DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CON BASE EN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA EN LA PLANTA DE COQUE DE FABRICACIÓN PRIMARIA EN LA EMPRESA ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.

LEONARDO MONTAÑA RIVEROS
ELKIN GUSTAVO ROSAS NIÑO - americanino10@yahoo.es

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
DUITAMA
2006

DISEÑO DE UN SISTEMA DE MANTENIMIENTO CON BASE EN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA EN LA PLANTA DE COQUE DE FABRICACIÓN PRIMARIA EN LA EMPRESA ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.

LEONARDO MONTAÑA RIVEROS
ELKIN GUSTAVO ROSAS NIÑO

Trabajo de grado bajo modalidad de monografía, presentado como requisito para optar al título de INGENIERO ELECTROMECÁNICO

Director: OLIVERIO GARCÍA PALENCIA Ingeniero MSc.
Coordinador: JOSÉ HURTADO BALAGUERA Ing. Electromecánico.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SECCIONAL DUITAMA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
DUITAMA
2006

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

Director del Proyecto

_____

Jurado

_____

Jurado

Duitama, Mayo de 2006

Dedicado a mis padres Ana niño y Gustavo Rosas gracias por su apoyo, esfuerzo y paciencia durante estos años. A mis hermanos Liliana por su ejemplo de vida, a Juan Carlos por encaminarme en la Ingeniería y a mi novia Carolina por su amor y compañía.

Agradezco a todos mis amigos y compañeros que hicieron más fácil este difícil trayecto.

A DIOS primero que todo que me ha dado salud, licencia y sabiduría en la vida.

A mi padre Antonio y a mi madre Inés quien con su amor, apoyo incondicional y sabios consejos, han sabido formarme para afrontar la carrera.

A mis hermanos Fernando y Liliana, quienes son un gran apoyo y soporte en los momentos difíciles, y porque siempre sigamos unidos.

A mis amigos, que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas y se que puedo contar con ellos en cualquier momento.

Por ultimo dedico este triunfo a todas y cada una de las personas que de alguna u otra forma me han apoyado para conseguir esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Oliverio García Palencia, Ingeniero Mecánico, U.P.T.C, por la colaboración prestada durante el desarrollo del proyecto y la organización del informe final.

José Hurtado Balaguera, Ingeniero Electromecánico, ACPR, por la oportunidad, valiosos concejos y colaboración prestada durante el desarrollo del proyecto.

Alex Becerra, Ingeniero Electromecánico, ACPR, por sus valiosos consejos.

Pedro Orjuela, Director Mantenimiento Mecánico de la Planta de Coque, por sus aportes brindados a los proyectistas durante el desarrollo del proyecto.

Andrés Gómez, Iván Díaz, Jhon González y demás personal de la Planta de Coque, por su colaboración.

A la Escuela de Ingeniería Electromecánica y en especial a Lilianita secretaria de la Escuela.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 18

1. GENERALIDADES 19

1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. 19

1.2 UBICACIÓN DE ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. 20

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SIDERÚRGICO DE ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. 20

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 20

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA PLANTA DE COQUE 21

2.1 FABRICACIÓN DEL COQUE 21

2.2 PROCESO DE COQUIZACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUBPRODUCTOS 21

2.3 MANEJO DE CARBÓN 21

2.4 BATERÍA DE COQUE 25

2.4.1 Hornos de coque con subproductos 26

2.4.2 Calentamiento de los hornos con subproductos 26

2.4.3 Máquinas o equipos de la Batería de Coque 26

2.4.4 Generalidades del proceso de coquizado 29

2.5 MANEJO DE COQUE 29

2.5.1 Tamizado de coque 29

2.5.2 Trituración de coque 30

2.5.3 Coque metalúrgico 30

2.6 DECANTACIÓN, CONDENSACIÓN Y EXTRACTORES 30
2.6.1 Turboextractor de gas de coque 32

2.6.2 Las aguas amoniacales 32

2.6.3 El alquitrán 32

2.7 SUBPRODUCTOS DEL PROCESO DE COQUIZADO 33

2.7.1 Planta de Sulfato de Amonio 33

2.7.2 Planta de Gas Sulfhídrico 34

2.7.3 Planta Desnaftalizadora 36

2.7.4 Planta de Alquitrán 37

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 39

3. BASE DE DATOS DE LA PLANTA DE COQUE 40

3.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO 40

3.2 LISTADO DE EQUIPOS 41

3.3 CÓDIGOS DE CLASIFICACIÓN DE LA PLANTA DE COQUE 43

3.3.1 Código de fabricante o de planos 43

3.3.2 Clasificación de materiales y repuestos usados en operación de plantas y minas 46

3.3.3 Código de clasificación interno de Acerías Paz del Río S.A. 46

3.4 FORMATO PARA LA BASE DE DATOS DE LA PLANTA DE COQUE 47

3.5 RESULTADOS DEL ESTUDIO 48

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 49

4. CONFIABILIDAD OPERACIONAL 50

4.1 HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL 52

4.1.1 Análisis de Criticidad (CA) 52

4.1.2 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) 53

4.1.3 Otras herramientas de la Confiabilidad Operacional 53

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 54

5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD 55

5.1 CONCEPTO PRELIMINAR 55

5.1.1 Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional 55

5.1.2 Definición del Análisis de Criticidad 56

5.1.3 Información requerida 58

5.1.4 Manejo de la información 58

5.1.5 Precondiciones para el Análisis de Criticidad 59

5.2 PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD 59

5.2.1 Identificación de los equipos a estudiar 59

5.2.2 Definición del alcance y objetivo del estudio 61

5.2.3 Selección del personal a entrevistar 61

5.2.4 Importancia del estudio 61

5.2.5 Recolección de datos 61

5.2.6 Verificación y análisis de datos 65

5.2.7 Resultados del estudio 66

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 70

6. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA) 72

6.1 FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO 72

6.1.1 Describiendo funciones 72

6.1.2 Estándares de funcionamiento 73

6.1.3 Contexto operacional 74

6.1.4 Diferentes tipos de funciones 74

6.2 FALLAS FUNCIONALES 74

6.2.1 Falla 74

6.2.2 Fallas funcionales 74

6.2.3 Funciones y fallas 74

6.3 MODOS DE FALLA 75

6.3.1 ¿Que es un modo de falla? 75

6.3.2 Categorías de modos de falla 75

6.4 EFECTOS DE FALLA 76

6.5 FUENTES DE INFORMACIÓN ACERCA DE MODOS Y EFECTOS 76

6.6 VERIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS 76

6.6.1 Contexto operacional máquina deshornadora 76

6.6.2 Ficha técnica máquina deshornadora 81

6.6.3 Contexto operacional turboextractor Nº 3 84

6.6.4 Ficha técnica turboextractor Nº 3 85

6.6.5 Contexto operacional máquina guía Nº 2 87

6.6.6 Ficha técnica máquina guía de coque Nº 2 89

6.6.7 Contexto operacional circuito de enfriamiento 90

6.6.8 Ficha técnica circuito de enfriamiento 94

6.7 RESULTADOS DEL ESTUDIO 96

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 103
7. PLAN GENERAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA 104

7.1 MARCO TEÓRICO 104

7.1.1 Definición 104

7.1.2 Ventajas del mantenimiento preventivo 104

7.1.3 Aplicación de los programas 105

7.1.4 Frecuencias de las inspecciones 105

7.1.5 Programas realizados por los operarios 106

7.1.6 Ningún mantenimiento programado 106

7.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REALIZADO PARA LA PLANTA DE COQUE 106

7.2.1 Formato del plan de mantenimiento preventivo 106

7.2.2 Informes de inspección 117

7.2.3 Tramitación de los informes de inspección 117

7.2.4 Análisis de vibraciones 120

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 124

CONCLUSIONES 125

RECOMENDACIONES 127

BIBLIOGRAFÍA 129

ANEXOS 131

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.Tipos de carbón manejados por los silos de mezcla 23

Tabla 2. Características de dosificación del carbón 23

Tabla 3.Características principales hornos de coque 26

Tabla 4. Listado de equipos que operan en la Planta de Coque 41

Tabla 5. Planos existentes en la oficina de mantenimiento mecánico coquería 44

Tabla 6. Catálogo de materiales Acerías Paz del Río S.A. 46

Tabla 7. Parte de la clase 04: Planta de Coque 46

Tabla 8. Listado de equipos a estudiar dentro del Análisis de Criticidad 60

Tabla 9. Ecuación de criticidad vista desde un punto matemático 62

Tabla 10. Formato para encuesta Análisis de Criticidad 63

Tabla 11. Ponderaciones de los parámetros del Análisis de Criticidad 64

Tabla 12. Respuestas y ponderación hechas por la Directora de la Planta de Coque. 66

Tabla 13. Puntajes finales para el turboextractor de gas Nº 3. 66

Tabla 14. Criticidad numérica para el turboextractor de gas Nº 3. 66

Tabla 15. Demostración de los valores numéricos de criticidad para el turboextractor de gas Nº 3. 68

Tabla 16. Resultados del Análisis de Criticidad en la Planta de Coque 70

Tabla 17. Ficha técnica de la máquina deshornadora 81

Tabla 18. Ficha técnica turboextractor Nº 3 86

Tabla 19. Ficha técnica máquina guía Nº 2 89

Tabla 20. Repuestos máquina guía Nº 2 89
Tabla 21. Sistema de bombeo agua amoniacal al colector 91
Tabla 22. Caudal del sistema de bombeo a condensadores primarios 92
Tabla 23. Temperaturas de entrada y salida refrigerantes de espiral 93
Tabla 24. Ficha técnica circuito de enfriamiento agua amoniacal 94
Tabla 25. FMEA máquina deshornadora 97
Tabla 26. FMEA turboextractor Nº 3 100
Tabla 27. Rango de funcionamiento de los equipos 107
Tabla 28. Plan de mantenimiento máquina deshornadora 109
Tabla 29. Plan de mantenimiento máquina guía Nº 2 111
Tabla 30. Plan de mantenimiento turboextractor de gas Nº 3 112
Tabla 31. Plan de mantenimiento circuito de enfriamiento agua amoniacal 114
Tabla 32. Formato para órdenes de trabajo. Planta de Coque 118
Tabla 33. Formato de inspección. Planta de Coque 119
Tabla 34. Formato de hoja de vida. Planta de Coque 119
Tabla 35. Especificaciones del MicroVibe P Model CMVL3850 120
Tabla 36. Rangos de vibración para distintas clases de máquinas 121

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la Planta de Coque 22

Figura 2. Dosómetros o dosificadores de carbón 24

Figura 3. Silos de la Batería de Coque 24

Figura 4. Batería de Coque Nº 2 25

Figura 5. Máquina cargadora 27

Figura 6. Máquina deshornadora 28

Figura 7. Máquina guía de coque Nº 2 28

Figura 8. Vagón y tractor de apagado 29

Figura 9. Techo Batería de Coque Nº 2 31

Figura 10. Condensadores primarios 31

Figura 11. Planta de Sulfato de Amonio 34

Figura 12. Planta de Gas Sulfhídrico 35

Figura 13. Planta Desnaftalizadora 37

Figura 14. Planta de Alquitrán 38

Figura 15. Página inicial base de datos de la Planta de Coque 48

Figura 16. Base de datos de la Planta de Coque 49

Figura 17. Cuatro grandes aspectos de una empresa de clase mundial 50

Figura 18. Aspectos de la Confiabilidad Operacional 55

Figura 19. Modelo básico de criticidad 57

Figura 20. Organigrama para el Análisis de Criticidad en la Planta de Coque 62

Figura 21. Resultados del Análisis de Criticidad en la Planta de Coque 69
Figura 22. Capacidad vs. Funcionamiento deseado 73

Figura 23. Modos de falla de una bomba 75

Figura 24. Niveles de estudio FMEA máquina deshornadora 80

Figura 25. Partes de la máquina deshornadora 81

Figura 26. Turboextractor de gas Nº 3 85

Figura 27. Niveles de estudio FMEA turboextractor de gas Nº 3 87

Figura 28. Partes del turboextractor de gas Nº 3. 87

Figura 29. Niveles de estudio FMEA máquina guía de coque Nº 2 88

Figura 30.Diagrama de flujo máquina guía Nº 2 89

Figura 31. Circuito de enfriamiento agua amoniacal 91

Figura 32. Niveles de estudio circuito de enfriamiento 94

Figura 33. Captura del formato diligenciado del plan de mantenimiento preventivo diseñado para la Planta de Coque 108

Figura 34. Componentes MicroVibe P Model CMVL3850 121

Figura 35. Selección del menú del MicroVibe P Model CMVL3850 122

Figura 36. Captura de la pantalla para una medición del MicroVibe P Model CMVL3850 123

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. DIAGRAMAS DE FLUJO DE ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. 132

ANEXO B. RUTAS DE INSPECCIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO 144

ANEXO C. FORMATO DE BOMBAS DE LA PLANTA DE COQUE 153

ANEXO D. DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA PLANTA DE COQUE 158

ANEXO E. CUADRO GENERAL DE BOMBAS DE LA PLANTA DE COQUE 165

RESUMEN

El siguiente informe presenta el cumplimiento de los objetivos del anteproyecto bajo modalidad de monografía, desarrollado en la Planta de Coque de la empresa Acerías Paz del Río S.A., el objetivo general del proyecto es aumentar la eficiencia, rentabilidad y competitividad de la Planta de Coque mediante el diseño de un sistema de mantenimiento con base en Análisis de Criticidad y análisis de efectos y modos de falla.

La primera parte del informe, resume la creación de Acerías Paz del Río S.A., además de su evolución hasta el día de hoy, así como una descripción breve del proceso de manufactura del acero utilizado por la empresa.

La segunda parte del informe presenta una descripción detallada de los subprocesos de la Planta de Coque y la relación que existe entre equipos, funciones y procesos, por medio de diagramas de flujo que hacen parte de una completa base de datos de todos los equipos que operan actualmente en la planta, esta base contiene un desglose de las principales partes de las máquinas y una relación entre los diferentes códigos manejados en la empresa.

La tercera parte del informe muestra los resultados obtenidos al aplicar dos de las herramientas del sistema integrado de Confiabilidad Operacional: el Análisis de Criticidad (CA) y el Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA). Por medio del CA se realiza una lista ponderada de equipos, desde el más crítico hasta el menos crítico, en función de su impacto global con el fin de priorizar las ordenes de trabajo, proyectos de inversión, diseñar políticas de mantenimiento, etc. Gracias a esta lista, se puede conocer los cuatro elementos más críticos, a los que se les realiza el FMEA y la actualización de sus hojas de vida. Además el FMEA permite identificar fallas potenciales de diseño y proceso antes de que estas ocurran, con la intención de eliminar o minimizar los riesgos asociados con ellas.

La última parte del informe presenta el plan de mantenimiento propuesto, que se deja a consideración de la empresa y que mejora la Confiabilidad de los equipos más importantes de toda la planta. Las tareas extras realizadas durante el proyecto, también hacen parte del informe, una de las tareas más importantes fue el diseño de un cuadro con todas las características de las bombas de toda la planta el cual se encuentra en al ANEXO E, que permite agilizar órdenes de trabajo y requisiciones.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento al igual que otras ciencias de la ingeniería, ha evolucionado a gran escala con el paso del tiempo, este cambio ha traído nuevas políticas e ideologías, que se han adaptado al ritmo de vida de las empresas de clase mundial. Las redes de automatización, los sistemas de control, la robótica, la sensórica, hacen parte de un gran número de ciencias innovadoras, que día a día son mas comunes en la mayoría de procesos de manufactura, este tipo de tecnologías hacen que el mantenimiento haga parte de esta renovación, es por esto, que estrategias de última generación como el RCM, la Confiabilidad Operacional, el mantenimiento proactivo, entre otras, se hagan presentes al momento de realizar un estudio que determine las condiciones normales operativas de un sistema o equipo.

El crecimiento continuo de la tecnología, hace que los períodos improductivos tengan un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente, lo que se hace más patente con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, tratando de evitar en todo momento que pequeñas averías puedan causar el paro de una planta. Además se busca una automatización más extensa en donde coexista una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto.

En Boyacá, la renovación tecnológica, no puede pasar desapercibida, tiene que aplicarse, es por esto que Acerías Paz del Río S.A. debe implementar políticas de mantenimiento de última generación que la hagan más competitiva, segura y eficiente; la Planta de Coque quiere ser pionera en la aplicación de mantenimiento de última generación. El sistema integrado de Confiabilidad Operacional ofrece muchos beneficios, como: reducción del tiempo y optimización de la frecuencia de las paradas programadas y no programadas, mejora en la efectividad del mantenimiento, mejora en la calidad de los procesos y servicios, entre otros, es por esto que la Planta de Coque quiere utilizar dos de las herramientas del sistema integrado de Confiabilidad Operacional; el Análisis de Criticidad y el Análisis de Modos y Efectos de Falla, herramientas que inician un cambio en la planta que le permite organizar, planificar y ejecutar el mantenimiento dentro de los mejores índices de costo, seguridad, tiempo y confiabilidad.

1. GENERALIDADES

1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.

La historia de Acerías Paz del Río S.A. esta íntimamente ligada con la evolución de la industria siderúrgica nacional. Dicha industria nace en los comienzos del siglo veinte con el descubrimiento de los primeros yacimientos de minería de hierro en la región de Pacho, ubicada en el departamento de Cundinamarca. [1]

En 1940 el ingeniero Olimpo Gallo había informado al Instituto de Fomento Industrial de la presencia de ricos yacimientos en la región de Paz del Río, la que fuera confirmada dos años mas tarde al cumplirse un programa de exploración intensiva adelantada por el instituto, verificándose no solamente las reservas de mineral de hierro sino que a la vez se descubrió la presencia de importantes reservas de carbón y piedra caliza en lugares cercanos a Paz del Río.

Es sobre estos resultados que el gobierno por medio de la Ley de 45 de 1947 constituye con carácter semioficial la Empresa Siderúrgica Nacional de Acerías Paz del Río S.A., con un capital de 100 millones de pesos de los cuales la nación suscribiría el 51% de su totalidad. En 1954 se transformo en Acerías Paz del Río S.A., iniciando la producción en el mes de octubre de ese mismo año. En 1967 se consolidó como empresa totalmente privada.

La empresa opera un complejo industrial que consiste en una planta integrada con una capacidad de 380.000 toneladas de acero crudo (acero en lingote) y 280.000 toneladas de productos de acero plano y no plano al año. Las instalaciones existentes de la Planta de Acero y consecuentemente la actual capacidad de producción, es el resultado de varios proyectos de expansión ejecutados en el pasado sobre instalaciones originales, las cuales tenían una capacidad de 130.000 toneladas de acero no plano al año. [1]

Adicionalmente, la empresa participa con sus productos especiales, en los mercados de abono para la agricultura, oxigeno, naftalina industrial, alquitrán bruto, sulfato de amonio y nitrógeno liquido, entre otros.

Acerías Paz del Río S.A. es una sociedad anónima, propiedad privada de más de 400.000 accionistas los cuales pertenecen a todas las clases sociales y económicas. Es la única siderúrgica integrada en nuestro país, motivo por el cual produce, transporta y transforma materias primas, casi en su totalidad de origen local, constituidas por mineral de hierro, carbón y calizas, proceso extractivo que cumple con condiciones de la más alta especialización en Colombia, con equipos técnicos de control y de seguridad adecuados y con mineros y supervisores altamente capacitados.

Por ser una siderúrgica integrada, es una industria generadora de grandes volúmenes directos e indirectos de empleo y de actividad económica; origina casi el 60% del empleo manufacturado del departamento de Boyacá y contribuye con el 45% de la oferta nacional del acero. Además de sus instalaciones industriales en el departamento de Boyacá, la empresa cuenta con una sede administrativa en Bogota D.C., motivo por el cual el 96% de los empleados tiene su domicilio en Boyacá y el 4% reside en Cundinamarca.

1.2 UBICACIÓN DE ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.

La Planta Siderúrgica, está localizada en Belencito, departamento de Boyacá, a 6 kilómetros de Sogamoso y 210 kilómetros de Bogotá D.C. [1]

El área minera de la empresa esta ubicada en jurisdicción de los municipios de Paz del Río (mineral de hierro y carbón), Samacá, Socha y Tasco (carbón), Nobsa y Duitama (calizas).

1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO SIDERÚRGICO DE ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.

El proceso siderúrgico integrado visto de una forma global, se presenta en cuatro etapas bien definidas que son: [1]

- Explotación de materias primas: En las minas de mineral de hierro, carbón y caliza.

- Fabricación primaria: con las Plantas de Coque, Sinterización y Alto Horno.

- Aceración: comprende calcinación, convertidores, horno eléctrico, recuperación metálica y fertilizantes.

- Laminación: Se presentan dos procesos: laminación planos: Tren 1100, Tren Steckel y Línea de Corte; laminación no planos: Tren 710 y Tren Morgan.

Los diagramas de flujo correspondientes a los procesos de la empresa, se pueden observar en el ANEXO A.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GERENCIAS DE RELACIONES HUMANAS, DE PLANTA, DE MINAS, DE INGENIERÍA, ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. Separata de la revista Acerías Paz del Río S.A., Empresa Privada, patrimonio de los colombianos. Septiembre de 1992.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA PLANTA DE COQUE

La Planta de Coque es la responsable de suministrar el coque metalúrgico utilizado en el calentamiento del Alto Horno. El proceso de la Planta de Coque se puede dividir en tres etapas fundamentales: Manejo de Carbón, Batería de Coque y Planta de Subproductos. En este capitulo se realiza una breve descripción de estos tres procesos, así como las variables de operación y los equipos que funcionan dentro de la Planta de Coque.

2.1 FABRICACIÓN DEL COQUE

El coque es un combustible sólido que consiste casi enteramente de carbono. Se produce destilando el carbón en ausencia de aire, para sacarle los gases volátiles que tiene el carbón. Estos gases volátiles son valiosos ya que contienen productos químicos de mucho uso. [1]

2.2 PROCESO DE COQUIZACIÓN Y RECUPERACIÓN DE SUBPRODUCTOS

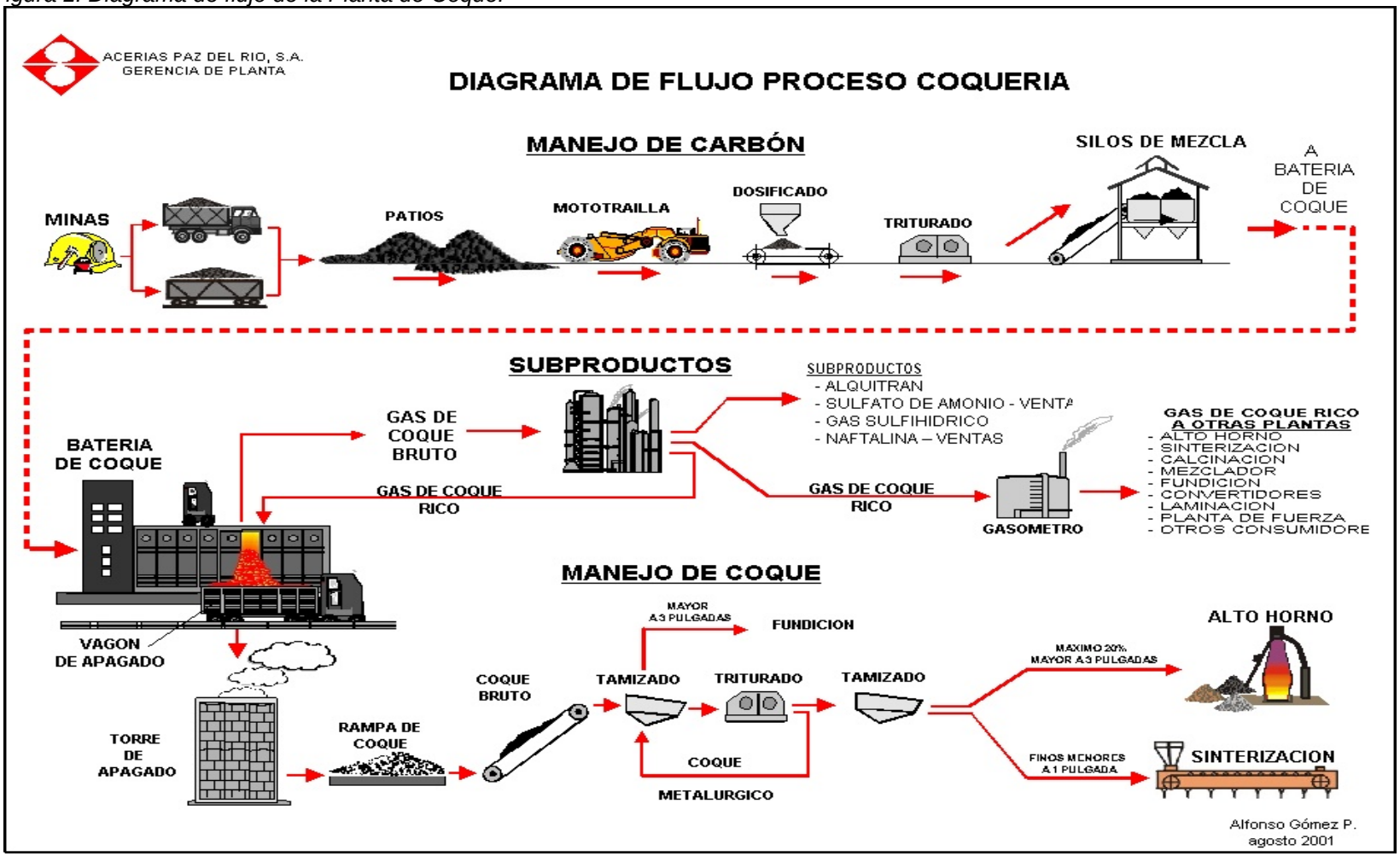
El desarrollo de los hornos de coque con recuperación de subproductos es el resultado de los esfuerzos hechos para encontrar un proceso de coquización que permitiera recuperar los gases que salen del carbón durante la coquización. Antes del desarrollo de este proceso el carbón era calentado y coquizado, quemando los gases volátiles en la misma cámara u horno a medida que iban desprendiéndose del carbón. En el proceso con recuperación de subproductos los gases son sacados del carbón en una cámara u horno al abrigo del aire. Estos gases pasan por conexiones de tuberías a la planta de subproductos, donde se recuperan estos valiosos productos químicos del gas del carbón. Una parte de este gas puede ser devuelto y quemado en los hornos para calentarlos. Dicho proceso se puede observar en el diagrama de flujo de la Planta de Coque, *figura 1*. [1]

2.3 MANEJO DE CARBÓN

La materia utilizada en los hornos de coque es el carbón, del cual se reciben 3 clases con el fin de obtener la mezcla más apropiada para producir un coque de gran rendimiento y calidad, provenientes de la Chapa, Samacá y otras regiones del departamento.

Los carbones son traídos a la Planta de Coque en góndolas (berlinas) cuya capacidad varia de 18 a 33 toneladas cada una y en camiones de diverso tonelaje de donde se descargan a una tolva con una capacidad de 150 toneladas que tiene en su parte superior mallas o rejillas de acero (orificios de 3 a 4 pulgadas), con el fin de tamizar el tamaño adecuado.

Figura 1. Diagrama de flujo de la Planta de Coque.



Fuente: ACPR.2001.

El carbón cuyo tamaño es variable (aproximadamente 0.5 a 3 pulgadas) es conducido en trasportadores de banda de caucho (capacidad 200 tonelada/hora) a un triturador de rodillos de donde sale con un tamaño inferior a 1 pulgada, a esta parte del circuito de manejo de carbón se le denomina trituración primaria y el carbón así obtenido en cuanto a granulometría se refiere es el más indicado para posteriores manejos y mezclas. El carbón de tamaño inferior a 1 pulgada es de nuevo conducido por una banda trasportadora al silo de mezclas. Este silo está dividido en 4 silos secundarios con una capacidad de 400 toneladas cada uno y acondicionados individualmente en su parte inferior con dosificadores de carbón con el fin de obtener las mezclas más apropiadas para cargar en los hornos. Actualmente los 4 compartimentos de los silos de mezclas están ocupados por las diversas clases de carbón los cuales se encuentran distribuidos como lo muestra la *tabla 1.*

Tabla 1. Tipos de carbón manejados por los silos de mezcla.

SILO # 1	Carbón Chapa (Paz del Río)
SILO # 2	Carbón Chapa (Paz del Río) fresco o de patios
SILO # 3	Carbón Samacá
SILO # 4	Carbón bajos volátiles o cisco

Fuente: ACPR. 1992.

Cada silo de mezcla tiene en su parte inferior un dosificador de carbón automático llamado dosómetro, como se puede observar en la *figura 2*, que suministra en forma constante la misma cantidad (en peso) de carbón, sin importar las condiciones en que venga (humedad, granulometría, etc.). Un dosificador de carbón comprende en términos generales el siguiente equipo: [1]

- Una banda transportadora de caucho movida por un moto-reductor de 3 velocidades.

- Una báscula que regula el peso de carbón recibido sobre la longitud de pesaje, esta hace parte integral del transportador anteriormente nombrado.

- Un conjunto moto-reductor planetario que mueve la compuerta de regulación del carbón de acuerdo con la densidad.

Los diferentes carbones se mezclan en esta sección de dosificación en las siguientes proporciones aproximadas como se muestra en l*a tabla 2*: [1]

Tabla 2. Características de dosificación del carbón.

CHAPA	65% EN PESO
SAMACÁ	15 % EN PESO
BAJOS VOLÁTILES	20 % EN PESO

Fuente: ACPR. 1992.

Figura 2. Dosómetros o dosificadores de carbón

El carbón en estas condiciones pasa a una criba vibratoria con mallas de 3 mm, este tipo de carbón de Ø<3.15 mm, es el tamaño más adecuado para pasar directamente al consumo, el carbón de Ø>3.15 mm debe pasar por el molino de martillos con el fin de darle el calibre adecuado. Parte del circuito de bandas transportadoras se aprecia en la *figura 3*.

Figura 3. Silos de la Batería de Coque.

El molino de martillos cuya capacidad es de 120 ton/hora pulveriza y mezcla el carbón, dando un producto cuya granulometría no debe pasar de 10% por encima de 3 mm, tamaño más adecuado y apropiado para cargar en los hornos y obtener un coque de buena calidad.

Los carbones que salen de la criba y molino de martillos caen a una serie de transportadores que lleva el carbón hasta los silos de la batería. En esta última serie de transportadores las bandas son de neopreno, que no sufre alteraciones, ni deformaciones debido al ACPM. Los silos de la batería son de concreto armado y tiene en su parte inferior compuertas móviles que son accionadas por una cremallera de la máquina cargadora con el fin de cargar el carbón en los hornos.

2.4 BATERÍA DE COQUE

La batería es un conjunto de hornos de coque posicionados en línea recta, uno al lado del otro, cuyo principal objetivo es proporcionar el coque que ha de utilizarse en el calentamiento del Alto Horno, así como en Plantas de Fundición, Planta de Fuerza, Calizas, Acería, etc. La Batería Nº 2 se puede apreciar en la *figura 4.* [1]

Figura 4. Batería de Coque Nº 2.

Una batería de hornos es una basta masa refractaria cuidadosamente aislada con el fin de evitar pérdidas caloríficas que reposa sobre una plancha de concreto armada y construida de tal manera que facilite no solo la disposición del equipo necesario, sino también su operación.

Esta masa refractaria se mantiene en su puesto por medio de tirantes longitudinales y transversales que atraviesan no solo cada horno, sino la batería y

cuyas presiones se regulan y mantienen uniformes, por medio de tornillos y resortes en las vigas estructurales. Los resortes hacen las veces de reguladores de presión ante los esfuerzos permanentes ocasionados por dilataciones y contracciones del material refractario, motivo por el cual deben inspeccionarse periódicamente.

En Belencito, en la Planta de Coque, la Batería Nº 1 es marca Koppers-Becker y se encuentra fuera de servicio desde 1976, la Batería Nº 2 es marca Woddall-Duckman, ésta última con recirculación de humos.

2.4.1 Hornos de coque con subproductos. Los hornos de coque con subproductos son cámaras largas de ladrillos de sílice, en las cuales el carbón es coquizado por el calor producido por la combustión de gas rico, gas del alto horno o mezcla de ambos, que se lleva a cabo en cámaras adyacentes y a todo lo largo del conjunto de hornos.

Las características principales de los 57 hornos tipo Woddall-Duckman de la Batería de Coque en la empresa Acerías Paz del Río S.A., se aprecian en la *tabla 3.* [1]

Tabla 3. Características principales hornos de coque.

LARGO	12.40 m
ALTURA	4.25 m
ANCHURA PROMEDIO	40 cm
CAPACIDAD	16.5 toneladas

Fuente: ACPR. 1992.

Además tiene 4 bocas de cargue y una boca para evacuación de gas bruto (producto principal de la destilación del carbón), al igual que dos puertas para facilitar el deshorne de la torta de coque.

2.4.2 Calentamiento de los hornos con subproductos. El calentamiento de la batería es en sí una combinación de un conjunto de operaciones como son el manejo del gas de coque producido, el gas rico, el flujo de aire, el flujo de humos, y el sistema de inversión.

2.4.3 Máquinas o equipos de la Batería de Coque. La batería de hornos de coque requiere para su funcionamiento un equipo completo de máquinas que ocupan un papel importante dentro del proceso de coquizado. [2]

- **Máquina cargadora.** Transporta el carbón desde la tolva hasta el horno que se va a cargar. Circula sobre rieles por encima de la Batería, recibe la carga de carbón (16.5 toneladas) de la tolva y la vacía en el horno por los 4 huecos de cargue. En la tolva, la cargadora descansa sobre un puente-báscula, en el cual se pesa vacía y luego cargada para conocer el peso del carbón cargado en cada

horno. El peso de la máquina cargadora vacía es de 35 toneladas. Las 4 tolvas son construidas en lámina soldada en forma circular, su base es un tronco de cono invertido. La *figura 5* muestra la máquina cargadora.

Figura 5. Máquina cargadora

Cada tolva en su parte inferior tiene una compuerta de cargue telescópica que se acciona desde la cabina, por medio de palancas. En su parte superior tiene anillos regulables que permiten vaciar la capacidad de las tolvas según la capacidad del horno y según el orden de cargue.

Hay que tener en cuenta que al horno le cabe más carbón al lado de la guía y que la última tolva que se vacié debe tener el carbón necesario para llenar los espacios vacíos dejados por las otras tolvas, más un poco que saldrá al nivelar el horno. [2].

- **Máquina deshornadora.** Es la máquina más importante de las que sirven en la Batería, tanto que su peso es de 120 toneladas aproximadamente, cumple con tres funciones específicas: quita la puerta del horno, empuja el salmón de coque fuera del horno y nivela la carga de carbón dentro del horno.

La máquina deshornadora se desplaza sobre rieles paralelamente al lado de la batería del lado opuesto al que sale el coque, por lo que este lado suele ser llamado: lado deshornadora. La barra empujadora mide unos 23 m de longitud y tiene en su parte delantera la cabeza empujadora, en su parte inferior la barra posee una cremallera accionada por un piñón, atrás de la cabeza va un patín, el cual soporta el peso de la barra sobre el piso del horno durante el deshorne. Una vista frontal de la máquina deshornadora se puede apreciar en la *figura 6.*

Figura 6. Máquina deshornadora.

- **Máquina guía de coque**. En la Planta de Coque existen dos guías; la guía Nº 1 tiene un sistema quita puertas pivotante y la guía Nº 2 uno de retroceso, ambas guías tienen acoplado corredores desplazables permitiendo encajar la rejilla guía junto al salmón o torta de coque, permitiendo un desplazamiento uniforme hacia el vagón de apagado. Esta rejilla debe soportar la temperatura del coque incandescente. La máquina guía también posee un sistema de bloqueo, que no le permite trasladarse, cuando se desplaza la rejilla guía. Al igual que la máquina deshornadora la máquina guía posee un sistema quita puertas La máquina guía se puede apreciar en la *figura 7*. [2]

Figura 7. Máquina guía de coque Nº 2.

- **Vagón de apagado.** Consta del vagón que recibe el coque y el tractor al que va acoplado. El vagón de apagado tiene una estructura muy fuerte y rígida, tiene capacidad para el coque producido por un horno, su piso es inclinado y revestido con placas de gran resistencia a la abrasión. Tiene compuertas verticales a todo lo largo del vagón, accionadas por un sistema de aire comprimido o en caso de falta de aire, se pueden accionar manualmente.

En el tractor van los motores de la tracción, así como el compresor al lado de la cabina, el tractor y el vagón de apagado se observan en la *figura 8.* [2]

Figura 8. Vagón y tractor de apagado.

2.4.4 Generalidades del proceso de coquizado. El sistema seguido en la Planta de Coque de la empresa Acerías Paz del Río para el cargue y deshorne en la Batería de Coque es el de 5 en 5, según el programa establecido por el jefe de turno así: 15, 20, 25, 30, 35 ó 1, 6, 11, 16, 21, etc.

El programa de coquizado es hecho dependiendo de las tareas de mantenimiento que estén programadas, estas tareas normalmente duran menos de media hora, y es por esto que no existe un tiempo exacto de coquizado.

2.5 MANEJO DE COQUE

2.5.1 Tamizado de coque. El coque tal como sale del horno es tomado en la base de la rampa de coque por medio de unas compuertas operadas manualmente, luego por un transportador de banda, pasando por un separador magnético y va a una criba primaria de hueco cuadrado de 70 mm de abertura y a una criba secundaria de hueco cuadrado de 20 mm de abertura. El coque que no pasa por ninguna de las dos mallas va al transportador que lo lleva al Alto Horno y a la Planta de Sinterización. [1]

2.5.2 Trituración de coque. El triturador de coque de rodillos dentados tiene dos motores, cada uno acciona un rodillo, uno de los cuales es fijo y el otro va sobre un soporte de deslizamiento mantenido por resortes, los cuales permiten que en caso de que pase material extraño, el rodillo se desplace, evitando la rotura del triturador. La separación de los rodillos es graduable pudiéndose variar la granulometría del coque triturado al tamaño que se desea según las necesidades de Alto Horno. [1]

2.5.3 Coque metalúrgico. Se llama coque metalúrgico la fracción de coque de 20-25 mm ó 60-90 mm que se envía al Alto Horno. Las diversas funciones que desempeña el coque metalúrgico son: [1]

- Función calorífica: fuente de calor al alto horno, dentro del proceso siderúrgico.

- Función química: función de reducción de óxidos de hierro y función de carbonización, que produce el carbono que se incorpora a la fundición en forma de grafito o cementita.

- Función física: constituye el esqueleto de la carga que desciende del tragante al crisol del Alto Horno, dejando los espacios necesarios al paso del gas y a su difusión en la masa del mineral.

2.6 DECANTACIÓN, CONDENSACIÓN Y EXTRACTORES

A la salida de los colectores se encuentra una trampa (cono separador) cuya función es decantar las fracciones consumibles de hidrocarburos (alquitrán) y el exceso de agua producido por la humedad del carbón.

La función principal de la condensación primaria, es reducir la temperatura del gas de coque, con el doble propósito de disminuir su volumen para ser manejado por el extractor. El enfriamiento del gas de coque, se efectúa en dos etapas: [3]

- Primero en las cabezas de caballo, que son tubos en forma de codo, donde la temperatura del gas baja de 800 ºC (en las columnas ascendentes) a 75-90 ºC (en los colectores principales), este cambio de temperatura se produce por el contacto que tiene el gas con agua de enfriamiento que es aplicada por medio de rociadores en las cabezas de caballo. La parte superior de la Batería de Coque se observa en la *figura 9.*

El medio de enfriamiento en la condensación primaria es el agua amoniacal A.A.[1] que se inyecta a través de 114 pulverizadores montados por parejas en las cabezas de caballo, de tal forma que el barrido del agua amoniacal, cubre completamente la sección transversal del ducto disponible para el paso del gas,

[1] La abreviatura A.A. corresponde al término agua amoniacal.

asegurando un contacto completo con el gas caliente. El alquitrán y el agua condensadas en este proceso, salen por rebose de sobre-nivel de los condensadores primarios y pasan a los tanques de mixtos para su separación y posterior tratamiento.

Figura 9.Techo de la Batería de Coque Nº 2.

- La segunda parte es efectuada en los condensadores primarios, que se pueden apreciar en la *figura 10,* donde la temperatura pasa de 75ºC a 35ºC en promedio.

Figura 10. Condensadores primarios.

El gas pasa al turboextractor para ser bombeado hacia las siguientes etapas de procesamiento. Por último el gas de coque pasa por dos precipitadores

electroestáticos que finalizan el proceso de recuperación del alquitrán, utilizando campos eléctricos de alto voltaje.

2.6.1 Turboextractor de gas de coque. El objetivo principal del turboextractor es extraer todo el gas producido en los hornos asegurando su paso a través de todas las subplantas manteniendo una presión en el colector principal. Esta máquina juega un papel importante en la coquería, cumple una función similar al corazón en el cuerpo humano. [3]

El extractor de gas es un turboextractor, es decir que es movido por una turbina accionada por vapor, cuya velocidad es regulada automáticamente de acuerdo con la producción del gas. En el capítulo 6 se realiza una descripción detallada del turboextractor.

2.6.2 Las aguas amoniacales (A.A.). Son el medio refrigerante utilizado en los colectores y los condensadores primarios, se les llama aguas amoniacales en razón a que por estar fluyendo en circuito cerrado y en continuo contacto con el gas, absorben una apreciable cantidad de amoniaco. Para circular el agua amoniacal hacia el colector y condensadores primarios, existen dos grupos de bombas vitales dentro del proceso:

- **Bombas de agua amoniacal al colector.** Este grupo de bombas transporta el agua amoniacal del tanque de recirculación a los rociadores en las cabezas de caballo en el colector principal. Dentro del grupo de 6 bombas existe una bomba accionada por motor diesel (bomba de reserva), dentro de las restantes 5, existen dos principales y 3 subprincipales, en funcionamiento siempre tiene que estar encendida una principal (320 m^3/h) y otra subprincipal (160 m^3/h), estas dos bombas en servicio generan unos 450 m^3/h de caudal y una presión de 3 kg/cm^2 a la salida de los filtros de las bombas.

- **Bombas de agua amoniacal a condensadores primarios.** Este grupo de bombas recircula el agua amoniacal desde el fondo de los condensadores primarios, hasta los refrigerantes de espiral y trombón, (que bajan la temperatura del agua amoniacal de 60ºC a 40ºC en los refrigerantes de espiral y de 40ºC a 20ºC en los refrigerantes de trombón) y la vuelve a llevar hasta la parte superior de los condensadores primarios. Dentro de este grupo se encuentran 3 bombas, de las cuales una siempre está en servicio y las otras dos en reserva. Estas bombas generan una presión de salida de 5.5 kg/cm^2 y una presión de 3 kg/cm^2 en la entrada de los refrigerantes.

2.6.3 El alquitrán. Es una mezcla de una gran cantidad de hidrocarburos nafténicos, clefínicos, parafínicos y aromáticos, siendo estos últimos los componentes de carbón en suspensión en forma de partículas negras muy finas análogas al hollín. El alquitrán es un líquido más pesado que el agua, su densidad

es de 1.2 gr/cm³ y es inmiscible en ella, por esta razón se puede separar del agua amoniacal por simple decantación. [3]

2.7 SUBPRODUCTOS DEL PROCESO DE COQUIZADO

Además de la decantación, condensación y extractores, existen otros procesos realizados al gas de coque para convertirlo en gas rico. Dentro de estos procesos están: sulfatación o extracción de sales amoniacales, absorción de H_2S (gas sulfhídrico), desbenzolado, desnaftalizado, desalquitranado, entre otros. Estos subprocesos son parte de subplantas que pertenecen a una planta general de subproductos. Existen 5 subplantas de subproductos: [3]

- Planta de Sulfato de Amonio.
- Planta de Gas Sulfhídrico.
- Planta de Acido Sulfúrico.
- Planta Desnaftalizadora.
- Planta de Alquitrán.

2.7.1 Planta de Sulfato de Amonio. La obtención del sulfato de amonio comienza en el saturador que recibe el gas desalquitranado de los precipitadores electroestáticos.

El saturador es un tanque cónico cerrado de unos 3 metros de altura y 2 m de diámetro, esta hecho de acero inoxidable. Dentro del saturador se encuentran ocho tubos verticales para la distribución del gas, estos tubos crean corrientes de gas que burbujean al ascender en una solución ácida saturada de sulfato de amonio, llamada aguas madres, esta solución es almacenada en un tanque cilíndrico abierto que tiene el mismo nombre, las aguas madres contienen entre 4 y 8% de ácido sulfúrico concentrado, dependiendo de la producción de gas de coque. [2]

El saturador posee una pareja de bombas centrífugas (una en servicio y la otra de reserva) que recirculan las aguas madres en el interior del saturador, además, este tanque tiene una purga que separa los residuos de alquitrán provenientes del gas, estos residuos son llevados a un tanque separador de espumas, que rescata del alquitrán porciones de aguas madres y las regresa al tanque. En la *figura 11* se puede apreciar una parte de la Planta de Sulfato.

A medida que la reacción se lleva a cabo se precipitan pequeños cristales de sulfato; estos se depositan en el fondo cónico del tanque, donde son extraídos por una pareja de bombas centrífugas (una en servicio y la otra en reserva) llamadas bombas de extracción de sales, estas bombas llevan la solución hacia un cono separador donde se extraen los cristales de sal suspendida de la solución por decantación.

Figura 11. Planta de Sulfato de Amonio.

La solución liquida es devuelta por gravedad al saturador. Por otra parte, las sales decantadas son bajadas hacia una secadora centrífuga, que comprende un rotor de acero revestido en plomo sobre el cual está montado un canasto cilíndrico de cerca de 1 metro de diámetro, de cobre, metal monel o cualquier otra aleación resistente a la corrosión. Este conjunto se mueve por medio de un motor eléctrico.

El liquido restante en la sal se extrae por acción de la fuerza centrífuga pasando por los agujeros del canasto para volver de nuevo al tanque de aguas madres donde se le agrega ácido sulfúrico a razón de 5% desde un tanque elevado de ácido concentrado. El transporte de las aguas madres desde el tanque al saturador es realizado por una pareja de bombas centrífugas de igual nombre (una en servicio y otra en reserva) que continua el ciclo cerrado dentro del proceso.

Después de la secadora centrífuga, el sulfato de amonio es llevado por medio de dos transportadoras de banda a un secador rotatorio que seca un 0.15% de humedad restante, dentro de estas secadoras es inyectado aire caliente proveniente de un horno calentado con gas rico de coque, este secador es soplado por un ciclón que separa los finos y los gruesos de sulfato, los gruesos son el producto final y es almacenado para su pesaje y distribución final, los finos también son distribuidos pero tienen menos uso en la industria que los gruesos.

2.7.2 Planta de gas sulfhídrico. El gas de los hornos de coque después de pasar por el saturador en la Planta de Sulfato de Amonio, circula por el condensador final y los lavadores para llegar al absorbedor. La vista general de la planta se puede observar en la *figura 12.*

Figura 12. Planta de Gas Sulfhídrico.

El absorbedor es un tanque cilíndrico cerrado de unos 12 m de alto con un diámetro de 4 m, funciona como una torre de absorción empacada con rejas de madera, donde se limpia con una solución de carbonato de sodio, la cual es impulsada por una bomba centrífuga que se encuentra en la sala de bombas de esta subplanta, la solución de carbonato entra por medio de rociadores situados en la parte superior de la torre para su contacto con el gas en contracorriente que asciende de la parte inferior de la misma.

De la parte superior de la torre sale el gas purificado o gas rico de coque hacia el gasómetro y luego el subsiguiente consumo. La solución cargada que lava el gas se deposita en la parte inferior del lavador, esta solución contiene gas sulfhídrico H_2S, gas cianhídrico HCN y óxido de carbono CO_2, esta solución se denomina solución sulfurosa y es succionada por una bomba centrífuga que lleva su mismo nombre, la solución pasa después por un intercambiador que le sube la temperatura de 30ºC a 35ºC. La solución sulfurosa entra al activador por su parte superior a través de rociadores fluyendo en contracorriente al vapor de arrastre suministrado por ebullición de la solución depositada en el fondo del activador.

El activador es una torre metálica cilíndrica con rejillas en su parte interior, mide unos 10 m de altura y 2 m de diámetro cerrada, con una presión absoluta de 4 mm de Hg (0.55 kPa). Dentro del activador prevalece el vacío y la solución ebulle aproximadamente a 55ºC, esta temperatura es generada gracias al vapor precalentado de baja presión.

Al pasar la solución sulfurosa por el activador queda substancialmente libre de H_2S, HCN y CO_2, gases que quedan dentro del activador, quedando así una solución activada que se deposita en el fondo del activador, esta solución es succionada por dos bombas; la primera recircula la parte alta de la solución

asentada en el activador, para obtener un ciclo de absorción adecuado; la segunda bomba toma la solución activada del fondo y la lleva a un intercambiador con el fin de bajarle la temperatura de 50ºC a 35ºC, para luego enviarla al absorbedor y continuar con el ciclo.

Los vapores del activador, H_2S, HCN y CO_2 junto con algo de vapor barrido, salen por la parte superior del activador, pasan por un condensador horizontal en donde la mayor porción de agua se condensa y los gases se enfrían. De allí los gases pasan a un tanque de expansión en donde se remueven las ultimas trazas liquidas, para luego pasar a los eyectores en donde el gas sulfhídrico queda al vacío, listo para ser enviado a la Planta de Acido Sulfúrico.

"*Lamentablemente la Planta de Acido Sulfúrico esta fuera de servicio por mantenimiento desde el año 2002, motivo por el cual no se ha incluido en el estudio del proyecto, ya que sus instalaciones al igual que sus procesos serán renovados y la empresa no está en posición de dar información aun del cambio propuesto para esta subplanta."*

2.7.3 Planta desnaftalizadora. El proceso de la Planta Desnaftalizadora empieza en los lavadores de ACPM, dos torres de acero cilíndricas generalmente con platos de madera/acero rellenos con viruta de acero.

El gas de coque entra en la parte inferior y el aceite absorbente con base de ACPM llamado lavador es rociado con pulverizadores colocados en la parte superior. Se usan dos lavadores conectadas en serie, la altura de cada lavador varia entre los 15 y 20 m y tiene un radio de 5 m aproximadamente, estas torres son capaces de remover entre el 87% y 95% del benzol y naftalina presente en el gas.

Estos lavadores recirculan el ACPM destilado en un circuito cerrado manejado por tres bombas de recirculación a lavadores, (dos en servicio y una de reserva), cada 5 días es agregado ACPM fresco comercial a los lavadores, para aliviar las pérdidas por temperatura de aceite.

Los lavadores tienen purgas en su parte inferior que alivian el contenido interno del ACPM + naftalina + agua industrial que se decanta en su interior, estas purgas llevan por gravedad la mezcla hacia un tanque que separa la mezcla, gracias al poder de inmiscibilidad de los aceites y conducen el ACPM + naftalina hacia un tanque donde se mezcla con residuos de benzol de los cristalizadores, esta mezcla es conducida por otro par de bombas hacia unos tanques de almacenamiento. Esta mezcla almacenada en los tanques llamada ACPM sucio es llevada hacia la caldera, donde es destilado el ACPM para ser de nuevo utilizado en los rociadores de los lavadores. Los vapores de la destilación suben a la columna de fraccionamiento y se condensan en un intercambiador de agua industrial, luego son separados del agua industrial restante de la destilación en un

separador que divide el benzol en dos fracciones distintas, estas fracciones bajan por gravedad a los cristalizadores, que son tanques abiertos de acero, de unos 90 cm de profundidad, con un fondo inclinado, con capacidades hasta de 12 ton de aceite. Después de la cristalización se abre la válvula de purga situada en la base del cristalizador, con el fin de evacuar el aceite no cristalizado. La cristalización de la naftalina dura de 2 a 4 días, dependiendo de la temperatura del sitio del cristalizador. La vista general de la planta se muestra en la *figura 13.*

Figura 13. Planta Desnaftalizadora.

El aceite drenado de los cristalizadores es almacenado en los tanques verticales y mezclado con el ACPM sucio para ser destilados posteriormente. Los cristalizadores tienen un fondo inclinado y removible, por medio de unos malacates que llevan la naftalina seca (en forma de polvillo) a un tornillo sin fin, que facilita su almacenaje.

En la Planta Desnaftalizadora existe también, un sistema de limpieza de los refrigerantes utilizados en el agua amoniacal, esta limpieza se realiza utilizando una mezcla de aceite pesado proveniente de la destilación y aceite antrasenico de la Planta de Alquitrán que se transporta por medio de una bomba perteneciente a la Planta Desnaftalizadora.

2.7.4 Planta de Alquitrán. Al igual que el agua amoniacal, el alquitrán es almacenado en un tanque de reserva con una capacidad de 1000 m³, este tanque proporciona abastecimiento de alquitrán no solo a la Planta de Coque, sino a toda la empresa. El alquitrán producido por la destilación del carbón es líquido, su color varía de carmelito a negro, ligeramente viscoso a temperatura ambiente. [2]

La composición del alquitrán depende de la temperatura de destilación, así como del tipo de carbón utilizado para el proceso. El alquitrán se puede dividir en dos grupos, el primero se forma sin duda de hidrocarburos complejos de alto peso molecular y los segundos son ocluidos por el gas a la salida de los hornos.

El proceso de deshidratación del alquitrán comienza en un conjunto de tanques cilíndricos, con una compuerta en su tapa superior para supervisaje, en donde se almacena el alquitrán pesado o sucio que se va a destilar, de estos tanques es posible despachar alquitrán pesado para todas las plantas distintas a la de coque en Acerías Paz del Río, como: Acería, Laminación, etc.

Un grupo de bombas de pistones a vapor se encarga de llevar el alquitrán pesado hacia la caldera de destilación, allí también llega aceite antrasenico sucio, proveniente de la limpieza de los refrigerantes en la Planta Desnaftalizadora, así como aceite antrasenico limpio de la columna de fragmentación. Una vista general de la Planta de Alquitrán se aprecia en la *figura 14.*

Figura 14. Planta de Alquitrán.

El alquitrán entra a una caldera cilíndrica de 20 m³ de capacidad y calentada por gas rico de coque. Dentro de la caldera el alquitrán se calienta paulatinamente con el fin de obtener las diferentes fracciones que en forma escalonada se van separando en la columna de fragmentación de acuerdo con la temperatura obtenida en ella. El alquitrán calentado en la caldera deja además un residuo en el fondo de ella llamado brea.

En la columna de destilación, los vapores se condensan y pasan a los tanques de fracciones intermedias en donde es separado el aceite naftalinoso del alquitrán limpio, además se obtiene una pequeña cantidad de agua que va a parar al foso de purgas. El aceite naftalinoso, la brea y el alquitrán son almacenados en tanques para su posterior distribución, la brea es almacena en el patio de consumo.

Los diagramas de flujo que describen los procesos utilizados en la recuperación de subproductos de la Planta de Coque son mostrados en el ANEXO D.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. Planta de Coque, Regulador de calentamiento-Equipo y operaciones. Belencito 1996.

[2] BARRERA E., Juan David. Manual de operaciones planta de subproductos. Belencito: Acerías Paz del Río, Departamento de Coquería, agosto de 1990.

[3] JIMÉNEZ ARRIETA, José Domingo. Instructivos y operaciones generales de la Planta de Coque. Belencito: Acerías Paz del Río, 1985.

3. BASE DE DATOS DE LA PLANTA DE COQUE

Para implementar cualquier estrategia de mantenimiento en un proceso es necesario conocer las variables que lo conforman, así como el número de equipos que en el operan, los niveles de producción, modos operativos, instalaciones, materias primas, productos finales, etc. Por lo antes expuesto los autores diseñaron una base de datos que permita iniciar una estrategia de mantenimiento.

En este capitulo se muestra el listado completo de equipos que operan en la Planta, los códigos de clasificación utilizados y como fue realizada la base de datos para la Planta de Coque.

3.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Para implementar cualquier estrategia de mantenimiento en un proceso es necesario conocer las variables principales que lo conforman, como el número de equipos que en él operan, los niveles de producción, modos operativos, instalaciones, materias primas, productos finales, etc. La mayoría de metodologías o sistemas de mantenimiento exigen una base detallada de los sistemas, instalaciones o equipos para comenzar a desarrollarse.

La Confiabilidad Operacional involucra una serie de procesos de mejoramiento continuo, que utilizan herramientas de diagnóstico, análisis y nuevas tecnologías. En este tipo de metodologías, conocer cuantos equipos se están evaluando en un sistema es necesario, y sin una lista detallada de estos, se hace imposible optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de los procesos, objetivo primordial de cualquier tipo de estrategia de mantenimiento.

Desde la puesta en marcha de la Planta de Coque en 1954, la empresa Acerías Paz del Río S.A. adoptó políticas de mantenimiento correctivo y planes documentados de reposiciones de equipos, sistemas e instalaciones, que mantuvieron una base de datos completa con sistemas de codificación en general óptimos para la época.

Desde 1989, debido a una crisis económica que sufrió la empresa, esta base de datos se vio afectada por el recorte de personal y la falta de inversión, dejando de documentar cambios importantes en los sistemas, instalaciones y equipos. Hasta la fecha, la base de datos de la Planta de Coque esta desactualizada, se encuentra en carpetas escritas archivadas, que no permiten establecer con certeza los cambios que se han hecho en las instalaciones, equipos y sistemas hasta el día de hoy, esto no permite priorizar las políticas de inversión, tareas de mantenimiento y demás estrategias que le permiten a un sistema mejorar la rentabilidad de los procesos productivos.

3.2 LISTADO DE EQUIPOS

La Planta de Coque, opera actualmente con 280 equipos aproximadamente, distribuidos en 10 subplantas así:

- Servicios Generales.
- Manejo de Carbón.
- Batería de Coque.
- Manejo de Coque.
- Decantación, Condensación y Extractores.
- Planta de Sulfato de Amonio.
- Planta de Gas Sulfhídrico.
- Planta de Acido Sulfúrico (Fuera de servicio).
- Planta Desnaftalizadora.
- Planta de Alquitrán.

A continuación se muestra en la *tabla 4* el listado completo de equipos que opera actualmente en la Planta de Coque por cada subplanta, el listado fue realizado con base en diagramas de flujo y recorridos de mantenimiento realizados en la Planta.

Tabla 4. Listado de equipos que operan en la Planta de Coque.

SERVICIOS GENERALES	
Redes y circuitos de agua potable	Circuito de agua industrial
Instalaciones de planta	Circuito de agua amoniacal
Circuito de vapor	Circuito de aire comprimido
Circuito de gas de coque	Bombas de aguas calientes
MANEJO DE CARBÓN	
CIRCUITO NÚMERO 1	CIRCUITO NÚMERO 2
Vibrador de góndolas	Dosómetro Nº 1, 2, 3, 4
Tolva descargue de góndolas	Motobomba ACPM
Distribuidor oscilante Nº 1 y Nº 2	Tablero fuerza y control
Bomba de drenaje sótano	Transportador 13A
Transportador 5A, 7A	Canal by pass selector de Cribas
Transportador de cinta B1, B2, B3	Criba Nº 1
Tolva recuperación patios sótano	Criba Nº 2
Transportador B4, B5, B6, B7, B8	Molino de martillos Nº 1 y Nº 2
Tolva by pass del B8	Transportador de cinta 19A
Criba B10	Transportador de cinta 21A
Molino de rodillos	Transportador de cinta 22A
Transportador 10A	Giro transportador 22A
Canal giratorio sobre silos	Skip recuperación carbón niveladora
Silos S1, S2, S3 Y S4	Tolva carbón
BATERÍA DE COQUE	
Conjuntos batería de 57 hornos	Máquina guía Nº 1 y Nº 2
Máquina cargadora Nº 1 y Nº 2	Vagón de apagado y tractor eléctrico
Máquina deshornadora	Chimenea y ventiladores
MANEJO DE COQUE	
Rampa y compuertas para coque	Transportador de cinta 10C

Tabla 4. Listado de equipos que operan en la Planta de Coque. (Continuación).

Transportador de cinta 2C	Malacate tracción de vagones
Criba Nº 3	Tolva descargue coque sobre 15C
Criba vibratoria sencilla Nº 3	Bomba drenaje sótano coque
Tolva by pass para finos coque	Tolva y canal para coque
Molino de rodillos	Malacates manuales para mallas
Transportador de cinta 7C	Separador magnético
Criba doble APPAREILS	Bombas estación de apagado Nº 1 y Nº 2
Tolva by pass para finos coque	Válvula estación de apagado
DECANTACIÓN, CONDENSACIÓN Y EXTRACTORES	
Colectores batería Nº 1 y Nº 2	Bomba movimiento de alquitrán Nº 1 y Nº 2
Down commer (cono separador)	Tanque de 1000 m³ alquitrán
Condensador primario Nº 1	Tanque de 1000 m³ agua amoniacal
Condensador primario Nº 2	Gasómetro
Turboextractor de gas Nº 1	Precipitador electrostático de aceite a batería
Turboextractor de gas Nº 3	Turbocompresor de gas Nº 1
Precipitador electrostático Nº 1	Turbocompresor de gas Nº 2
Precipitador electrostático Nº 2	Compresor Betico
Tanque de purgas	Regulador Askania
Bomba tanque de purgas	Red de aire del TMG
Decantador mixto Nº 1 y Nº 2	Cheques y válvulas a bombas y compresores
Tanque de recirculación de A.A.	Monorriel sala de extractores
Filtros de A.A. entrada a bombas	Bomba lavado de extractores
Bomba A.A. al colector 1, 2, 3, 4, 5	Condensador final
Bomba de A.A. al colector de reserva	Bomba foso naftalina Nº 1, 2, 4
Filtros de A.A. entrada a colector	Tanque de refrigerante atmosférico
Bomba a condensadores primarios	Ventilador de refrigerante atmosférico
Refrigerantes A.A. de trombón Nº 1 y Nº 2	Bomba refrigerante atmosférico Nº 1 y Nº 2
Refrigerantes A.A. de espiral Nº 1,2,3,4	Bomba alcantarilla a mixtos
Tanque decantador de alquitrán	Bomba alcantarilla chimenea batería
PLANTA DE SULFATO DE AMONIO	
Tuberías y válvulas de gas	Transportador de banda de sulfato
Tanque saturador	Dosificador de sulfato de amonio
Bombas recirculación saturador Nº 1 y Nº 2	Horno secador
Tuberías y válvulas de recirculación de sal	Ventilador del horno
Tanque de espumas	Quemador y línea de gas
Tanque de aguas madres	Secador rotatorio
Bomba tanque de aguas madres Nº 1 y Nº 2	Ciclón
Tanque elevado de ácido	Tolva evacuación de gruesos de sulfato
Bomba extracción de sales Nº 1 y Nº 2	Tolva evacuación sulfato final
Tanque cónico de recepción de sales	Báscula
Centrífuga secadora Nº 1 y Nº 2	Válvulas para vapor de sulfato
PLANTA DE GAS SULFHÍDRICO	
Absorbedor	Tanque de expansión
Bomba de solución sulfurosa	Bomba de condensados Nº 1 y 2
Bomba solución sulfurosa/activada	Tanque adición de solución de carbonato
Bomba solución activada	Condensador eyector Nº 1 y 2
Activador	Tanque de condensados
Bomba de recirculación activador Nº 1 y 2	Bomba de solución entre soluciones Nº 1
Condensador horizontal	Intercambiador entre soluciones Nº 2

Tabla 4. Listado de equipos que operan en la Planta de Coque. (Continuación).

PLANTA DESNAFTALIZADORA	
Lavador Nº 1 y Nº 2	Tornillo sin fin
Bomba recirculación a lavadores Nº 1, 2, 3, 4	Tanque Nº 32
Bomba adición ACPM a lavadores Nº 1, 2, 3	Tanque Nº 2, 3, 5 (benzol)
Foso de purgas	Foso de enfriamiento ACPM destilado
Bomba Agua Ind. de foso purgas a tanque 26	Bomba ACPM destilado foso enfriamiento
Bomba ACPM sucio foso purgas	Tanque 26 (ACPM destilado)
Tanque 33A (ACPM y agua)	Tanque 28 (ACPM destilado)
Bomba ACPM de T. 33A/32 a T. verticales	Tanque 27 (aceite antrasenico)
Bomba ACPM de tanque verticales a caldera	Bomba limpieza de refrigerantes
Caldera	Tanque 30 (ACPM puro)
Cristalizador de naftalina Nº 1, 2, 3	Bomba ACPM puro de tanque 30 al 28
Malacate para naftalina	Tanque Nº 1 y Nº 4 (ACPM)
PLANTA DE ALQUITRÁN	
Tanques recibo alquitrán bruto Nº 2 y Nº 3	Caldera de destilación
Tanque alquitrán base Nº 4 y Nº 5	Columna de destilación
Tanque aceite pesado Nº 6	Condensador columna de deshidratación
Tanque aceite	Tanque de ensayo E1, E2, E3
Tanques alquitrán bruto laminación Nº 8,9,10	Cristalizador columna deshidratadora
Tanque alquitrán + benzol para botadero	Chimenea y conductos
Tanque aceite antrasenico 15	Patio y conductos
Bomba vapor despacho de alquitrán bruto	Patio de brea granulado
Bomba para aceite pesado y antrasenico	Foso de purgas

3.3 CÓDIGOS DE CLASIFICACIÓN DE LA PLANTA DE COQUE

La Planta de Coque en Acerías Paz del Río S.A. al igual que las demás plantas de la empresa posee tres códigos generales:

3.3.1 Código de fabricante o de planos. El código esta compuesto por una letra: **B para la Planta de Coque,** C para Acería, D para Sinter. Este código clasifica la planta en 10 subplantas:

B1. Servicios Generales.
B2. Manejo de Carbón.
B3. Batería de 57 hornos.
B4. Manejo de Coque.
B5. Decantación, Condensación y Extractores.
B6. Planta de Sulfato de Amonio.
B7. Planta de Gas Sulfhídrico.
B8. Planta de Acido Sulfúrico. (Fuera de servicio).
B9. Planta Desnaftalizadora.
B10. Planta de Alquitrán.

Cada letra esta acompañada de un número que expresa la subplanta dentro de la planta principal. Esta codificación esta acompañada de un número de dos cifras que enumera los planos de cada subplanta, así: "*B6-41/16 impulsor bomba*

extracción de sales". En este caso, el código **B** expresa que pertenece a la Planta de Coque, **6** a la Planta de Sulfato de Amonio, el número del plano de la bomba es el 41, el impulsor que es una parte de la bomba se expresa con el número 16.

Además de esta clasificación, los planos en conjunto son enumerados por un código que utilizó el fabricante de la máquina o equipo cuando se construyó la planta, se pueden encontrar aun códigos:

- *DISTICOQUE* Empresa Francesa que construyó la batería Nº 1, ya que de esta batería aun se conserva la máquina deshornadora, máquina guía Nº 1, etc.

- *WODDALL-DUCKMAN* Empresa Norteamericana que construyó la batería Nº 2 y parte de la planta de subproductos.

Los planos que se encuentran actualmente archivados en la oficina de mantenimiento mecánico son listados en la *tabla 5.*

Tabla 5. Planos existentes oficina de mantenimiento mecánico coquería.

CONJUNTOS GENERALES			
---	Circuito de agua	B1-55	Gasómetro
---	Redes de vapor	B1-71	Circuito vapor de aire a presión
B1-53	Precipitador alquitrán	B1-95	Válvulas de la sala
MANEJO DE CARBÓN			
B2-34	Silos de mezcla	B2-81	Compuertas deslizantes
B2-43	Distribuidores vibratorios	B2-82	Ascensor
B2-45	Cabrestante de vagón	B2-83	Skip de carbón
B2-47	Antiguo vibrador B4 suprimido	B2-90	Reductor raekon
B2-52	Triturador carbón	B2-92	Transportador 7A
B2-59	Criba para carbón	B2-93	Transportador 10A
B2-62	Dosómetros	B2-95	Transportador 13A
B2-63	Adición de aceite al carbón	B2-96	Transportador 19A
B2-72	Criba de carbón	B2-97	Transportador 21A
B2-73	Molino de martillos	B2-98	Transportador 22A
BATERÍA			
B3-10	Conjuntos generales	B3-57	Compresor deshornadora
B3-22	Armario basculador puertas	B3-61	Estructura guía
B3-24	Pantógrafos	B3-62	Translación
B3-32	Estructuras metálicas	B3-63	Quita puertas
B3-33	Tubos asc y cabezas de caballo	B3-64	Gira puertas
B3-34	Colectores gas y tubo auxiliar	B3-65	Ascensor
B3-35	Puertas y marco hornos	B3-67	Mecanismo guía Nº 1
B3-37	Herramientas de los hornos	B3-68	Corredor guía Nº 1
B3-41	Estructura cargadora Nº 1	B3-71	Estructura vagón
B3-42	Traslación cargadora	B3-72	Translación vagón de apagado Nº 1
B3-43	Compuertas tolva cargadora Nº 1	B3-73	Mecanismo compuerta vagón Nº 1
B3-45	Vibradores cargadora Nº 1	B3-74	Laminas de desgaste vagón Nº 1
B3-46	Equipo eléctrico cargadora Nº 1	B3-75	Circuito aire vagón apagado
B3-51	Estructura deshornadora	B3-77	Compresor

Tabla 5. Planos existentes oficina de mantenimiento mecánico coquería. (Continuación).

B3-52	Translación deshornadora	B3-79	Vagón de apagado shanper
B3-53	Quita puertas deshornadora	B3-81	Basculador puertas
B3-54	Mecanismo nivelador	B3-86	Cabrestante de inversión
B3-55	Mecanismo empujador	B3-87	Mecanismo inversión
B3-56	Equipo eléctrico deshornadora	B3-88	Válvulas de gas y aire
MANEJO DE COQUE			
B4-42	Tubería y válvulas de pulverizado	B4-81	Transportador 2C
B4-44	Torre y chimenea	B4-82	Transportador 7C
B4-71	Criba para coque	B4-83	Transportador 10C
B4-71	Criba doble de coque	B4-84	Transportador 15C
B4-72	Triturador de coque	B4-85	Transportador 41C
DECANTACIÓN, CONDENSACIÓN Y EXTRACTORES			
B5 42	Bomba A.A. colector-Rateau	B5-54	Válvulas
---	Bomba diesel colector	B5-81	Condensador primario
B5 45	Bomba refrigerante atmosférico	B5-82	Condensador final
B5 46	Bomba despacho alquitrán	B5-83	Decantadores primarios (mixtos)
B5 48	Bomba deposito de alquitrán	B5-93	Turboextractores y compresores
PLANTA SULFATO DE AMONIO			
B6 41	Bomba recirculación al saturador	B6-73	Tanque aguas madres
B6-42	Planta aguas madres	B6-74	Tanque almacenamiento acido
B6 43	Bomba sulfato solución al cono	B6-75	Recalentador aguas madres
B6-47	Ventilador del horno	B6-83	Transportador de sulfato
B6-53	Tuberías de cobre	B6-84	Mecanismo alimentador secador
B6-54	Tuberías agua amoniacales	B6-85	Secador rotatorio
B6-72	Tanque espumas	B6-95	Agitador tanque preparación
PLANTA DE GAS SULFHÍDRICO			
B7 41	Bomba solución carbonato	B7-45	Eyectores de vapor
B7 42	Bomba recirculación al activador	B7-72	Activador
B7 43	Bomba condensados	B7-84	Condensador de vapor
B7 44	Bomba lavador H2S (fuera servicio)	B7-87	Refrigerante atmosférico
B7 41	Bomba solución carbonato	B7-88	Intercambiador espiral A.A.
PLANTA DESNAFTALIZADORA			
B9-41	Bomba recirculación a lavadores	B9-45	Bomba reflujo de benzol
B9-42	Bomba recuperación acpm	B9-51	Tuberías y válvulas naftalina
B9-43	Bomba aceite a la caldera	B9-74	Tanque columna rectificación
B9-44	Bomba reflujo de benzol	B9-93	Columna rectificación continua
PLANTA DE ALQUITRÁN			
B1041	Bomba serpentín calentador	B10-65	Termómetros de mercurio
B10-42	Bomba deshidratación	B10-71	Tanques de ensayo
B10-43	Bomba movimiento alquitrán	B10-73	Tanque de brea
B10-46	Compresores burton	B10-83	Torre de destilación
PLANOS BATERÍA Nº 2			
---	Modificaciones tolva cargadora	---	Batería de hornos coque
---	Informes batería nueva	---	Compuertas chimenea
---	Precipitador alquitrán	---	Máquina cargadora Nº 2
---	Colectores (vertical aspiración)	---	Translación cargadora
---	Puerta de los hornos	---	Turboextractores
---	Puerta y marcos de la batería	---	Plano general transportadores

3.3.2 Clasificación de materiales y repuestos usados en operación de plantas y minas. Esta clasificación es la más importante dentro de toda la empresa, maneja todas las plantas en función de los repuestos y materiales empleados dentro del conjunto del proceso siderúrgico. Una parte del listado se muestra en la *tabla 6.* [1]

Tabla 6. Catálogo de materiales Acerías Paz del Río S.A.

CLASE	NOMBRE DE LA CLASE
00	Reservada
01	Equipo, materiales y repuestos usados en la operación de minas.
02	Equipo, accesorios, materiales y repuestos usados por geología.
03	Equipo especial para transporte en las minas, locomotoras, línea de trole, equipo férreo a tracción.
04	Planta de Coque, maquinaria, equipo y repuestos por secuencia de grupos según catálogo de ingeniería.
05	Planta de Fuerza, maquinaria, equipo y repuestos por secuencia de grupos.
06	Alto Horno, maquinaria, equipo, repuestos por secuencia de grupos según catálogo de ingeniería.
07	Planta de acero, maquinaria, equipo y repuestos.
08	Planta de Laminación, equipo y repuestos por secuencia de grupos según catálogo de ingeniería.
09	Reservada
10	Laminador desbastador 1100, Tren reversible STECKEL 1425 y Línea de corte.
11	Puentes grúa, pórticos, semi-productos,

Fuente: ACPR. 1992

De acuerdo con la lista anterior la clase 04 hace referencia a todos los equipos de la Planta de Coque, esta clase expresa el tipo de material del repuesto o equipo, así como su número de plano y existencia. En la *tabla 7* se puede apreciar una muestra de la clase 04 del mecanismo de traslación de la máquina deshornadora.

Tabla 7. Parte de la clase 04: Planta de Coque.

04126000	MECANISMO TRASLACIÓN MÁQUINA DESHORNADORA
04126084	COLLAR P/REDUCTOR
04126108	20 CUÑA TALÓN ACERO PL. B3-52/85
04126114	CUÑA P/REDUCTOR
04126154	17 EJE ACERO PL. B3-52/86
04126156	18 EJE ACERO PL. B3-52/87
04126163	EJE-PIÑÓN. PL. B3-52/83.
04126165	EJE D/RUEDA PL. B3-52/88.
04126168	EJE P/REDUCTOR PL. B3-52/105.

Fuente: ACPR. 1992

3.3.3 Código de clasificación interno de Acerias Paz del Río S.A. Este código es una enumeración interna similar a la clasificación **B**, que expresa la lista completa de instalaciones y equipos de toda la empresa. En la Planta de Coque, este código empieza en **12** y clasifica la planta en 10 subplantas, en el orden del proceso, similar al código **B**.

- 120100 Servicios Generales.
- 120200 Manejo de Carbón.
- 120300 Batería de 57 hornos.
- 120400 Manejo de Coque.
- 120500 Decantación, Condensación y Extractores.
- 120600 Planta de Sulfato de Amonio
- 120700 Planta de Gas Sulfhídrico.
- 120800 Planta de Acido Sulfúrico.
- 120900 Planta Desnaftalizadora.
- 121000 Planta de Alquitrán.

Este código pertenece a la antigua clasificación de Acerías Paz del Río S.A. y aunque no es tan utilizado como los dos anteriores, hace parte de la única clasificación interna que ha hecho la empresa.

Actualmente, la Planta de Coque pretende utilizar este código como base de datos del programa de mantenimiento a implementar en los próximos años, es por esto, que se presenta en este proyecto la actualización de este código hasta Enero de 2006.

3.4 FORMATO PARA LA BASE DE DATOS DE LA PLANTA DE COQUE

Los pasos realizado por los autores en la elaboración de la base de datos fueron:

- **Reconocimiento de la Planta.** En este paso se realizaron inspecciones para conocer el funcionamiento de cada una de las 9 subplantas y de los equipos que en ellas operan y tener una idea clara del funcionamiento general de la Planta.

- **Elaboración del listado de equipos.** Se realizo un listado actualizado de los equipos que funcionan en cada una de las plantas.

- **Recolección de datos.** Para cada uno de los equipos de la Planta los autores reunieron los códigos existentes en los archivos de la empresa y el desglose de partes de cada equipo y repuestos.

- **Creación de la base de datos**. Por ultimo se diseño una base de datos que permitiera relacionar toda la información recolectada anteriormente y que permitiera al personal de la Planta tener un fácil y rápido acceso con el fin de agilizar las tareas cotidianas de mantenimiento.

El formato hecho para la creación de la base de datos de la Planta de Coque en la empresa Acerías Paz del Río S.A. es una unión de los tres códigos existentes de la planta (código de planos, código de materiales, código interno de la empresa), combinada con diagramas de flujo que describen los procesos de las 9 subplantas

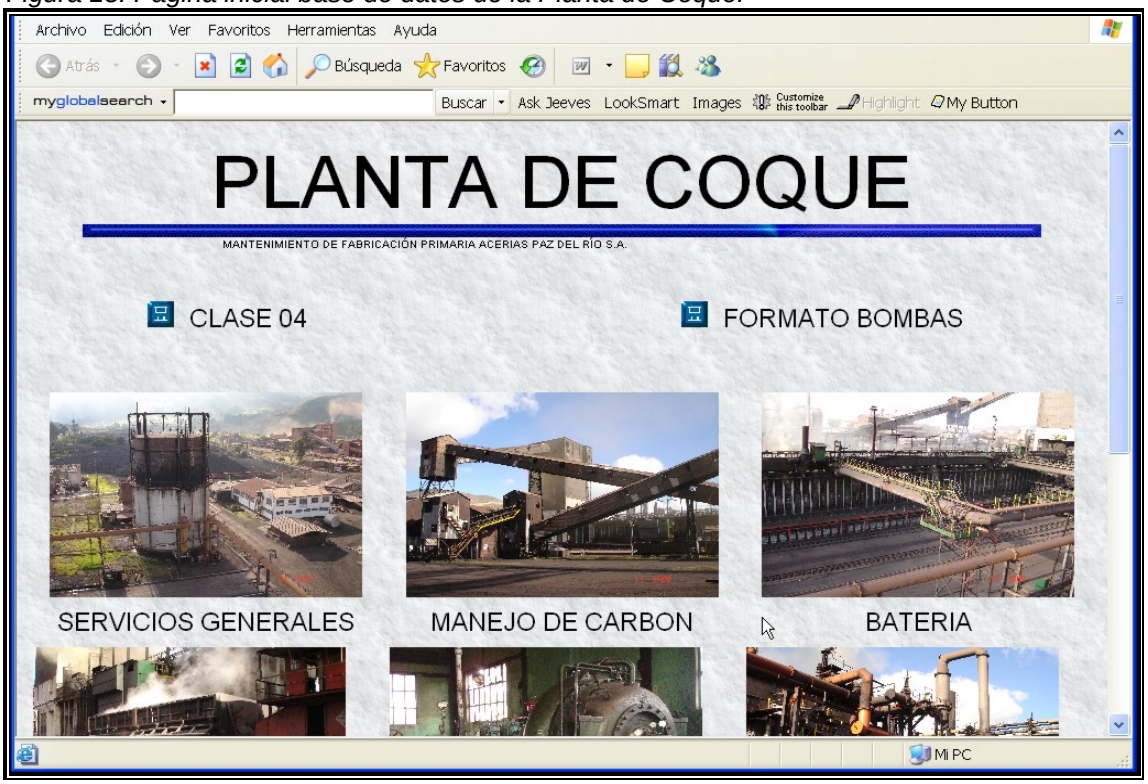
(que funcionan actualmente) y un desglose de las partes principales de los equipos que operan actualmente dentro de la empresa.

Además los autores incluyeron un formato especial para cada una de las bombas de toda la planta, donde se hace énfasis en las características principales de estas. Toda esta información, está relacionada por medio de hipervínculos que facilitan al usuario navegar por la base de datos, además, los formatos se diseñaron de tal forma, que sea posible la actualización de datos sin que se afecte la estructura del sistema. Toda la base de datos fue hecha por los autores en la plataforma de STAROFFICE (TM) 7 único programa de Office autorizado para la empresa, utilizando la herramienta de piloto automático para la creación de páginas Web.

3.5 RESULTADOS DEL ESTUDIO

La página principal de la base de datos, la cual se muestra en la *figura 15,* es una presentación de imágenes características tomadas de las 9 subplantas, cada imagen posee un hipervínculo para conectar la subplanta deseada.

Figura 15. Página inicial base de datos de la Planta de Coque.



Además, en esta página se encuentran los siguientes links:

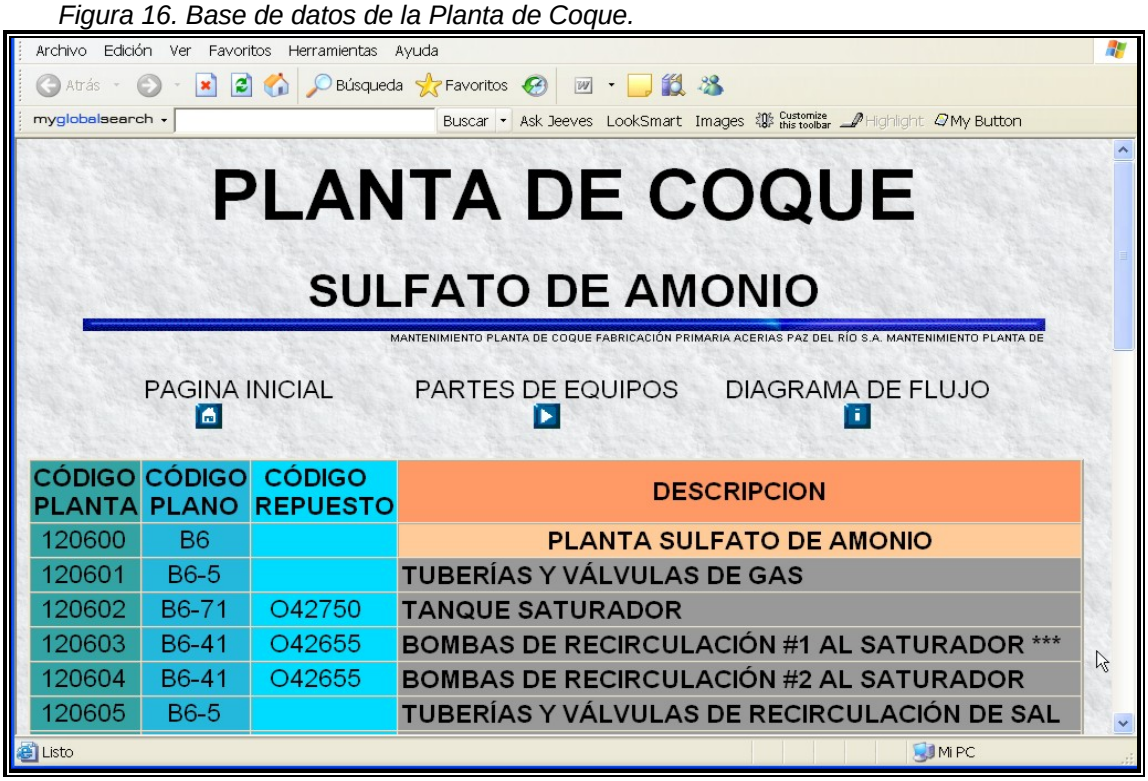
- Listados de repuestos de la clase 04 más utilizados en la Planta de Coque.

- Características principales de las bombas de la Planta.
- Diagramas de flujo de cada proceso.

La base de datos, fue revisada y aprobada por ingenieros de mantenimiento, producción, directivas de la planta y personal de mantenimiento mecánico de la Planta de Coque.

La *figura 16*, muestra una captura hecha a la portada de la Planta de Sulfato de Amonio, donde se puede apreciar la relación de los tres códigos nombrados anteriormente para cada equipo, así como los links hacia los diagramas de flujo, partes de equipos y página inicial.

Figura 16. Base de datos de la Planta de Coque.



CÓDIGO PLANTA	CÓDIGO PLANO	CÓDIGO REPUESTO	DESCRIPCION
120600	B6		PLANTA SULFATO DE AMONIO
120601	B6-5		TUBERÍAS Y VÁLVULAS DE GAS
120602	B6-71	O42750	TANQUE SATURADOR
120603	B6-41	O42655	BOMBAS DE RECIRCULACIÓN #1 AL SATURADOR ***
120604	B6-41	O42655	BOMBAS DE RECIRCULACIÓN #2 AL SATURADOR
120605	B6-5		TUBERÍAS Y VÁLVULAS DE RECIRCULACIÓN DE SAL

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

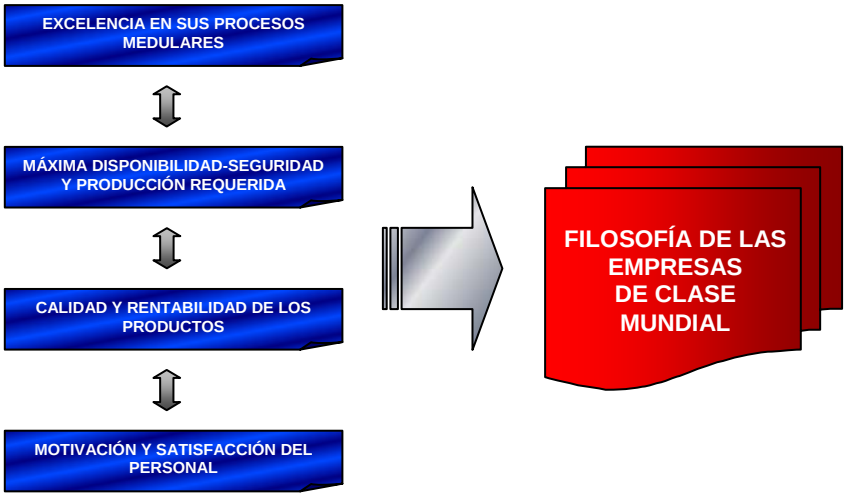
[1] ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. Catálogo de materiales. Clasificación de materiales y repuestos usados en operación de plantas, minas y fabricación de cemento. Belencito Marzo de 2000.

4. CONFIABILIDAD OPERACIONAL

El sistema de mantenimiento diseñado para la Planta de Coque, esta basado en dos de las herramientas del Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional, el análisis de criticidad (CA) y el análisis de modos y efectos de falla (FMEA) no obstante, en este capitulo se hace una breve descripción de todas las herramientas utilizadas por el Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional metodología del RCM[2] para que el lector se familiarice con el tema.

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejoramiento continuo, que involucran en forma sistémica, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control, de la Productividad Industrial. Con la finalidad de mejorar la rentabilidad de los procesos productivos, cada día se dedican enormes esfuerzos destinados a visualizar, identificar, analizar, implantar y ejecutar actividades para la solución de problemas y toma de decisiones efectivas y acertadas, que involucren un alto impacto en las áreas de seguridad, ambiente, metas de producción, calidad de productos, costos de operación y mantenimiento, así como garantizar una buena imagen de la empresa y la satisfacción de sus clientes y del personal que en ella labora. En resumen, lo antes expuesto se puede considerar como el objetivo fundamental que persigue la filosofía de las empresas de Clase Mundial, donde se focaliza el esfuerzo en cuatro grandes aspectos, como se muestra en la *figura 17*. [1]

Figura 17. Cuatro grandes aspectos de una empresa de clase mundial.



Fuente: EMBC[3], Cúcuta, 2004.

[2] RCM, Maintenance Centre Reliability, *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*.
[3] Estrategias de Mantenimiento Basadas en Confiabilidad. Ver referencia bibliografica 2 del capitulo.

- **Excelencia en sus procesos medulares.** Se parte del principio de que el esfuerzo por alcanzar y mantener un nivel de excelencia debe concentrarse en los procesos medulares de la empresa, es decir, en su razón de ser.

- **Máxima disponibilidad – Máxima seguridad y producción requerida.** La meta del negocio debe centrarse en obtener el nivel de disponibilidad, que satisfaga y oriente las actividades hacia los niveles de producción que realmente son requeridos, con elevados estándares de seguridad.

- **Calidad y rentabilidad de los productos.** Los productos que se generan deben ser de la más alta calidad, con una estrategia orientada a la mejor relación costo – beneficio que garantice la máxima rentabilidad.

- **Motivación y satisfacción del personal.** El personal que labora en la empresa debe estar altamente motivado e identificado. Asimismo tanto el personal como los clientes deben estar satisfechos con el nivel de servicio y/o la gestión que se les brinda.

Las empresas que han logrado alcanzar estos cuatro estándares pertenecen al privilegiado grupo de la categoría de Clase Mundial y el aspecto que las identifica es la aplicación de prácticas comunes denominadas las Diez Mejores Prácticas, y que corresponden con: [2]

- Trabajo en equipo.
- Contratistas orientados a la productividad.
- Integración con proveedores de materiales y servicios.
- Apoyo y visión de la gerencia.
- Planificación y programación proactiva.
- Mejoramiento continuo.
- Gestión disciplinada de procura de materiales.
- Integración de sistemas.
- Gerencia de paradas de plantas.
- Producción basada en confiabilidad

La Confiabilidad Operacional se aplica generalmente en los casos relacionados con: [2]

- Elaboración / revisión de los planes de mantenimiento e inspección en equipos estáticos y dinámicos.

- Establecer alcance y frecuencia óptima de paradas de plantas.

- Solución de problemas recurrentes en equipos e instalaciones que afectan los costos y la confiabilidad de las operaciones.

- Determinación de tareas que permitan minimizar riesgos en los procesos, instalaciones, equipos y ambiente.

- Establecer procesamientos operacionales y prácticas de trabajo seguro.

4.1 HERRAMIENTAS DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del componente de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operabilidad, la magnitud del riesgo y las acciones de mitigación y de mantenimiento que requiere el mismo para asegurar al dueño del activo su integridad y continuidad operacional. [2]

El empleo de las herramientas de confiabilidad permite detectar la condición más probable en cuanto al comportamiento de un activo, ello a su vez proporciona un marco referencial para la toma de decisiones que van a direccionar la formulación de planes estratégicos. A continuación se describen algunas de estas herramientas de Confiabilidad Operacional más utilizadas a nivel mundial.

4.1.1 Análisis de Criticidad (CA). El Análisis de Criticidad es una metodología que permite jerarquizar instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. [2]

La información recolectada en este estudio podrá ser utilizada para:

- Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.

- Priorizar proyectos de inversión.

- Diseñar políticas de mantenimiento.

- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.

- Dirigir las políticas de mantenimiento a las áreas o sistemas más críticos.

Los criterios a tomar en cuenta para la elaboración de análisis son los siguientes: seguridad, ambiente, producción, costos (Operaciones y Mantenimiento), frecuencia de fallas y tiempo promedio para reparar.

Los pasos a seguir en el estudio de criticidad de una planta de cualquier naturaleza son: [2]

- Identificación de los sistemas a estudiar.
- Definir el alcance y objetivo para el estudio.
- Selección del personal a entrevistar.

- Informar al personal sobre la importancia del estudio.
- Recolección de datos.
- Verificación y análisis de datos.
- Retroalimentación.
- Implementación de resultados.

A través de los aspectos mencionados, se observa claramente la gran utilidad del Análisis de Criticidad, de allí su importancia. Este análisis permite obtener una jerarquización validada de todos los procesos / sistemas lo cual permite: [2]

- Utilización óptima de los recursos humanos y económicos dirigidos hacia sistemas claves de alto impacto.

- Potencializar adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, basado en la criticidad de sus procesos y sistemas.

- Priorizar la ejecución / detección de oportunidades perdidas y aplicación de otras herramientas de Confiabilidad Operacional.

4.1.2 Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA). Es un proceso sistemático para identificar fallas potenciales de diseño y proceso antes de que estas ocurran, con la intención de eliminar o minimizar los riesgos asociados con ellas. El FMEA documenta las acciones preventivas y la revisión del proceso.

Las cuatro primeras preguntas del RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) ayudan a identificar las fallas funcionales, los modos de falla que probablemente causen cada falla funcional y los efectos de falla asociados con cada modo de falla. Las cuatro preguntas son: [2]

1. ¿Cuales son las funciones que queremos que el equipo haga?
2. ¿De que forma se puede fallar?
3. ¿Qué causa la falla?
4. ¿Que sucede cuando falla?

- **Modo de falla.** Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso). [2]

- **Efecto de falla.** Describe las consecuencias de la ocurrencia de la falla que se está analizando. Esta descripción debe incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de la máquina.[2]

4.1.3 Otras herramientas de la Confiabilidad Operacional. Dentro de las herramientas de Confiabilidad Operacional que no se utilizaron en el proyecto, se encuentran:

▪ **Análisis Causa Raíz (RCA).** Dentro del marco de confiabilidad es la herramienta principal para determinar las causas fundamentales que generan una repetición de falla o en su defecto dentro de un conjunto de fallas, la anomalía de mayor peso en cuanto al impacto operacional, económico y de seguridad y ambiente. Es una herramienta sistemática que se aplica con el objetivo de determinar las causas que originan las fallas, sus impactos y frecuencias de aparición, para luego mitigarlas o suprimirlas totalmente. Se aplica generalmente en problemas puntuales para equipos críticos de un proceso o cuando existe la presencia de fallas repetitivas. [2]

▪ **Inspección Basada en Riesgos (RBI).** Es una metodología que permite determinar la probabilidad de falla de un equipo que transporte y/o almacene fluidos y las consecuencias que estas pudieran generar sobre la gente, el ambiente y los procesos. [2]

▪ **Análisis de Árbol de Falla (FTA).** La técnica del diagrama del árbol de falla es un método que nos permite identificar todas las posibles causas de un modo de falla en un sistema en particular. Además nos proporciona una base para calcular la probabilidad de ocurrencia por cada modo de falla del sistema. Mediante un FTA se observa en forma gráfica la relación lógica entre un modo de falla de un sistema en particular y la causa básica de la falla. [2]

▪ **Optimización costo riesgo.** La optimización costo riesgo es una metodología que permite determinar los costos asociados a la realización de actividades de mantenimiento preventivo y los beneficios esperados por sus ejecuciones, sin dejar de considerar los riesgos involucrados, para identificar la frecuencia óptima de las acciones de mantenimiento con base en el costo total mínimo que se genera. El objetivo de una Optimización Costo Riesgo es determinar la frecuencia óptima de las acciones de mantenimiento preventivo por medio de la realización de un balance de costos / riesgos asociados a estas actividades y los beneficios que generan. [2]

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BECERRA SOLÓRZANO Guillermo. Diseño de un Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el Área de Servicios Industriales de Bavaria S.A. Cervecería de Boyacá. U.P.T.C. Escuela de Ingeniería Electromecánica. Duitama 2005. Capítulo 3.

[2] GARCÍA PALENCIA Oliverio Ing. MSc. Estrategias de Mantenimiento Basadas en Confiabilidad. Primer Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica Villa del Rosario de Cúcuta 2004.

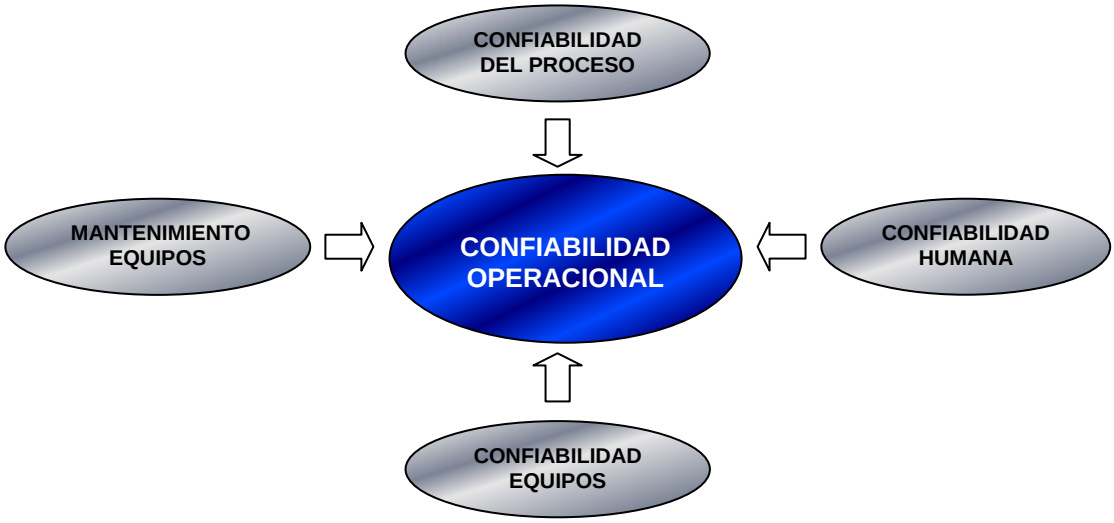
5. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Debido al gran número de equipos que operan en la Planta de Coque, es necesario establecer hacia que equipos se deben dirigir todos los esfuerzos y metodologías de mantenimiento para atender las áreas o subsistemas más críticos. En este capitulo se explica como se realiza un Análisis de Criticidad, las ventajas que se obtienen y como los autores lo aplicaron en la Planta de Coque.

5.1 CONCEPTO PRELIMINAR

5.1.1 Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional. El Análisis de Criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la Confiabilidad Operacional, basado en la realidad actual. El mejoramiento de la Confiabilidad Operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad del proceso, confiabilidad humana, confiabilidad de los equipos y mantenimiento de los equipos como se muestra en la *figura 18.* [1]

Figura 18. Aspectos de la Confiabilidad Operacional.



Fuente: PDVSA E & P Occidente 2002.

Lamentablemente se dispone de recursos limitados, tanto económicos como humanos, para poder mejorar estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa.

¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro? ¿Que criterio se debe utilizar? ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio?, el Análisis de Criticidad da respuesta a estas interrogantes, dado que genera una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado, diferenciando tres zonas de clasificación: alta criticidad, mediana criticidad y baja criticidad.

Una vez identificadas estas zonas, es mucho más fácil diseñar una estrategia, para realizar estudios o proyectos que mejoren la Confiabilidad Operacional, iniciando las aplicaciones en el conjunto de procesos o elementos que formen parte de la zona de alta criticidad.

Los criterios para realizar un Análisis de Criticidad están asociados con: seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación, principalmente. Estos criterios se relacionan con una ecuación matemática, que genera puntuación para cada elemento evaluado. La lista generada, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito maximizando la rentabilidad.

5.1.2 Definición del Análisis de Criticidad. Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones. Para realizar un Análisis de Criticidad se debe: definir un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis. [1]

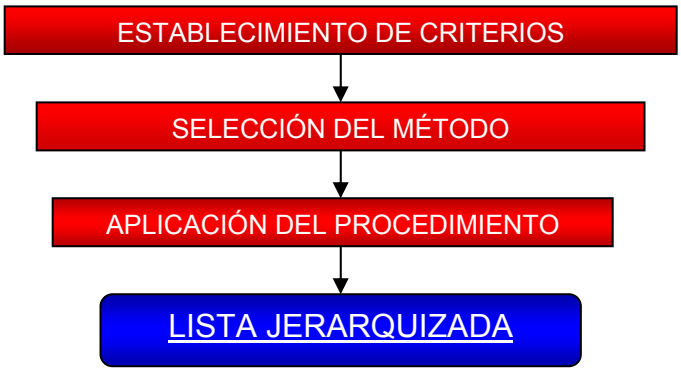
El objetivo de un Análisis de Criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable. La información recolectada en el estudio podrá ser utilizada para: [2]

- Priorizar órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento.
- Priorizar proyectos de inversión.
- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Seleccionar una política de manejo de repuestos y materiales.
- Dirigir las políticas de mantenimiento hacia las áreas o sistemas más críticos.

El Análisis de Criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y/o componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos: mantenimiento, inspección, materiales, disponibilidad de planta, personal. [1]

Un modelo básico de Análisis de Criticidad es equivalente al mostrado en la *figura 19* [1]. Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación. Para la aplicación de un procedimiento definido se trata del cumplimiento de la guía de aplicación que se haya diseñado. Por último, la lista jerarquizada es el producto que se obtiene del análisis.

Figura 19. Modelo básico de criticidad.



Fuente: PDVSA E & P Occidente *2002.*

- **En el ámbito de mantenimiento.** Al tener plenamente establecido cuales sistemas son más críticos, se puede establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas y planes de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, detectivo e inclusive posibles rediseños al nivel de procedimientos y modificaciones menores; inclusive permitirá establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

- **En el ámbito de inspección.** El estudio de criticidad facilita y centraliza la implantación de un programa de inspección, dado que la lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel, velocidad, espesores, flujo, etc.), así como para equipos dinámicos, estáticos y estructurales.

- **En el ámbito de materiales.** La criticidad de los sistemas ayuda a tomar decisiones más acertadas sobre el nivel de equipos y piezas de repuesto que deben existir en el almacén central, así como los requerimientos de partes, materiales y herramientas que deben estar disponibles en los almacenes de planta, es decir, se puede minimizar el stock de materiales y repuestos de cada sistema y/o equipo logrando un costo óptimo de inventario.

- **En el ámbito de disponibilidad de planta.** Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones en los

procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

- **A nivel del personal.** Un buen estudio de criticidad permite potenciar el adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, dado que se puede diseñar un plan de formación técnica, artesanal y de crecimiento personal, basado en las necesidades reales de la instalación, tomando en cuenta primero las áreas más críticas, que es donde se concentran las mejores oportunidades iniciales de mejora y de agregar el máximo valor.

5.1.3 Información requerida. La condición ideal sería disponer de datos estadísticos de los sistemas a evaluar que sean bien precisos, lo cual permite cálculos "exactos y absolutos". Sin embargo desde el punto de vista práctico, dado que pocas veces se dispone de una data histórica de excelente calidad, el Análisis de Criticidad permite trabajar en rangos, es decir, establecer cual es la condición más favorable, así como la condición menos favorable de cada uno de los criterios a evaluar. La información requerida para el análisis siempre estará referida con la frecuencia de fallas y sus consecuencias. [1]

Para obtener la información requerida, el paso inicial es formar un equipo natural de trabajo integrado por un facilitador (experto en Análisis de Criticidad, y quien será el encargado de conducir la actividad), y personal de las organizaciones involucradas en el estudio como lo son operaciones, mantenimiento y especialidades, quienes serán los puntos focales para identificar, seleccionar y conducir al personal conocedor de la realidad operativa de los sistemas objeto del análisis.

Este personal debe conocer el sistema y formar parte de las áreas de: operaciones, mecánica, electricidad, instrumentación, estructura, programadores, especialistas en proceso, diseñadores, etc.; adicionalmente deben formar parte de todos los estratos de la organización, es decir, personal gerencial, supervisorio, capataces y obreros, dado que cada uno de ellos tiene un nivel particular de conocimiento así como diferente visión del negocio. Mientras mayor sea el número de personas involucradas en el análisis, se tendrán mayores puntos de vista evitando resultados parcializados, además el personal que participa nivela conocimientos y acepta con mayor facilidad los resultados, dado que su opinión fue tomada en cuenta.

5.1.4 Manejo de la información. El nivel natural entre las labores a realizar comienza con una discusión entre los representantes principales del equipo natural de trabajo, para preparar una lista de todos los sistemas que forman parte del análisis. El método es sencillo y está basado exclusivamente en el conocimiento de los participantes, el cual es plasmado en una encuesta preferiblemente personal (puede adoptarse el trabajo de grupo, pero con mucho cuidado para evitar que "líderes naturales" parcialicen los resultados con su

opinión personal). El facilitador del análisis debe garantizar que todo el personal involucrado entienda la finalidad del trabajo que se realiza, así como el uso que se le da a los resultados que se obtengan. Esto permite que los involucrados le den mayor nivel de importancia y las respuestas sean orientadas de forma más responsable, evitando así el menor número de desviaciones. [1]

La mejor forma de conducir el manejo de la información es que el facilitador aclare cada pregunta, dando ejemplos para cada caso, para que luego los encuestados procedan con su respectiva respuesta. Es aconsejable que el modelo de encuesta sea sencillo, para facilitar la dinámica de la entrevista a la vez de permitir el máximo de comodidad a los entrevistados. [1]

5.1.5 Precondiciones para el Análisis de Criticidad. Antes de comenzar un Análisis de Criticidad, es necesario tener en cuenta dos aspectos importantes del lugar (empresa, industria, proceso) al que se le aplica el estudio: [3]

- Descripción técnica de los sistemas de planta o producción:

    1. Detalles de la planta y descripción del sistema.
    2. Requerimientos para el desarrollo del estudio.
    3. Condiciones de operación.
    4. Descripciones de los equipos.

- Diagramas de flujo o dibujos técnicos que contengan datos del proceso, variables, productos, códigos de comunicación, etc.

    1. Diagramas de instrumentos y procesos P&ID.
    2. Diagramas de flujo.
    3. Diagramas en línea.
    4. Diagramas de lógica cerrada (Shut Down Logic).

5.2 PASOS PARA LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

5.2.1 Identificación de los equipos a estudiar. La Planta de Coque en la empresa Acerías Paz del Río S.A. cuenta con casi 280 equipos funcionando actualmente. Dentro de este gran número de equipos, fueron seleccionados los más importantes dentro del proceso de producción, ya que realizar el estudio de criticidad a los casi 280 equipos, es muy dispendioso. Los equipos que se incluyeron dentro del estudio del Análisis de Criticidad, fueron escogidos bajo la supervisión de ingenieros de producción y mantenimiento.

- **Listado de equipos a estudiar dentro del Análisis de Criticidad.** Los equipos incluidos dentro del Análisis de Criticidad, están divididos por subplantas, como lo muestra la *tabla 8*.

Tabla 8. Listado de equipos a estudiar dentro del Análisis de Criticidad.

SERVICIOS GENERALES	
Circuito de gas de coque	Gasómetro
Circuito de vapor	Bombas de aguas calientes
Precipitador electroestático de aceite	
MANEJO DE CARBÓN	
Malacate para tracción de vagones	Molino de rodillos
Vibrador de góndolas	Dosómetros
Distribuidor oscilante Nº 1 y Nº 2	Criba Nº 1 y Nº 2
Transportadores de banda	Molino de martillos Nº 1 y Nº 2
Criba B10	
BATERÍA DE 57 HORNOS	
Hornos puertas y marcos	Torno de inversión
Máquina cargadora Nº 1 y Nº 2	Sistema de calentamiento
Máquina deshornadora	Circuito de enfriamiento
Máquina guía Nº 1 y Nº 2	Circuito de vapor
Vagón de apagado y tractor	Colector
Chimenea y ventiladores	
MANEJO DE COQUE	
Transportadores de banda	Criba doble Nº 1 y Nº 2
Rampa y compuertas	Malacate tracción vagones
Criba Nº 3	Bombas de estación de apagado
Molino de rodillos	
DECANTACIÓN, CONDENSACIÓN Y EXTRACTORES	
Condensador primario Nº 1 y Nº 2	Decantadores finales
Turbo extractor de gas Nº 3	Bomba movimiento de alquitrán
Precipitador electroestático alquitrán	Turbo compresor Nº 1 y Nº 2
Tanque de purgas	Compresor Bético
Bomba tanque de purgas	Regulador Askania
Decantador mixto Nº 1 y Nº 2	Condensador final
Tanque de recirculación	Bomba foso de naftalina Nº 1 y Nº 2
Bomba A.A. al colector Nº 1, 2, 3, 4, 5	Tanque refrigerante atmosférico
Bomba condensadores primarios	Ventiladores refrigerante atmosférico
Refrigerantes A.A. espiral y trombón	Bomba refrigerante atmosférico
PLANTA DE SULFATO DE AMONIO	
Tanque saturador	Centrífugas secadores Nº 1 y Nº 2
Bomba recirculación saturador Nº 1	Horno secador
Tanques agua madres	Transportador de banda
Bomba aguas madres Nº 1 y Nº 2	Secador rotatorio
Bomba extracción de sales Nº 1	Tolva de evacuación
Tanque cónico recepción de sales	
PLANTA DE GAS SULFHÍDRICO	
Absorbedor	Condensador horizontal
Bombas solución carbonato Nº 1, 2, 3	Tanque expansión
Intercambiadores Nº 1 y Nº 2	Bomba condensados Nº 1 y Nº 2
Activador	Eyectores Nº 1 y Nº 2
Bomba recirculación activador Nº 1	Tanque de condensados
PLANTA DE DESNAFTALIZACIÓN	
Lavadores Nº 1 y Nº 2	Bomba ACPM a caldera
Bomba recirculación a lavadores	Caldera

Tabla 8. Listado de equipos a estudiar dentro del Análisis de Criticidad. (Continuación).

Bomba adición ACPM a lavadores	Columna y condensadores
Bomba tanque 33A	Cristalizadores y malacate
Tanques de almacenamiento	Bomba ACPM destilado
Bomba ACPM a tanques verticales	Bomba limpieza refrigerantes
PLANTA DE ALQUITRÁN	
Tanques de almacenamiento	Columna destilación
Bombas despacho de alquitrán	Condensador de la columna
Bombas aceite antrasenico	Cristalizadores
Caldera de destilación	

5.2.2 Definición del alcance y objetivo del estudio. En la Planta de Coque, esta herramienta se hace vital a la hora de priorizar órdenes de trabajo y proyectos de inversión, ya que el número de equipos que se encuentran funcionando es muy grande como para implementar una política o estrategia de mantenimiento en tan poco tiempo (6 meses).

La elaboración del estudio de Análisis de Criticidad se realizó a partir de un formato de encuesta que permite recoger la información de parte de los ingenieros, técnicos y operarios de la Planta, ya que no se ha implementado aun, un programa de mantenimiento que permita recolectar este tipo de información.

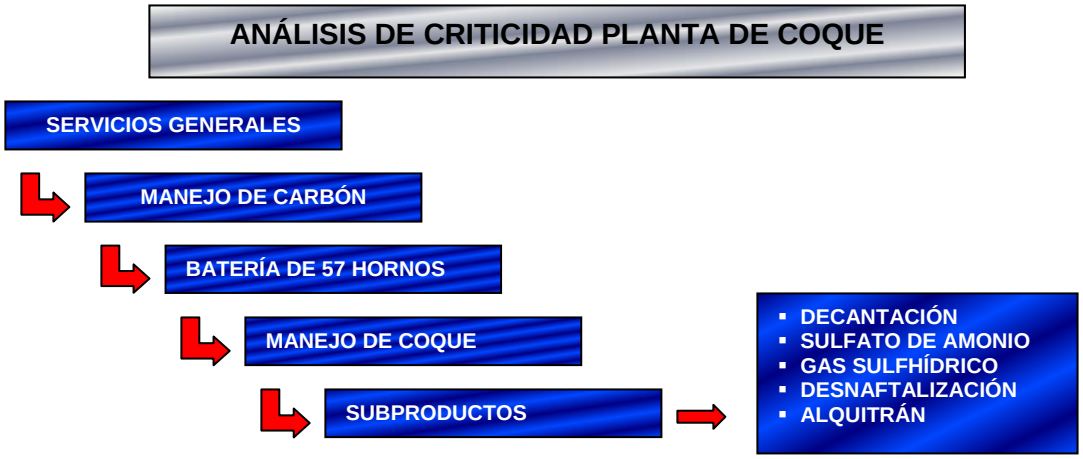
5.2.3 Selección del personal a entrevistar. El personal seleccionado para contestar las encuestas del estudio de Análisis de Criticidad en cada subplanta es el siguiente:

- Directora Planta de Coque.
- Director mantenimientos Fabricación Primaria.
- Jefe de mantenimiento mecánico.
- Supervisor inspector mecánico.
- Analista verificador mecánico.
- Ingeniero de producción del área.
- Jefe de turno del área.
- Tres Mecánicos del área.
- Tres Operarios del área.

5.2.4 Importancia del estudio. A todas las personas involucradas en el estudio se les realiza una presentación completa del tema donde se explica la metodología, los alcances y la importancia de los resultados. Se dan las instrucciones sobre como diligenciar el formato de encuesta. Además se puntualiza en el compromiso que se debe tener para que el estudio arroje los mejores resultados.

5.2.5 Recolección de datos. La recolección de la información fue realizada a partir de las encuestas contestadas por los ingenieros, técnicos y operarios de la Planta y según el organigrama mostrado en la *figura 20*.

Figura 20. Organigrama para el Análisis de Criticidad en la Planta de Coque.



La ecuación de criticidad vista desde un punto matemático para el análisis realizado dentro del estudio se presenta en la *tabla 9.*

Tabla 9. Ecuación de criticidad vista desde un punto matemático.

Criticidad = frecuencia de falla × consecuencia

Siendo: consecuencia = a+b

a = costo reparación+ impacto seguridad personal+impacto ambiental+impacto satisfacción cliente.
b = impacto en la producción × Tiempo promedio para reparar MTTR.

Fuente: PDVSA E & P Occidente 2002

El formato de la encuesta que se entregó al personal de la Planta de Coque, se muestra en la *tabla 10* [1]. Esta encuesta esta compuesta por 7 preguntas. Cada pregunta tiene una serie de respuestas con una ponderación diferente, esta ponderación se presenta en la *tabla 11* [1] y le asigna un valor especifico a cada valor o parámetro dependiendo de las características del equipo a evaluar.

Una vez realizada la encuesta los resultados se clasifican en una hoja de cálculo, donde se obtiene el valor de criticidad para cada equipo por cada una de las personas entrevistadas y finalmente se realiza un promedio con los resultados obtenidos para determinar la criticidad final del equipo.

El formato de encuesta, la tabla de ponderaciones y la ecuación de criticidad fueron adaptados por los proyectistas tomando como base el Análisis de Criticidad hecho por PDVSA[4], debido a que los factores de ponderaciones ya están estandarizados y su formulación depende de un estudio profundo de criterios de ingeniería.

[4] PDVSA. Petróleos De Venezuela S.A. E & P Occidente.

Tabla 10. Formato para encuesta Análisis de Criticidad.

FORMATO PARA ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD

PERSONA _____ **ÁREA O SECCIÓN**_____

EQUIPO_____ **FECHA**_____

1. FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA).		**2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. MTTR.**	
	No más de 1 por año		Menos de 4 horas
	Entre 2 y 15 por año		Entre 4 y 8 horas
	Entre 16 y 30 por año		Entre 8 y 24 horas
	Entre 31 y 50 por año		Entre 24 y 48 horas
	Más de 50 por año (Más de una parada semanal)		Más de 48 horas

3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN		**4. COSTO DE REPARACIÓN (MILLONES DE PESOS)**	
	No afecta la producción		
	25% de impacto		Menos de 3 millones
	50% de impacto		Entre 3 y 15 millones
	75% de impacto		Entre 15 y 35 millones
	La afecta totalmente		Más de 35 millones

5. IMPACTO AMBIENTAL	
	No origina ningún impacto ambiental
	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta
	Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta
	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad, procesos sancionatorios

6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	
	No origina heridas ni lesiones
	Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes
	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días
	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente

7. IMPACTO EN SATISFACCIÓN CLIENTE. (DEPARTAMENTOS DE LA EMPRESA A LA QUE SE LE PRESTAN SERVICIOS).	
	No ocasiona perdidas económicas en las otras áreas de la planta
	Puede ocasionar perdidas económicas hasta de 5 SMMLV
	Puede ocasionar perdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 SMMLV
	Puede ocasionar perdidas económicas mayores de 25 SMMLV

Fuente: Adaptación PDVSA E & P Occidente 2002.

Tabla 11. Ponderaciones de los parámetros del Análisis de Criticidad.

ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.

PLANTA DE COQUE

PONDERACIONES DE LOS PARÁMETROS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

1. FRECUENCIA DE FALLA (Todo tipo de falla)	Puntaje
No más de 1 por año	1
Entre 2 y 15 por año	2
Entre 16 y 30 por año	3
Entre 31 y 50 por año	4
Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	5
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (MTTR)	Puntaje
Menos de 4 horas	1
Entre 4 y 8 horas	2
Entre 8 y 24 horas	3
Entre 24 y 48 horas	4
Más de 48 horas	5
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN (Por el número de fallas al año F)	Puntaje
No afecta la producción	0,05F
25% de impacto	0,3F
50% de impacto	0,5F
75% de impacto	0,8F
La afecta totalmente	1F
4. COSTOS DE REPARACIÓN	Puntaje
Menos de 3 millones de pesos	3
Entre 3 y 15 millones de pesos	5
Entre 15 y 35 millones de pesos	10
Más de 35 millones de pesos	25
5. IMPACTO AMBIENTAL	Puntaje
No origina ningún impacto ambiental	0
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de la planta	5
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta	10
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad	25
6. IMPACTO EN SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL	Puntaje
No origina heridas ni lesiones	0
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	5
Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días	10
Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente	25
7. IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE (áreas de la planta a las cuales se le suministran los servicios industriales)	Puntaje
No ocasiona pérdidas económicas en las otras áreas de la planta	0
Puede ocasionar pérdidas económicas hasta de 5 SMMLV	5
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 5 y menores de 25 SMMLV	10
Puede ocasionar pérdidas económicas mayores de 25 SMMLV	20

Fuente: Adaptación PDVSA E & P Occidente 2002.

Los criterios o parámetros que se utilizaron para la elaboración de las encuestas, las tablas de ponderación y el cálculo de los valores de criticidad de los sistemas fueron los siguientes: [1]

- **Frecuencia de Fallas***.* Representa las veces que falla cualquier componente del sistema que produzca la pérdida de su función, es decir, que implique una parada, en un periodo de un año.

- **Nivel de Producción.** Representa la producción aproximada por día de la instalación y sirve para valorar el grado de importancia de la instalación a nivel económico.

- **Tiempo Promedio para Reparar.** Es el tiempo promedio por día empleado para reparar la falla, se considera desde que el equipo pierde su función hasta que esté disponible para cumplirla nuevamente. El MTTR, mide la efectividad que se tiene para restituir la unidad o unidades del sistema en estudio a condiciones óptimas de operabilidad.

- **Impacto en la Producción.** Representa la producción aproximada porcentualmente que se deja de obtener (por día), debido a fallas ocurridas (diferimiento de la producción). Se define como la consecuencia inmediata de la ocurrencia de la falla, que puede representar un paro total o parcial de los equipos del sistema estudiado y al mismo tiempo el paro del proceso productivo de la unidad.

- **Costo de Reparación.** Se refiere al costo promedio por falla requerido para restituir el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento, incluye labor, materiales y transporte.

- **Impacto en la Seguridad Personal**. Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones y en los cuales alguna persona pueda o no resultar lesionada.

- **Impacto Ambiental.** Representa la posibilidad de que sucedan eventos no deseados que ocasionen daños a equipos e instalaciones produciendo la violación de cualquier regulación ambiental, además de ocasionar daños a otras instalaciones.

- **Impacto Satisfacción al Cliente***.* En el se evalúa el impacto que la ocurrencia de una falla afectaría a las expectativas del cliente. En este caso se considera cliente a las áreas a las cuales se les suministran los servicios industriales.

5.2.6 Verificación y análisis de datos. Los resultados obtenidos fueron mostrados al personal entrevistado y fueron inspeccionados con total aceptación.

5.2.7 Resultados del estudio. El primer paso para obtener los resultados del Análisis de Criticidad es establecer los puntajes de los parámetros dependiendo de las respuestas de las personas entrevistadas. Un ejemplo es el mostrado en la *tabla 12,* donde se muestra las respuestas hechas por la Directora de la Planta de Coque con sus respectivos puntajes.

Tabla 12. Respuestas y ponderación hechas por la Directora de la Planta de Coque.

PARÁMETRO	RESPUESTA	PUNTAJE
Frecuencia de falla	Entre 16 y 30 por año	3
MTTR	Entre 24 y 48 horas	4
Impacto en la producción	La afecta totalmente	1x Nº fallas
Costos de reparación	Entre 15 y 35 millones de pesos	10
Impacto ambiental	Contaminación ambiental alta	25
Impacto salud personal	No origina heridas ni lesiones	0
Impacto satisfacción cliente	Perdidas económicas mayores a 25 SMMLV	20

Luego se realiza un promedio de los puntajes correspondientes a cada una de las personas entrevistadas para cada equipo. Este promedio se ingreso a una hoja de cálculo para obtener la criticidad final.

Tabla 13. Puntajes finales para el turboextractor de gas Nº 3.

PARÁMETRO	PUNTAJE FINAL
Frecuencia de falla	2.9
Costos de reparación	8.0
Impacto salud personal	4.3
Impacto ambiental	20
Impacto satisfacción cliente	10.0
Impacto en la producción	13.8
Tiempo promedio para reparar	3.3

Recordando la ecuación de criticidad.

Criticidad = frecuencia de falla × consecuencia

Siendo: consecuencia = a+b

a = costo reparación+ impacto seguridad personal+impacto ambiental+impacto satisfacción cliente.

b = impacto en la producción × Tiempo promedio para reparar MTTR.

Tabla 14. Criticidad numérica para el turboextractor de gas Nº 3.

TURBO EXTRACTOR DE GAS Nº 3
CRITICIDAD=[2.9] x [(8+4.3+20+10)+(13.8x3.3)] CRITICIDAD = 254.736 » 250.3* *Debido a un ajuste decimal realizado por Microsoft Office Excel 2003

Este procedimiento se realiza para cada equipo incluido dentro del estudio de criticidad. En *la tabla 15* se observa las ponderaciones para cada una de las respuestas contestadas por el personal para el turboextractor de gas Nº 3, al final se promedian y se incluyen dentro de la ecuación de criticidad.

En esta misma tabla se observa los valores dados a cada parámetro para cada uno de los cuatro equipos críticos de la Planta según el resultado final del estudio.

La figura 21 muestra los resultados del estudio de Análisis de Criticidad para los equipos de la Planta de Coque, por medio de una gráfica de columnas agrupadas donde se pueden observar los equipos más críticos de cada subplanta vs. La criticidad numérica. Así mismo la *tabla 16* muestra los equipos críticos de la Planta de Coque, donde se puede observar que equipos poseen una criticidad alta (color rojo), criticidad media (color azul) y cuales poseen una criticidad baja (color verde).

Como resultado final del Análisis de Criticidad, se puede establecer los cuatro equipos que hacen parte del estudio de Análisis de Modos y Efectos de Falla, estos equipos son:

- **Turboextractor de gas Nº 3.**
- **Máquina deshornadora.**
- **Máquina guía Nº 2.**
- **Circuito de enfriamiento.**

En el CD que se anexa a este informe, se encuentran para cada una de las 9 subplantas los resultados del estudio de Análisis de Criticidad así:

- Tabla de puntajes promediados.
- Grafica de columnas agrupadas de los equipos de la subplanta vs. Criticidad numérica.

Este análisis permite obtener una jerarquización valida de todos los procesos/ sistemas, lo cual permite en la Planta de Coque: [3]

- Utilización óptima de los recursos humanos y económicos dirigidos hacia sistemas claves de alto impacto.

- Potencializar adiestramiento y desarrollo de habilidades en el personal, basado en la criticidad de sus procesos y sistemas.

- Jerarquizar los equipos de criticidad alta, para luego realizar un Análisis de Modos y Efectos de Falla en cada equipo.

- Diseñar políticas de mantenimiento que permitan mejorar todos los niveles de producción dentro de la empresa.

Tabla 15. Demostración de los valores numéricos de criticidad para el turboextractor de gas Nº 3.

ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.

RESULTADOS ANÁLISIS DE CRITICIDAD			PROMEDIOS TURBOEXTRACTOR DE GAS Nº 3				
PERSONA ENTREVISTADA	**1. FRECUENCIA DE FALLAS**	**2. MTTR**	**3. IMPACTO EN PRODUCCIÓN**	**4. COSTO DE REPARACIÓN**	**5. IMPACTO AMBIENTAL**	**6. IMPACTO SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL**	**7. IMPACTO SATISFACCIÓN CLIENTE**
Directora Planta de Coque	3	4	1x(18 Fallas)*	10	25	0	20
Director Mto Fabricación Prima.	3	3	0.8x(18 Fallas)*	10	25	0	20
Jefe mantenimiento mecánico	3	3	0.5x(18 Fallas)*	10	25	5	10
Supervisor inspector mecánico	3	3	0.8x(18 Fallas)*	10	25	5	10
Analista verificador mecánico	3	4	0.8x(18 Fallas)*	10	25	5	10
Ingeniero de producción área	3	3	0.8x(18 Fallas)*	10	25	5	10
Jefe de turno del área	3	3	0.8x(18 Fallas)*	10	25	5	10
Operario del área	3	4	0.8x(18 Fallas)*	10	25	5	10
Operario del área	3	3	0.5x(18 Fallas)*	10	25	5	10
Operario del área	3	4	0.8x(18 Fallas)*	5	10	5	5
Mecánico del área	3	3	0.8x(18 Fallas)*	3	10	5	5
Mecánico del área	2	3	0.8x(18 Fallas)*	3	10	5	5
Mecánico del área	2	3	0.8x(18 Fallas)*	3	5	5	5
RESULTADOS PROMEDIADOS	2.846	3.307	13.846	8.000	20.000	4.230	10.000

* El número de fallas que afectaron el funcionamiento normal del turboextractor en el año 2004 es de 18 fallas, este número fue identificado gracias a las órdenes de trabajo presentadas a la oficina de mantenimiento de la Planta de Coque.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD					EQUIPOS CRÍTICOS PLANTA DE COQUE			
EQUIPO	**1. FRECUENCIA DE FALLAS**	**2. MTTR**	**3. IMPACTO EN PRODUCCIÓN**	**4. COSTO DE REPARACIÓN**	**5. IMPACTO AMBIENTAL**	**6. IMPACTO SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL**	**7. IMPACTO SATISFACCIÓN CLIENTE**	**CRITICIDAD**
TURBO EXTRACTOR Nº 3	2,9	3,3	13,8	8,0	20,0	4,3	10,0	250,3
MÁQUINA DESHORNADORA	2,7	3,7	6,0	14,3	13,3	10,0	16,7	203,4
MÁQUINA GUÍA 2	2,7	3,7	6,0	14,3	11,7	7,5	13,3	186,4
CIRCUITO ENFRIAMIENTO	2,7	2,2	8,0	8,8	11,7	10,0	16,7	175,0

Figura 21. Resultados del Análisis de Criticidad en la Planta de Coque.

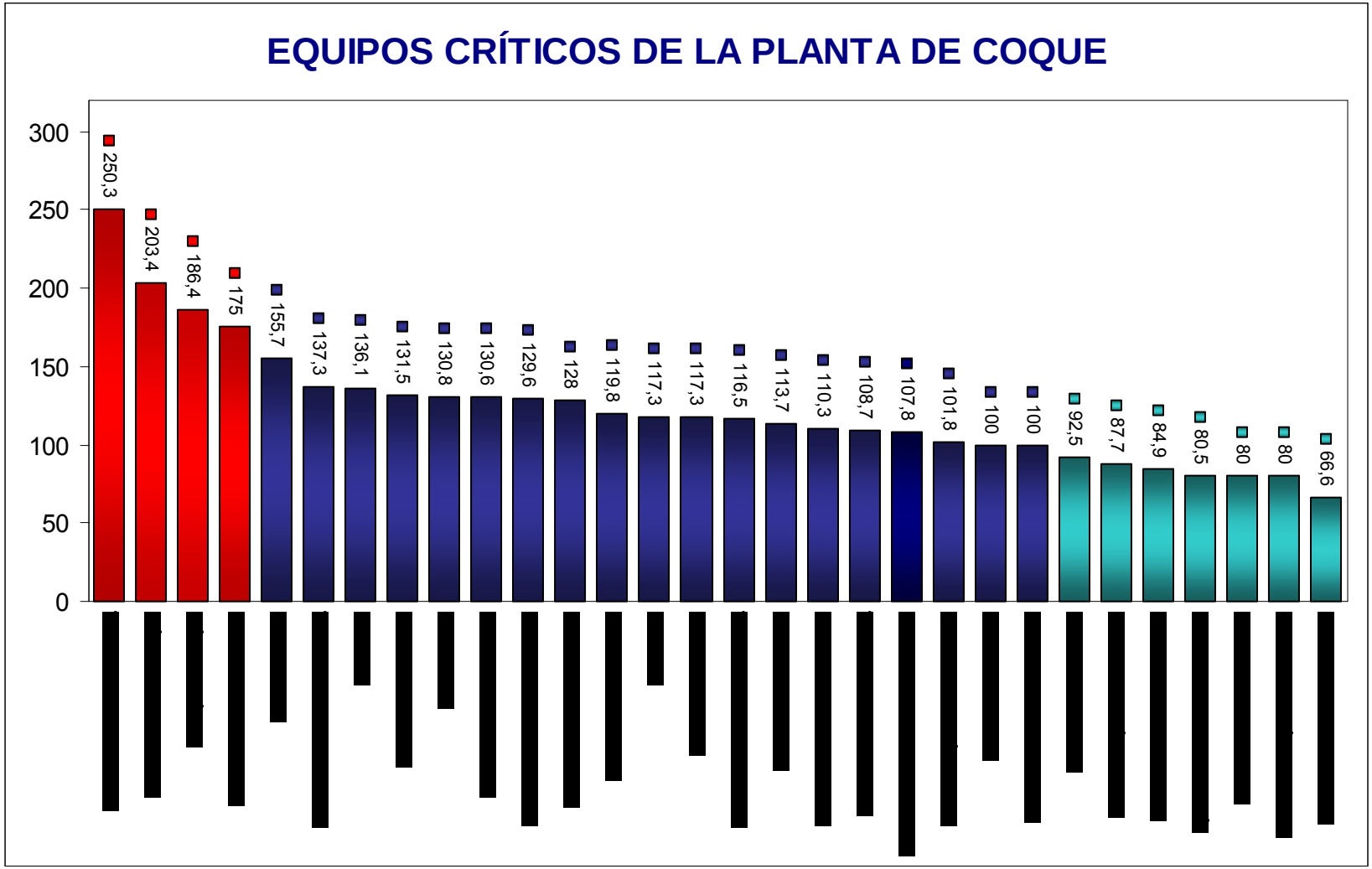


Tabla 16. Resultados del Análisis de Criticidad en la Planta de Coque.

ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.		
PLANTA DE COQUE 2006		
ÍTEM	**EQUIPO**	**CRITICIDAD**
1	TURBO EXTRACTOR GAS Nº 3	250,3
2	MÁQUINA DESHORNADORA	203,4
3	MÁQUINA GUÍA Nº 2	186,4
4	CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO	175
5	CRIBA Nº 1 Y Nº 2	155,7
6	TRANSPORTADORES DE BANDA	137,3
7	COLECTOR	136,1
8	MOLINO DE MARTILLOS	131,5
9	DOSÓMETROS	130,8
10	BOMBAS A.A AL COLECTOR	130,6
11	BOMBAS CONDENSADORES PRIMARIOS	129,6
12	BOMBA TANQUE DE PURGAS	128
13	BOMBA AGUAS MADRES	119,8
14	CRIBA Nº 3	117,3
15	MOLINO DE RODILLOS	117,3
16	TRANSPORTADORES DE BANDA	116,5
17	CRIBA DOBLE Nº 1Y Nº 2	113,7
18	BOMBAS. RECIRC. SATURADOR	110,3
19	TURBOCOMPRESOR Nº 1 Y Nº 2	108,7
20	REFRIGERANTES A. AMONIACAL	107,8
21	BOMBA EXTRACCIÓN DE SALES	101,8
22	REGULADOR ASKANIA	100
23	COLUMNA Y CONDENSADORES	100
24	CENTRÍFUGA Nº 1 Y Nº 2	92,5
25	BOMBAS ESTACIÓN APAGADO	87,7
26	BOMBA RECIRC. ACTIVADOR Nº 1 Y Nº 2	84,9
27	BOMBAS DESPACHO ALQUITRÁN	80,5
28	CIRCUITO DE GAS DE COQUE	80
29	BOMBAS SOLUCIÓN CARBONATO	80
30	BOMBAS DE AGUAS CALIENTES	66,6
Equipos criticidad alta	Equipos criticidad media	Equipos criticidad baja

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BECERRA SOLÓRZANO Guillermo. Diseño de un Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el Área de Servicios Industriales de Bavaria S.A. Cervecería de Boyacá. U.P.T.C. Escuela de Ingeniería Electromecánica. Duitama 2005. Capítulo 3.

[2] CLUB DE MANTENIMIENTO. Publicación periódica página 12: *"El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional"*. Aplicación del Análisis de Criticidad en Petróleos de Venezuela. PDVSA E & P Occidente. Autor. Ing. Rosendo Huerta Mendoza.
Suscripción sin cargo: Club_mantener@sinectis.com.ar

[3] NORSOK STANDARD Z-008. Crítically analysis for maintenance purposes. Norwegian Technology Centre. Oslo, NORWAY. Revista 2, Noviembre 2001. Articulo bajado en el link de información de la página www.nts.no/norsok.,

6. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (FMEA)

En este capitulo se explica como los autores desarrollaron un Análisis de Modos y Efectos de Falla a los cuatro equipos mas críticos obtenidos en el capitulo anterior, la definición de las funciones del equipo, las fallas funcionales para cada una de estas funciones, los modos de falla que producen estas fallas y los efectos asociados a estas fallas. Este estudio permite identificar las fallas potenciales de diseño y proceso antes de que estas ocurran, para facilitar la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo.

6.1 FUNCIONES Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

Antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, se necesita hacer dos cosas [1]:

- Determinar que es lo que los usuarios quieren que haga.
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga.

Por esto el primer paso es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

- Funciones primarias, que en primera instancia resumen el por qué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

- Funciones secundarias, la cual reconoce qué se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales y hasta de apariencia del activo.

Los usuarios de los activos generalmente están en la mejor posición para saber exactamente qué contribuciones físicas y financieras hace el activo para el bienestar de la organización como un todo.

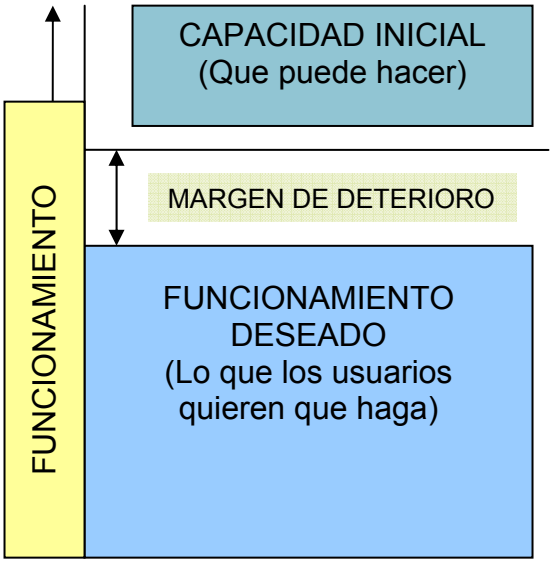
6.1.1 Describiendo funciones. Una definición completa de una función consiste de ***un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.*** Por ejemplo, la función primaria de una bomba podría ser enunciada así: *Bombear agua del tanque X al tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.*

6.1.2 Estándares de funcionamiento. El objetivo del mantenimiento es asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. La magnitud de aquello que los usuarios quieren que el activo haga puede definirse a través de un estándar mínimo de funcionamiento [1]. Entonces si el deterioro es inevitable, debe ser tolerable.

Esto significa que cuando cualquier activo físico es puesto en funcionamiento debe ser capaz de rendir más que el estándar mínimo de funcionamiento deseado por el usuario.

Lo que el activo físico es capaz de rendir es conocido como capacidad inicial (o condición inherente). La *figura* 22 ilustra la relación entre esta capacidad y el funcionamiento deseado.

Figura 22. Capacidad vs. Funcionamiento deseado.



Fuente: MOUBRAY.2004.

Entonces el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos maneras:

- Funcionamiento deseado (lo que los usuarios quieren que haga): desempeño.
- Capacidad propia (lo que puede hacer).

En este orden de ideas, para que un activo físico sea mantenible, el funcionamiento deseado debe estar dentro del margen de su capacidad inicial. Para determinar esto no sólo se debe conocer la capacidad inicial del activo físico, sino también cual es exactamente el funcionamiento mínimo que el usuario esta dispuesto a aceptar dentro del contexto en que va a ser utilizado. Esto remarca la importancia de identificar precisamente que es lo que los usuarios quieren cuando

comienza a desarrollarse un programa de mantenimiento. Los parágrafos siguientes exploran los aspectos centrales de los estándares de funcionamiento.

- Estándares de funcionamiento múltiple.
- Estándares de funcionamiento cuantitativos.
- Estándares de funcionamiento cualitativos.
- Estándares de funcionamiento absolutos.
- Limites de funcionamiento superiores e inferiores.

6.1.3 Contexto operacional. El contexto operacional no sólo afecta drásticamente las funciones y las expectativas de funcionamiento, sino que también afecta la naturaleza de los modos de falla que pueden ocurrir, sus efectos y sus consecuencias, la periodicidad con la que puede ocurrir y que debe hacerse para manejarlas todo esto significa que debe asegurarse de tener un claro entendimiento del contexto operacional antes de comenzar. [1]

6.1.4 Diferentes tipos de funciones. Todo activo físico tiene más de una función, por lo general tiene varias. Si el objetivo del mantenimiento es asegurarse que continue realizando estas funciones, entonces todas ellas deben ser identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseados. A primera vista, esto puede verse como un proceso bastante directo. Sin embargo en la práctica casi siempre se vuelve el aspecto más desafiante y el que más tiempo toma en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento. [1]

Las funciones se dividen en dos categorías principales (funciones primarias y secundarias) y estas a su vez se dividen en varias subcategorías.

6.2 FALLAS FUNCIONALES

6.2.1 Falla. Se define “falla” ***como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que los usuarios quieren que haga.*** [1]

6.2.2 Fallas funcionales. La definición citada trata el concepto de falla de la manera que se aplica a un activo como un todo. En la práctica esta definición es un poco vaga ya que no distingue claramente entre el estado de falla (falla funcional) y los eventos que causan este estado de falla (modos de falla). [1]

6.2.3 Funciones y fallas. Se ha visto que si un activo no hace aquello que los usuarios quieren que haga, ha fallado. También que cualquier cosa que deba hacer se define como una función y que cada activo tiene más de una y por lo general varias funciones diferentes.

Por ejemplo, una bomba tiene al menos dos funciones. Una es la de bombear agua a no menos de 800 litros por minuto y la otra es contener el agua. Es perfectamente posible que dicha bomba sea capaz de bombear la cantidad

requerida (no hay falla de la función primaria) a la vez que pierda una cantidad excesiva de liquido (falla en la función secundaria). Por otra parte es posible que la bomba se deteriore hasta el punto de no poder bombear la cantidad requerida (falla de la función primaria), mientras que contiene el liquido (no hay falla en la función secundaria). Esto muestra porque es más preciso definir una falla en términos de pérdida de una función específica, más que la falla del activo como un todo. [1]

6.3 MODOS DE FALLA

6.3.1 ¿Que es un modo de falla? Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso). Sin embargo, como ya se explicó, es vago y simplista aplicar el término "falla" a un activo físico en general. Es mucho más preciso distinguir entre "una falla funcional" (un estado de falla) y un "modo de falla" (un evento que puede causar un estado de falla). Esta distinción lleva a una definición más precisa de un modo de falla, como puede ser: un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional [1].

La mejor manera de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla y los eventos que podrían causarlos es primero hacer un listado de fallas funcionales, luego registrar los modos de falla que podrían causar cada falla funcional, como lo muestra la *figura* 23. La figura también indica que, como mínimo, la descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo.

Figura 23. Modos de falla de una bomba.

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL (PERDIDA DE FUNCIÓN)		MODO DE FALLA (CAUSA DE LA FALLA)	
1	TRANSFERIR AGUA DESDE EL TANQUE X AL TANQUE Y A NO MENOS DE 800 LITROS/MINUTO	A	INCAPAZ DE TRANSFERIR AGUA	1	COJINETES AGARROTADOS.
				2	IMPULSOR LOCO, SUELTO.
				3	EL CUBO DE ACOPLE FALLA POR FATIGA.

Fuente. MOUBRAY.2004.

6.3.2 Categorías de modos de falla. Al aceptar que mantenimiento significa asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que haga, entonces un programa de mantenimiento global debe tener en cuenta todos los eventos que tienen la posibilidad de amenazar esa funcionalidad. Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera: [1]

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

6.4 EFECTOS DE FALLA

El siguiente paso en el proceso consiste en hacer una lista de lo que de hecho sucede al producirse cada modo de falla. Esto se denomina *efectos de la falla*. Los efectos de la falla describen que pasa cuando ocurre un modo de falla. [1]

Un efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿Qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde la pregunta ¿Qué importancia tiene?

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiera) de que se ha producido una falla.

- Las maneras (si las hubiera) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.

- Las maneras (si las hubiera) en que afecta a la producción o a las operaciones.

- Los daños físicos (si los hubiera) causados por la falla.

- Que debe hacerse para reparar la falla.

6.5 FUENTES DE INFORMACIÓN ACERCA DE MODOS Y EFECTOS

Al considerar donde obtener la información necesaria para armar un FMEA (Análisis de Modos y Efectos de Falla) completo, se debe recordar ser proactivos, esto significa que debe darse tanto énfasis en lo que podría ocurrir como en lo que ha ocurrido.

Las fuentes de información más frecuentes se describen a continuación [1]:

- El fabricante o proveedor del equipo.
- Listas genéricas de modos de falla.
- Otros usuarios de la misma máquina.
- Registros de antecedentes técnicos.
- Las personas que operan y mantienen el equipo.

6.6 VERIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

6.6.1 Contexto operacional máquina deshornadora. Dentro del proceso de fabricación primaria en la Planta de Coque, se encuentran 4 de las máquinas más importantes en el proceso de coquizado:

- Máquina cargadora.
- Máquina deshornadora.
- Máquina guía.
- Tractor y vagón apagado de apagado.

La máquina deshornadora es la más compleja pero no la más crítica dentro de este grupo de cuatro, a pesar de que sólo existe una, posee sólo la tercera criticidad más alta en toda la planta (la aventajan la máquina guía y el turbo extractor de gas de coque), debido a que su diseño y las características de sus funciones, le permiten tener una frecuencia de falla y un MTTR[5] más bajos que la máquina guía.

La máquina deshornadora opera desde el día de puesta en marcha de la batería Nº 2, octubre 25 de 1954, pesa aproximadamente 120 toneladas, ocupa cerca de 70m² y mide unos 8m de altura, además todos sus sistemas se alimentan de corriente eléctrica DC a 230v por medio de unos rieles de alimentación puestos en la parte superior de la máquina deshornadora y que están fijos a la estructura de la batería, el contacto se hace a través de pantógrafos, con resortes ajustables a las deformaciones de los rieles.

El voltaje DC es proporcionado por un generador DC acoplado a un motor de CA que toma energía de la Planta de Fuerza (Acerias Paz del Río S.A.) y la Empresa de Energía de Boyacá a una razón de 30% y 70% respectivamente, además existe un generador Diesel DC que reemplaza el abastecimiento DC de la batería y 3 generadores Diesel AC de reserva, que reemplazan el abastecimiento AC de toda la Planta de Coque.

El número de hornos que se saquen por turno regula el tiempo de coquizado, (que es normalmente de 23 horas), los deshornes se efectúan en un orden establecido, con el fin de mantener en lo posible el equilibrio térmico de la batería. El ciclo de deshorne utilizado en la Planta de Coque, deshorna y carga cada 5 hornos, así: 1, 6, 11, 16, etc., cuando la coquización se ha terminado, el horno se aísla del colector de gases, por intermedio de un clapet y se abre al aire libre. Se quitan las puertas de los hornos y el coque es empujado fuera del horno, hacia la máquina guía y el vagón de apagado. La máquina deshornadora posee 5 subsistemas dentro de su estructura así:

- **Sistema de traslación**. Este sistema permite a la máquina deshornadora trasladarse sobre rieles paralelamente a la batería del lado opuesto al que sale el coque, por medio de un sistema compuesto por: un motor eléctrico, electrofreno, reductor, árbol de transmisión, piñón de ataque, ruedas motrices y locas. Se alimenta al igual que todos los sistemas de la máquina deshornadora de corriente eléctrica DC a 230 V, este sistema es manejado desde la cabina del operador, por

[5] MTTR, tiempo promedio para reparar.

medio de una palanca maniobrable 180º, para obtener en 0º máxima velocidad de traslación hacia la izquierda (del operador), en 90º reposo y en 180º máxima velocidad hacia la derecha (del operador), el motor tiene un control de arranque, pausa y velocidad por resistencias, que suaviza el movimiento de traslación. Además la máquina deshornadora tiene un sistema eléctrico de bloqueo, tal que cuando esté haciendo una operación cualquiera no funcionen las otras, por ejemplo que no se traslade cuando esté empujando o nivelando.

▪ **Sistema quita puertas**. Esta constituido por tres subsistemas básicos: movimiento horizontal, apriete y afloje de cerrojos superior e inferior y mecanismo levanta puertas.

1. Movimiento horizontal. Este subsistema le permite a la estructura de la quita puertas colocarse en la posición ideal para aflojar y apretar los cerrojos de las puertas de los hornos, así como; levantarlas, extraerlas y sujetarlas el tiempo que dure el deshorne. La estructura de la quita puertas puede ser de retroceso o pivotante, en este caso es de retroceso y consta de: motor eléctrico, electrofreno, interruptores fin de curso adelante y atrás, reductor, brazos y palancas, rodillos soporte y estructura de la quita puertas. Este sistema es manejado por una palanca en la cabina del operador, similar al de traslación.

2. Sistema de apriete y afloje de cerrojos superior e inferior. Este sistema es el que sella herméticamente la puerta del horno a la estructura de la batería por medio de unos cerrojos acoplados a unas mariposas que empujan la puerta contra el marco de los hornos, además también afloja los tornillos a la hora del deshorne, esta maniobra se hace gracias a unas trompetas que encajan en los cerrojos y que están acopladas a unos reductores que proporcionan el torque necesario para el apriete y afloje de dichos cerrojos, las trompetas llevan en su parte posterior unos resortes que amortiguan el contacto entre el cuerpo de la quita puertas contra la puerta del horno, impidiendo así, esfuerzos por impacto en el marco de los hornos. Este subsistema esta compuesto por: motor eléctrico superior e inferior, reductor superior e inferior y trompetas superior e inferior. Este subsistema es operado mediante dos pulsadores que manejan los dos motores simultáneamente, cada pulsador maneja un sentido de giro.

3. Sistema levanta puertas. Este sistema levanta la puerta de un enclave que tienen los marcos de los hornos para sostenerla. La puerta tiene que ser levantada al retirarla para evitar fricciones, además este sistema sujeta la puerta fijamente durante todo el tiempo de deshorne, permitiendo la limpieza de los extremos de la puerta y su inspección. El sistema posee un fin de curso acoplado al eje de salida del reductor, que sólo permite levantar la puerta 5 cm como máximo, ya que se corre el riesgo de chocar la puerta del horno con el marco de la batería. El sistema levanta puertas consta de: motor eléctrico, electrofreno, fin de curso, reductor, sistema de transmisión y estructura

metálica. El sistema es accionado por dos pulsadores y solo funciona cuando la puerta está contra el marco de los hornos.

- **Sistema barra empujadora**. Este sistema es el encargado de empujar la torta de coque fuera del horno, hacia la máquina guía y el vagón de apagado. La barra empujadora mide unos 23 metros de longitud y tiene en su parte delantera la cabeza empujadora, esta pieza es la que está en contacto pleno con el coque a alta temperatura y tiene un área similar a la sección transversal interior del horno.

La barra empujadora tiene en su parte inferior una cremallera accionada por un piñón de ataque, atrás de la cabeza de la barra en su parte inferior, existe un patín, el cual soporta el peso de la barra sobre el piso del horno, durante el deshorne. Por la parte superior de la barra va un tubo que lleva aire de desgrafitado[6] hasta la parte superior de la cabeza por donde se expele el aire de alta presión (4.5 kg/cm²), por una boquilla al techo del horno durante el tiempo de deshorne. Este aire es suministrado por el sistema de compresión de aire que se explicará más adelante. La velocidad de la barra empujadora durante el deshorne es graduada por un sistema de fines de curso, acoplados por medio de una cadena al eje del piñón de ataque, este sistema hace que la velocidad lineal de la barra posea tres intervalos durante el deshorne. El sistema de la barra empujadora esta conformado por: motor eléctrico, electrofreno, fines de curso, reductor, barra y cabeza de la barra, piñón de ataque, soporte del eje piñón, cremallera y ruedas del soporte y guías. La maniobra de la barra empujadora es realizada por una palanca similar a la del sistema de traslación, además, al momento del deshorne, se activa el sistema eléctrico de bloqueo, incapacitando el sistema de traslación y la barra niveladora.

- **Sistema barra niveladora**. Durante el cargue, el carbón dentro del horno debe ser nivelado, homogeneizado, para que este se llene uniformemente y el proceso de coquizado se cumpla normalmente, esta función es realizada por la barra niveladora. El sistema desplaza una pasarela cerca del marco de los hornos para abrir el portillon de nivelación en la puerta de cada horno, este portillon es una ventana colocada en el marco que se puede abrir manualmente y por donde entra la barra niveladora al horno, el operador se encarga de esta operación, al mismo tiempo la barra desplaza un canalón por donde baja el carbón sobrante a una tolva, la cual cada vez que se llena, se vacía en el skip automático que sube el carbón a la tolva de cargue de la batería.

El movimiento de la barra niveladora tiene sus límites controlados por fines de curso. Esta barra posee una cremallera en medio de su estructura, la cual engrana con un piñón de ataque que le trasmite la potencia necesaria para nivelar, además su sistema de maniobra esta diseñado de tal forma que le permite al motor cambiar de giro instantáneamente, para agilizar el proceso de nivelado dentro del

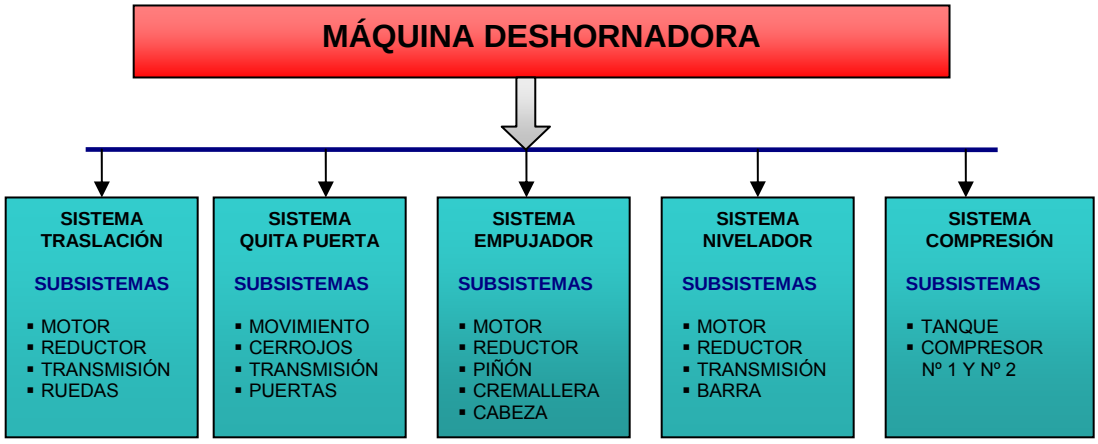
[6] El grafito, es una de las tres formas alotrópicas del carbono, las otras son el diamante y el carbón.

horno. Este sistema esta constituido por: motor eléctrico, sistema de transmisión de potencia y piñón de ataque y estructura metálica de la barra que mide unos 23 metros. El operador maneja este sistema dentro de su cabina, por medio de una palanca similar a la de traslación, en 0º obtiene máxima velocidad hacia el horno, en 90º reposo y en 180º máxima velocidad hacia la salida del horno.

- **Sistema de compresión de aire.** Este sistema es el encargado de desgrafitar la parte superior de los hornos durante el deshorne por medio de una boquilla que expele aire a una presion de 4.5 kg/cm² aproximadamente y que está colocada en la parte superior de la cabeza de la barra, esta boquilla esta acoplada a un tanque de almacenamiento mediante un ducto que se extiende hasta la parte superior de la barra empujadora y se enrolla por medio de una polea situada en la parte posterior de la estructura de la máquina deshornadora.

El tanque de almacenamiento de aire es alimentado por dos compresores, uno en servicio y otro de reserva, que suministran aire a una presión de 120±5 psi (8 kg/cm²), estos compresores están controlados por un presostato que mantiene la presión constante en el tanque a 4.5 kg/cm² y que enciende el compresor en servicio cuando la presión baja a 4 kg/cm² y lo apaga cuando la presión dentro del tanque sube a 5 kg/cm². En la máquina deshornadora existen dos compresores: un compresor de tornillo y otro de cilindros (dos etapas), cada uno con su motor independiente conectado a cada uno de los compresores por medio de poleas, la elección del compresor en servicio depende del mantenimiento realizado a cada compresor. El sistema de compresión de aire es maniobrado por fines de curso colocados en la estructura de la barra deshornadora, que hacen que se encienda automáticamente cuando la barra empujadora entra al horno. Este sistema esta compuesto por: motor Nº 1 y Nº 2, compresores Nº 1 y Nº 2, tanque de aire, tubería, presostatos y fines de curso. La máquina deshornadora se dividió en 5 sistemas importantes con sus respectivos subsistemas, como se muestra en la *figura* 24.

Figura 24. Partes de la máquina deshornadora.



El estudio de Análisis de Modos y Efectos de Falla, que se realizó a la máquina deshornadora, fue un estudio de tercer nivel, como se muestra en la *figura* 25.

Figura 25. Niveles de estudio FMEA máquina deshornadora.

6.6.2 Ficha técnica máquina deshornadora. En la *tabla 17* se resume las partes importantes de la máquina deshornadora, así como los códigos de planos y materiales. Los códigos que se encuentran sin especificar hasta enero de 2006, serán tareas que el personal de mantenimiento mecánico de la planta debe priorizar y adelantar en el transcurso del mismo año.

Tabla 17. Ficha técnica de la máquina deshornadora.

SISTEMA TRASLACIÓN MÁQUINA DESHORNADORA			
ELEMENTO	**CARACTERÍSTICAS**	**CÓDIGO PLANO**	**CÓDIGO MATERIALES**
MOTOR ELÉCTRICO	Marca ALSTHOM Voltaje: 230V. Potencia: 33 kw (44 HP). Corriente: 16,5A. Velocidad: 575 RPM.	ver código eléctrico: 6540-1	ver código eléctrico: 6540-1
ELECTROFRENO	Marca SIEMENS, tipo FN de traslación.	Sin especificar	Sin especificar
ACOPLE	Acople entre motor y reductor de tipo rígido.	Sin especificar	Sin especificar
REDUCTOR	Reductor COMELOR tipo: COD 50-Ñ 91539. Número de trenes: 3. Rata de reducción: 1/4.4. Torque salida: 15.3 kNm.	B3-52	04126666

Tabla 17. Ficha técnica de la máquina deshornadora.(Continuación).

ACOPLE	Acople entre reductor y ejes árbol motriz, diámetro: 45 mm Acople flexibles/elásticos.	B3-52/103	04126339
EJE	Eje motriz lado batería, diámetro: 95 mm. Longitud: 3850 mm.	B3-52/87	04126156T
EJE	Eje motriz lado carretera, diámetro: 95 mm. Longitud: 2965 mm.	B3-52/86	04126154T
ACOPLE	Acople entre eje motriz y eje piñón de ataque.	B3-52/102	04126337T
PIÑÓN DE ATAQUE	Eje piñón de ataque ruedas motrices.	B3-52/83	044126163T
MEDIO COJINETE	Medio cojinete inferior de bronce para eje de mando.	B3-52/81	04125343
MEDIO COJINETE	Medio cojinete superior de bronce para eje de mando.	B3-52/82	04126346
MEDIO COJINETE	Medio cojinete de bronce SAE 62.	B3-52/90	04126348T
MEDIO COJINETE	Medio cojinete de bronce SAE 62.	B3-52/89	04126352T
MEDIO COJINETE	Medio cojinete de bronce SAE 62.	B3-52/101	04126355T
MEDIO COJINETE	Medio cojinete de bronce SAE 62.	B3-52/100	04126359T
RUEDAS LOCAS	Rueda de traslación lado libre. Plano DK 23444.	Sin especificar	04126685
CORONA DENTADA	Corona dentada unida a rueda de traslación. Plano DK 23451.	Sin especificar	04126693
SISTEMA QUITA PUERTAS MÁQUINA DESHORNADORA			
MOVIMIENTO HORIZONTAL			
ELEMENTO	**CARACTERÍSTICAS**	**CÓDIGO PLANO**	**CÓDIGO MATERIALES**
MOTOR ELÉCTRICO	Marca ALSTHOM J90. Voltaje: 230 V. Potencia: 20 kw (27 HP). Velocidad: 900 RPM.	Ver código eléctrico: 7540-1	Ver código eléctrico: 7540-1
ELECTROFRENO	Marca SIEMENS, tipo FM- 200.	Sin especificar	Sin especificar
FIN DE CURSO	Interruptor fin de curso, hacia delante.	Sin especificar	Sin especificar
FIN DE CURSO	Interruptor fin de curso hacia atrás.	Sin especificar	Sin especificar
ACOPLE	Acople flexible/semielástico.	Sin especificar	Sin especificar
REDUCTOR	Reductor COMELOR, rata de reducción: 1/360.	Sin especificar	Sin especificar
BRAZOS Y PALANCAS	Biela (ver plano: B3-53/170) material sin especificar, palanca doble (ver plano: B3-53/150) material sin especificar.	B3-53/170/150	Sin especificar
RODILLOS SOPORTE	Rodillos superior e inferior para sostener la estructura de la quita puertas. Plano DK 24551.	Sin especificar	04127545/48/53
ESTRUCTURA	Cuerpo de la quita puertas.	Sin especificar	Sin especificar
SISTEMA QUITA PUERTAS MÁQUINA DESHORNADORA			
SISTEMA LEVANTA PUERTAS			
ELEMENTO	**CARACTERÍSTICAS**	**CÓDIGO PLANO**	**CÓDIGO MATERIALES**
MOTOR ELÉCTRICO	Motor eléctrico. Voltaje: 230 V. Potencia: 3.5 HP (2.6 kw). Velocidad 930 RPM.	Ver código eléctrico: 7240-2	Ver código eléctrico: 7240-2
ELECTROFRENO	Electrofreno referencia: FM-200.	Sin especificar	Sin especificar
FIN DE CURSO	Fin de curso ALSTHOM tipo: IFC 5141.	Sin especificar	Sin especificar
ACOPLE RÍGIDO	Acople entre motor y reductor: semielástico/flexible.	Sin especificar	Sin especificar
REDUCTOR	Reductor marca: PAUTOU.	Sin especificar	Sin especificar
PIÑONES DE SWICH LIMITE	Piñones acoplados al reductor (ver plano: B3-53/192/191).	Sin especificar	Sin especificar
PIÑÓN 1	Piñón salida reductor lado barra empujadora.	B3-53/183	Sin especificar
PIÑÓN 2	Piñón acoplado a piñón 1.	B3-53/185	Sin especificar
PIÑÓN 3	Piñón lado libre, comparte eje con el piñón 2.	B3-53/182	Sin especificar
EJE	Eje acoplado a 2 y 3.	B3-53/181	Sin especificar
PIÑÓN 4	Piñón acoplado al piñón 3.	B3-53/184	Sin especificar
PIÑÓN 5	Piñón ataque sector dentado, comparte eje con piñón 4.	B3-53/168	Sin especificar

Tabla 17. Ficha técnica de la máquina deshornadora. (Continuación).

EJE	Eje acoplado al piñón 4 y 5.	B3-53/180	Sin especificar
SECTOR DENTADO	Sector dentado acoplado a piñón 5.	B3-53/171	Sin especificar
PALANCA	Palanca gancho levanta puertas.	B3-53/172	Acero AISI 4340
SISTEMA QUITA PUERTAS MÁQUINA DESHORNADORA			
SISTEMA DE APRIETE Y AFLOJE DE CERROJOS			
ELEMENTO	**CARACTERÍSTICAS**	**CÓDIGO PLANO**	**CÓDIGO MATERIALES**
MOTOR SUPERIOR	Motor cerrojo superior, Potencia: 0.75 kw (1 HP). Voltaje: 230 V. Velocidad: 900 RPM.	Ver código eléctrico: 7640-1	Ver código eléctrico: 7640-1
MOTOR INFERIOR	Motor cerrojo superior. Potencia: 0.75 kw (1 HP). Voltaje: 230 V. Velocidad: 900 RPM.	Ver código eléctrico: 7640-1	Ver código eléctrico: 7640-1
ACOPLE	Acople rígido superior.	Sin especificar	Sin especificar
ACOPLE	Acople rígido inferior.	Sin especificar	Sin especificar
REDUCTOR	Reductor superior, tipo: LAMBOUX M35 Ñ5341. Rata de reducción: 1/105.	Sin especificar	04127525
REDUCTOR	Reductor superior, tipo: LAMBOUX M35 Ñ5341. Rata de reducción: 1/105.	Sin especificar	04127525
TROMPETA	Trompeta superior.	B13-63/6	04744692
TROMPETA	Trompeta inferior.	B13-63/6	04744692
SISTEMA BARRA EMPUJADORA			
ELEMENTO	**CARACTERÍSTICAS**	**CÓDIGO PLANO**	**CÓDIGO MATERIALES**
MOTOR ELÉCTRICO	Motor eléctrico ALSTHOM, tipo E 6420-1 Potencia: 50 kw (65 HP). Velocidad: 550 RPM.	Sin especificar	Sin especificar
ELECTROFRENO	Electrofreno marca: SIEMENS.		
FIN DE CURSO	Fin de curso tipo: IFCARP.	Sin especificar	Sin especificar
FIN DE CURSO	Fin de curso tipo: IFCARP.	Sin especificar	Sin especificar
ACOPLE	Acople flexible referencia COMELOR tipo MF100.	Sin especificar	04129045
REDUCTOR	Reductor COMELOR tipo: COCT 500, Rata de reducción 1/48. Torque de salida: 38 kNm. Plano DK 53185.	Sin especificar	04129642
PIÑÓN	Piñón de acero moldeado austenitico al manganeso para mando del empujador ASTM A128-64.	B3-55/51	04129645T
CREMALLERA	Cremallera acero moldeado austenitico al manganeso ASTM A 128-64.	B3-55/73	04129138
BARRA	Barra empujadora acero estructural A-42. Especificación ref.: 153-0 DPCC-47114. Plano DK 23852.	Sin especificar	04129045
CABEZA DE LA BARRA	Cabeza para el empujador acero moldeado SAE 0050. DK 23850	Sin especificar	04129112
SISTEMA BARRA NIVELADORA			
ELEMENTO	**CARACTERÍSTICAS**	**CÓDIGO PLANO**	**CÓDIGO MATERIALES**
MOTOR ELÉCTRICO	Motor eléctrico ALSTHOM, Potencia: 26 Kw (35 HP). Voltaje: 230V. Velocidad: 570 RPM.	Ver código eléctrico: 6620-1	Ver código eléctrico: 6620-1
ELECTROFRENO	Electrofreno marca: SIEMENS.	Sin especificar	Sin especificar
FIN DE CURSO	Interruptor fin de curso ALSTHOM tipo LFC 51-41.	Sin especificar	Sin especificar
ACOPLE	Acople motor-reductor (lado motor) flexible/semielástico.	B3-54/47	04128034
ACOPLE	Acople motor-reductor (lado reductor) flexible/semielástico.	B3-54/47	04128034
REDUCTOR	Reductor COMELOR COCD50. Rata de reducción 1/7.125. Torque de salida: 3.07 kNm.	B3-54/38	04128248
PIÑÓN 1	Piñón de mando sobre el reductor.	B3-54/27	04128636T
EJE	Eje de mando acoplado a piñones motrices.	B3-54/26	Sin especificar
PIÑÓN 2	Piñón de mando, 72 dientes, acoplado al piñón 1.	B3-54/23	04128623T
PIÑÓN 3	Piñón de ataque cremallera, SAE-00050 A.	B3-24/24	04128635T
BARRA	Barra estructural, plano 3816-1, referencia: 154-0. Plano DK 23615.	Sin especificar	04128064T

Tabla 17. Ficha técnica de la máquina deshornadora. (Continuación).

RODILLOS	Rodillos guía sencillo de bronce.	Sin especificar	04128678Y
RODILLOS	Rodillo guía doble de fundición de hierro gris.	B3-54/1	04128683T
CARRO	Carro de accionamiento del canal (poleas y tolva de recuperación).	Sin especificar	Sin especificar
SISTEMA DE COMPRESIÓN DE AIRE			
ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS	CÓDIGO PLANO	CÓDIGO MATERIALES
COMPRESOR 1	Compresor tipo: cilindros (dos etapas). Presión: 125 psi (8.5 kg/cm²). Velocidad: 970 RPM.	Sin especificar	Sin especificar
COMPRESOR 2	Compresor tipo: tornillo. Presión: 115 psi (8.5 kg/cm²) Velocidades; rotor: 5850 RPM, Ventilador: 1500 RPM. Potencia: 30 HP.	Sin especificar	Sin especificar
MOTOR	Motor eléctrico. Potencia: 20 kw (27 HP). Voltaje: 230V Corriente: 109 A.	Sin especificar	Sin especificar
TANQUE	Tanque de aire y tubería.	Sin especificar	Sin especificar

6.6.3 Contexto operacional turboextractor Nº 3. El proceso de generación del gas de coque comprende el enfriamiento del gas el cual se efectúa en dos etapas:

- Primero en las cabezas de caballo donde su temperatura baja de 800 ºC en las columnas ascendentes a 75 – 90 ºC en los colectores principales.

- Segundo en los condensadores primarios de 75 a 35 ºC en promedio. El alquitrán y el agua condensadas en este proceso salen por rebose de sobre nivel de los condensadores primarios y pasan a los tanques mixtos para su separación y posterior tratamiento. Luego del enfriamiento y separación del alquitrán, el gas pasa a los extractores para ser bombeado hacia las siguientes etapas de procesamiento. Por último el gas pasa por dos precipitadores electrostáticos que finalizan el proceso de recuperación del alquitrán, utilizando campos electrostáticos de alto voltaje.[2]

Los equipos involucrados en el proceso son dos turboextractores centrífugos para el manejo de gas bruto y dos turbocompresores centrífugos que manejan el gas limpio en el proceso de cada máquina hay una en marcha y una en reserva.

Los dos turboextractores con los que se cuenta son diferentes, tanto en su diseño como en su capacidad, el turboextractor Nº 1 fue diseñado inicialmente para trabajar con la batería antigua, la cual tenía un número de 43 hornos, el turboextractor Nº 3 fue diseñado para la batería que funciona actualmente la cual cuenta con un número de 57 hornos, por esta razón el turboextractor Nº 1 tiene una eficiencia menor, comparada con el turboextractor Nº 3.

El gas bruto que se obtiene de la coquización del carbón, se saca de los hornos gracias a la succión del turboextractor, este equipo maneja una presión de succión negativa dependiendo de la marcha de la batería, esta presión de succión debe ser suficiente para que el gas llegue al turboextractor venciendo la resistencia impuesta por el condensador primario, el down commer y la misma tubería, pero manteniendo una presión de 10 mm de H_2O en el colector principal de la batería.

En la actualidad con una marcha de 63 hornos/día se trabaja con una succión de 200 mm de H_2O aproximadamente. El turboextractor Nº 3 se observa en la *figura 26*, [2]

Figura 26. Turboextractor de gas Nº 3.

Una vez que el gas entra al turboextractor debido a la acción centrífuga de este, el gas alcanza una presión positiva entre 650 y 720 mm de H_2O, presión suficiente para fluir a través de los demás equipos de la planta, igualmente debido al movimiento centrífugo de la máquina, se condensa una cantidad de alquitrán que sale por las purgas constantemente hacia el tanque de purgas. El turboextractor maneja la totalidad del gas producido por la batería, dependiendo de la marcha de esta.

A medida que el gas bruto va pasando por los diferentes equipos de la planta de subproductos, este va siendo depurado, pero a la vez perdiendo presión y cuando vuelve a la sala de extractores ya como gas limpio, llega con una presión de 300 a 350 mm de H_2O, presión insuficiente para enviarlo a las plantas consumidoras como son: Planta de Fuerza, Calcinación, Fundición, por este motivo se utiliza el turbocompresor para darle una presión entre los 1100 y 1350 mm de H_2O, apta para su distribución. Los turbocompresores manejan y distribuyen aproximadamente el 60% del gas producido por la planta, el restante lo toma la batería misma para efectuar su calentamiento.

6.6.4 Ficha técnica turboextractor Nº 3. Esta máquina esta compuesta por una turbina de vapor y un extractor bietapico, las especificaciones se muestran en la *tabla 18.*

Tabla 18. Ficha técnica turboextractor Nº 3

TURBINA DE VAPOR MODELO EL-125 CON REGULADOR VOR	
Marca	Westinghouse Ltd. Hamilton Canada.
Régimen de velocidad máxima	5965 RPM y 580 HP
Régimen de velocidad normal	5835 RPM y 528 HP
Presión de toma de vapor	120 PSI
Temperatura de la toma de vapor seco	200 ºC
Presión de escape	15 PSI
PLANTA EXHAUSTADORA BIETAPICA CMC 85	
Marca:	Woodall Duckham ltd.
Volumen a 14.7 PSI y 60 ºF seco	14300 ft^3/min.
Presión total de entrada	10.31 PSI
Presión de salida	14.24 PSI
Temperatura de entrada	110 ºF
Velocidad	5963 RPM
Potencia	528 HP

REPUESTOS

COD PLANO	DESCRIPCIÓN	COD MATERIAL
B15-93/1	FILTRO	04951226
B15-93/2	ANILLO	04951055
B15-93/3	ANILLO	04951046
B15-93/5	PIÑÓN HELICOIDAL	04951775
B15-93/6	PIÑÓN HELICOIDAL	04951776
B15-93/7	EJE	04951206
B15-93/8	BUJE	04951074
B15-93/9	DISCO DE SELLO	04951195
B15-93/10	RETENEDOR	04958379
B15-93/11	ANILLO	04951044
B15-93/12	CUÑA	04951185
B15-93/13	ANILLO OBTURADOR	Sin especificar
B15-93/14	ANILLO EN TRES PARTES	Sin especificar
B15-93/15	ANILLO OBTURADOR LADO TURBINA	04950015
B15-93/16	ANILLO	Sin especificar
B15-93/17	COJINETE LADO ASPIRACIÓN	04951039
B15-93/18	COJINETE LADO ASPIRACIÓN	Sin especificar
B15-93/19	COJINETE LADO ROTOR	04951039
B15-93/20	COJINETE LADO ROTOR	04951175
B15-93/21	PRENSAESTOPAS BOMBA DE ACEITE	04951175
B15-93/22	EJE BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE	Sin especificar
B15-93/23	TAPA BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE	Sin especificar
B15-93/24	EJE BOMBA PRINCIPAL ACEITE	Sin especificar
B15-93/25	BUJE BOMBA PRINCIPAL DE ACEITE	Sin especificar

Tabla 18. Ficha técnica turboextractor Nº 3. (Continuación).

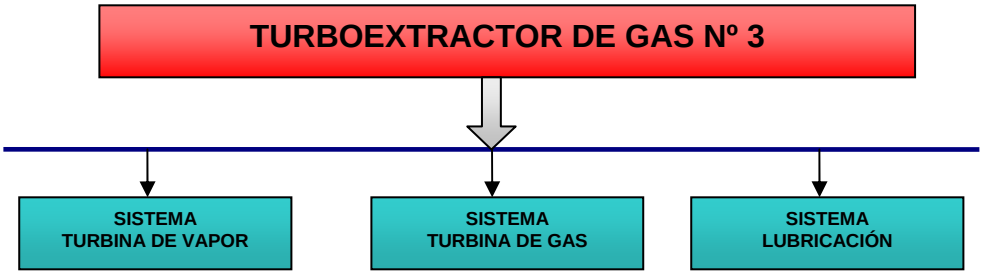
B15-93/26	EJE BOMBA VERTICAL	Sin especificar
B15-93/27	ASIENTO DE VÁLVULA DE CAMPANA	Sin especificar
B15-93/28	SELLO DE LABERINTO	Sin especificar
B15-93/29	EXTREMO EJE	Sin especificar
B15-93/30	EXTREMO EJE	Sin especificar
B15-93/31	IMPULSOR SELLO DE LABERINTO	Sin especificar
B15-93/32	SELLO EN DOS PARTES	04951053
B15-93/33	SELLO EN DOS PARTES	04951052
B15-93/34	ARANDELA EN DOS PARTES	04951049
B15-93/35	EMPAQUE	04951212
B15-93/36	CAMISA	Sin especificar

El estudio de Análisis de Modos y Efectos de Falla que se realizó a la máquina turboextractor fue un estudio de nivel 2, como se muestra en la *figura 27*.

Figura 27. Niveles de estudio FMEA turboextractor de gas Nº 3.

El turboextractor de gas Nº 3 se dividió en 3 sistemas importantes, como se muestra en la *figura 28*.

Figura 28. Partes del turboextractor de gas Nº 3.



6.6.5 Contexto operacional máquina guía Nº 2. Dentro del proceso de manejo del coque, la máquina guía de coque cumple con una parte importante ya que es la encargada de servir de puente entre el horno y el vagón de apagado el cual es el encargado de llevar el coque para su enfriamiento. Se cuenta dentro del proceso con dos máquinas guía, la número uno corresponde a la batería antigua

de 43 hornos y la número dos a la batería nueva de 57 hornos, por eficiencia, diseño y seguridad se utiliza la máquina guía Nº 2 y en caso de emergencia o mantenimiento la máquina Nº 1 entra a funcionar.

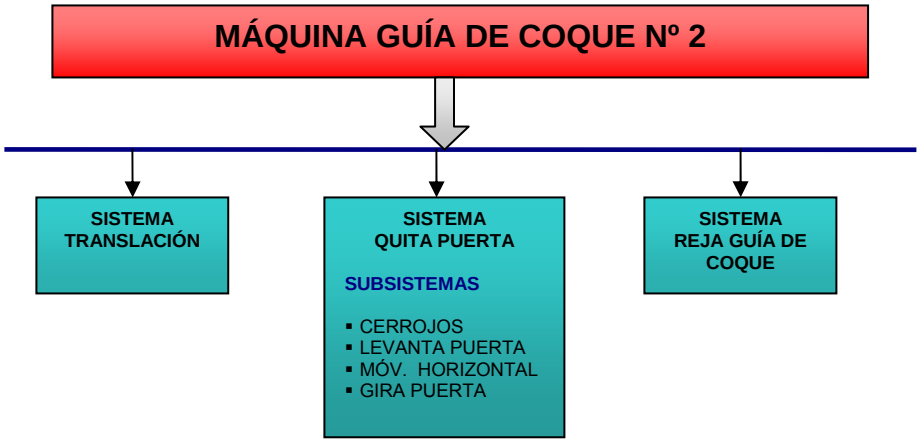
El proceso se desarrolla de la siguiente manera: una vez asignado el número de deshornes y la hora en que se van a realizar durante el día, el operario ubica la máquina en el horno designado y procede a la apertura de la puerta, proceso que se lleva a cabo con el sistema de cerrojos, encargado de abrir y cerrar las mariposas de la puerta; el sistema levanta puertas, una vez abiertas las mariposas levanta la puerta para poder retirarla, este proceso se realiza con un movimiento horizontal, una vez retirada la puerta del horno se gira 90º hacia la derecha vista la máquina de frente, este movimiento se realiza para poder limpiar la puerta de los residuos del proceso de coquizado. Posteriormente el operario mueve la máquina de tal manera que ubica la reja al frente del horno designado y mueve la reja de forma horizontal hasta ubicarla al frente del marco del horno. En este preciso instante el operario o el ayudante dependiendo del número del horno llevan una ficha al operario de la máquina deshornadora con el fin de autorizar el deshorne, después de terminado el deshorne se retira la reja de la puerta y se procede a cerrar la puerta del horno y la máquina se traslada al siguiente horno asignado en la programación y comienza el proceso de deshorne nuevamente, actualmente se manejan aproximadamente 20 deshornes por turno.

El estudio de Análisis de Modos y Efectos de Falla, que se realizó a la máquina guía de coque Nº 2, fue un estudio de nivel 3, como se muestra en la *figura 29.*

Figura 29. Niveles de estudio FMEA máquina guía de coque Nº 2.

La máquina guía de coque Nº 2 se dividió en 3 sistemas importantes, uno de ellos con sus respectivos subsistemas, como se muestra en la *figura 30.*

Figura 30. Diagrama de flujo máquina guía Nº 2.



6.6.6 Ficha técnica máquina guía de coque Nº 2. Las características técnicas de la máquina guía se pueden resumir en la *tabla 19*.

Tabla 19. Ficha técnica máquina guía Nº 2.

DIMENSIONES Y VELOCIDADES	
Altura	6248 mm
Largo	8474 mm
Ancho	3536 mm
Peso	40 000 kilos
Velocidad de translación	60 m/min.
Giro	1.5 RPM
Enganchamiento	0.753 m/min.
MOTORES	
Sistema de translación	20 HP a 575 RPM
Movimiento horizontal	3 HP a 900 RPM
Levanta puerta	3 HP a 1500 RPM
Gira puerta	3 HP a 900 RPM
Cerrojos	1 ½ HP a 1500 RPM
Sistema reja guía	3 HP a 900 RPM

En la *tabla 20*, se enumeran los repuestos utilizados en la máquina guía de coque Nº 2, este listado fue creado a partir de las diferentes reparaciones que se han realizado a la máquina por motivo de mantenimiento correctivo.

Tabla 20. Repuestos máquina guía Nº 2.

REPUESTOS MÁQUINA GUÍA DE COQUE Nº 2					
PLANO	**DESCRIPCIÓN**	**REF**	**PLANO FAB.**	**CÓDIGO PROCESO**	**CÓDIGO REPUESTO**
B13-68/1	PLACA DE PISO	1	230994	15799	04745387
B13-68/2	PLACA DE PISO	2	230994	15799	04745393
B13-68/3	PLACA DE PISO	3	230994	15799	04745396

Tabla 20. Repuestos máquina guía Nº 2. (Continuación).

B13-68/4	TORNILLO	20	230994	15799	04745573
B13-68/5	BUJE EN BRONCE	13	230994	15799	Sin especificar
B13-68/6	PASADOR DE ACERO	12	230994	15799	Sin especificar
B13-68/7	ARANDELA DE ACERO	18	230994	15799	Sin especificar
B13-68/8	SOPORTE SUPERIOR ACERO	10	230994	15799	Sin especificar
B13-68/9	SOPORTE DE ACERO	19	230994	15799	Sin especificar
B13-68/10	ESLABÓN DE ACERO	11	230994	15799	Sin especificar
B13-68/11	PLATINA DESGASTE ACERO	15	230994	15799	Sin especificar
B13-68/12	PLACA DE ACERO	8	230994	15799	Sin especificar
B13-68/13	PLACA DE ACERO	7	230994	15799	Sin especificar
B13-68/14	PUERTA DE ACERO	5	230994	15799	Sin especificar
B13-68/15	PUERTA DE ACERO	6	230994	15799	Sin especificar
B13-68/16	PASADOR DE ACERO	14	230994	15799	04745485
B13-68/17	RODILLO GUÍA	3	230998	15803	04745436
B13-68/18	BUJE BRONCE FOSFOROSO	8	230998	15803	04745104
B13-68/19	BUJE BRONCE FOSFOROSO	5	230998	15803	04745107
B13-68/20	PLATINA DE ACERO A-36	9	230998	15803	Sin especificar
B13-68/21	PLATINA DE ACERO A-36	14	230998	15803	Sin especificar
B13-68/22	RODILLO GUÍA ACERO 1040	6	230998	15803	04745434/32
B13-68/23	COLLAR ACERO 1040	4	230998	15803	04745128
B13-68/24	EJE ACERO FORJADO 1025	12	230998	15803	04745156
B13-68/25	SOPORTE DE RODADURA	1	230998	15803	04745513
B13-68/26	EJE RODILLO ACERO 1040	2	230998	15803	04745152
B13-68/27	PASADOR DE ACERO 1020	7	230998	15803	04745362
B13-68/28	EJE DE ACOPLE ACERO 1040	10	230998	15803	04745154/145
B13-68/29	BUJE BRONCE FOSFOROSO	13	230998	15803	04745109/14
B13-68/30	PASADOR DE ACERO 1020	11	230998	15803	04745365

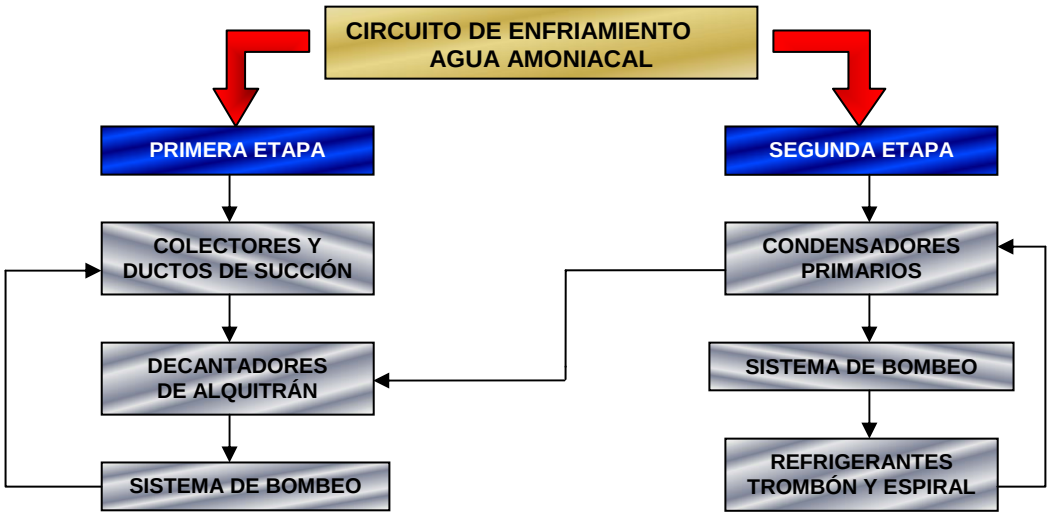
6.6.7 Contexto operacional circuito de enfriamiento. El fin principal del circuito de enfriamiento es reducir la temperatura del gas de coque por medio del agua amoniacal en dos etapas generales.

- **Primera etapa de enfriamiento.** En esta primera etapa el gas de coque sale de los hornos a una temperatura entre 700ºC y 850ºC a través de la columnas ascendentes, para luego pasar al colector general de succión a través de un ducto acodado llamado cabeza de caballo, en este punto el gas baja su temperatura hasta 75-85ºC debido a que se inyecta agua amoniacal a través de 114 pulverizadores montados por parejas en las 57 cabezas de caballo, de tal forma que el barrido del agua amoniacal cubre completamente la sección transversal de la columna ascendente.

El colector principal esta dividido en dos partes y solo están unidas por una tubería que regula la presión interna del colector, ambas tuberías descargan el gas a una tubería cilíndrica que lo conduce hacia una trampa liquida (cono separador o down commer) que separa del gas una mezcla entre alquitrán y agua amoniacal por decantación, esta mezcla es llevada hacia los tanques mixtos que recuperan el agua amoniacal del alquitrán por rebose, para almacenarla en el tanque de

recirculación que alimenta al sistema de bombeo que conduce el agua amoniacal nuevamente hacia los 114 pulverizadores. El circuito de enfriamiento completo se muestra en la *figura 31*.

Figura 31. Circuito de enfriamiento agua amoniacal.



La temperatura en este primera etapa, juega un papel importante dentro del proceso de coquización con subproductos, ya que si la temperatura en las cabezas de caballo esta por debajo de los 75ºC, la viscosidad del alquitrán aumenta dificultando su flujo libre y si la temperatura esta por encima de 85ºC acercándose al punto de ebullición del agua (100ºC), corre el riesgo de efectuar una mala refrigeración del gas, permitiendo formaciones localizadas de alquitrán sólido en cucharas y paredes de los ductos. El caudal de agua amoniacal recomendado para la batería Nº 2 esta dentro del rango de 200 a 300 m³/h y una presión de 3 kg/cm² a la salida de las bombas y debe bajar de 150 m³/h. Este flujo es proporcionado por el sistema de bombeo que está compuesto por 5 bombas centrífugas horizontales como se observa en la *tabla 21.*

Tabla 21. Sistema de bombeo agua amoniacal al colector.

SISTEMA DE BOMBEO AGUA AMONIACAL AL COLECTOR			
BOMBA	**CAUDAL (m³/h)**	**POTENCIA (HP)**	**VELOCIDAD (RPM)**
Nº 1	450	75	1750
Nº 2	160	33	1750
Nº 3	160	33	1750
Nº 4	160	33	1750
Nº 5	450	86	1750

Este grupo de bombas funciona de la siguiente manera; las bombas 1 y 5 son principales y las bombas 2, 3 y 4 son secundarias; para generar el caudal y presión requerida siempre debe operar una bomba principal y una secundaria, ya

que debido a la pérdida de eficiencia en las bombas, es la única forma de generar el caudal requerido. Las bombas poseen un grupo de filtros en la succión y en la descarga que separa algún tipo de sólido que pueda afectar el impulsor de las bombas. Además, el flujo de agua amoniacal a los colectores se controla con válvulas manuales montadas a largo de la tubería de descarga, y cada uno de los 114 pulverizadores es alimentado por ductos flexibles que poseen válvulas independientes que controlan el flujo individual a cada inyector.

Cabe anotar que la presión en los ductos de succión y en el colector es controlada por el turboextractor, que mantiene una presión entre 8 y 12 mm de agua ($8*10^{-4}$ y $12*10^{-4}$ kg/cm²) que evita la entrada de aire exterior a los hornos de coquización y hace mínimas las fugas de gas por puertas y bocas de cargue.

- **Segunda etapa de enfriamiento.** Para lograr una completa condensación del alquitrán, es necesario reducir la temperatura del gas a niveles inferiores a 50ºC, esto se logra con los condensadores primarios en la segunda etapa del proceso de enfriamiento. Los condensadores primarios son dos torres cilíndricas verticales, de 12 m de altura y 4 m de diámetro, en su interior poseen una serie de enrejados de madera que garantizan un buen contacto del agua amoniacal con el gas de coque que entra por la parte inferior de los condensadores. El agua amoniacal es inyectada por la parte superior de los condensadores primarios por medio de 16 pulverizadores, el agua desciende en contracorriente con el gas que asciende y cede su calor al agua fría, produciendo la condensación total del alquitrán del agua en razón a su inmiscibilidad y a su diferencia de densidad.

El proceso de enfriamiento del gas de coque, también conlleva a la condensación del agua presente en el gas, en razón a que el gas entra saturado de humedad a una temperatura de 75ºC y sale en igual condición a 35-40ºC. El agua residual o excedente como se llama al agua condensada va saliendo del circuito permanentemente junto con el alquitrán y va a los tanques mixtos para su separación por decantación.

El agua amoniacal que se utiliza en la refrigeración de los condensadores primarios, trabaja en circuito cerrado, a su paso por el condensador primario toma calor del gas ganando temperatura y lo cede al agua industrial en los refrigerantes de trombón y espiral. El movimiento del agua industrial es realizado por un sistema de bombeo formado por tres bombas centrífugas horizontales, que generan un caudal en función de los condensadores primarios, los valores de caudal son mostrados en la *tabla* 22.

Tabla 22. Caudal del sistema de bombeo a condensadores primarios.

	Una bomba en servicio	**Dos bombas en servicio**
Un primario en servicio	110 a 140 m³/h	150 a 200 m³/h
Dos primarios en servicio	120 a 160 m³/h	165 a 220 m³/h

Si el flujo observado es inferior a los límites indicados anteriormente, se concluye que existe alguna restricción en el circuito o que las bombas no tienen un estado de funcionamiento correcto. Para determinar si existe algún tipo de taponamiento, se pueden utilizar los manómetros como sistema de monitoreo, así:

1. Si la presión a la salida de las bombas es mayor a ***6 kg/cm²,*** existe alguna restricción por taponamientos en la tubería antes de los refrigerantes.

2. Si la presión en la entrada de los condensadores primarios es inferior a ***5 kg/cm²,*** las bombas han perdido eficiencia y deben salir de servicio para mantenimiento o deben ser cambiadas.

3. Si la presión en el anillo de los pulverizadores en la parte superior de los condensadores es mayor a ***2 kg/cm²,*** la obstrucción esta localizada en los pulverizadores.

4. si la presión es inferior a ***5 kg/cm²*** a la salida de los refrigerantes, la obstrucción esta localizada en los refrigerantes.

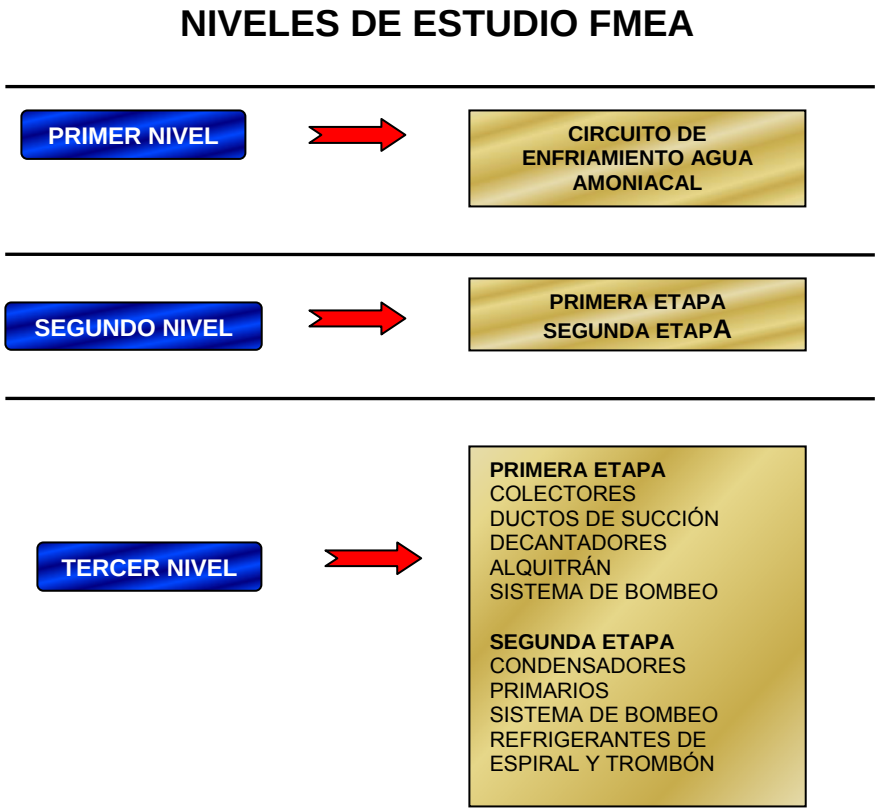
Los refrigerantes utilizados para bajar la temperatura del agua amoniacal hacia los condensadores primarios, son intercambiadores de calor que utilizan agua industrial para quitar calor a las aguas amoniacales. Existen dos tipos de refrigerantes: los refrigerantes de trombón y los de espiral. Los de trombón son antiguos, y hacían parte de la batería Nº 1, estos son serpentines bañados exteriormente por el agua industrial que es recogida por desagüe en una piscina hecha para su fin. Los refrigerantes de espiral son intercambiadores de calor, en ellos no se desperdicia agua industrial y el intercambio se hace por transferencia de calor. La Planta de Coque posee 4 de estos refrigerantes que son responsables del 90% de la refrigeración del agua amoniacal, lamentablemente su mantenimiento tiene que ser continuo y debido al tiempo de vida útil de trabajo y a la falta de limpieza solo dos funcionan dentro de los parámetros deseados. De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el agua amoniacal entra a los condensadores primarios a una temperatura aproximada de ***35ºC < t < 45ºC*** y sale a una temperatura de ***65ºC < t <70ºC***; además la temperatura de entrada y salida del agua industrial utilizada en los refrigerantes de espiral es de 20ºC y 40ºC respectivamente. La *tabla* 23 muestra una comparación de las temperaturas de funcionamiento de los refrigerantes de espiral.

Tabla 23. Temperaturas de entrada y salida refrigerantes de espiral.

INTERCAMBIADORES DE ESPIRAL		
Intercambiador	**Temperatura de entrada**	**Temperatura de salida**
Nº 1	68.5ºC	41.6 ºC
Nº 2	68.8 ºC	41.9 ºC
Nº 3	67.5 ºC	52 ºC
Nº 4	67.4 ºC	50.7 ºC

Al circuito de enfriamiento del gas en la Planta de Coque de la empresa Acerías Paz del Río S.A. se le realizó un estudio de modos y efectos de falla de segundo nivel, tomando como sistemas principales la primera y segunda etapa, como lo muestra la *figura* 32.

Figura 32. Niveles de estudio circuito de enfriamiento.



6.6.8 Ficha técnica circuito de enfriamiento. La ficha técnica agrupa los componentes principales de los equipos que hacen parte del circuito de enfriamiento según la clasificación que se muestra en la *tabla* 24. Esta tabla agrupa los elementos de los subsistemas del circuito de enfriamiento en sus dos etapas.

Tabla 24. Ficha técnica circuito de enfriamiento agua amoniacal.

CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO AGUA AMONIACAL	
PRIMERA ETAPA	
COLECTOR PRINCIPAL Y DUCTOS DE SUCCIÓN	
PLANO GENERAL COLECTOR Y DUCTOS DE SUCCIÓN	PLANO B3-34 DISTICOKE 24987
COLECTOR PRIMARIO	PLANO B3-34 DISTICOKE 119216
COLECTOR PRINCIPAL	PLANO B3-34 WOODALL-DUCKMAN 15100
DECANTADORES DE ALQUITRÁN	
SIN ESPECIFICAR	MOTOR 5.5 CV, 1800 RPM.
PLANO B5-83/ SIN ESPECIFICAR	ACOPLE SEMIELÁSTICO MOTO REDUCTOR
PLANO B5-83/ SIN ESPECIFICAR	REDUCTOR
PLANO B5-83/ SIN ESPECIFICAR	ACOPLE SEMIELÁSTICO REDUCTOR

Tabla 24. Ficha técnica circuito de enfriamiento agua amoniacal. (Continuación).

PLANO B5-83 DISTICOKE 15063	CUERPO		
PLANO B5-83 DISTICOKE 26745	TUBERÍA Y VÁLVULAS		
PLANO B5-83 DISTICOKE 24295	TRANSMISIÓN POR CADENA		
SIN ESPECIFICAR	FILTROS DE AGUA AMONIACAL		
PLANO B5-83 DISTICOKE 22540	TRANSPORTADOR RASPADOR		
SIN ESPECIFICAR	FLOTADOR		
SIN ESPECIFICAR	REGULADOR DE NIVEL		
PLANO B5-83 DISTICOKE 15063	ESTRUCTURA METÁLICA		
SISTEMA DE BOMBEO AGUA AMONIACAL AL COLECTOR (PRIMERA ETAPA)			
BOMBA NÚMERO 1	CÓDIGO MATERIALES: 7671400	CÓDIGO PLANO: B5-42	Nº MOTOR: 0670-5
Nº ELÉCTRICO: XX	MARCA: INGERSOLL RAND	SERIE: 0374-667	TIPO: 6X14 SD
CAUDAL: 2000 GPM (454 m³ / h)	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN GRASA
Ø ACOPLE BOMBA: VER COD. 76714472	TRABAJO ANUAL: 4320 HORAS	RODAMIENTOS: SKF 6208 2Z	POTENCIA BOMBA: 75 HP
BOMBA NÚMERO 2	CÓDIGO MATERIALES: 76741000	CÓDIGO PLANO: B5-42	Nº MOTOR: 0670-2
Nº ELÉCTRICO: 26	MARCA: RATEAU	SERIE: 117669	TIPO: HP-28 B
CAUDAL: 160 m³ / h	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN ACEITE
Ø ACOPLE BOMBA: 42 mm MOTOR 38 mm BOMBA	TRABAJO ANUAL: 2280 HORAS	BUJES DE BRONCE	POTENCIA BOMBA: 35 HP
BOMBA NÚMERO 3	CÓDIGO MATERIALES: 76741000	CÓDIGO PLANO: B5-42	Nº MOTOR: 0700-9
Nº ELÉCTRICO: 33	MARCA: RATEAU	SERIE: 117669	TIPO: HP-28 B
CAUDAL: 160 m³ / h	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN ACEITE
Ø ACOPLE BOMBA: 42 mm MOTOR 38 mm BOMBA	TRABAJO ANUAL: 2280 HORAS	BUJES DE BRONCE	POTENCIA BOMBA: 35 HP
BOMBA NÚMERO 4	CÓDIGO MATERIALES: 76741000	CÓDIGO PLANO: B5-42	Nº MOTOR: 1010-3
Nº ELÉCTRICO: 18	MARCA: RATEAU	SERIE: 117669	TIPO: HP-28 B
CAUDAL: 160 m³ / h	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN ACEITE
Ø ACOPLE BOMBA: 42 mm MOTOR 38 mm BOMBA	TRABAJO ANUAL: 2280 HORAS	BUJES DE BRONCE	POTENCIA BOMBA: 35 HP
BOMBA NÚMERO 5	CÓDIGO MATERIALES: 76741000	CÓDIGO PLANO: B5-42	Nº MOTOR: 0670-8
Nº ELÉCTRICO: XX	MARCA: WORTHINGTON	SERIE: ---	TIPO: 8LR-11
CAUDAL: 2000 GPM (454 m³ / h)	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN ACEITE STIK 100
Ø ACOPLE BOMBA: XX	TRABAJO ANUAL: 4320 HORAS	RODAMIENTOS: SKF 6406	POTENCIA BOMBA: 86 HP
BOMBA NÚMERO 6 EMERGENCIA	CÓDIGO MATERIALES: ---	CÓDIGO PLANO: B5-42	ACCIONADA POR MOTOR DIESEL MARCA: 100GT6 1ª PERKINS
Nº ELÉCTRICO: XX	MARCA: HYDROMAC	POTENCIA MOTOR: 129.4 HP	TIPO: 200-380
CAUDAL: ---	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN ACEITE STIK 100
Ø ACOPLE BOMBA: 42 mm	TRABAJO ANUAL: EMERGENCIA	RODAMIENTOS: SKF 6406	POTENCIA BOMBA: 86 HP
CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO AGUA AMONIACAL			
SEGUNDA ETAPA			
CONDENSADORES PRIMARIOS			
PLANO B5-81	CUERPO DEL CONDENSADOR		
PLANO B5-81	TUBERÍA Y VÁLVULAS		
PLANO B5-81	PULVERIZADORES		
PLANO B5-81	ESTRUCTURA METÁLICA		
SISTEMA DE BOMBEO AGUA AMONIACAL A LOS CONDENSADORES PRIMARIOS			
BOMBA NÚMERO 1	CÓDIGO MATERIALES: 76712200	CÓDIGO PLANO: B5-41	Nº MOTOR: 0670-1
Nº ELÉCTRICO: XX	MARCA: HYDRAL	SERIE: ---	TIPO: D 5X6 HSB

Tabla 24. Ficha técnica circuito de enfriamiento agua amoniacal. (Continuación).

CAUDAL: (273 m³/h)	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN ACEITE
Ø ACOPLE BOMBA: 42 mm	TRABAJO ANUAL: 2880 HORAS	RODAMIENTOS: SKF 6309	POTENCIA BOMBA: 120 HP
CABEZA ESTÁTICA TOTAL : 20 m			
BOMBA NÚMERO 2	CÓDIGO MATERIALES: 76712200	CÓDIGO PLANO: B5-41	N. MOTOR: 0670-6
Nº ELÉCTRICO: XX	MARCA: HYDRAL	SERIE: ---	TIPO: D 5X6 HSB
CAUDAL: (273 m³/h)	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN ACEITE
Ø ACOPLE BOMBA: 42 mm	TRABAJO ANUAL: 2880 HORAS	RODAMIENTOS: SKF 6309	POTENCIA BOMBA: 120 HP
CABEZA ESTÁTICA TOTAL : 20 m			
BOMBA NÚMERO 3	CÓDIGO MATERIALES: 76712200	CÓDIGO PLANO: B5-41	N. MOTOR: 0670-7
Nº ELÉCTRICO: XX	MARCA: HYDRAL	SERIE: ---	TIPO: D 5X6 HSB
CAUDAL: (273 m³/h)	CENTRÍFUGA HORIZONTAL	VELOCIDAD: 1800 RPM	LUBRICACIÓN ACEITE
Ø ACOPLE BOMBA: 42 mm	TRABAJO ANUAL: 2880 HORAS	RODAMIENTOS: SKF 6309	POTENCIA BOMBA: 120 HP
CABEZA ESTÁTICA TOTAL : 20 m			
REFRIGERANTES DE TROMBÓN Y ESPIRAL			
PLANO B5-56	REFRIGERANTES DE TROMBÓN		
PLANO B5-56	REFRIGERANTES DE ESPIRAL		
PLANO B5-56/52	ESTRUCTURA INTERNA DE LOS REFRIGERANTES DE TROMBÓN		
B5-56/25	ESTRUCTURA INTERNA DE LOS REFRIGERANTES DE ESPIRAL		
OTROS ELEMENTOS			
SIN ESPECIFICAR	TANQUE DE RECIRCULACIÓN		
B5-71	TANQUE DE PURGAS		
B5-81	BOMBA TANQUE DE PURGAS (VER LISTADO DE BOMBAS BASE DE DATOS)		

6.7 RESULTADOS DEL ESTUDIO

Obtenidos los cuatro equipos de mayor criticidad, se realizó el contexto operacional que establece las condiciones reales de funcionamiento, posteriormente se reunieron los datos técnicos, códigos de plano y materiales de cada máquina dentro de la ficha técnica.

Después de esto los autores se dieron a la tarea de realizar un estudio preliminar del funcionamiento de cada máquina con el fin de tener una mejor comprensión para realizar el estudio.

El Análisis de Modos y Efectos de Falla de cada máquina se muestra por medio de tablas que describen el nombre del sistema, subsistema y posteriormente la función o funciones de dicho subsistema, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos asociados a la falla para cada uno.

En las *tabla*s 25 y 26 se muestra una parte del FMEA realizado a la máquina deshornadora y al turboextractor Nº 3, dos de los equipos de mayor criticidad.

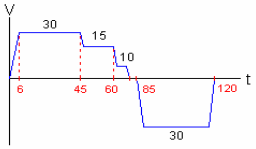
El FMEA completo de las cuatro máquinas se encuentra en el CD que se anexa al informe final.

Tabla 25. FMEA máquina deshornadora.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. PLANTA DE COQUE NOVIEMBRE 2005		SISTEMA	BARRA EMPUJADORA MÁQUINA DESHORNADORA				
		SUBSISTEMA	MOTOR ELÉCTRICO			HOJA	1 de 3
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
1	Suministrar una potencia de 50±2 Kw. (65±2 HP) a una velocidad de 550±10 RPM en el eje del motor.	A	Incapaz de transferir potencia.	1	No existe suministro de energía eléctrica al sistema o subsistema.		▪ El motor no arranca ni se energiza, la Planta de Coque se queda sin suministro de energía eléctrica, no es posible mover la barra empujadora, es posible que la barra esté dentro de un horno expuesta a alta temperatura, posibles fracturas en soldaduras o fisuras, se aplazan los deshornes programados, existe una falla en el suministro por parte de Planta de Fuerza, se encienden los generadores diesel AC de emergencia para reestablecer el suministro; tiempo máximo para la conmutación: 15 minutos.
				2	Existe un daño en los elementos de protección, control o maniobra.		▪ El motor no arranca ni se energiza, la Planta de Coque tiene suministro de energía AC, pero el barraje DC no esta energizado, no es posible mover la barra empujadora, es posible que la barra esté dentro de un horno expuesta a alta temperatura, posibles fracturas en soldaduras o fisuras , se aplazan los deshornes programados, el motor que alimenta al generador DC tiene un daño, se cae la red hacia el barraje DC, se enciende el generador DC de reserva diesel para reestablecer el suministro, tiempo máximo para la conmutación: 15 minutos.
				3	El riel de alimentación no hace contacto con el pantógrafo.		▪ El motor no arranca ni se energiza pero la Planta de Coque tiene suministro de corriente eléctrica AC y DC, no es posible mover la barra empujadora, es posible que la barra esté dentro de un horno expuesta a alta temperatura, posibles fracturas en soldaduras o fisuras , se aplazan los deshornes programados, fallan los elementos de protección y/o control, se da aviso a mantenimiento eléctrico, se procede a revisar el sistema y a repararlo, se para la máquina deshornadora hasta reemplazar los elementos dañados.

Tabla 25. FMEA máquina deshornadora. (Continuación).

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. PLANTA DE COQUE NOVIEMBRE 2005		SISTEMA	BARRA EMPUJADORA MÁQUINA DESHORNADORA				
		SUBSISTEMA	MOTOR ELÉCTRICO			HOJA	2 de 3
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
				4	Existe un daño interno en el motor.	▪ El motor se energiza pero no arranca, no es posible mover la barra empujadora, fallan los elementos de maniobra, se da aviso a mantenimiento eléctrico, se procede a revisar el sistema y repararlo, se detiene la máquina deshornadora hasta reemplazar los elementos dañados. ▪ El motor no se energiza ni arranca, la Planta de Coque tiene abastecimiento de energía DC pero la máquina deshornadora no tiene suministro de energía DC, no es posible mover la barra empujadora, es posible que la barra esté dentro de un horno expuesta a alta temperatura, posibles fracturas en soldaduras o fisuras, se aplazan los deshornes programados, el riel de alimentación no posee una alineación uniforme en sus tres ejes durante todo el recorrido y no hace contacto con el pantógrafo, se gradúan los resortes del pantógrafo para evitar los espacios entre este y el riel, tiempo promedio para reparar: 15 minutos.	
		B	Transfiere una potencia menor a la del rango establecido	1	Existe un daño en los elementos de control o maniobra.	▪ El motor se energiza, arranca, pero no proporciona la potencia necesaria, la barra empujadora no se mueve a la velocidad requerida dentro del proceso[7] , se revisa el motor por separado y si el resultado es que se encuentra en buen estado existen posibles daños en los elementos de control o maniobra, se da aviso a mantenimiento eléctrico, se cambian los elementos averiados. Tiempo máximo para el reemplazo: 30 minutos.	



[7] La barra empujadora tiene una velocidad aproximada por la curva: V (cm/s), t (s).

Tabla 25. FMEA máquina deshornadora. (Continuación).

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA					
ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. PLANTA DE COQUE NOVIEMBRE 2005	SISTEMA	BARRA EMPUJADORA MÁQUINA DESHORNADORA			
	SUBSISTEMA	MOTOR ELÉCTRICO		HOJA	3 de 3
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
			▪ El motor se energiza, arranca, pero no proporciona la potencia necesaria a la barra empujadora para moverse, daños en los rodamientos del motor, se da aviso a mantenimiento eléctrico, se examina el motor y se corrigen fallas. Tiempo para reemplazar el motor: 30 minutos. ▪ El motor se energiza, arranca pero no proporciona la potencia necesaria a la barra empujadora para moverse, se aplazan los deshornes programados, se saltan las protecciones del motor, posibles daños internos del motor, pérdida de eficiencia, se inspecciona el motor y se reemplazan elementos averiados. Tiempo para reemplazar piezas averiadas: 30 minutos. ▪ El motor se energiza, arranca, pero no proporciona la potencia necesaria, el motor funciona forzadamente, ruidos extraños en la parte interna del motor, se saltan las protecciones, el motor se quema, falla por vida útil del motor, se examina el motor averiado en el taller de mantenimiento eléctrico. Tiempo para reemplazar el motor: 2 horas. (el tiempo promedio de esta falla es de 5 años) ▪ El motor se energiza, arranca, pero durante el transcurso del proceso de deshorne se detiene varias veces, se detiene la barra empujadora, se toman las medidas necesarias para controlar la temperatura de los hornos, se aplazan los deshornes programados, se repara el motor y se revisan las piezas averiadas en el taller de mantenimiento eléctrico, el aislamiento del motor se sale del rango (aislamiento correcto 1000 Ω/ v), cambio en los elementos de control y protección, tiempo máximo para reparar: 2 horas. (Tiempo promedio de ocurrencia de esta falla: 3 años).		

Tabla 26. FMEA turboextractor Nº 3.

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. PLANTA DE COQUE NOVIEMBRE 2005		SISTEMA	TURBOEXTRACTOR Nº 3				
		SUBSISTEMA	TURBINA DE GAS			HOJA	1 de 3
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
1	Extraer el gas de coque producido en los hornos a una presión entre -170 a – 250 mm de H_2O y una temperatura de 40-45 ºC e impulsarlo a través de todos los equipos de la planta de subproductos a una presión entre 650 ± 50 mm de H_2O funcionando el precipitador Nº 2; y una presión de 720 ± 50 mm de H_2O funcionando el precipitador Nº 1.	A	Incapaz de extraer el gas de coque.	1	Desgranamiento del recubrimiento de babbit en los cojinetes.	▪ Se presenta alta vibración y un aumento de la temperatura en la chumacera. Es necesario detener la máquina para su mantenimiento. Se cambian los cojinetes. Tiempo muerto 96 horas.	
				2	Desalineamiento entre los ejes de la turbina de gas y la turbina de vapor.	▪ Se presenta un ruido por rozamiento y vibración anormal. Es necesario detener la máquina para su mantenimiento. Se corrige el desalineamiento. Tiempo muerto 96 horas.	
				3	Taponamiento de los laberintos.	▪ Se observa una elevación en la velocidad de la turbina y una caída en la succión del gas. Es necesario detener la máquina para su mantenimiento. Al destapar la máquina se observan trazas de alquitrán pegadas a las paredes de los laberintos. Se limpia todas las partes y se coloca en funcionamiento. Tiempo muerto 96 horas.	
				4	Taponamiento en las tuberías.	▪ Se observa una elevación en la velocidad de la turbina y fugas de gas a la atmósfera en la batería debido a la mala succión. Es necesario detener la máquina para su mantenimiento. Se lavan las tuberías con aceite antrasenico. Tiempo 96 horas.	
				5	Fallan los sellos mecánicos.	▪ Se presentan fugas de aceite excesivo; el nivel del aceite en el depósito disminuye considerablemente. Se detiene la máquina para su mantenimiento. Se reemplazan los sellos mecánicos. Tiempo muerto 96 horas.	
		B	Extraer el gas de coque a una presión menor de -170 mm de H_2O.	1	Error en el control por parte del operario	▪ Por descuido del operario y el turboextractor estando en regulación manual, succiona el gas a una presión menor de -170 mm de H_2O, lo cual origina una pérdida excesiva de gas a la atmósfera. Explicarle a los operarios la importancia que tiene la máquina en el proceso.	
				2	Baja presión de vapor a la entrada.	▪ La presión de vapor a la entrada es del orden de 8 a 9 PSI lo que origina una velocidad de rotación baja y por consiguiente una mala succión; se informa a Planta de Fuerza para que eleven nuevamente la presión, si esto no es posible detener la máquina para evitar daños mayores.	

Tabla 26. FMEA turboextractor Nº 3. (Continuación).

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. PLANTA DE COQUE NOVIEMBRE 2005		SISTEMA	TURBOEXTRACTOR Nº 3				
		SUBSISTEMA	TURBINA DE GAS			HOJA	2 de 3
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
		C	Extraer el gas de coque a una presión mayor de -250 mm de H_2O.	1	Error en el control por parte del operario	▪ Por descuido del operario y el turboextractor estando en regulación manual, succiona el gas a una presión mayor de -250 mm de H_2O, lo cual origina un incendio. Explicarles a los operarios la importancia que tiene la máquina en el proceso.	
				2	Falla el regulador de velocidad	▪ El regulador no funciona lo que ocasiona el aumento rápido de velocidad de la turbina. Se debe regular inmediatamente la velocidad de forma manual. Reparar el sistema de regulación tan pronto se programe una parada de la máquina. Tiempo de reparación 12 horas.	
		D	Impulsar el gas de coque a una presión menor de 600 mm de H_2O en el precipitador Nº 2 y 670 mm de H_2O en el precipitador Nº 1.	1	Error en el control por parte del operario	▪ Por descuido del operario y el turboextractor estando en regulación manual, extrae el gas a una presión menor de 600 mm de H_2O, lo cual origina problemas en el suministro el gas. Explicarles a los operarios la importancia que tiene la máquina en el proceso.	
				2	Baja presión de vapor.	▪ La presión de vapor a la entrada es del orden de 8 a 9 PSI lo que origina una velocidad de rotación baja y por consiguiente una presión de descarga baja; se informa a Planta de Fuerza para que eleven nuevamente la presión, si esto no es posible detener la máquina para evitar daños mayores.	
2	Mostrar al operador la presión de entrada de gas (-200 mm de H_2O) con una precisión del 2% de la presión real del proceso.	A	Incapaz de mostrar la presión del proceso.	1	Daño en el instrumento.	▪ Cuando el operario observa que el instrumento no funciona, se llama a instrumentación e inmediatamente se cambia el aparato.	
		B	Muestra una presión más de 2% más alta de la presión real del proceso.	1	El elemento se encuentra descalibrado.	▪ Se compara en el comienzo de cada turno la lectura del termómetro análogo contra un termómetro digital y si la lectura se encuentra por debajo o por encima del 5% del valor real, se llama a instrumentación e inmediatamente se cambia el aparato para recalibrarlo.	
		C	Muestra una presión más de 2% más baja de la presión real del proceso.	1	El elemento se encuentra descalibrado.	▪ Se presenta el mismo efecto de falla que el anterior.	

Tabla 26. FMEA turboextractor Nº 3. (Continuación).

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA							
ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. PLANTA DE COQUE NOVIEMBRE 2005		SISTEMA	TURBOEXTRACTOR Nº 3				
		SUBSISTEMA	TURBINA DE GAS			HOJA	3 de 3
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
3	Mostrar al operador la temperatura de entrada de gas (200 º C) con una precisión del 2% de la temperatura real del proceso.	A	Incapaz de mostrar la temperatura del proceso.	1	Daño en el instrumento.	▪ Cuando el operario observa que el instrumento no funciona, se llama a instrumentación e inmediatamente se cambia el aparato.	
		B	Muestra una temperatura más de 2% más alta que la temperatura real del proceso	1	El elemento se encuentra descalibrado.	▪ Cuando el operario observa una presión anormal se llama a instrumentación e inmediatamente se cambia el aparato, si la falla es del instrumento se recalibra, pero si no es el aparato se procede a una revisión cuidadosa de las demás lecturas y así tomar las medidas necesarias.	
		C	Muestra una temperatura más de 2% más baja que la temperatura real del proceso	1	El elemento se encuentra descalibrado.	▪ Se presenta el mismo efecto de falla que el anterior.	
4	Mostrar al operador la presión de salida de gas (650 mm de H2O) con una precisión del 2% de la presión real del proceso.	A	Incapaz de mostrar la presión del proceso.	1	Daño en el instrumento.	▪ Cuando el operario observa que el instrumento no funciona, se llama a instrumentación e inmediatamente se cambia el aparato.	
		B	Muestra una presión más de 2% más alta que la presión real del proceso.	1	El elemento se encuentra descalibrado.	▪ Se compara en el comienzo de cada turno la lectura del termómetro análogo contra un termómetro digital y si la lectura se encuentra por debajo o por encima del 5% del valor real, se llama a instrumentación e inmediatamente se cambia el aparato para recalibrarlo.	
		C	Muestra una presión más de 2% más baja que la presión real del proceso	1	El elemento se encuentra descalibrado.	▪ Se presenta el mismo efecto de falla que el anterior.	
5	Mostrar al operador la temperatura de salida de gas con una precisión del 2% de la temperatura real del proceso.	A	Incapaz de mostrar la temperatura del proceso.	1	Daño en el instrumento.	▪ Cuando el operario observa que el instrumento no funciona, se llama a instrumentación e inmediatamente se cambia el aparato.	
		B	Muestra una temperatura más de 2% más alta que la temperatura real del proceso	1	El elemento se encuentra descalibrado.	▪ Cuando el operario observa una presión anormal se llama a instrumentación e inmediatamente se cambia el aparato, si la falla es del instrumento se recalibra, pero si no es el aparato se procede a una revisión cuidadosa de las demás lecturas y así tomar las medidas necesarias.	
		C	Muestra una temperatura más de 2% más baja que la temperatura real del proceso.	1	El elemento se encuentra descalibrado.	▪ Se presenta el mismo efecto de falla que el anterior.	

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BARRERA E., Juan David. Manual de operaciones planta de subproductos. Belencito: Acerías Paz del Río, Departamento de Coquería, agosto de 1990.

[2] MOUBRAY Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Edición en español 2004. Publicado por Aladon ltd. Traducido por Ellmann, Sueiro y Asociados. Buenos Aires, Argentina – Madrid, España.

7. PLAN GENERAL DE MANTENIMIENTO BASADO EN ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

Después de obtenidos los resultados del Análisis de Criticidad y el Análisis de Modos y Efectos de Falla, herramientas que dieron las pautas para el estudio de los cuatro equipos de mayor criticidad en la Planta de Coque se realizó un plan de mantenimiento preventivo general que permite reducir las paradas imprevistas, los costos de mantenimiento y un mejor control de personal, materiales y equipos.

7.1 MARCO TEÓRICO

7.1.1 Definición. Se puede definir el mantenimiento preventivo como el conjunto de actividades programadas a equipos en funcionamiento que permiten en la forma más económica, continuar su operación eficiente y segura, con tendencia a prevenir las fallas y paros imprevistos. Esto significa que un programa de mantenimiento preventivo incluye dos actividades básicas: [1]

- Inspección periódica de los equipos de planta, para describir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción.

- Conservar la planta para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos cuando se encuentren en una etapa incipiente.

Para la implantación de un sistema de mantenimiento preventivo son necesarias ciertas bases, quizá la más importante es la participación ideológica de todos los sectores involucrados. Se considera que es demasiado riesgo aplicarlo a toda la planta de una vez, lo mejor es ir construyendo el plan paso a paso, sin importar lo rápidamente que se pueda integrar.

7.1.2 Ventajas del mantenimiento preventivo. Cualquier plan de mantenimiento preventivo bien elaborado y apropiadamente aplicado, produce beneficios que sobrepasan los costos. Entre las múltiples ventajas del mantenimiento preventivo, las más importantes son las siguientes: [1]

- Reducción de las paradas imprevistas de los equipos.

- Mayor seguridad para operarios y maquinaria.

- Menor necesidad de reparación en gran escala y menor número de reparaciones repetitivas, por lo tanto menor acumulación de la fuerza de trabajo.

- Cambio de mantenimiento deficiente de paros imprevistos a mantenimiento programado, con lo que se logra mejor control de personal, materiales y equipo.

- Disminuyen los pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento originados por las reparaciones imprevistas.

- Es fuente incalculada de valiosos datos estadísticos.

7.1.3 Aplicación de los programas. Antes de aplicar un plan de mantenimiento preventivo hay necesidad de cubrir dos etapas fundamentales, que son la programación y la implementación propiamente dicha. En la etapa de programación se debe determinar: [1]

- El orden en que se programa el mantenimiento preventivo.
- Clasificar los tipos de programas.
- Integración de los grupos de trabajo.

7.1.4 Frecuencias de las inspecciones. Un aspecto muy importante para lograr una buena programación de mantenimiento preventivo, es la fijación de las frecuencias de inspección, lo cual influye preponderantemente, en los costos y economía del programa. La decisión de cuan a menudo inspeccionar es fundamentalmente un asunto experimental; la tendencia inicial es la inspección excesiva, la cual aumenta innecesariamente los costos y puede involucrar más tiempo ocioso de producción que un paro de emergencia.

Sin embargo, la subinspección produce más paros y descomposturas cuyos costos son mucho mayores que los ahorros en inspecciones. Se necesita por lo tanto un equilibrio óptimo para lograr buenos resultados. Existen dos tipos de mantenimiento relacionados con la frecuencia: [2]

- **Mantenimiento de alta frecuencia.** Se define como programas de alta frecuencia a aquellos que se realizan con intervalos de hasta una semana. Estos programas generalmente consisten en tareas de prevención y búsqueda de fallas simple. Tienen un bajo contenido de trabajo y por lo tanto pueden hacerse rápidamente. La mayoría puede llevarse a cabo mientras la planta está funcionando, con lo que puede hacerse casi en cualquier momento. Estos dos factores indican que el sistema de planeamiento puede ser muy simple. [2]

No obstante los programas de alta frecuencia generalmente son muchos, con lo que si su administración no se plantea cuidadosamente se nos puede ir de las manos fácilmente. Pero las tareas de alta frecuencia son la columna vertebral de un mantenimiento de rutina exitoso, con lo que se debe encontrar la manera de asegurar que se lleve a cabo sin crear una carga administrativa excesiva.

- **Mantenimiento de baja frecuencia.** Son aquellos que se hacen con intervalos de un mes o más. Sus horizontes de planeamiento más largos los hacen menos manejables para los sistemas de planeamiento simples como los usados para los programas de alta frecuencia. Por lo general implican un trabajo mayor con lo que

se necesita más tiempo para realizarlo y por lo general debe detenerse la planta mientras se están llevando a cabo. [2]

7.1.5 Programas realizados por los operarios. Desde el punto de vista del mantenimiento el atributo más valioso de los operarios es que están cerca del equipo durante mucho tiempo. Esto los pone en una posición ideal para realizar muchas de las tareas de prevención y búsqueda de fallas. Estas por lo general son tareas de muy alta frecuencia algunas serán diarias o hasta de una o dos veces por turno con lo que se debe tener mucho cuidado para que el sistema administrativo asociado se mantenga lo más simple posible. [2]

7.1.6 Ningún mantenimiento programado. En el caso de que la falla sea evidente, y no afecte la seguridad ni el medio ambiente entonces la acción inicial es no realizar ningún mantenimiento programado. En estos casos los elementos son dejados en servicio hasta que ocurra una falla funcional, momento en el cual son reemplazados o reparados. ”Se debe tener en cuenta que el no realizar ningún mantenimiento programado, no significa que ello no se olvide”. [2]

7.2 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REALIZADO PARA LA PLANTA DE COQUE

El plan de mantenimiento preventivo para la Planta de Coque en la empresa Acerías Paz del Río S.A. fue realizado para los cuatro equipos más críticos, según los resultados del Análisis de Criticidad, además, está hecho con base en los modos de falla que se obtuvieron en el Análisis de Modos y Efectos de Falla y fue realizado en la plataforma de STAROFFICE (TM) 7 única plataforma en Office que maneja la Planta de Coque.

El plan de mantenimiento diseña rutas de inspección que proporcionan información del estado de los componentes que hacen parte de los cuatro equipos críticos de la planta.

Esta información es necesaria para planear trabajos programados que puedan prevenir paros imprevistos y daños severos en las máquinas. Estas rutas de inspección fueron diseñadas bajo la supervisión de ingenieros de mantenimiento y producción, de tal forma que el supervisor u operario revise los puntos vulnerables de las componentes de la máquina, como: cojinetes, niveles de lubricación, desgastes, etc.

“Cabe anotar, que dentro de las limitaciones de este proyecto, se estipula el estudio de los equipos solo en su composición mecánica.”

7.2.1 Formato del plan de mantenimiento preventivo. Dentro del formato del plan de mantenimiento preventivo diseñado para la Planta de Coque se puede encontrar información del equipo como:

- Sistema y subsistema.
- Código de materiales.
- Código de plano.

Esta información hace fácil la búsqueda de las características del componente en la base de datos o en las hojas de registro internas de la planta. Al inicio de las filas se puede anotar si la inspección se hace con el equipo en funcionamiento letra **A**; como en el caso de análisis de vibraciones, control de flujo o temperatura o si la inspección se realiza con el equipo detenido letra **B**, como en el caso de inspección de desgastes, alineaciones, etc.

El formato contiene las 48 semanas del año y al frente de la actividad una casilla para que el supervisor anote el rango de funcionamiento, el cual consta de un número del 1 al 9, que describe la condición en la que se encuentra el componente del equipo y un color característico verde, amarillo o rojo que permite visualizar en que estado funciona el equipo, como se muestra en la *tabla* 27.

Tabla 27. Rango de funcionamiento de los equipos.

Funcionamiento Normal (Dentro de los estándares de operación)		Bajo	1
		Medio	2
		Alto	3
Funcionamiento Regular (Por debajo de los estándares de funcionamiento)		Bajo	4
		Medio	5
		Alto	6
Funcionamiento Crítico (Fuera de los estándares de funcionamiento)		Bajo	7
		Medio	8
		Alto	9

La calificación dada por el operario es mostrada en una gráfica Tiempo vs. Estado del componente, que se visualiza en la parte inferior del formato. En esta gráfica se puede apreciar los periodos de inspección, la variación del estado de los componentes en los equipos y si uno le afecta al otro, ejemplo:

"S*i el piñón de ataque de la barra deshornadora se desgasta esto produce también un deterioro en la cremallera de la barra engranada a dicho piñón".*

La *figura 32*, muestra una captura hecha al formato del plan de mantenimiento diligenciado para el sistema de traslación de la máquina deshornadora.

Las rutas de inspección de los cuatro equipos críticos se muestran en el ANEXO B. El plan de mantenimiento para los cuatro equipos críticos es mostrado en las *tablas 28, 29, 30 y 431*

Figura 33. Captura del formato diligenciado del plan de mantenimiento preventivo diseñado para la Planta de Coque

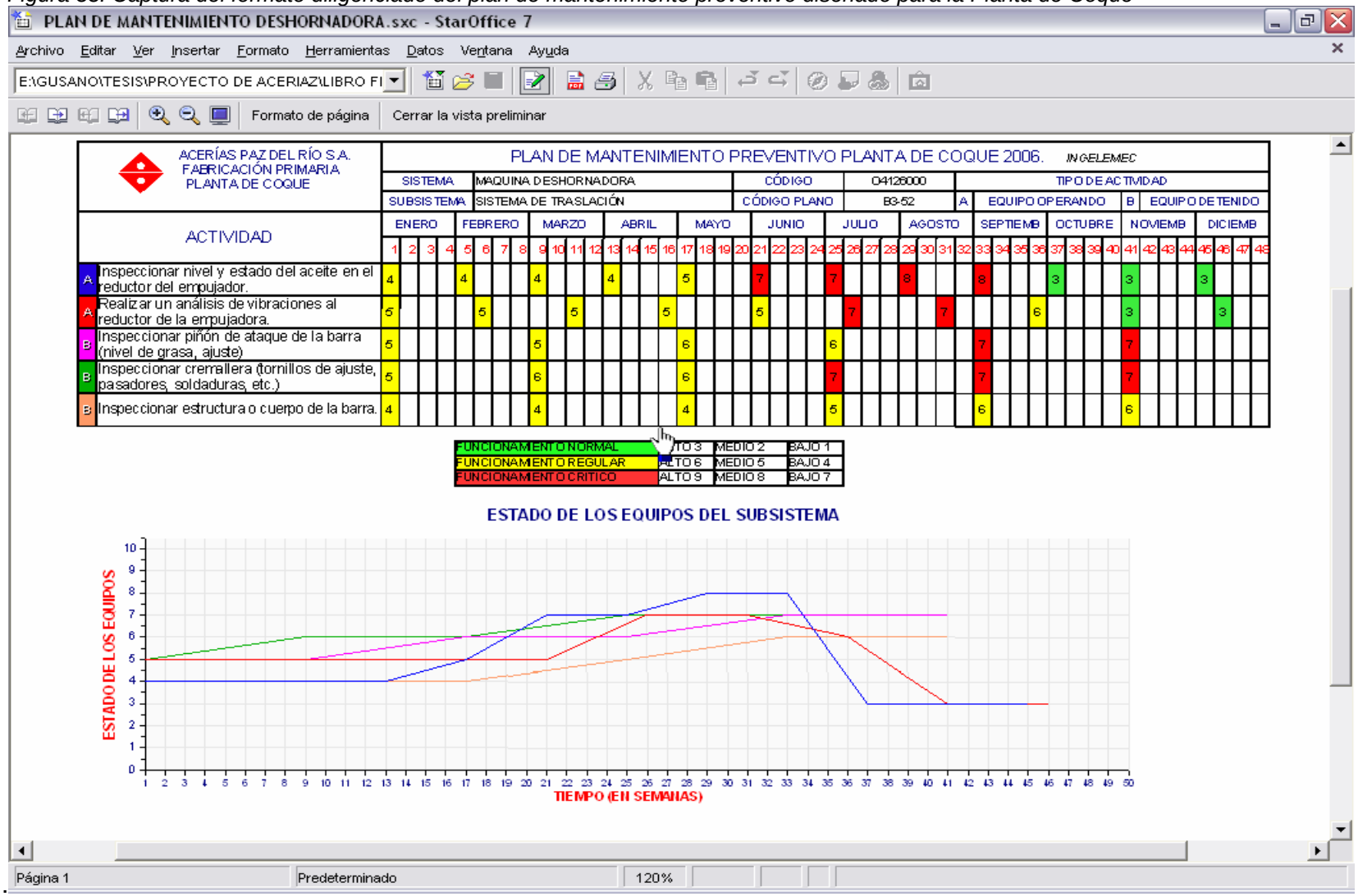


Tabla 28. Plan de mantenimiento máquina deshornadora.

PLAN DE MANTENIMIENTO MÁQUINA DESHORNADORA				
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
Sistema	**Máquina deshornadora**	**Subsistema**	**Sistema de traslación**	
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar las zapatas y los resortes de los electro frenos del motor eléctrico.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar un análisis de vibraciones al reductor de translación e inspeccionar nivel de aceite.	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar los 4 acoples del árbol de transmisión hacia el piñón de ataque.	QUINCENAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENID0	Inspeccionar piñón de ataque y sus componentes. (Eje, cojinetes, lubricación, etc.)	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar ruedas motrices, ruedas locas y sus componentes. (Ejes, cojinetes, pasadores, lubricación, etc.)	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
Sistema	**Máquina deshornadora**	**Subsistema**	**Quita puertas Movimiento horizontal**	
EQUIPO OPERANDO	Medir vibraciones e inspeccionar nivel de aceite en el reductor de movimiento horizontal.	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Revisar el estado de los brazos, bielas, ejes, rodillos, que hacen parte del movimiento horizontal.	CADA 2 MESES	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar nivel de lubricación de cojinetes y ejes del subsistema.	QUINCENAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
Sistema	**Máquina deshornadora**	**Subsistema**	**Quita puertas levanta puertas**	
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar el nivel y estado de aceite del reductor del mecanismo levanta puertas.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar el nivel de grasa y el nivel de vibraciones del mecanismo de transmisión por piñones.	QUINCENAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Revisar el estado de las bielas y el gancho levanta puertas.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO

Tabla 28. Plan de mantenimiento máquina deshornadora. (Continuación).

PLAN DE MANTENIMIENTO MÁQUINA DESHORNADORA				
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
Sistema	**Máquina deshornadora**	**Subsistema**	**Quita puertas-apriete y afloje de cerrojos**	
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar alineación entre motor y reductor.	QUINCENAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar un análisis de vibraciones en el reductor.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar nivel de lubricación.	SEMANAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar desgaste de los resortes y trompetas.	SEMANAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
Sistema	**Máquina deshornadora**	**Subsistema**	**Sistema barra empujadora**	
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar nivel y estado del aceite en el reductor de la empujadora.	QUINCENAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar un análisis de vibraciones al reductor de la empujadora.	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar piñón de ataque de la barra (nivel de grasa, ajuste).	CADA 2 MESES	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar cremallera (tornillos de ajuste, pasadores, soldaduras, etc).	CADA 2 MESES	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar estructura o cuerpo de la barra.	CADA 2 MESES	OPERACIÓN	MECÁNICO
Sistema	**Máquina deshornadora**	**Subsistema**	**Sistema barra niveladora**	
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar nivel y estado del aceite del reductor.	QUINCENAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar un análisis de vibraciones del reductor.	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar el árbol de transmisión (nivel de grasa, piñones, ejes).	CADA 2 MESES	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar estructura de la barra niveladora.	CADA 2 MESES	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar presión en la boquilla para el desgrafitado.	QUINCENAL	OPERACIÓN	MECÁNICO

Tabla 28. Plan de mantenimiento máquina deshornadora. (Continuación).

PLAN DE MANTENIMIENTO MÁQUINA DESHORNADORA				
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
Sistema	**Máquina deshornadora**	**Subsistema**	**Sistema de compresión**	
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar estado de la tubería de alimentación a la boquilla.	QUINCENAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar estado del tanque de alimentación.	MENSUAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Revisar el correcto funcionamiento de los preostatos.	QUINCENAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar funcionamiento y estado de los compresores. (Análisis de vibraciones, correa, lubricación, presión, etc).	QUINCENAL	MANTENIMIENTO /OPERACIÓN	MECÁNICO

Tabla 29. Plan de mantenimiento máquina guía Nº 2.

PLAN DE MANTENIMIENTO MÁQUINA GUÍA Nº 2				
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
Sistema	**Máquina guía de coque Nº 2**	**Subsistema**	**Sistema de traslación**	
EQUIPO OPERANDO	Revisión del nivel de vibraciones del reductor mediante un analizador de vibraciones.	CADA 2 MESES	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO DETENIDO	Revisión de chumaceras, tornillos, ruedas, bujes.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Revisión del motor, contactores y el sistema de control y protección.	SEMANAL	MANTENIMIENTO	ELÉCTRICO
EQUIPO OPERANDO	Limpieza y revisión de todo el sistema en general.	DIARIO	OPERACIÓN	LIMPIEZA

Tabla 29 Plan de mantenimiento máquina guía Nº 2. (Continuación).

PLAN DE MANTENIMIENTO MÁQUINA GUÍA Nº 2				
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	
Sistema	**Máquina guía de coque Nº 2**	**Subsistema**	**Sistema quita puertas**	
EQUIPO OPERANDO	Revisión del nivel de vibraciones del reductor del sistema de cerrojos, levanta puertas, movimiento horizontal y gira puertas mediante un analizador de vibraciones.	CADA 2 MESES	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO DETENIDO	Revisión de chumaceras, tornillos, cremalleras, bujes y tuercas.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Revisión del motor, contactores y el sistema de control y protección.	SEMANAL	MANTENIMIENTO	ELÉCTRICO
EQUIPO OPERANDO	Limpieza y revisión de todo el sistema en general.	DIARIO	OPERACIÓN	LIMPIEZA
Sistema	**Máquina guía de coque Nº 2**	**Subsistema**	**Sistema reja guía de coque**	
EQUIPO OPERANDO	Revisión del nivel de vibraciones del reductor mediante un analizador de vibraciones.	CADA 2 MESES	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO DETENIDO	Revisión de chumaceras, tornillos, bujes.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Revisión del motor, contactores y el sistema de control y protección.	SEMANAL	MANTENIMIENTO	ELÉCTRICO
EQUIPO OPERANDO	Limpieza y revisión de todo el sistema en general.	DIARIO	OPERACIÓN	LIMPIEZA

Tabla 30. Plan de mantenimiento turboextractor de gas Nº 3.

PLAN DE MANTENIMIENTO TURBOEXTRACTOR DE GAS Nº 3				
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
Sistema	**Turboextractor de gas Nº 3**	**Subsistema**	**Turbina de vapor**	
EQUIPO DETENIDO	Revisar el estado de los diferentes componentes y las holguras del sistema de disparo por sobre velocidad (esto se realiza en la parada programada del equipo por limpieza).	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO

Tabla 30. Plan de mantenimiento turboextractor de gas Nº 3. (Continuación).

PLAN DE MANTENIMIENTO TURBOEXTRACTOR DE GAS Nº 3				
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
Sistema	**Turboextractor de gas Nº 3**	**Subsistema**	**Turbina de vapor**	
EQUIPO DETENIDO	Revisar el estado de los diferentes componentes del sistema de regulación con las diferentes holguras (esto se realiza en la parada programada del equipo).	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar inspección del comportamiento de las vibraciones del conjunto mediante analizador de vibraciones (se realiza dos o tres días antes de la limpieza programada).	MENSUAL	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO OPERANDO	Comparar las lecturas de los termómetros de entrada y salida de vapor con un termómetro infrarrojo.	DIARIO	OPERACIÓN	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO OPERANDO	Comprobar el correcto funcionamiento del sistema de regulación manual.	DIARIO MENSUAL	OPERACIÓN MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Monitoreo de la presión y temperatura de entrada y salida de vapor.	CADA HORA	OPERACIÓN	INSTRUMENTACIÓN
Sistema	**Turboextractor de gas Nº 3**	**Subsistema**	**Turbina de gas**	
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar: el impulsor para ver si hay corrosión o sedimentos; el estado de los obturadores de laberinto del impulsor; estado de cojinetes y holguras (estas actividades se realizan en la parada programada del equipo por limpieza).	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO LIMPIEZA
EQUIPO OPERANDO	Realizar inspección del comportamiento de las vibraciones del conjunto mediante analizador de vibraciones (se realiza dos o tres días antes de la limpieza programada).	MENSUAL	MANTENIMIENTO	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO OPERANDO	Comparar las lecturas de los termómetros de las chumaceras con un termómetro infrarrojo.	DIARIO	OPERACIÓN	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO DETENIDO	Ajuste de tortillería en el caracol del exhaustador.	CADA 20 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO

Tabla 30. Plan de mantenimiento turboextractor de gas Nº 3. (Continuación).

PLAN DE MANTENIMIENTO TURBOEXTRACTOR DE GAS Nº 3				
Sistema	**Turboextractor de gas Nº 3**	**Subsistema**	**Turbina de vapor**	
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
EQUIPO OPERANDO	Monitoreo de la presión y temperatura de entrada y salida de vapor.	CADA HORA	OPERACIÓN	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO OPERANDO	Realizar un lavado al sistema con aceite antrasenico.	CADA 2 HORAS	OPERACIÓN	LIMPIEZA
EQUIPO OPERANDO	Comparar las lecturas de los termómetros del sistema de refrigeración y la entrada y salida sello en el conjunto con un termómetro infrarrojo.	DIARIO	OPERACIÓN	INSTRUMENTACIÓN
EQUIPO DETENIDO	Revisión de las bombas de aceite principal y auxiliar.	CADA 6 MESES	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Provocar el disparo de aceite por sobre velocidad (esto se realiza en la parada).	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar una inspección del comportamiento de las vibraciones del conjunto mediante el sensor de vibraciones. (Se realiza dos o tres días antes de la limpieza programada).	CADA DOS MESES	MANTENIMIENTO	MECÁNICO

Tabla 31. Plan de mantenimiento circuito de enfriamiento agua amoniacal.

PLAN DE MANTENIMIENTO CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO AGUA AMONIACAL				
Sistema	**Circuito enfriamiento agua amoniacal**	**Subsistema**	**1ra. Etapa (colectores y ductos de succión)**	
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar el caudal del agua amoniacal hacia los pulverizadores.	DIARIO	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Revisar las fugas que existan en los ductos, empalmes, flexibles y válvulas.	SEMANAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar el estado de los ductos, empalmes, flexibles y válvulas.	MENSUAL	OPERACIÓN	MECÁNICO

Tabla 31. Plan de mantenimiento circuito de enfriamiento agua amoniacal. (Continuación).

EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Establecer cuales cabezas de caballo necesitan reparación.	MENSUAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
PLAN DE MANTENIMIENTO CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO AGUA AMONIACAL				
Sistema	**Circuito de enfriamiento agua amoniacal**	**Subsistema**	**1ra. Etapa. Decantadores de alquitrán**	
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar el estado del moto-reductor de los tanques mixtos.	CADA 50 DÍAS	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Comprobar el evacuo de residuos sólidos de alquitrán en el fondo de los mixtos.	CADA 2 MESES	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar el flujo de A.A. Al tanque de recirculación y el estado del tanque.	DIARIO	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar el funcionamiento de la bomba del tanque de purgas.	SEMANAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar el estado de las tuberías del subsistema.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
Sistema	**Circuito enfriamiento agua amoniacal**	**Subsistema**	**1ra. Etapa. Sistema de bombeo**	
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar presión y caudal de las bombas. (Entrada y salida).	DIARIO	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar un análisis de vibraciones en las bombas.	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Revisar posibles fugas o daños en la empaquetadura de las bombas.	MENSUAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar la correcta alienación entre los motores eléctricos y las bombas.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar la temperatura del agua amoniacal.	SEMANAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar la temperatura del gas de coque.	SEMANAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar la estructura de los condensadores primarios.	MENSUAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar el estado de la tubería y válvulas.	SEMANAL	COOPERACIÓN	MECÁNICO

Tabla 31. Plan de mantenimiento circuito de enfriamiento agua amoniacal. (Continuación).

PLAN DE MANTENIMIENTO CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO AGUA AMONIACAL				
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar presión y caudal de las bombas. (Entrada y salida).	DIARIO	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Realizar un análisis de vibraciones en las bombas.	CADA 50 DÍAS	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
Sistema	**Circuito de enfriamiento agua amoniacal**	**Subsistema**	**2da. Condensadores primarios**	
TIPO DE ACTIVIDAD	**ACTIVIDADES**	**FRECUENCIA**	**ENCARGADO**	**TIPO DE MANTENIMIENTO**
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar la temperatura del agua amoniacal.	SEMANAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar la temperatura del gas de coque.	SEMANAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar la estructura de los condensadores primarios.	MENSUAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar el estado de la tubería y válvulas	SEMANAL	COOPERACIÓN	MECÁNICO
Sistema	**Circuito de enfriamiento agua amoniacal**	**Subsistema**	**2da. Etapa. Sistema de bombeo**	
EQUIPO OPERANDO	Revisar posibles fugas o daños en la empaquetadura de las bombas.	MENSUAL	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO	Inspeccionar la correcta alienación entre los motores eléctricos y las bombas.	MENSUAL	MANTENIMIENTO	MECÁNICO
Sistema	**Circuito de enfriamiento agua amoniacal**	**Subsistema**	**2da. Refrigerantes trombón y espiral**	
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar la temperatura de entrada y salida del agua amoniacal.	DIARIO	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO DETENIDO/OPERANDO	Inspeccionar la estructura y la base de los refrigerantes de trombón.	CADA 50 DÍAS	OPERACIÓN	MECÁNICO
EQUIPO OPERANDO	Comprobar la limpieza de los refrigerantes.	MENSUAL	OPERACIÓN	LIMPIEZA
EQUIPO OPERANDO	Inspeccionar estado de válvulas y ductos. Inspeccionar fugas.	MENSUAL	OPERACIÓN	OPERACIÓN

7.2.2 Informes de inspección. Son indispensables, su objetivo es reducir el aspecto administrativo al mínimo, pero no hasta el punto en que no narre la historia completa. Por lo tanto, no se deben abreviar los informes sólo por ahorrar tiempo, eso puede hacer que se pierdan todos los beneficios que se obtienen del costo de inspección. [3]

La forma más sencilla del informe es la que puede usarse universalmente. Una forma típica tiene encabezados y espacios para llenarse con los datos generales sobre el departamento, máquina, y otros datos semejantes. Abajo hay espacios libres para artículos que necesiten atención. Puede usarse para todos los tipos de equipo. Cuando se usa dicha forma, se necesita una lista de comprobación que puede usarse varias veces para cada tipo de equipo.

7.2.3 Tramitación de los informes de inspección. Los informes completos de inspección son la base para las órdenes de mantenimiento, en la misma forma que las requisiciones surgen del personal de producción o mantenimiento. En algunas plantas los informes se tamizan a través de los operarios de mantenimiento: [3]

- Para mantenerse al día sobre las condiciones.
- Para comprobar que la necesidad es severa o urgente.
- Para coordinar la reparación con el personal de producción.
- Para decidir quien debe hacer la requisición de una orden de trabajo.

Otras plantas envían todos los informes de inspección a un solo empleado de mantenimiento o despachador, quien automáticamente envía órdenes de trabajo para tareas menores. Y deja los trabajos mayores para que decida el jefe de mantenimiento. En una planta grande, los mismos inspectores preparan las requisiciones de órdenes de trabajo al fin de cada día, para que las aprueben los ejecutivos de tipo superior, de acuerdo con el costo estimado de la reparación. En la Planta de Coque en ACPR el procedimiento para implementar el plan de mantenimiento preventivo es el siguiente:

- En caso de presentarse una avería, el inspector genera una orden de trabajo que se muestra en la *tabla 32* para solucionar el problema.

- Con las rutas de inspección trazadas, se notifica al inspector verificador mecánico, quien llena en el formato de inspección que se muestra en la *tabla 33*, las condiciones en que se encuentra el componente o subsistema.

- Al final de la ejecución del trabajo, se consignan en la hoja de vida del equipo, que se muestra en la *tabla 34*, los detalles de los trabajos efectuados, los repuestos cambiados y el registro de condiciones.

- Trimestralmente el Director de mantenimiento evalúa los resultados de las inspecciones y toma las medidas necesarias.

Tabla 32. Formato para órdenes de trabajo. Planta de Coque.

Acerías Paz del Río S.A.	ORDEN DE TRABAJO	No.

2. FECHA	3. URGENCIA						4. FECHA TOPE EJECUCIÓN	5. IMPUTACIÓN
	SOS	1	2	3	4	5		
6. VERIFICACIÓN	**7. SECCIÓN SOLICITANTE**						**8. EQUIPO**	**9. CENTRO EJECUTOR**

10. Punto de avería:

11. Descripción detallada

12. CONDICIÓN DEL EQUIPO		13. EQUIPO DISPONIBLE	18.VO.BO.ING. EJECUTOR
En servicio		Siempre : _____	
Fuera de servicio		Se avisará: _____	
Con pérdida de producción		Fecha del: _____al _____	
Sin pérdida de producción		En parada: _____	
Afecta la seguridad			

22. NÚMERO OPERARIOS	16. FECHA LANZAMIENTO	17. FECHA TERMINACIÓN	23. CAUSA	24 VO.BO.ING. EJECUTOR

Instrucciones de trabajo

Normas de seguridad

Trabajo adicional

Fuente: Gerencia de planta ACPR.

Tabla 33. Formato de inspección. Planta de Coque.

Acerías Paz del Río S.A.		FORMATO DE INSPECCIÓN									
CÓDIGO PLANO		EQUIPO		CÓDIGO REPUESTO							
FECHA	ACTIVIDAD		INFORME DE LA CONDICIÓN DE LA MÁQUINA	CALIFICACIÓN							
				NORMAL			REGULAR			CRÍTICO	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabla 34. Formato de hoja de vida. Planta de Coque.

Acerías Paz del Río S.A.	HOJA DE VIDA MAQUINARIA			
CÓDIGO PLANO	EQUIPO		CÓDIGO REPUESTO	
FECHA	DETALLE DE LOS TRABAJOS EFECTUADOS – REGISTRO DE CONDICIONES			

Fuente: Gerencia de planta ACPR.

7.2.4 Análisis de vibraciones. Las rutas de inspección que incluyen análisis de vibraciones serán realizadas mediante el sensor de vibraciones MicroVibe P Model CMVL3850. Las características del equipo se muestran en la *tabla* 35. [4]

Tabla 35. Especificaciones del MicroVibe P Model CMVL3850

General Specifications	
Item Specifications	Item Specifications
Suiting PDA	Conforms to the Pocket PC Indispensable specification OS:Microsoft Pocket PC 2003 (WindowsCE3.0) Processor: ARM Processor Interface:Compact Flash TYPE II Slot 3.3V only Recommendation specification Processor:PXA255 400MHz(or more than it) Memory(RAM):64MB or more
Interface with Pocket PC	Compact Flash TYPE II Slot 3.3V only
Power supply	+3.3V (It is supplied from Pocket PC.)
Current	Standby :44_A Under measurement : 48mA
Sensor Input (PU IN)	AC voltage signal Max±2.5V Input Terminal: 8-pin modular jack(RJ-45) (*1)
Raw Waveform Output (PU OUT)	AC voltage signal Max±2.5V Output Terminal: 2.5φ mini-jack
Sampling Frequency	MAX. 76.8kHz (Changes according to Mode.) 76.8kHz/38.4kHz
Aliasing Filter	20kHz/2kHz (Changes according to Mode and Sampling Frequency.)
A/D	16bit
Temperature Range	0 ~ + 45º C
Humidity Range	30 ~ 90% RH not due condensation
Weight	25 g approx. (Only the card)
Dimensions	60.0x42.1x16.9 (mm), See next page
Shape	Conforms to CF Card TYPE II ,Card Type, See next page
Color	Black
*1: ICP type pre-amp built-in accelerometer is not connected. When accelerometer (charge output) is used, connect via charge amplifier.	

Fuente: SKF Reliability Systems

En las rutas de inspección solo se tomara una medida y se comparara con un rango establecido por el proveedor, para determinar si los rangos de vibraciones de la máquina a inspeccionar están dentro de los límites normales. Los valores normales de vibración que poseen distintas clases de máquinas son mostrados en la *tabla* 36. [4]

Tabla 36. Rangos de vibración para distintas clases de máquinas.

RANGO DE LA VIBRACIÓN		**RANGOS LIMITES DE VIBRACIÓN Y CLASES DE MÁQUINAS SEGÚN ISO STANDARD 2372**			
CMVP40 In/s eq. peak	CMVP50 mm/s RMS	MÁQUINAS PEQUEÑAS	MÁQUINAS MEDIANAS	MÁQUINAS GRANDES	
		CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.02	0.28	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
0.03	0.45				
0.04	0.71				
0.06	1.12	SATISFACTORIO			
0.10	1.80		SATISFACTORIO		
0.16	2.80	INSATISFACTORIO		SATISFACTORIO	
0.25	4.50		INSATISFACTORIO		SATISFACTORIO
0.39	7.10	INACEPTABLE		INSATISFACTORIO	
0.62	11.20		INACEPTABLE		INSATISFACTORIO
1.00	18.00			INACEPTABLE	
1.56	28.00				INACEPTABLE
2.50	45.07				
3.95	71.00				

Fuente: SKF Reliability Systems

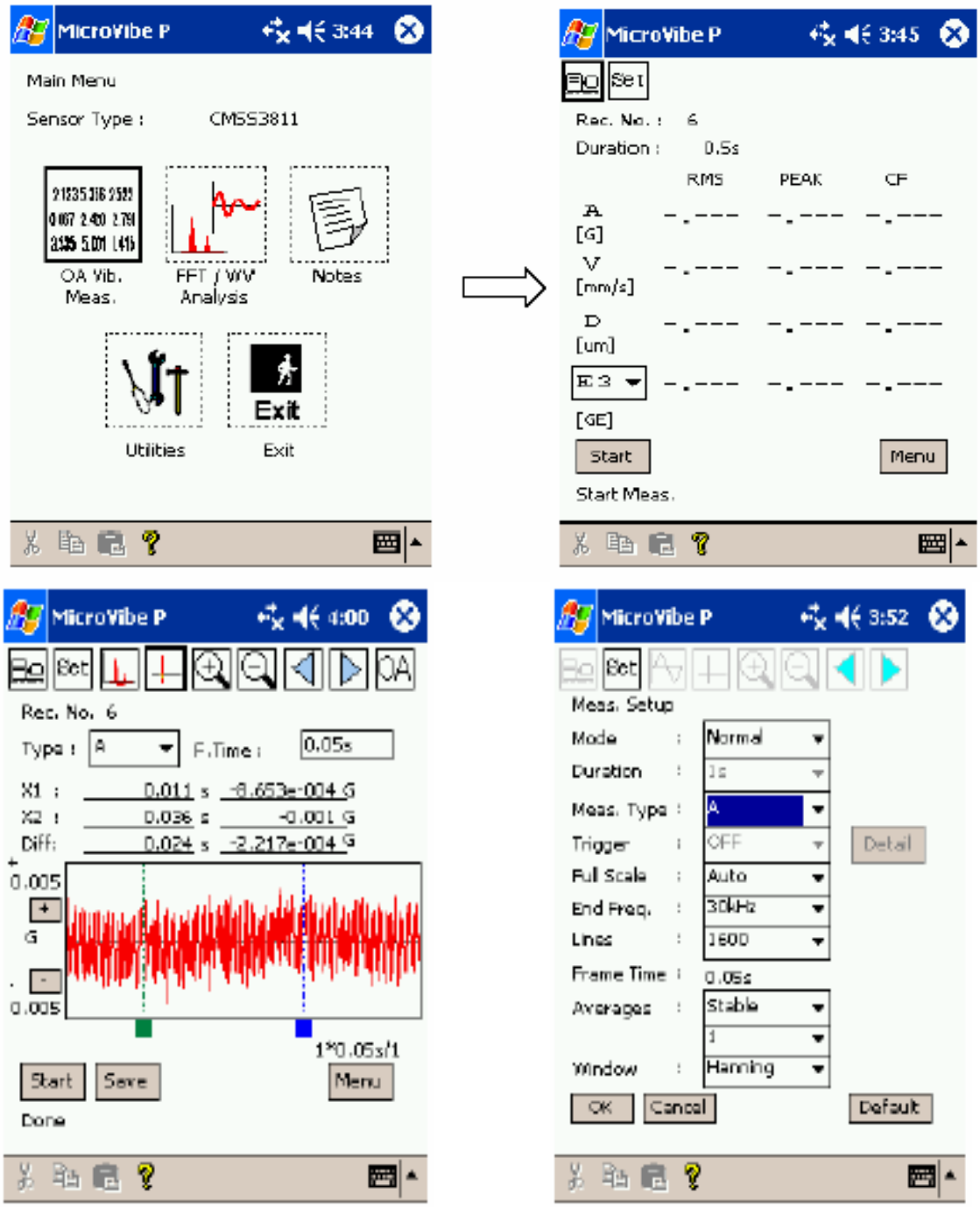
El MicroVibe P Model CMVL3850 esta adaptado a un Pocket PC o PALM, como se muestra en la *figura 34* [4], esta proporciona al sensor el software y hardware necesario para realizar las medidas de vibración.

Figura 34. Componentes MicroVibe P Model CMVL3850.

Fuente: SKF Reliability Systems.

Además el software permite cambiar rangos, agregar notas y otras herramientas que facilitan el análisis de las mediciones hechas a las máquinas. Una captura realizada al menú del software del MicroVibe P Model CMVL3850 se muestra en la *figura* 35. [4]

Figura 35. Selección del menú del MicroVibe P Model CMVL3850.

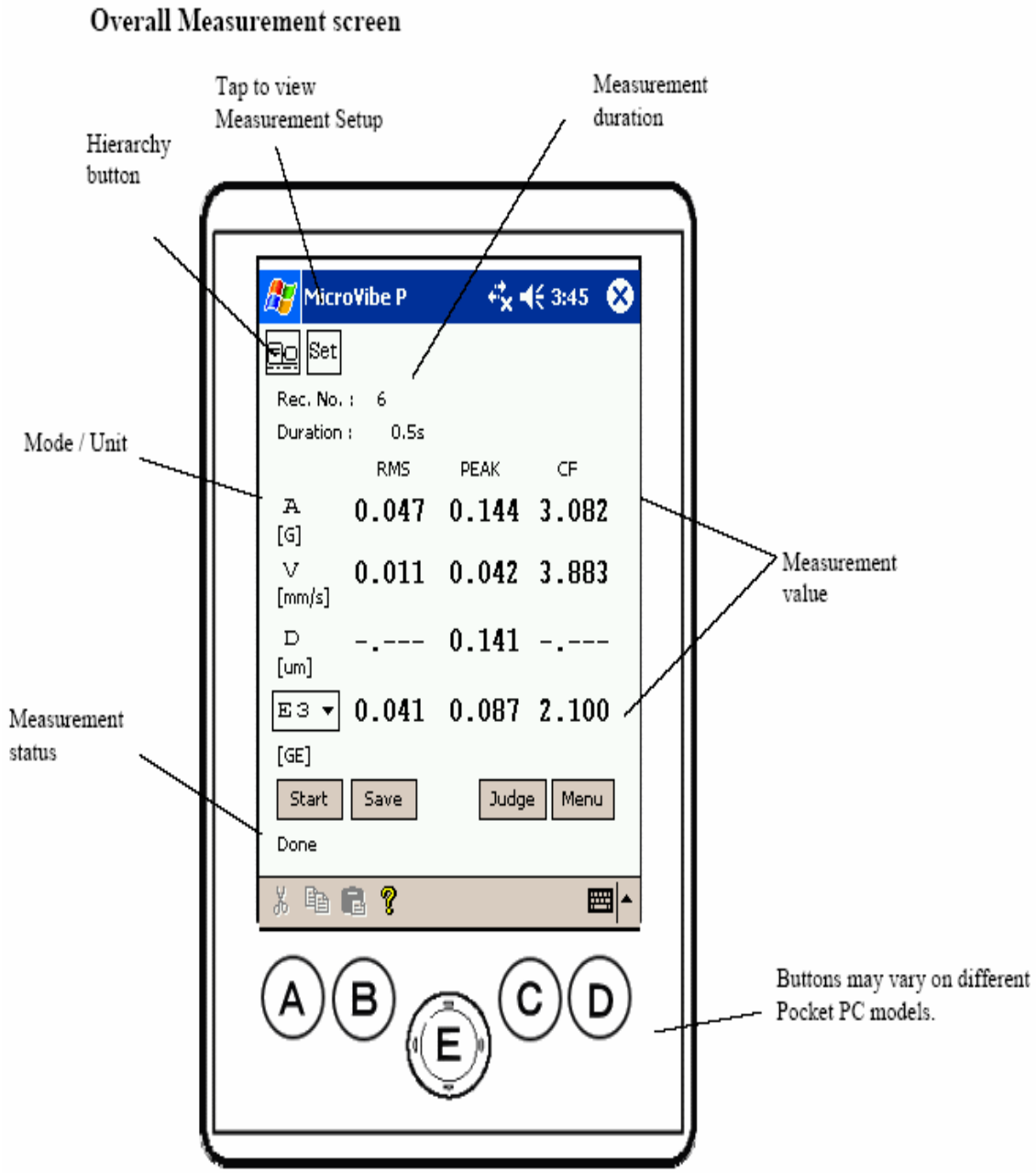


Fuente: SKF Reliability Systems.

“La oficina de mantenimiento mecánico de la Planta de Coque en la empresa Acerías Paz del Río S.A. posee toda la información complementaria del MicroVibe P Model CMVL3850, así como una guía completa de su modo de empleo.

Una captura al menú del software del sensor es mostrado en la *figura* 35, donde se puede observar la toma de medidas para un vibración especifica**.** [4]

Figura 36. Captura de la pantalla para una medición del MicroVibe P Model MVL3850.



Fuente: SKF Reliability Systems.

El plan de mantenimiento traza rutas para verificar que los componentes rotativos no se salgan de los rangos de vibraciones establecidos, si algún componente posee vibraciones que se salen de los rangos, se dará notificación a la oficina de mantenimiento mecánico de la Planta de Coque y se corregirá el problema. Los métodos para solucionar las fallas no serán incluidos dentro del plan de mantenimiento diseñado para la Planta de Coque."

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] GARCÍA PALENCIA Oliverio Ing. MSc. Estrategias de Mantenimiento Basadas en Confiabilidad. Primer Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica Villa del Rosario de Cúcuta 2004.

[2] MicroVibe P Model CMVL3850 Portable Vibration Meter. User Manual Part No 31968700 EN. 2005. SKF Reliability Systems.

[3] MORROW L.C. Manual de mantenimiento industrial. Sexta edición. 1982.

[4] MOUBRAY Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Edición en español.2004.

CONCLUSIONES

- Una vez realizada la inducción por la Planta y revisados los archivos y datos técnicos de los diferentes equipos en la oficina de mantenimiento mecánico se hizo necesario realizar un listado completo de los equipos que actualmente funcionan en la Planta de Coque, relacionando: planos, códigos y repuestos debido a que esta información no existía o se encontraba desactualizada.

- La base de datos fue realizada en su totalidad por los autores y brindo a las directivas de la Planta de Coque una idea real de los equipos que operaban hasta la culminación del proyecto (febrero 2006) y su actualización depende únicamente del personal de la oficina de mantenimiento mecánico de la Planta.

- Debido al gran número de equipos que funcionan en la Planta de Coque fue necesario realizar una clasificación que permitiera identificar los cuatro equipos de mayor criticidad en la Planta para realízales posteriormente el Análisis de Modos y Efectos de Falla.

- El Análisis de Criticidad permitió en la Planta de Coque unificar criterios de las directivas de mantenimiento y producción para establecer un orden jerárquico que permita direccionar los esfuerzos hacia los equipos críticos.

- Las ponderaciones para los parámetros deben ser diseñadas por expertos bajo especificaciones de ingeniería y cuantificación, si no es posible diseñarlas es aconsejable adaptarlas de otro estudio similar para estandarizar los resultados y poder realizar comparaciones como se realizo en el estudio de criticidad en la Planta de Coque.

- Debido a que en la Planta de Coque no existen herramientas suficientes para desarrollar un Análisis de Criticidad la única herramienta para obtener información acerca de los equipos fue la realización de las encuestas al personal de mantenimiento y producción involucrado con el funcionamiento de los equipos.

- Como resultado final del estudio de Análisis de Criticidad los autores establecieron que los cuatro equipos con la mayor criticidad respectivamente fueron: turboextractor de gas Nº 3, máquina deshornadora, máquina guía Nº 2 y circuito de enfriamiento de agua amoniacal al colector, este resultado fue acorde con el criterio de los ingenieros de producción y mantenimiento.

- Al realizar el Análisis de Modos y Efectos de Falla a los cuatro equipos de mayor criticidad en la Planta de Coque se obtuvo la mayoría de la información de los trabajadores que mantienen y operan los equipos, ya que en muchas ocasiones a pesar de que se encontraba información de proveedores y datos

técnicos de la máquina la experiencia de varios años al frente de el funcionamiento de la máquina brinda una mayor información.

- La ventaja de haber conocido el proceso que se lleva a cabo dentro de la Planta de Coque permitió a los autores una mejor definición de las funciones y parámetros de funcionamiento de la máquina en su verdadero contexto operacional.

- Para obtener buenos resultados en el estudio de FMEA, tanto el personal de mantenimiento, como el de producción de la planta, debe unificar criterios con respecto al significado de las fallas para cada equipo.

- Como resultado del Análisis de Modos y Efectos de Falla se puede establecer que ninguno de los cuatro equipos presenta fallas potenciales de diseño, en cambio, el tiempo de vida de las maquinas es la principal causa de las fallas, debido a esto es necesario implementar un mantenimiento preventivo que ayude a preservar el estado de las máquinas.

- En la elaboración del plan de mantenimiento para la Planta de Coque el punto mas difícil fue la asignación de las frecuencias de inspección debido a que inspeccionar mucho aumenta los costos e inspeccionar poco conlleva a una desatención del equipo, por esta razón con la ayuda de los ingenieros y personal de mantenimiento se diseñaron rutas de inspección que pueden ser o no modificadas dependiendo de los resultados, aspecto que solo se conocerá con el tiempo.

- El éxito del plan de mantenimiento diseñado dependerá en gran parte del empeño y honestidad con que el personal de la Planta de Coque realice los trabajos programados así como la elaboración de informes que se ajusten lo más exactamente posible a las labores desarrolladas.

- Realizar el proyecto en la Planta de Coque, permitió a los autores confrontar los conocimientos adquiridos en la Universidad con el día a día que se maneja en una empresa tan grande como Acerías Paz del Río S.A., además la experiencia de pertenecer al grupo de mantenimiento mecánico de la Planta de Coque, brinda un gran número de vivencias, que servirán en el futuro desempeño laboral.

RECOMENDACIONES

- Debido a que Acerias Paz del Río S.A. esta sustituyendo el equipo gradualmente, se recomienda que a los equipos nuevos se les realice una hoja de vida con los datos técnicos y se realice un registro que actualice constantemente la base de datos.

- Establecer un medio de comunicación entre las máquinas de la Batería de Coque que permita una mejor sincronización del proceso y minimice los riesgos para evitar accidentes en el personal.

- Renovar la codificación interna de la planta, para unificar el listado de los equipos que operan actualmente y así evitar confusiones y retrasos en las tareas de mantenimiento.

- Realizar un programa de repuestos que permita a la Planta de Coque establecer con certeza el número de piezas que entra y el que sale.

- Renovar los medidores de presión en los condensadores primarios y los refrigerantes de trombón.

- Adquirir medidores de caudal para llevar un control preciso del flujo de agua amoniacal a los condensadores primarios y colector principal.

- Adquirir un nuevo sistema de refrigeración del agua amoniacal para los condensadores primarios.

- Reemplazar los medidores de presión del turbo extractor Nº 3, debido a que los medidores que se encuentran funcionando a la fecha, llegaron a su vida útil.

- Realizar un análisis Causa Raíz del taponamiento que sufren los laberintos de la turbina de gas del turbo extractor Nº 3.

- Se recomienda continuar con las políticas de mantenimiento que este proyecto inició, para realizar una serie de procesos de mejoramiento continuo, que optimice la gestión, planeación, ejecución y control de la Productividad Industrial e implementar planes de mantenimiento preventivo al resto de equipos de la planta.

- Antes de aplicar el mantenimiento preventivo los equipos se deben poner en óptimas condiciones de funcionamiento.

- Se recomienda aplicar el plan de mantenimiento por pasos, sin importar lo rápidamente que se pueda integrar.

- Ningún plan de mantenimiento debe permanecer estático, debe incluir nuevas técnicas administrativas que actualicen su funcionamiento.

- Es muy importante para los estudiantes de pregrado de la Escuela de Ingeniería Electromecánica aplicar sus conocimientos en una Industria tan importante como Acerías Paz del Río S.A., es por esto que la escuela debe agilizar el proceso de renovación del convenio existente con está empresa.

BIBLIOGRAFÍA

- ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A. Planta de Coque, Regulador de calentamiento-Equipo y operaciones. Belencito 1996

- BARRERA E., Juan David. Manual de operaciones planta de subproductos. Belencito: Acerías Paz del Río, Departamento de Coquería, agosto de 1990.

- CHOURIO, J.; FLORES, M.; AGUIAR, H.; HUERTA, R.; LÓPEZ, J.; NARVÁEZ, E.; SARNO, E.; PAVÓN, J.; y TOVAR, C, Introducción a la Confiabilidad Operacional. Curso dictado en el Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), filial de PDVSA, Caracas. Venezuela, 2000.

- CLUB DE MANTENIMIENTO. Publicación periódica 2001. Articulo sobre la aplicación del Análisis de Criticidad en PDVSA E & P Occidente. *Club_mantener@sinectis.com.ar*

- DURAN, J. B. ¿Qué es la Confiabilidad Operacional? En: Mantenimiento Mundial. Revista Nº 2 Septiembre 2000. www.mantenimientomundial.com

- GARCÍA PALENCIA Oliverio Ing. MSc. Estrategias de Mantenimiento Basadas en Confiabilidad. Primer Congreso Internacional de Ingeniería Electromecánica Villa del Rosario de Cúcuta 2004.

- GERENCIAS DE RELACIONES HUMANAS, DE PLANTA, DE MINAS, DE INGENIERÍA, ACERIAS PAZ DEL RÍO. Separata de la revista Acerias Paz del Río, Empresa Privada, patrimonio de los colombianos. Septiembre de 1992

- HUERTA R. Confiabilidad Operacional Técnicas, Métodos y Herramientas de trabajo. Curso Internacional, DataStream, Customer Care. Engiering Reliability and Management. Bogotá Febrero 2004. www.ereliabilitym.com.

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC, 2002.

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Norma 222. Bogotá: ICONTEC, 2001.

- JIMÉNEZ ARRIETA, José Domingo. Instructivos y operaciones generales de la Planta de Coque. Belencito: Acerías Paz del Río, 1985.

- MENDOZA, R. H. En Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. En: Mantenimiento Mundial. Revista Nº 6 Septiembre 2001. www.mantenimientomundial.com

- MicroVibe P Model CMVL3850 Portable Vibration Meter. User Manual Part No. 31968700-EN. 2005. SKF Reliability Systems.

- MORROW L.C. Manual de mantenimiento industrial. Editorial CECSA. Sexta edición. México 1982.

- MOUBRAY Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Edición en español.2004.

- NORSOK STANDARD Z-008. Crítically analysis for maintenance purposes. Rev. 2, nov. 2001. www.nts.no/norsok.

- SOPORTE Y CIA LTDA. Curso de formación en Reliability Centred Maintenance. Agosto de 2002.

- TYLER G. Hicks, Bme. Bombas, su selección y aplicación. Compañía editorial continental S.A. Enero 1974.

www.aceriaspazdelrio.com

www.aceriaspazdelrio.com

www.ereliabilitym.com

www.mantenimientomundial.com

www.mantenimientomundial.com

www.nts.no/norsok

ANEXOS

ANEXO A

DIAGRAMAS DE FLUJO DE ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.

ANEXO B.

RUTAS DE INSPECCIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

ANEXO C.

FORMATO DE BOMBAS DE LA PLANTA DE COQUE

ANEXO D.

DIAGRAMAS DE FLUJO DE LA PLANTA DE COQUE

ANEXO E.

CUADRO GENERAL DE BOMBAS DE LA PLANTA DE COQUE