

		ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER				
		DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN				
		ÁREA DE MANTENIMIENTO				
		MATRIZ DE VALORACIÓN PARA CRITICIDADES DE LOS CIRCUITOS DE CORROSIÓN				
	SUSCEPTIBILIDAD A FALLAR	CRITICIDAD				
PROBABILIDAD	EXTREMA	MH	MH	H	E	E
	ALTA	M	MH	MH	H	E
	MEDIA	M	M	M	MH	H
	BAJA	L	L	M	MH	MH
	INSIGNIFICANTE	N	L	M	M	MH
CATEGORIA CONSECUENCIA	ECONOMICO	DAÑO LIGERO < 1'	DAÑO MENOR 1'-5'	DAÑO LOCAL < 5'-10'	DAÑO MAYOR < 10'-15'	DAÑO EXTENSO < 10'-15'
	SALUD Y SEGURIDAD	HERIDA LIGERA	HERIDA MENOR	HERIDA MAYOR	UNA VICTIMA	VARIAS VICTIMAS
	AMBIENTE	EFEECTO LIGERO	EFEECTO MENOR	EFEECTO LOCAL	EFEECTO MAYOR	EFEECTO ENORME
CONSECUENCIA		INSIGNIFICANTE 1	BAJA 2	MEDIA 3	ALTA 4	EXTREMA 5

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 34. Evaluación de criticidades de los circuitos de corrosión

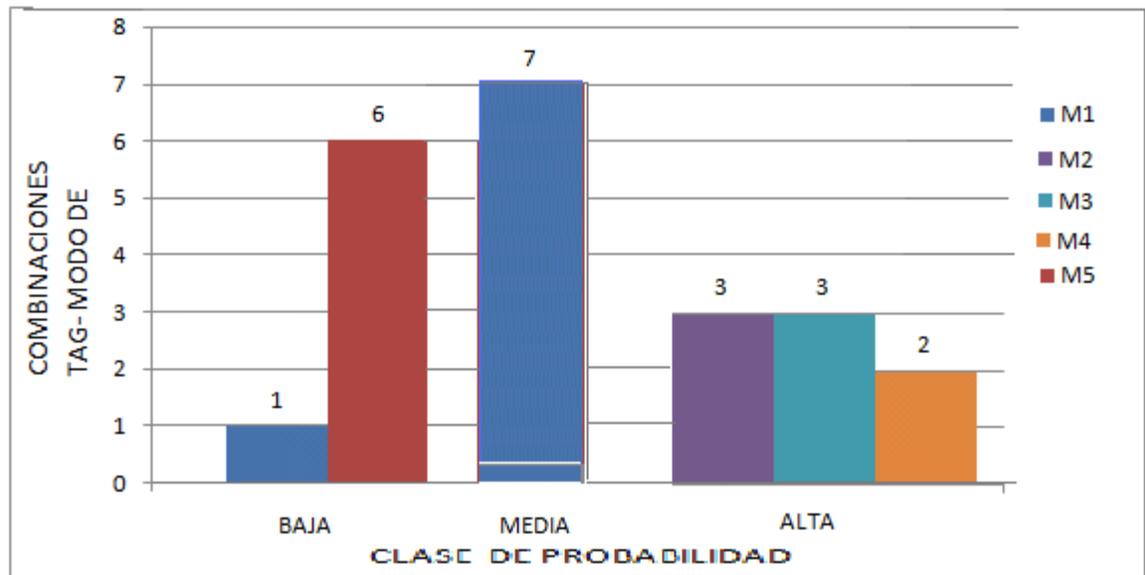
		ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN											
		ÁREA DE MANTENIMIENTO VALORACION DE CRITICIDADES DE LOS CIRCUITOS DE CORROSIÓN					Elaborado por: Pedro Jose Vega Mendoza Hoja 1 de 2						
ID	CIRCUITO DE CORROSIÓN	ID	TAGS	MODOS DE FALLA	CONSECUENCIA						PROBABILIDAD	CRITICIDAD	
					CONSECUENCIA	VALOR	CONSECUENCIA	VALOR	CONSECUENCIA	VALOR			CONSECUENCIA MAYOR
1A	Adición de Agua	1A.1	Tanque de Almacenamiento	M-1	Daño Mayor	4	Herida Mayor	3	Efecto Menor	2	Alta	Baja	MH
				M-1	Daño Local	3	Herida Mayor	3	Efecto Menor	2	Media	Media	M
		1A.2	Tuberia de Transporte	M-2	Daño Local	3	Herida Mayor	3	Efecto Local	3	Media	Alta	MH
				M-3	Daño Local	3	Herida Mayor	3	Efecto Local	3	Media	Alta	MH
1B	Generacion Vapor	1B.1	Aquatubos	M-1	Daño Local	3	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Media	Media	M
				M-2	Daño Local	3	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Media	ALTA	MH
				M-3	Daño Mayor	4	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Alta	Alta	H
				M-4	Daño Mayor	4	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Alta	Alta	H
				M-5	Daño Extenso	5	Una Victima	4	Efecto Mayor	4	Extrema	Baja	MH
		1B.2	Pirotribos	M-1	Daño Local	3	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Media	Media	M
				M-2	Daño Mayor	4	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Alta	Alta	H
				M-3	Daño Mayor	4	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Alta	Alta	H
				M-4	Daño Mayor	4	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Alta	Alta	H
				M-5	Daño Local	3	Herida Menor	2	Efecto Menor	2	Baja	Baja	M
1C	Distribución y Transporte de Vapor	1C.1	Tuberia descarga Caldera	M-1	Daño Local	3	Herida Mayor	3	Efecto Local	3	Alta	Media	M
				M-5	Daño Local	3	Una Victima	4	Efecto Local	3	Alta	Baja	MH
		1C.2	Distribuidor Principal	M-1	Daño Local	3	Herida Mayor	3	Efecto Local	3	Alta	Media	M
				M-5	Daño Local	3	Una Victima	4	Efecto Local	3	Alta	Baja	MH
		1C.3	Tuberia Vapor Peletizadoras	M-1	Daño Local	3	Herida Mayor	3	Efecto Local	3	Alta	Media	M
				M-5	Daño Local	3	Una Victima	4	Efecto Local	3	Alta	Baja	MH
		1C.4	Tuberia Vapor Extruder	M-1	Daño Local	3	Herida Mayor	3	Efecto Local	3	Alta	Media	M
				M-5	Daño Local	3	Una Victima	4	Efecto Local	3	Alta	Baja	MH

Fuente: Autor del proyecto

A partir de la evaluación de las criticidades se realizaron análisis entre la relación combinación Tag – Modo de Falla y clase de probabilidad, clase de consecuencia y criticidad.

La figura 25 muestra el diagrama de clase de probabilidad, obtenida para cada combinación Tag – Modo de falla. Cada uno de los colores indica el tipo de corrosión que se presenta y su código.

Figura 25. Probabilidades de falla para cada combinación TAG –MODO DE FALLA

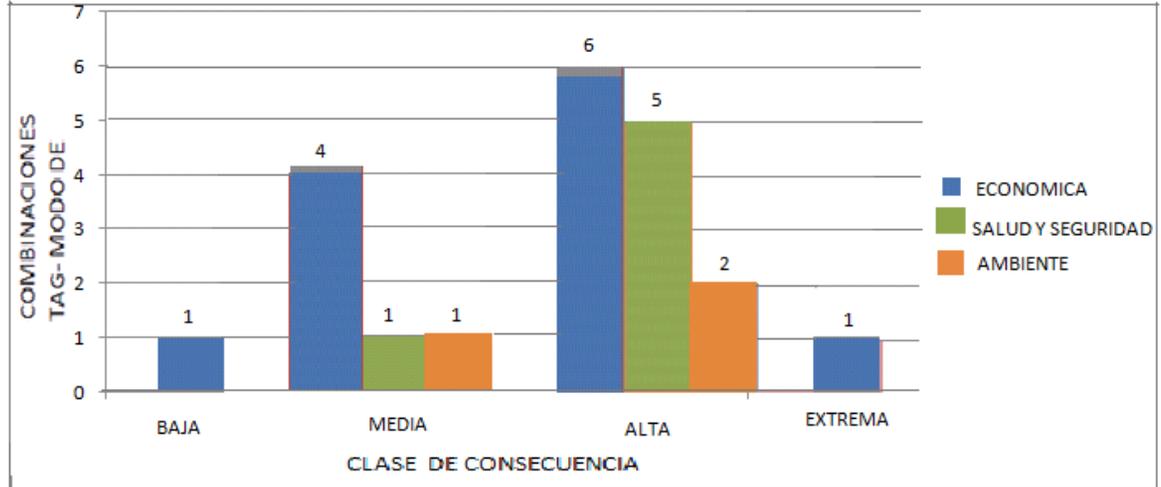


Fuente: Autor del proyecto

En la gráfica se observa que no existe clase de probabilidad insignificante ni extrema, y que las clases de probabilidades que se presentan son baja, media y alta.

En la Figura 26 se observa que la clase de probabilidad que mayor frecuencia presenta en cada combinación TAG – modo de falla es la económica, esto a razón de la gran pérdida de producción y los costos de reparación que se causan por el daño en la línea estática. También se observa una baja frecuencia de la clase de consecuencia de ambiente, esto debido a que los daños presentados en la línea estática no generan impactos ambientales significativos que lleven a un incumplimiento legal de la normatividad ambiental.

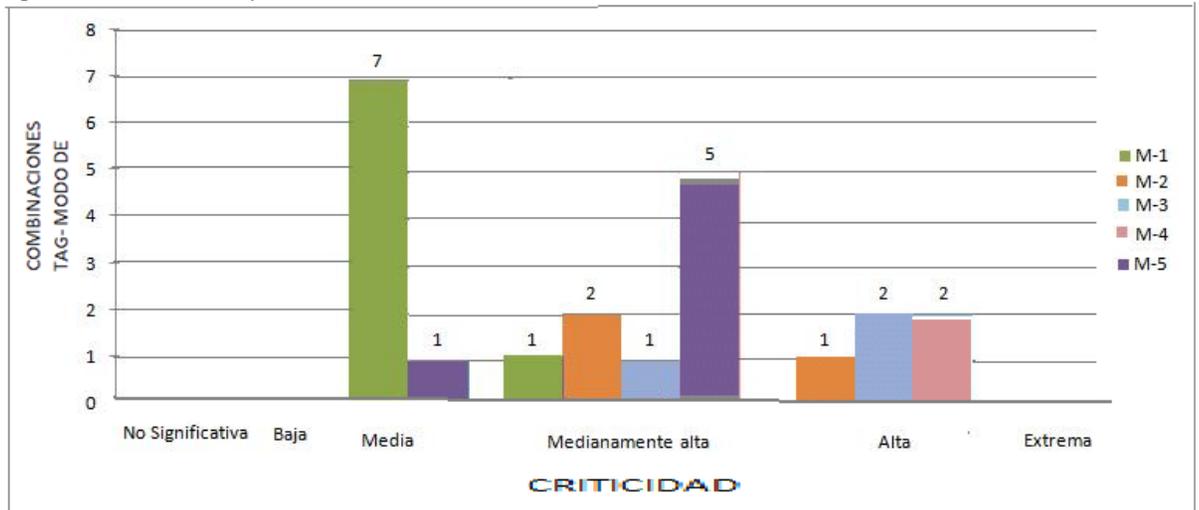
Figura 26. Consecuencias de fallas para cada combinación TAG – MODO DE FALLA



Fuente: Autor del proyecto

En la figura 27 se observa que de los seis niveles de criticidad no se presentan criticidades de nivel no significativa, bajo y extremo, y que el nivel de criticidad que más se presenta es el de nivel medianamente alto con una frecuencia de nueve, seguido de un nivel medio con frecuencia de siete y el de menor frecuencia es el nivel de criticidad alta con una frecuencia de cinco. EL modo de falla que mas presenta en el nivel de medianamente alto es el de corrosión por bajo esfuerzo y el de nivel medio el modo de falla que más se presenta es el de corrosión por oxígeno.

Figura 27. Criticidades para combinación TAG – MODO DE FALLA



Fuente: Autor del proyecto

8.3.3 PARÁMETROS DE INSPECCIÓN

Para la elaboración de los parámetros de inspección se tomo cada combinación TAG – modo de falla y se definió la ubicación de la inspección, después de este paso se selecciono la técnica de inspección que se debe utilizar a partir de las técnicas enunciadas en la Tabla 35.

Tabla 35. Técnicas de inspección

TÉCNICAS DE INSPECCIÓN	
No.	TÉCNICA
1	Visual
2	Ultrasónica
3	Test de Dureza
4	Test de pH
5	Temperatura de Los Tubos
6	Termografias

Después de seleccionar la técnica de inspección a utilizar se definió el alcance de la inspección el cual es el objeto de la inspección; para lo último se planteo el intervalo de tiempo de las inspecciones esto con el fin de indicar al área de mantenimiento de Itacol S.C.A. el tiempo en el que se debe realizar la inspección. En la Tabla 37 se indica los parámetros de inspección para cada combinación TAG – modo de falla.

Tabla 36. Parámetros de inspección

		ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER			
		DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN			
ÁREA DE MANTENIMIENTO			Elaborado por: Pedro Jose Vega Mendoza		
PARAMETROS DE INSPECCIÓN			Hoja 1 de 2		
EQUIPO	MODO DE FALLA	PARAMETROS			
		UBUCACIÓN DE LA INSPECCIÓN	TECNICA A UTILIZAR	ALCANZE DE INSPECCIÓN	INTERVALOS ENTRE INSPECCIÓN
Tanque de Almacenamiento	M-1	Casco exterior e interior del Tanque	Visual	Garantizar el buen estado del tanque	360
Tuberia de Transporte	M-1	Tuberia de transporte de agua	Visual/Termografia	Garantizar el buen estado de la tuberia	180
	M-2	Toma de agua a la salida de la bomba	Test de Dureza	Mantener la dureza menor o igual a 5 ppm	30
	M-3	Toma de agua a la salida de la bomba	Test de pH	Mantener los niveles de pH entre 10 y 11	30
Aquatubos	M-1	Interior sección aquatubular	Visual/Termografia	Garantizar el buen estado de la tuberia	180
	M-2	Muestra de agua entrada de la caldera	Test de Dureza	Mantener la dureza menor o igual a 5 ppm	30
	M-3	Interior sección aquatubular	Tomar Temperatura	Evitar que la ceniza se ubique en los tubos	30
	M-4	Muestra de agua entrada de la caldera	Test de pH	Mantener los niveles de pH entre 10 y 11	30
	M-5	Interior sección aquatubular	Visual	Garantizar el buen estado de los aquatubos	180
Piro tubos	M-1	Espejo interior y exterior de la caldera	Visual/Termografia	Garantizar el buen estado de la tuberia	180
	M-3	Espejo interior y exterior de la caldera	Tomar Temperatura	Evitar que la ceniza se ubique en los tubos	30
	M-5	Espejo interior y exterior de la caldera	Visual	Garantizar el buen estado de los piro tubos	180
Tuberia descarga Caldera	M-1	Tuberia de descarga de vapor	Visual/Termografia	Mantener la presion optima en la descarga	180
	M-5	Tuberia de descarga de vapor	Visual	Garantizar el buen estado de la tuberia	180
Distribuidor Principal	M-1	Casco exterior e interior del Tanque	Visual/Termografia	Garantizar la buena distribucion del vapor	180
	M-5	Casco exterior e interior del Tanque	Visual	Garantizar el buen estado del distribuidor	360
Tuberia Vapor Peletizadoras	M-1	Tuberia de trasporte de vapor a pllt	Visual/Termografia	Garantizar la calidad del vapor en la pllt	180
	M-5	Tuberia de trasporte de vapor a pllt	Visual	Garantizar el buen estado de la tuberia	360
Tuberia Vapor Extruder	M-1	Tuberia de trasporte de vapor a extruder	Visual/Termografia	Garantizar la calidad del vapor en la extuder	180
	M-5	Tuberia de trasporte de vapor a extruder	Visual	Garantizar el buen estado de la tuberia	360

Fuente: Autor del proyecto

8.3.4 CÁLCULO DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN

La fórmula aplicada para el cálculo de la velocidad de corrosión es la planteada según API 510 que se muestra en la Figura 28, esta fórmula plantea que la resta entre el espesor de la tubería inicial y el espesor actual, y dividiendo esta resta en los años entre las mediciones realizadas se halla la velocidad para cada Tag. Las unidades del espesor están dadas en milímetros (mm) y las de tiempo en años (Y), por lo cual la velocidad de corrosión está dada en mm/Y

Figura 28. Fórmula de la Velocidad de Corrosión

$$\text{Rata de corrosion} = \frac{\text{Thk}_{\text{inicial}} - \text{Thk}_{\text{actual}}}{\text{Años entre Thk}_{\text{inicial}} - \text{Thk}_{\text{actual}}}$$

Fuente: API 510

En la Tabla 37 se muestran las mediciones realizadas de los espesores, el tiempo entre mediciones y el cálculo de la velocidad de corrosión. La medición inicial de espesores para todos los TAG fue realizada en Septiembre del 2008, para los Tags: Tanque de almacenamiento, tubería de transporte, descarga de la caldera, distribuidor principal, tubería de vapor de las peletizadores y tubería de vapor extruder se les realizó una sola inspección esto a razón que estos Tag no fueron remplazados ni modificados, en cambio para los aquatubos se les debió realizar tres y dos mediciones respectivamente debido que las sección 2" y 4" fueron remplazadas a los seis meses después del medición inicial, para los pirotubos se realizaron dos inspecciones debido que la totalidad de pirotubos fue remplazada a los seis meses de haber realizada la medición inicial del espesor

De las velocidad de corrosión calculadas se puede concluir que la velocidad de corrosión no es constante, indicando que la corrosión puede ocurrir de forma instantánea, dado que los mecanismos de degradación son dependientes en su mayoría de las condiciones del proceso y están asociados a exclusiones operativas.

Tabla 37. Cálculo de la velocidad de corrosión

		ITALCOL S.C.A - PLANTA GIRÓN SANTANDER				
		DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN				
		ÁREA DE MANTENIMIENTO			Elaborado por: Pedro Jose Vega Mendoza	
		CALCULO DE VELOCIDAD DE CORROSIÓN				Hoja 1 de 2
No.	TAGS	INS.	ESPESOR INICIAL(mm)	ESPESOR FINAL(mm)	AÑOS ENTRE INSPECCIÓN (y)	VELOCIDAD DE CORROSIÓN(mm/y)
1	Tanque de Almacenamiento	1	1498	1497,8	0,75	0,2667
2	Tuberia de Transporte	1	31,7	31,48	0,75	0,2933
3	Aquatubos	1	50,65	50,44	0,75	0,2800
		2	50,65	50,54	0,5	0,2200
		3	50,8	50,79	0,25	0,0400
4	Aquatubos	1	101,4	101,2	0,5	0,4000
		2	101,6	101,58	0,25	0,0800
5	Piro tubos	1	63,35	63,23	0,5	0,2400
		2	63,5	63,49	0,25	0,0400
6	Descarga Caldera	1	75,8	75,5	0,75	0,4000
7	Distribuidor Principal	1	304,65	304,45	0,75	0,2667
8	Tuberia Vapor Peletizadoras	1	76,08	75,99	0,75	0,1200
9	Tuberia Vapor Extruder	1	50,59	50,48	0,75	0,1467

Fuente: Autor del proyecto

9. COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Como requisito de la dirección nacional de producción de Itacol S.C.A., todo proceso o proyecto nuevo a implementarse dentro de la empresa debe contar con un costeo en el cual se indique cual es su costo asociado, además de indicar cuál es su ahorro o mayor gasto generado.

Para realizar el costeo de la implementación de la estrategia de mantenimiento que fue diseñada, se indicara cual es el costo anual de cada tarea de mantenimiento e inspección que se programó; en este costo se tendrá en cuenta el costo del número de horas del personal que realizara la operación y el costo de repuestos.

Con el objetivo de facilitar la obtención de presupuesto para implementar la estrategia de mantenimiento, se realizará la comparación del costo de la estrategia de mantenimiento correctiva que actualmente cuenta la empresa y el costo de implementar la estrategia diseñada. El cálculo del costo de la estrategia correctiva actual se realizo por la multiplicación del costo y el lucro cesante que le significa a la empresa una hora de no producción y el número de horas perdidas en producción por el daño y reparación que se deben realizar a la caldera, mezcladora y compresor.

9.1 Costo de la estrategia de mantenimiento correctiva actual

Para el cálculo del costo de la estrategia actual de mantenimiento correctiva, se revisaron los registros de las horas en que la producción debió ser detenida por los daños presentados en la caldera, compresor, mezcladora y la tubería de la caldera; estos registros son manejados por el área de mantenimiento desde Junio del 2008. Además de las horas detenidas de producción por daños asociados en la maquinaria anteriormente nombrada, el área de mantenimiento también cuenta con registros de los costos de reparación que se presentaron en cada parada. Adicionalmente se calculo el lucro cesante que le significo a la empresa cada parada de producción.

Para determinar el costo total de la estrategia de mantenimiento actual se analizará por cada máquina ya que cada una presenta unas condiciones de costo diferente.

9.1.1 Costo de la caldera

Para determinar el costo de la caldera se tuvo en cuenta que cuando la caldera esta en reparación se trabaja con la caldera de gas, la cual representa un costo 4 veces mayor por funcionamiento y además disminuye la capacidad de producción en un cincuenta por ciento.

En la Tabla 38, se muestra la fecha de cada parada y el costo de reparación de cada una el cual incluye el costo de mano de obra, costo de repuestos, el sobre costo energético de la caldera de gas mas lo que dejo de ganar la empresa por la disminución de la producción en un 50%.

Tabla 38. Histórico de las paradas de la caldera con su costo

No.	FECHA	CAUSA DE FALLA	# HORAS DE DETENCIÓN	COSTO DE REPARACIÓN		GASTOS ADICIONALES		TOTAL	
				COSTO DE MANO DE OBRA		REPUESTOS \$	GASTO ADICIONAL DE CALDERA DE GAS		PERDIDA DE LA EMPRESA PCC 50%
				HRS	COSTO -\$				
1	Julio 11/08	Fuga de agua por ruptura de tubo.	12	22	231.120,00	500.000,00	2.250.000,00	48.000.000,00	50.981.120,00
2	Agosto 15/08	Daño de aquatubos	18	32	346.680,00	850.000,00	3.375.000,00	72.000.000,00	76.571.680,00
3	Septiembre 21/08	Daño de electroválvula de la purga.	6	11	115.560,00	350.000,00	1.125.000,00	24.000.000,00	25.590.560,00
4	Octubre 14/08	Ruptura de correas de ventilador de tiro inducido.	4	7	77.040,00	310.000,00	750.000,00	16.000.000,00	17.137.040,00
5	Octubre 17/08	Ruptura de cuatro eslabones de la parrilla.	8	14	154.080,00	410.000,00	1.500.000,00	32.000.000,00	34.064.080,00
6	Octubre 25/08	Cambio de cuña y reconstrucción cuñero del piñón de la parrilla.	12	22	231.120,00	550.000,00	2.250.000,00	48.000.000,00	51.031.120,00
7	Noviembre 12/08	Fuga de tubo principal de la sección acuatubular	12	22	231.120,00	610.000,00	2.250.000,00	48.000.000,00	51.091.120,00
8	Noviembre 20/08	Caída en la totalidad de los rodillos tensores por ruptura de puntas	12	22	231.120,00	630.000,00	2.250.000,00	48.000.000,00	51.111.120,00
9	Enero 10/09	Caída de arco refractario	72 (contratista)			35.000.000,0	13.500.000,00	288.000.000,00	336.500.000,00
10	Febrero 6/09	Rodamientos del motor del ventilador primario pegados	12	22	231.120,00	550.000,00	2.250.000,00	48.000.000,00	51.031.120,00
11	Marzo 12/09	Filtro de mangas totalmente obstruido por hollín	12	22	231.120,00	540.000,00	2.250.000,00	48.000.000,00	51.021.120,00
12	Abril 15/09	Cambio de pasador de cadena parrilla viajera	14	25	269.640,00	520.000,00	2.625.000,00	56.000.000,00	59.414.640,00
13	Mayo 26/09	Fugas de agua sección pirotubular	72 (contratista)			35.000.000,00	13.500.000,00	288.000.000,00	336.500.000,00
								TOTAL	\$ 1.192.044.720

Fuente: Autor del proyecto

9.1.2 Costo del compresor

Para calcular el costo de cada parada del compresor, se tuvieron en cuenta los costos de mano de obra, los de repuestos y un gasto adicional por la pérdida que representa a la empresa el no funcionamiento del 100% de la producción.

En la Tabla 30, se especifica la fecha, causa y los costos asociados a la parada del compresor.

Tabla 39. Histórico de las paradas del compresor con su costo

No.	FECHA	CAUSA DE FALLA	# HORAS DE DETENCIÓN	COSTO DE REPARACIÓN			GASTOS ADICIONALES	TOTAL
				COSTO DE MANO DE OBRA		REPUESTOS	PERDIDA DE LA EMPRESA PCC 100%	
				HRS	COSTO			
1	Diciembre 20 del 2008	Daño de electroválvula	1	2	\$ 21.400	\$ 300.000	\$ 4.000.000	\$ 4.321.400
2	Junio 15 del 2009	Los rodamientos del motor se pegaron.	3	Contratista	\$ 2.000.000		\$ 12.000.000	\$ 14.000.000
							TOTAL	\$ 18.321.400

Fuente: Autor del proyecto

9.1.3 Costo de la mezcladora

Para calcular el costo de cada parada de la mezcladora, se plantearon los costos de mano de obra que se cancelaron a los operarios, además del costo de los repuestos que requirieron y la pérdida de la empresa por el no funcionamiento de la totalidad de la planta en el lapso de tiempo en que la mezcladora no funciona. En la Tabla 40 se especifica cada uno

Tabla 40. Histórico de las paradas de la mezcladora con su costo

No.	FECHA	MOTIVO DE DETENCIÓN	# HORAS DE DETENCIÓN	COSTO DE REPARACIÓN		GASTOS ADICIONALES	TOTAL	
				COSTO DE MANO DE OBRA				PERDIDA DE LA EMPRESA PCC 100%
				HRS	COSTO	REPUESTOS		
1	Julio 19 del 2009	Desprendimiento de sección de empaque de la compuerta	2	4	\$ 42.800,00	\$ 480.000,00	\$ 8.000.000	\$ 8.522.800
2	Julio 27 del 2009	Cambio de empaques del cilindro de la compuerta	3	6	\$ 64.200,00	\$ 350.000,00	\$ 12.000.000	\$ 12.414.200
4	Agosto 13 del 2008	Desajuste de acople rex - omega	2	4	\$ 42.800,00	\$ 240.000,00	\$ 8.000.000	\$ 8.282.800
5	Octubre 14 del 2008	Cinta de la mezcladora ligeramente despegada del eje	4	8	\$ 85.600,00	\$ 410.000,00	\$ 16.000.000	\$ 16.495.600
6	Octubre 23 del 2008	La electroválvula no cierra	3	6	\$ 64.200,00	\$ 520.000,00	\$ 12.000.000	\$ 12.584.200
7	Noviembre 12 del 2008	Chumasea de eje boto los rodamientos	4	8	\$ 85.600,00	\$ 700.000,00	\$ 16.000.000	\$ 16.785.600
8	Noviembre 25 del 2008	Cinta de la mezcladora totalmente despegada del eje	4	8	\$ 85.600,00	\$ 340.000,00	\$ 16.000.000	\$ 16.425.600
9	Marzo 20 del 2009	Desprendimiento de sección de empaque de compuerta	2	4	\$ 42.800,00	\$ 7.000.000,00	\$ 8.000.000	\$ 15.042.800
10	Mayo 18 del 2009	Eje de compuertas ligeramente doblado	3	6	\$ 64.200,00	\$ 320.000,00	\$ 12.000.000	\$ 12.384.200
11	Julio 15 del 2009	Ruptura de cadena	2	4	\$ 42.800,00	\$ 340.000,00	\$ 8.000.000	\$ 8.382.800
12	Agostó 1 del 2009	Ruptura de la cinta en la sección media	2	4	\$ 42.800,00	\$ 410.000,00	\$ 8.000.000	\$ 8.452.800
							TOTAL	\$ 135.773.400

Fuente: Autor del proyecto

9.1.4 Costo total de estrategia de mantenimiento actual

El costo anual de la estrategia de mantenimiento actual se debió calcular con los registros de las paradas del último año, debido que antes del junio del 2008 el área de mantenimiento no contaba con registros de las paradas de maquinaria por daños presentados, por lo cual el costo de la estrategia de mantenimiento actual que es correctivo se basara en los registrados tomados en el último año.

Este cálculo de costo de mantenimiento no solo tiene en cuenta los costos directos como lo es la mano de obra, repuestos y contratación con terceros, sino que también incluye el lucro cesante para la empresa por la merma o no producción de la planta por las paradas.

Tabla 41. Costo total anual de estrategia de mantenimiento actual

MAQUINARIA	COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO	COSTO DE MANO DE OBRA	COSTO DE REPUESTOS	LUCRO CESANTE	GASTO EN GAS NATURAL
Mezcladora	\$135.773.400	\$663.400	\$11.110.000	\$124.000.000	---
Compresor	\$18.321.400	\$2.021.400	\$300.000	\$16.000.000	--
Caldera	1.192.044.720,00	\$2.349.720	\$75.820.000	\$1'064.000.000	\$49.875.000
TOTAL	\$ 1'346.139.520	\$5'034.520	\$87.230.000	\$1'204.000.000	\$49'875.000

Fuente: Autor del proyecto

En la Tabla 41, se observa que el 90% del costo total de mantenimiento está asociado al costo de la caldera, esto se debe a que las reparaciones de la caldera requieren mayor tiempo debido a que se debe esperar un tiempo en el que la caldera se enfríe para poder inicial trabajos en la misma y esto aumenta el lucro cesante para la empresa, además algunas reparaciones de la caldera se deben contratar con terceros y este eleva significativamente los costos.

También se analiza que de la totalidad del costo anual de mantenimiento un 89% corresponde al lucro cesante de la empresa por la no producción de la planta.

9.2 Costo de implementación de estrategia diseñada

Las tareas de mantenimiento que fueron diseñadas se programaron para que su realización sean los días domingos, días en los cuales la producción de la planta en Girón se detiene, esto se realizara los domingos para evitar detener la maquinaria en ocasiones adicionales y esto genere un sobre costo.

Para las tareas e inspecciones que se realicen directamente con personal de la empresa su costo se calculara por medio de la sumatoria del costo de la mano de obra más el costo de los repuestos si se requieren. Para las tareas de mantenimiento e inspección que se deleguen a contratistas su costo será el pago que se le debe realizar por la actividad delegada.

Además de los costos de la ejecución de las tareas e inspecciones planeadas se tendrá en cuenta los costos fijos por papelerías y reuniones realizadas con el personal de la empresa para el proceso de implementación, también se maneja una efectividad del 75% de disminución de las horas de parada de maquinaria por daños y reparación, por lo cual también se plantea un costo igual al 25% del costo de la estrategia de mantenimiento actual.

9.2.1 Costo de la mano de obra

Para el cálculo del costo de la mano de obra, se tendrá en cuenta el salario de un mecánico y electromecánico, el valor mensual de las prestaciones sociales más el recargo dominical. En la Tabla 42, se muestra el costo de la hora de trabajo de un operario el domingo.

Tabla 42. Costo de personal para realizar tarea de mantenimiento

Sueldo de personal encargado de mantenimiento	\$ 800.000
Carga prestacional - 52,4 %	\$ 419.200
Costo total mensual por operario	\$.219.200
Horas trabajables (mes)	200
Costo de hora a jornada normal	\$ 6.096
Costo de hora a jornada dominical	\$ 10.668

Fuente. Autor del proyecto con base en datos de gestión humana Itacol S.C.A de Girón Santander

9.2.2 Costos de la estrategia de mantenimiento diseñada

En las tablas 43, 44 y 45, se muestran el costo unitario de cada tarea de mantenimiento diseñada para la caldera, el compresor y la mezcladora, este costo abarca el costo de mano de obra directa, el costo de repuestos y en algunos casos el costo de delegar la tarea a contratistas especializados. Para el cálculo del costo anual se tuvo en cuenta el número de veces en que se debe realizar la tarea en el año según su frecuencia. La pérdida relacionada es el tiempo requerido para la ejecución de la tarea de mantenimiento. En la Tabla 46 se especifican los costos asociados a las inspecciones diseñadas en RBI.

Tabla 43. Costo de mantenimiento preventivo de la caldera

Cod.	MODO DE FALLA	TAREA	PERIODO	COSTO UNITARIO				COSTO ANUAL	PÉRDIDA RELACIONADA (hrs)
				HR	COSTO MO	REPUESTO	TOTAL		
CA-1	1A1	Verificar la señales que genera el McDonnell y el buen funcionamiento de los relevos	30	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 259.588	2
CA-2	1A2	Revisión del estado de acoplamiento entre reductor y piñón motriz y ajustar la cuña si es necesario	8	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 973.455	0
CA-3	1B1 (contratista)	Calibración de la válvula de seguridad de la caldera en el banco de prueba, esta se debe calibrar para 180 psi	180	0	\$ 300.000	\$ -	\$ 300.000	\$ 608.333	2
CA-4	1B2	Tomar un aforo del flujo de agua enviada a la caldera por parte de la bomba	8	1	10.668		\$ 10.668	\$ 486.727	0
CA-5	1B2	Cambio de rodamientos y sellos del motor de la bomba de la caldera	365	24	\$ 256.032	\$ 300.000	\$ 556.032	\$ 556.032	12
CA-6	1B2	Bajar el empeller de la bomba de adición de agua y limpiarlo bomba	30	24	\$ 256.032	\$ -	\$ 256.032	\$ 3.115.056	6
CA-7	1B3	Cambio de sellos y rodamientos del motor del ventilador primario de aire.	365	24	\$ 256.032	\$ 200.000	\$ 456.032	\$ 456.032	12
CA-8	1B3	Ajuste y tensión de correas del ventilador primario de aire.	8	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 973.455	2
CA-9	1B3	Análisis de vibraciones y compensar, si es necesario, el ventilador primario	120	0	\$ 4.000.000		\$ 4.000.000	\$ 12.166.666	0
CA-10	1B4	Revisión del sistema electro-neumático de las purgas automáticas de vapor verificando señales, voltajes y amperajes correspondiente	30	4	\$ 42.672	\$ -	\$ 42.672	\$ 519.176	0
CA-11	1B4	Bajar y limpieza de las válvulas de purga así como las secciones de tubo adyacentes	30	8	\$ 85.344	\$ 100.000	\$ 185.344	\$ 2.255.018	8
CA-12	1B5	Abrir las compuertas de alimentación de aire primario de acuerdo a la necesidad de vapor	4	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 973.455	0

Cod.	MODO DE FALLA	TAREA	PERIODO	COSTO UNITARIO			COSTO ANUAL	PÉRDIDA RELACIONADA (hrs)	
				HR	COSTO MO	REPUESTO			TOTAL
CA-13	1C1	Retirar sección de tubo con fuga y parchar con sección de 2" o 4" según corresponda	-	16	\$ 170.688	\$ 100.000	\$ 270.688	\$ 270.688	12
CA-14	1C1	Cambio de tubos de la sección pirotubular	-	36	\$ 30.000.000	\$ -	\$ 30.000.000	\$ 30.000.000	36
CA-15	1D1	Verificar el grado de apertura de de la cuchilla reguladora y graduarla en 15 cm para obtener una cama de carbón de 10 cm	1	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 7.787.640	1
CA-16	1D2	Verificar que el arco refractario cuente con la totalidad de ladrillos y el concrax necesario	30	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.300	\$ 259.588	8
CA-17	1D2(Contratista)	Retirar arco refractario antiguo, preparar una nueva mezcla de concrax e instalar los ladrillos para crear un nuevo arco	450	0	\$ 5.000.000	\$ -	\$ 5.000.000	\$ 4.055.555	24
CA-18	1 E2	Cambio de piñón motriz deteriorado de la parrilla viajera por otro	365	24	\$ 256.032	\$ 500.000	\$ 756.032	\$ 756.032	12
CA-19	1 E3	Ajustar rodillos de la cadena, para que esta obtenga una tensión de 1"	8	4	\$ 42.672	\$ -	\$ 42.672	\$ 1.946.910	4
CA-20	1F1	Retirar el hollín acumulado del filtro de mangas para el ciclón	8	4	\$ 42.672	\$ -	\$ 42.672	\$ 1.946.910	8
CA-21	1F2	Alinear y tensionar la cadena de la esclusa del ciclón del filtro de mangas	30	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 129.794	1
CA-22	1F2	Cambio de rodamientos, sellos y cuña de la esclusa del ciclón	365	8	\$ 85.344	\$ 120.000	\$ 205.344	\$ 205.344	8
CA-23	1F3	Alineación y tensión de las correas del ventilador del tiro inducido	15	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 259.588	4
CA-24	1F3	Cambio de rodamientos y sellos del motor del ventilador de tiro inducido	365	10	\$ 106.680	\$ 200.000	\$ 306.680	\$ 306.680	10
CA-25	1G3	Cambio de chumaceras del eje del ventilador de tiro inducido	730	5	\$ 53.340	\$ 700.000	\$ 753.340	\$ 376.670	5
CA-26	1G3	Análisis de vibraciones y compensar, si es necesario, el ventilador primario	120	0	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	0
CA-27	1F4	Deshollinado de la caldera en general(limpieza de chimenea, filtro y pirotubos)	30	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 259.588,00	8

TOTAL \$71.903.982

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 44. Costo de mantenimiento preventivo del compresor

Cod.	MODO DE FALLA	TAREA	PERIODO	COSTO UNITARIO			COSTO ANUAL	PÉRDIDA RELACIONADA (hrs)	
				HR	COSTO MO	REPUESTO			TOTAL
CO-1	2A1	Cambio de sellos y rodamientos del motor principal	365	24	\$ 256.032	\$ 300.000	\$ 556.032	\$ 556.032	12
CO-2	2A1	Revisar y ajustar, si es necesario, a 50 A el guardamotor principal del compresor	7	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 556.260	1
CO-3	2A2	Cambio de rodamiento del tornillo compresor	365	24	\$ 256.032	\$ 400.000	\$ 656.032	\$ 656.032	12
CO-4	2B1	Cambio de manostato defectuoso	365	2	\$ 21.336	\$ 1.000.000	\$ 1.021.336	\$ 1.021.336	2
CO-5	2B2	Ajustar la válvula de reguladora de presión +/- 1 vuelta por cada PSI de mas o de menos	60	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 129.794	0
CO-6	2B3	Cambio de electro válvula 5/2 de control de aire cuando se queda totalmente pegada	730	2	\$ 21.336	\$ 300.000	\$ 321.336	\$ 160.668	2
CO-7	2B3	Bajar, limpiar y lubricar el vástago de la electroválvula 5/2 cuando el tiempo de respuesta es mayor a 2 segundos	180	4	\$ 42.672	\$ 20.000	\$ 62.672	\$ 127.084	4
CO-8	2B4	Calibrar la válvula de alivio del carter a 2.4 bar	30	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 259.588	2
CO-9	2C1	Bajar y limpiar el filtro principal de admisión de aire	30	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 259.588	2
CO-10	2C1	Cambio del filtro principal de admisión de aire	180	1	\$ 10.668	\$ 125.000	\$ 135.668	\$ 275.104	1
CO-11	2C2	Cambio de la válvula térmica de regulación de aire	365	2	\$ 21.336	\$ 350.000	\$ 371.336	\$ 371.336	2
CO-12	2D1	Recorrido por la línea de descarga principal en busca de fugas de aire	90	3	\$ 32.004	\$ -	\$ 32.004	\$ 129.794	0
CO-13	2D1	Limpieza del diafragma regulador de presión	30	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 259.588	2

Cod.	MODO DE FALLA	TAREA	PERIODO	COSTO UNITARIO				COSTO ANUAL	PÉRDIDA RELACIONADA (hrs)
				HR	COSTO MO	REPUESTO	TOTAL		
CO-14	2D1	Cambio del diafragma regulador de presión.	180	1	\$ 10.668	\$ 150.000	\$ 160.668	\$ 325.799	1
CO-15	2 E1	Bajar, limpiar y reemplazar los sellos de la válvula de regulación del lubricante	120	1	\$ 10.668	\$ 40.000	\$ 50.668	\$ 154.115	1
CO-16	2 E1	Reemplazar la válvula de regulación del lubricante	730	2	\$ 21.336	\$ 450.000	\$ 471.336	\$ 235.668	1
CO-17	2 E2	Cambiar el filtro de aceite por uno nuevo.	180	1	\$ 10.668	\$ 150.000	\$ 160.668	\$ 325.799	2
CO-18	2 E2	Retirar aceite del sistema hasta que alcance el nivel indicado	180	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 43.264	1
CO-19	2 E3	Cambio de la totalidad de aceite del sistema.	180	2	\$ 21.336	\$ 200.000	\$ 221.336	\$ 448.820	2
CO-20	2 F1	Ajustar el interruptor de retención del sistema a 9,3 bar	180	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 21.632	1
								\$ 6.317.303	

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 45. Costo de mantenimiento preventivo de la mezcladora

Cod.	MODO DE FALLA	TAREA	PERIODO	COSTO UNITARIO			COSTO ANUAL	PÉRDIDA RELACIONADA (hrs)	
				HR	COSTO MO	REPUESTO			TOTAL
ME-1	3A1 - 3A3 - 3B2	Verificar el estado de las cintas así como su acople al eje principal	30	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 259.588	2
ME-2	3A1 - 3A3 - 3B2	Cambio de la totalidad de la cinta	365	24	\$ 256.032	\$ 7.000.000	\$ 7.256.032	\$ 7.256.032	12
ME-3	3A2	Con el estetoscopio industrial verificar los sonido de la caja reductora	60	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 64.897	0
ME-4	3A2	Alinear y tensionar la cadena de transmion del reductor hacia el piñón motriz de la mezcladora	15	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 259.588	1
ME-5	3A2	Cambio de sellos y rodamientos del motor de 60 hp de la mezcladora	365	24	\$ 256.032	\$ 375.000	\$ 631.032	\$ 631.032	12
ME-6	3B1	Lubricación de las chumaceras de la compuerta de la mezcladora	30	2	\$ 21.336	\$ -	\$ 21.336	\$ 259.588	2
ME-7	3B1	Cambio de los dos rodamientos de la compuerta de descargue	540	18	\$ 192.024	\$ 600.000	\$ 792.024	\$ 535.349	6
ME-8	3B1	Limpieza y cambio de piezas defectuosas de la válvula neumática 5/3 que controla la apertura o cierre de la compuerta neumática	120	4	\$ 42.672	\$ 20.000	\$ 62.672	\$ 190.627	4
ME-9	3B1 - 3C2	Limpieza y cambio de empaquetaduras de los cilindros neumáticos	180	4	\$ 42.672	\$ 40.000	\$ 82.672	\$ 167.640	4
ME-10	3C1	Cambio de los empaques de caucho-espuma de 1(1/2)" x (1/4)" de la compuerta de la mezcladora	30	4	\$ 42.672	\$ 40.000	\$ 82.672	\$ 1.005.842	4
ME-11	3C3	Recorrido por el perímetro de la mezcladora para detectar fugas	7	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 556.260	0
ME-12	3D1	Cambio del acople rex-omega # 8 entre el motor y la caja reductora	365	2	\$ 21.336	\$ 650.000	\$ 671.336	\$ 671.336	2

EQUIPO	MODO DE	PARÁMETROS	COSTO UNITARIO				COSTO TOTAL	COSTO ANUAL
--------	---------	------------	----------------	--	--	--	-------------	-------------

No.	MODO DE FALLA	TAREA	PERIODO	COSTO UNITARIO			COSTO ANUAL	PÉRDIDA RELACIONADA (hrs)	
				HR	COSTO MO	REPUESTO			TOTAL
13	3D3	Verificar que el nivel de valvulina de la caja reductora este por encima del 95% del total	30	1	\$ 10.668	\$ -	\$ 10.668	\$ 129.794	0
14	3D3	Cambio total de los 2 galones de valvulina de la caja reductora	365	2	\$ 21.336	\$ 500.000	\$ 521.336	\$ 521.336	2
15	3D4	Lubricación de las chumaceras de soporte del eje	30	2	\$ 21.336		\$ 21.336	\$ 259.588	2
16	3D4	Cambio de las chumacera de soporte del eje de la mezcladora	365	12	\$ 128.016	\$ 1.000.000	\$ 1.128.016	\$ 1.128.016	6
								\$ 13.896.515	

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 46. Costo de las inspecciones

	FALLA	UBICACIÓN DE LA INSPECCIÓN	TÉCNICA A UTILIZAR	INTERVALOS ENTRE INSPECCIÓN	HRS	COSTO MANO DE OBRA	CONTRATISTA	COSTOS DE INSUMOS		
Tanque de Almacenamiento	M-1	Casco exterior e interior del Tanque	Visual	360	2	\$ 21.400	\$ -	\$ -	\$ 21.400	\$ 21.400
Tubería de Transporte	M-1	Tubería de transporte de agua	Visual /Termografía	180		\$ -	\$ 250.000	\$ -	\$ 250.000	\$ 500.000
	M-2	Toma de agua a la salida de la bomba	Test de Dureza	30	1	\$ 10.700	\$ -	\$ 150.000	\$ 160.700	\$ 1.928.400
	M-3	Toma de agua a la salida de la bomba	Test de pH	30	1	\$ 10.700	\$ -	\$ 150.000	\$ 160.700	\$ 1.928.400
Aquatubos	M-1	Interior sección aquatubular	Visual / Termo grafía	180		\$ -	\$ 250.000	\$ -	\$ 250.000	\$ 500.000
	M-2	Muestra de agua entrada de la caldera	Test de Dureza	30	1	\$ 10.700	\$ -	\$ 150.000	\$ 160.700	\$ 1.928.400
	M-3	Interior sección aquatubular	Tomar Temperatura	30	6	\$ 64.200	\$ -	\$ -	\$ 64.200	\$ 770.400
	M-4	Muestra de agua entrada de la caldera	Test de pH	30	1	\$ 10.700	\$ -	\$ 150.000	\$ 160.700	\$ 1.928.400
	M-5	Interior sección aquatubular	Visual	180	12	\$ 128.400	\$ -	\$ -	\$ 128.400	\$ 256.800
Piro tubos	M-1	Espejo interior y exterior de la caldera	Visual / Termografía	180		\$ -	\$ 250.000	\$ -	\$ 250.000	\$ 500.000
	M-3	Espejo interior y exterior de la caldera	Tomar Temperatura	30	12	\$ 128.400	\$ -	\$ -	\$ 128.400	\$ 1.540.800
	M-5	Espejo interior y exterior de la caldera	Visual	180	12	\$ 128.400	\$ -	\$ -	\$ 128.400	\$ 256.800

EQUIPO	MODO DE FALLA	PARÁMETROS			COSTO UNITARIO				COSTO TOTAL	COSTO ANUAL
		UBICACIÓN DE LA INSPECCIÓN	TÉCNICA A UTILIZAR	INTERVALOS ENTRE INSPECCIÓN	HRS	COSTO MANO DE OBRA	CONTRATISTA	COSTOS DE INSUMOS		
Tubería descarga Caldera	M-1	Tubería de descarga de vapor	Visual / Termografía	180		\$ -	\$ 250.000	\$ -	\$ 250.000	\$ 500.000
	M-5	Tubería de descarga de vapor	Visual	180	6	\$ 64.200	\$ -	\$ -	\$ 64.200	\$ 128.400
Distribuidor Principal	M-1	Casco exterior e interior del Tanque	Visual / Termografía	180		\$ -	\$ 250.000	\$ -	\$ 250.000	\$ 500.000
	M-5	Casco exterior e interior del Tanque	Visual	360	6	\$ 64.200	\$ -	\$ -	\$ 64.200	\$ 64.200
Tubería Vapor Peletizadora	M-1	Tubería de transporte de vapor	Visual / Termografía	180		\$ -	\$ 250.000	\$ -	\$ 250.000	\$ 500.000
	M-5	Tubería de transporte de vapor	Visual	360	12	\$ 128.400	\$ -	\$ -	\$ 128.400	\$ 128.400
Tubería Vapor Extruder	M-1	Tubería de transporte de vapor	Visual / Termografía	180		\$ -	\$ 250.000	\$ -	\$ 250.000	\$ 500.000
	M-5	Tubería de transporte de vapor a extruder	Visual	360	12	\$ 128.400	\$ -	\$ -	\$ 128.400	\$ 128.400
TOTAL									\$ 18.366.000	

Fuente: Autor del proyecto

9.2.3 Costo anual de la estrategia de mantenimiento diseñada

En la Tabla 47 se muestran los costos asociados a la estrategia de mantenimiento que fue diseñada, estos costos abarcan los costos de mantenimiento de la caldera, el compresor, la mezcladora e inspecciones además de los costos por paradas de no programas de la maquinaria que se pueden seguir presentando y unos costos y gastos fijos que son los costos generales de personal por el tiempo requerido para la implementación de la estrategia diseñada.

Tabla 47. Costo anual I de estrategia de mantenimiento diseñada

DESCRIPCIÓN	MONTO
Costo de mantenimiento a la caldera	\$ 71.903.982
Costo de mantenimiento al compresor	\$ 6.317.303
Costo de mantenimiento de la mezcladora	\$13.896.515
Costo de inspecciones	\$ 18.366.000
Costo por paradas no programadas de la maquinaria	\$336.139.520
Costo y gastos fijos	\$10.000.000
TOTAL	\$ 456.623.320

Al comparar el costo anual de la estrategia de mantenimiento correctivo que actualmente cuenta la empresa que es de \$ 1.346.139.250 con el costo anual de la estrategia de mantenimiento diseñada que es de \$ 456.623.320, se observa que con la implementación de la estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad, RCM, e inspección basada en el riesgo, RBI, para la línea crítica de producción en la planta de Itacol en Girón, Santander se genera un ahorro del 66,08% del costo de la estrategia de mantenimiento actual, por lo cual es favorable para la gerencia financiero y apoyar la estrategia de mantenimiento diseñada.

CONCLUSIONES

- Teniendo como base las funciones de los sistema de cada equipo, se realizó el análisis de criticidad usando el sistema RRM, de esta forma se encontró que la caldera es el equipo más crítico ya que presenta la mayor frecuencia de fallas, su mantenimiento es el más costoso y el que demanda mayor tiempo, a su vez presenta el mayor impacto operacional y ambiental. Por el contrario, el compresor cuenta con el nivel más bajo de criticidad debido a su baja frecuencia de fallas, el bajo costo y facilidad de su mantenimiento, así como su bajo impacto operacional y ambiental. Con respecto a la mezcladora se encuentra que su criticidad es media, ya que cuenta con una línea de elevada criticidad (línea de mezcla) y dos de baja como lo es la descarga y la transmisión de potencia.
- Se realizó la evaluación de consecuencias de cada modo de falla y se planteo para cada uno, una tarea de mantenimiento en la que se definió la periodicidad y el responsable de ejecución.
- Se elaboraron los Estándar Job bajo las directrices de la ISO 9001, con el objetivo de contar procedimientos estandarizados para la realización de las tareas de mantenimiento.
- Con la estrategia de mantenimiento RBI, se determinaron los lazos de corrosión de la línea estática de la caldera; para de esta forma realizar un análisis de criticidad de cada lazo de corrosión que permitiera dimensionar cada TAG. De esta modo se encontró que la sección pirotubular y acuatubular es la que presenta mayor criticidad como consecuencia del mal tratamiento del agua de adición a la caldera. Como respuesta a esta problemática se adquirió un suavizador de agua que se instalo a finales de Julio, para reducir la dureza del agua.
- Se creó un plan de inspección a la línea estática de la caldera con el fin de recopilar y analizar la información suministrada, creando una base de datos de fácil acceso que permitiera llevar estricto control de cada TAG y su comportamiento. En los talleres RBI, se logro modificar y estandarizar cada plan de inspección logrando de esta forma la reducción de 10 minutos en el trabajo de campo del mecánico.
- Para la implementación de la estrategia de mantenimiento RCM y RBI se requiere la gestión de recursos por parte de la dirección nacional de producción, así como la disposición del personal, que bajo el mando del jefe de mantenimiento den cumplimiento a las tareas programadas

y plan de inspección, para que el éxito de la implementación de esta estrategia sea la prueba piloto y la primera fase para la ejecución de esta misma a nivel nacional e internacional en las plantas de producción de la empresa.

- Al implementar la estrategia de mantenimiento diseñada, se logra una reducción del 66% del costo de la estrategia actual correctiva, debido a que se espera reducir en un 75% del costo de las paradas no programadas.

BIBLIOGRAFÍA

DESCRIPCIÓN GENERAL DE CALDERA. Ingenieris VR, Schneider Electric. 2001

ITALCOL S.C.A. [en línea], publicado en 2005 [citado en 2009] disponible en la página de internet: <http://www.italcol.com.co>

MANUAL DE INSTRUCCIONES Y LISTA DE PIEZAS DE REPUESTO. Compresor de Aire Industrial Series LS-10 Estandar y 24 KT. Sullair Corporation. 2000

MANAGING MAINTENANCE, the ten top listo & the one question you should always kepp asking. Bruce Hawkins. CMRP, PCMM, October 2007.

MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (Reliability – centred Maintenance) Edición en Español. Jhon Moubray. Traducido por ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOS, Buenos Aires, Argentina – Madrid, España. Edición en Español 2004.

MANTENIMIENTO. Jezdimir Knezevic, Primera edición, Abril de 1996, Impreso en España

MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Estratégico para Empresas Industriales o de servicios. Primera Edición. Medellin: AMG, 2006

NORMA API 510. Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection Rating, Repair, and Alteration

NORMA API 580/581. Base Resourse Document on Risk-Based Inspection.

PROGRAMA NACIONAL DE CAPACITACIÓN. Departamento de Gestión Humano, ITALCOL S.C.A. Diciembre del 2008.

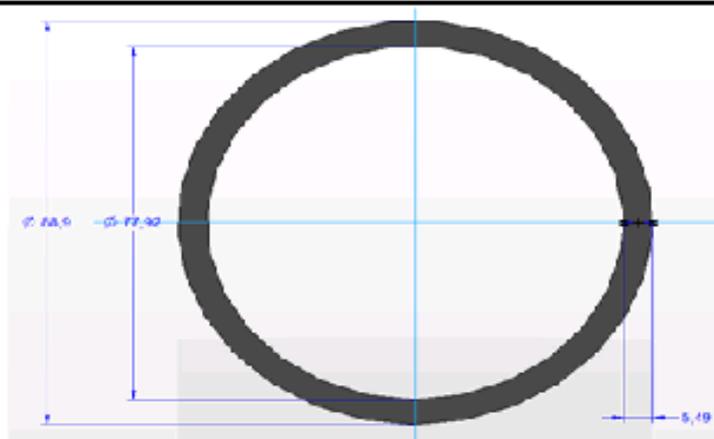
Tesis y Otros Trabajo de Grado. Quinta Actualización 2002-03-10
ICONTEC NTC-1486. Documentación, Presentación de Tesis, Trabajos
de Grado y Otros Trabajos de Investigación.

SMITH, Anthony, Reliability Centered Maintenance, McGraw Hill Inc., New
York, 1992.

ANEXOS



REPORTE DE INSPECCIÓN LINEA ESTATICA CALDERA: TUBERIA DESCARGUE DE LA CALDERA



SERVICIO: Transporte vapor hasta el distribuidor principal

FECHA: 12/02/2009

INSPECTOR: Gerardo Rios Moreno

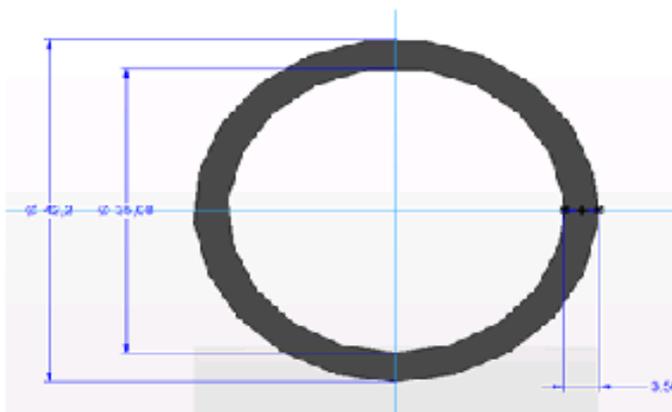
Temperatura de la Tuberia:

LISTADO DE INSPECCIONES		
PARTE	A	# NOTA
Diametro Exterior		
Diametro Interior		
Soldaduras		
Brida H2O		
Brida Condensados		
Brida Salida de Agua		

NOTA



REPORTE DE INSPECCIÓN LINEA ESTATICA CALDERA: TUBERIA DE TRANSPORTE DE AGUA



SERVICIO: Transportar 10 gpm de agua del tanque a la bomba y de la bomba a la caldera

FECHA: 12/02/2009

INSPECTOR: Gerardo Rios Moreno

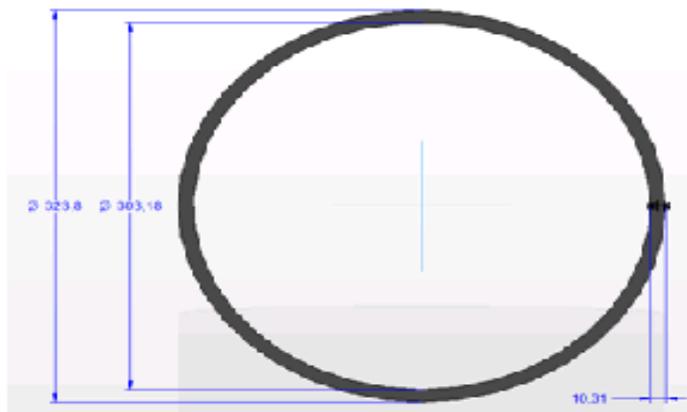
Temperatura del Tanque:

LISTADO DE INSPECCIONES		
PARTE	A	# NOTA
Diametro Interno		
Diametro Externo		
Ph Agua		
Dureza Agua		
Acople Universal		

NOTA



REPORTE DE INSPECCIÓN LINEA ESTÁTICA CALDERA: DISTRIBUIDOR PRINCIPAL



SERVICIO: Almacenar y enviar vapor a los distintos puntos de la planta

FECHA: 12/02/2009

INSPECTOR: Gerardo Rios Moreno

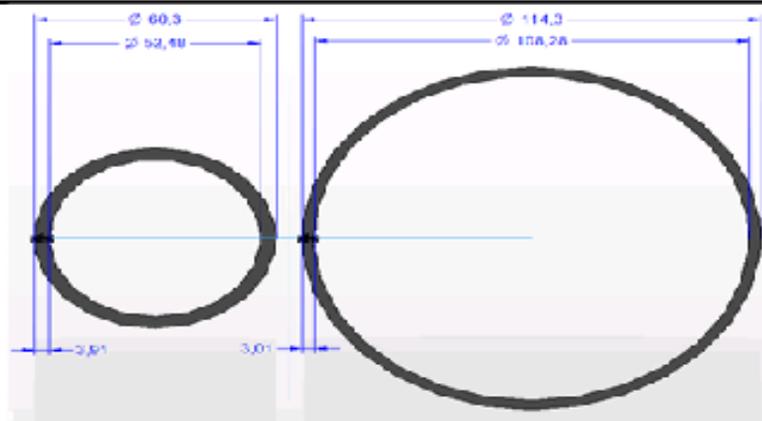
Temperatura del Distribuidor:

LISTADO DE INSPECCIONES		
PARTE	A	# NOTA
Brida de Entrada		
Brida Peletizadoras		
Brida Extruder		
Brida Calentamiento		
Querpo Exterior		
Querpo Interior		

NOTA



REPORTE DE INSPECCIÓN LINEA ESTATICA CALDERA: AQUATUBOS



SERVICIO: Transportar agua dentro la caldera y permitir intercambio de calor con el hogar

FECHA: 12/02/2009

INSPECTOR: Gerardo Rios Moreno

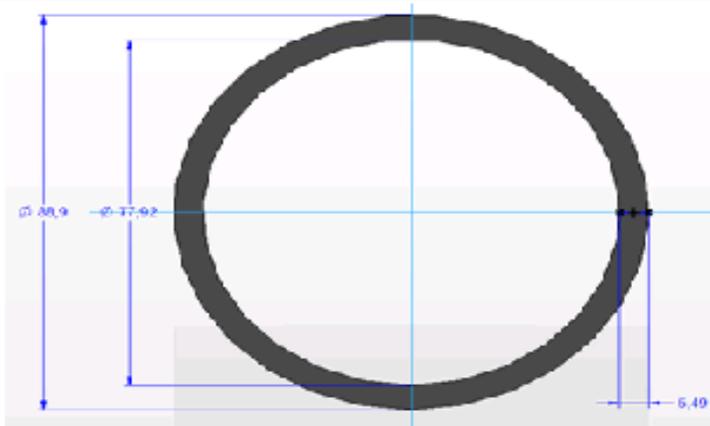
Temperatura del Tanque:

LISTADO DE INSPECCIONES		
PARTE	A	# NOTA
Diametro Externo		
Soldadura		

NOTA



REPORTE DE INSPECCIÓN LINEA ESTATICA CALDERA: TUBERIA PELETIZADORAS



SERVICIO: Transportar 2000 lb/h hasta las Peletizadoras

FECHA: 12/02/2009

INSPECTOR: Gerardo Rios Moreno

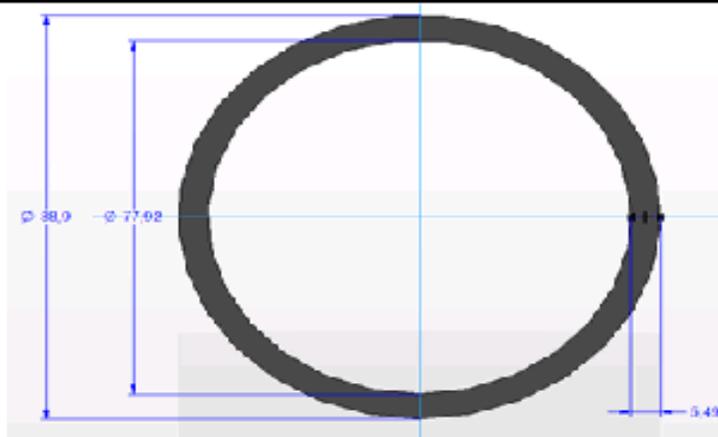
Temperatura del Tanque:

LISTADO DE INSPECCIONES		
PARTE	A	# NOTA
Brida Carga		
Brida Descarga		
Diamtro Externo		
Diametro Interno		
Soldadura		

NOTA _____



REPORTE DE INSPECCIÓN LINEA ESTATICA CALDERA: EXTRUDER



SERVICIO: Transportar 2500 lb/h de vapor hacia el distribuidor de la extruder

FECHA: 12/02/2009

INSPECTOR: Gerardo Rios Moreno

Temperatura del Tanque:

LISTADO DE INSPECCIONES		
PARTE	A	# NOTA
Brida de Cargue		
Brida Descargue		
Diametro Exterior		
Diametro Interior		
Soldadura		

NOTA
