

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD

DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD
DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO EN CABOT
COLOMBIANA S.A., A PARTIR DE HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE
CONFIABILIDAD



Autores:

- Sandra M. Ortega
- Karen M. Fernández
- Tania S. Ochoa

Director:

Ing. Gonzalo Cardozo C.

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD DEL PROCESO
DE PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO EN CABOT COLOMBIANA S.A., A PARTIR DE
HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE CONFIABILIDAD**

**SANDRA MILENA ORTEGA MORALES
KAREN MELISA FERNÁNDEZ YEPES
TANIA STELLA OCHOA CANEDO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD
CARTAGENA D.T. y C.**

2011

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD DEL PROCESO
DE PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO EN CABOT COLOMBIANA S.A., A PARTIR DE
HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE CONFIABILIDAD**

**SANDRA MILENA ORTEGA MORALES
KAREN MELISA FERNANDEZ YEPES
TANIA STELLA OCHOA CANEDO**

**Trabajo integrador presentado como requisito para optar el título de Especialistas en
Gerencia de Producción y Calidad**

**DIRECTOR:
GONZALO CARDOZO CORREA
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD
CARTAGENA D.T. y C.**

2011

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo integrador, aunque si bien es cierto que ha requerido de mucho esfuerzo y dedicación por parte de las autoras del mismo, merece los agradecimientos a las personas que a continuación se citan:

Agradecimientos especiales al Ing. Gonzalo Cardozo, quien además de ser un excelente e inigualable asesor, también fue una fuente de motivación para alcanzar este logro y sus conocimientos y compromiso con la enseñanza lo hacen un verdadero maestro. Los conocimientos difundidos y su acompañamiento permanente durante el proceso fueron pilares fundamentales para desarrollar exitosamente este trabajo.

Agradecimientos al personal de Cabot Colombiana S.A., en especial al equipo de mantenimiento y producción quienes siempre se mostraron dispuestos a colaborarnos con la información requerida para este proyecto. Sus conocimientos y experiencias fueron claves para el desarrollo del presente trabajo.

Agradecimientos al Ing. Andrés Carrascal, quien también brindó un acompañamiento a las autoras del proyecto, asesorando en temas relacionados con confiabilidad de acuerdo a su amplia experiencia en el sector industrial.

DEDICATORIA SANDRA ORTEGA

*Gracias a Dios por permitirme dar un paso más en
mí crecimiento como profesional y como persona.*

*A mis padres quienes con su amor sembraron en mí
las ganas de seguir siempre adelante.*

*A mis esposo Jose Luis quien con su amor y apoyo
incondicional me acompañó desde el principio de
esta iniciativa y siempre estuvo pendiente de mi
cada minuto de este proceso.*

*A mi hijo quien estuvo conmigo durante todo este
proceso y fue un gran ejemplo de paciencia,
fortaleza y una gran inspiración.*

*Al Profesor Cardozo quien con su asesoría fue parte
clave para el desarrollo de este trabajo y un gran
ejemplo como profesional.*

*Al personal de Cabot Colombiana S.A por
brindarme la oportunidad de usar las
herramientas aprendidas y brindarme la
información necesaria para La culminación de este
proyecto.*

*A mis amigas Tania y Karen quienes con su
compañerismo y sus habilidades y aptitudes
profesionales.*

A todos gracias y que Dios los bendiga.

Sandra M. Ortega Morales

DEDICATORIA KAREN FERNANDEZ

*A Dios por permitirme culminar este ciclo de
mi vida,*

A mis padres por su constante apoyo,

*A Julio José, mi hermano, por acompañarme y
darme valor para seguir adelante en todo
este proceso,*

*A mis amigas y compañeras de este trabajo
por sus aportes invaluable que permitieron
terminar con éxito esta labor.*

*Al Ing. Gonzalo Cardozo por compartir su
experiencia y conocimientos a lo largo de
todo el proceso de formación,*

*A mis abuelos y el resto de personas que me
acompañaron e incentivaron para culminar
con éxito este nuevo logro en mi vida.*

Mil gracias!

Karen Fernández Yepes

DEDICATORIA TANIA OCHOA

Un nuevo escalón que es alcanzado con éxito en mi vida, es en gran parte gracias a las personas que a continuación menciono y a las cuales va dedicado este trabajo.

Antes que nada, agradecer y dedicar este logro a Dios, quien me ha acompañado y guiado por su camino y me ha permitido lograr todas las metas que me propuesto.

A mis padres y hermanito, quienes han sido un permanente apoyo e impulsores de este logro.

A mis amigas y compañeras de tesis, Karen y Sandra, por su esfuerzo, entrega, dedicación y acompañamiento en este maravilloso viaje.

A mi novio y futuro esposo, quien fue mi fuente de inspiración y motivación principal para culminar exitosamente este logro.

Al Ing. Gonzalo Cardozo, quien con sus conocimientos, experiencia, apoyo y motivación, impulsó la culminación exitosa del proyecto y me dejó un legado invaluable de enseñanzas.

Gracias a todos los que contribuyeron a que se hiciera realidad esta sueño.

Con cariño,

Tania Stella Ochoa Canedo

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	18
1. ANÁLISIS DEL CONTEXTO ACTUAL ESTRATÉGICO DE LA EMPRESA	19
1.1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA	20
1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO	21
1.3 DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS Y APLICACIONES	23
1.4 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	24
1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN	25
1.5.1 Filtros Principales (MUF)	25
1.5.2 Filtros De Proceso	26
1.5.3 Filtros De Purga	26
1.5.4 Chimeneas (Flare)	26
1.5.5 Reactor	27
1.5.6 Intercambiador	27
1.5.7 Venturi	27
1.5.8 Molino	27
1.5.9 Peletizador	28
1.5.10 Secador	28
1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO	28
1.7 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	29
1.8 ANÁLISIS ESTRATÉGICO	31
1.8.1 Análisis PEST	32
1.8.2 Análisis DOFA	36
2. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE CONFIABILIDAD DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE NEGRO HUMO	
2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN	39
2.2 DATOS HISTÓRICOS DE PRODUCCIÓN POR LÍNEA DE PRODUCCIÓN	40
2.3 ANÁLISIS DE OEE	42
2.4 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD – FALLAS	46
2.4.1 Información de fallas de los equipos	48
2.4.2 Análisis estadístico completo de fallas de los equipos	53
2.4.3 Análisis de criticalidad	56
	Pág.

	Pág.
2.4.4 Análisis de los resultados de la información de producción y del análisis estadístico de fallas en MUF (MTBF, beta, weibull, etc)	57
2.4.5 Análisis Económico de las fallas	63
3. PERFIL DE LOS FACTORES CRITICOS DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD	
3.1 FACTORES CRITICOS DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA	
3.1.1 Capacitación	68
3.1.2 Comportamiento	69
3.1.3 Cultura de trabajo en equipo	70
3.1.4 Desempeño	70
3.1.5 Desarrollo	71
3.1.6 Evaluación	71
3.2 FACTORES CRITICOS DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS PROCESOS ADMINISTRATIVOS	73
3.2.1 Administración del conocimiento / datos	73
3.2.2 Administración del desempeño	74
3.2.3 Comunicación entre Operaciones & Mantenimiento	74
3.2.4 Planeación y Programación	75
3.2.5 Entendimiento de procedimientos	75
3.3 FACTORES CRITICOS DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS	79
3.3.1 Elaboración de Planes y Programas de Mantenimiento	80
3.3.2 Aplicación técnica de Mantenimiento Preventivo	80
3.3.3 Mejoramiento en planes de inspección de equipos	80
3.3.4 Solución de Problemas recurrentes que afectan DT	81
3.3.5 Procedimientos Operacionales y prácticas de seguridad	81
4. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO A PARTIR DE FMCA PARA EQUIPO CRÍTICO	85
4.1 Definiciones y generalidades	87
4.1.1 Definición de FMEA	87
4.1.2 Descripción de la disciplina y aplicaciones	87
4.1.3 Tipos de FMEA	88
4.1.4 Ventajas que se Obtienen al aplicar FMEA	88
4.1.5 Definición de Falla	89
4.1.6 Definición de Modo de falla	90
4.1.7 Definición de Efectos de la falla	90
4.1.8 Definición de Patrones de falla	90

	Pág.
4.2 Aplicación de FMEA para MUF	92
4.2.1 Descripción del equipo	92
4.2.2 Aplicación FMEA para MUF	95
4.3 Análisis de Modos de Falla y Efectos	98
4.3.1 Aspectos importantes resultantes del FMECA	98
4.3.2 Matriz de Riesgo de fallas	100
5. RECOMENDACIONES	102
CONCLUSIONES	104
BIBLIOGRAFIA	109
ANEXOS	110
Anexo 1. FMEA	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos de producción de negro de humo	41
Tabla 2. Pasos para análisis de fallas	47
Tabla 3. Datos de fallas. Línea de producción de negro de humo Abr'09 – Abr'10	49
Tabla 4. Fallas por equipos	53
Tabla 5. Horas perdidas por fallas en equipos	54
Tabla 6. Matriz de criticalidad	56
Tabla 7. Criterios de evaluación para matriz de criticalidad – Frecuencia	56
Tabla 8. Criterios de evaluación para matriz de criticalidad – Severidad	57
Tabla 9. Datos de fallas de Unidad de Filtro Principal	57
Tabla 10. Tiempos de falla - MUF	60
Tabla 11. Regresión Lineal para aplicación de Weibull	61
Tabla 12. Perfil de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad Humana	72
Tabla 13. Perfil de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad de los procesos administrativos de la producción	77
Tabla 14. Perfil de los factores críticos de éxito en la Gestión de la confiabilidad de los equipos	83
Tabla 15. Formato para Análisis de Modo de fallas y Efectos	94
Tabla 16. Criterios de valoración de severidad	95
Tabla 17. Criterios de Valoración de Ocurrencia	96
Tabla 18. Matriz de riesgos – Fallas MUF	99

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Empresas de Cabot Corp. en el mundo	21
Gráfica 2. Proceso de producción de Negro de humo	22
Gráfico 3. Aplicaciones de negro de humo	24
Gráfica 4. Objetivos estratégicos Cabot Colombiana S.A.	25
Gráfica 5. Estructura organizacional del área de Mantenimiento	29
Gráfica 6. Estrategia de Mantenimiento en Cabot Colombiana S.A.	30
Gráfica 7. Flujograma del proceso de Mantenimiento	31
Gráfica 8. Diagrama de flujo del proceso de producción de negro de humo	40
Gráfica 9. Producción de Negro de Humo	41
Gráfica 10. Comportamiento del OEE	43
Gráfica 11. Diagrama de Pareto Fallas: Abr´09 – Abr´10	54
Gráfica 12. Diagrama de Pareto Horas perdidas (Down Time) por fallas: Abr´09 – Abr´10	55
Gráfica 13. Curva de la bañera	59
Gráfica 14. Comportamiento del parámetro Beta	62
Gráfica 15. Componentes de la Confiabilidad Operacional	66
Gráfico 16. Factores Críticos de Éxito en la Gestión de la Confiabilidad Humana	68
Gráfica 17. Análisis de factores críticos de éxito de la gestión de confiabilidad en los procesos administrativos	78
Gráfica 18. Factores críticos	79
Gráfica 19. Análisis de factores críticos de éxito de la gestión de confiabilidad de los equipos	82
Gráfica 20. Dibujo de Unidad de filtro	93

RESUMEN

El presente trabajo titulado “**Diseño de una propuesta de mejoramiento de la confiabilidad del proceso de producción de negro de humo en Cabot Colombiana S.A., a partir de herramientas de gestión de confiabilidad**”, pretendía diseñar y proponer estrategias de mejoramiento para el proceso de producción de negro de humo en Cabot Colombiana S.A., a partir de herramientas de gestión de la Confiabilidad, complementadas con conceptos de análisis de costos, planeación estratégica y herramientas estadísticas, para el logro de los objetivos propuestos.

Los aspectos abordados se desarrollaron de la siguiente manera:

1. Análisis del contexto actual estratégico de la empresa
2. Análisis del desempeño actual de la gestión de confiabilidad de la línea de producción de negro humo.
3. Identificación de los diferentes factores críticos de éxito de la gestión de confiabilidad sobre la línea de producción de negro de humo.
4. Mejoras en la confiabilidad operacional de la línea de producción de negro de humo, a partir de técnicas de confiabilidad y estadística.

PALABRAS CLAVES: Confiabilidad, Confiabilidad Humana, Confiabilidad operaciones, indicadores de gestión, fallas, mantenimiento centrado en confiabilidad - RCM, gestión de la confiabilidad, FMECA – Análisis de modo de falla, distribución de Weibull, análisis de causa raíz – RCA, gestión de mantenimiento, análisis estadístico de fallas.

INTRODUCCIÓN

Las estrategias convencionales de "reparar cuando se produzca la avería" ya no sirven. Fueron válidas en el pasado, pero ahora las organizaciones son conscientes de que esperar a que se produzca la avería para intervenir, es incurrir en unos costes excesivamente elevados, como consecuencia de pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, etc., y por ello las empresas industriales se propusieron implantar procesos de prevención de estas averías mediante un adecuado programa de Mantenimiento, basado en confiabilidad.¹

A la situación planteada Cabot Colombiana S.A. no es ajena, ya que debido a las exigencias de la industria de clase mundial y los estándares corporativos de la compañía siempre existe la necesidad de adoptar estrategias que internamente permitieran potencializar el desempeño de la planta en términos de reducción de costos de operación y mantenibilidad, mientras al mismo tiempo se mejoraba su habilidad para suplir productos cumpliendo las especificaciones de los clientes, sin afectar la seguridad de sus trabajadores y el medio ambiente.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo integrador pretende analizar de forma sistemática, incluyendo aspectos tanto de confiabilidad operacional como humana, los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad que permitan diseñar estrategias de mejoramiento para el proceso de producción de negro de humo en Cabot Colombiana S.A., que si bien no requieren de una inversión exponencial, de implementarse en la organización, contribuirían a mejorar el desempeño actual de la empresa.

Así mismo, es importante anotar que las herramientas propuestas de gestión de la confiabilidad, serán complementadas con conceptos de análisis de costos, planeación estrategia y hasta herramientas de gerencia de proyectos (planteamiento de estrategias de mejora) para el logro de los objetivos propuestos.

¹ Díaz, Guillermo. Mantenimiento industrial. Historia y evolución del mantenimiento. En línea: <http://www.predic.es/home/index.php/the-news/mantenimiento-en-general/45-articulosmantenimiento/16-historia-y-evolucion-del-mantenimiento>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta de mejoramiento en la confiabilidad del proceso de producción de negro de humo en Cabot Colombiana S.A., a través de la identificación e intervención de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un diagnostico general del actual nivel de desempeño en la gestión de confiabilidad en la línea de producción de negros de humo.
- Identificar los diferentes factores críticos de éxito de la gestión de confiabilidad sobre la línea de producción de negros de humo.
- Diseñar una propuesta de mejoramiento de la confiabilidad de la línea de producción de negros de humo, a través de la aplicación de herramientas de confiabilidad, resaltando los beneficios que se obtendrían con su posible implementación dentro de la organización.

CAPITULO I.

Análisis del contexto actual estratégico de la empresa CABOT
COLOMBIANA S.A



1. ANÁLISIS DEL CONTEXTO ACTUAL ESTRATÉGICO DE LA EMPRESA

Si se compara desde una analogía a la empresa con un auto (estructura) recorriendo un trayecto (camino y tipo de clima, que representa el entorno), con un conductor (directivo), y una velocidad mínima promedio a alcanzar para tener posibilidades de acceder al triunfo (misión), exigir al auto una velocidad superior a la que puede lograr bajo las circunstancias del entorno, y más allá de la capacidad conductiva del piloto, puede llevar a la rotura de alguna parte del auto o incluso a un accidente, con lo cual no sólo quedará fuera de carrera, sino que además pone en peligro la vida del piloto (o sea la existencia misma de la empresa como tal). Ni que hablar, si el piloto no puede sacar el máximo provecho del rodado bajo las condiciones de la ruta.²

Con base en la analogía planteada, al diagnosticar el estado de una empresa u organización es conveniente comenzar por ver que tan equilibrados están sus componentes estratégicos, dando para ello respuesta a cada una de las preguntas y otras que puedan surgir del análisis.

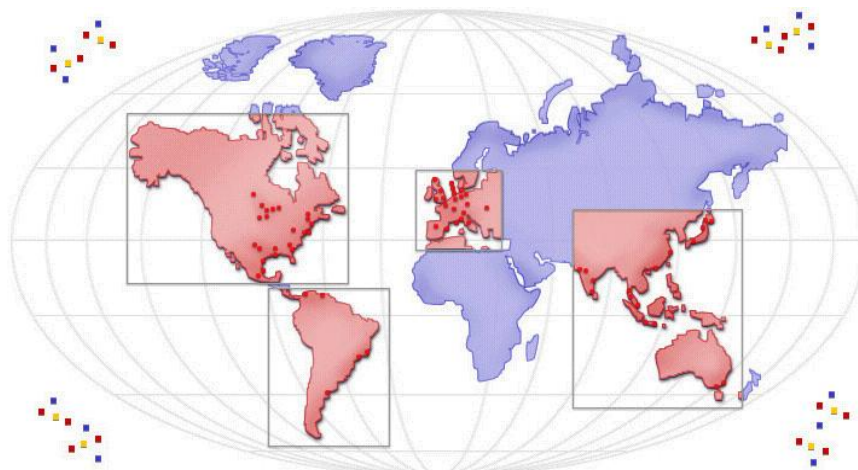
Teniendo en cuenta lo planteado, seguidamente se presenta un análisis estratégico de la empresa Cabot Colombiana S.A., considerando aspectos importantes tanto internos como externos, entre los cuales se encuentra: estructura, misión, visión, entorno, objetivos estratégicos, entre otros.

1.1 PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA

CABOT COLOMBIANA S.A. es una empresa productora de Negro de Humo de Petróleo para la industria nacional y de exportación, que hace parte de una red internacional de plantas de Cabot Corporation Inc., constituida por cinco regiones principales: Europa, Norte América, Sur América, Asia Pacifico y China. Cabot Colombiana con su única planta ubicada en la ciudad de Cartagena, Zona Industrial de Mamonal - kilómetro 12, hace parte de la Región de Sur América, en compañía de Argentina y Brasil.

² Lefcovich, Mario. Estrategia y dirección estratégica. La importancia del análisis estratégico en el diagnostico empresarial. En línea: <http://www.gestiopolis.com/canales8/ger/cuadro-de-diagnostico-estrategico-e-importancia-del-analisis-estrategico.htm>

Gráfica 1. Empresas de Cabot Corp. en el mundo



Fuente: Registros de Cabot Colombia S.A

Como clientes nacionales atiende directamente sectores de la industria de Llantas (Tires), Productos Industriales (IP) y Tintas y Pinturas (PPBG). Igualmente atiende un vasto sector del mercado industrial del caucho a través de sus distribuidores autorizados. El mercado de exportación está conformado por operaciones intercompany fundamentalmente hacia las plantas de Cabot en Brasil, Argentina, Asia Pacífico y Europa, las cuales se encargan de comercializar el producto, o por exportaciones directas principalmente a clientes de Norte, Centro, Suramérica y las mismas Asia Pacífico y Europa.

1.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

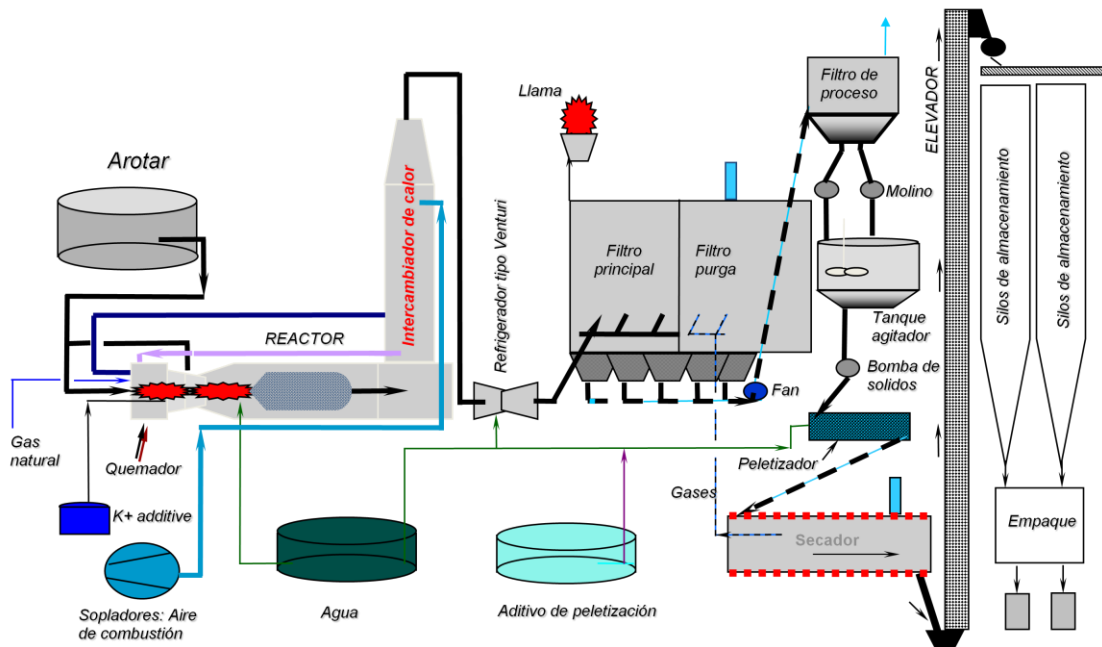
El proceso para producir Negro de Humo se basa principalmente en la reacción de gas natural con un flujo de aire precalentado, de aquí se forma un flujo de gases de combustión calientes los cuales pasan a través de un reactor, en el cual se inyecta la materia prima principal (que es un aceite pesado que viene de la unidad de cracking térmico, con alto contenido de poli aromáticos) dentro del flujo de gases de combustión calientes en uno o más puntos e inicia la pirolisis del aceite pesado, dándose la formación del Negro de Humo, la reacción se corta haciendo un enfriamiento con agua. El efluente formado (gases + Negro de Humo), pasa a través de un intercambiador de calor en el cual el efluente es enfriado por una corriente de aire, luego pasa través de un venturi en el cual por la disminución del área de flujo aumenta la velocidad y disminuye la temperatura, permitiendo que

pueda pasar a las unidades de filtración con temperaturas aceptables para las bolsas contenidas dentro de estos filtros sin temor alguno de falla por altas temperaturas. Luego de que son separados los gases del negro de humo en los filtros.

El producto es molido y luego pasa a una unidad de peletización donde el negro de humo deja de ser fino para pasar a ser pellet (de esta manera se facilita su transporte), luego pasa al secador donde se remueve la humedad que este trae, de aquí pasa por el elevador de cangilones hacia el tornillo transportador de aquí cae a los silos de almacenamiento para finalmente ser empacado y enviado a los clientes que lo requieren.

Durante las fases de reacción, proceso y empaque el negro de humo es sometido a estrictos controles de calidad con el propósito de asegurar el cumplimiento de los requisitos de calidad especificados. A continuación se muestra esquema grafico del proceso de fabricación de negro de humo:

Gráfica 2. Proceso de producción de Negro de humo



Fuente: Registros de Cabot Colombiana S.A.

1.3 DESCRIPCIÓN DE PRODUCTOS Y APLICACIONES

Cabot Colombiana S.A. atiende para el mercado colombiano la representación de todas las líneas de negro de humo especiales, sílicas, inkjet, y masterbach fabricados en otras plantas de Cabot Corporation Inc. Igualmente comercializa diversos tipos de Negro de Humo para la Industria del Caucho, Plástico, Pinturas y Tintas producidos en otras plantas de la corporación y que atendiendo políticas globales de mercadeo requieren ser importados.



Foto 1. Negro de Humo

Para el caso puntual del Negro de Humo, esta es una fina partícula negra que sirve como agente para el refuerzo de caucho, pigmentación, conductividad o protección. Estas partículas están esencialmente compuestas de puro carbón, con estructuras parecidas a la del grafito producidas por la combustión parcial o descomposición térmica de hidrocarburos.

El tamaño de partícula y el área superficial varía de grado a grado, en promedio varía de 12 a 75 nm. La relación entre el tamaño de la partícula y el área superficial es inversamente proporcional, lo cual incide directamente en las propiedades del producto. Los grados de Negro de Humo con áreas superficiales altas son más duros para dispersar, tienen mayor fuerza de corte y proveen mejores propiedades.

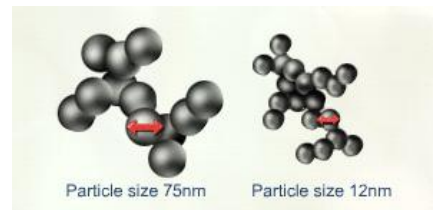


Foto 2. Partículas de Negro de Humo

La operación se basa en un proceso de tipo continuo que realizan reactores de alta tecnología donde se obtiene el Negro de Humo como resultado de una Pirolisis Controlada. En el proceso se utiliza como materia prima básica el alquitrán aromático (derivado del petróleo). El producto es luego sometido a: filtrado, molienda, granulado, secado y finalmente empacado en bolsas de polietileno y colapsibles para su posterior distribución.

El 90% de la producción se vende a la industria llantera donde su principal uso es el refuerzo de Cauchos Naturales y Sintéticos, sin embargo este polvo intensamente negro también actúa como pigmento en una extensa gama de producto. Otras aplicaciones se muestran a continuación:

- Refuerzo de caucho, llantas, neumáticos y reencauche.
- Mangueras hidráulicas, correas, bandas transportadoras.
- Empaques, sellos y membranas , pisos , suelas, recubrimiento de techos en edificios Tintas de dibujo y copiado, pinturas, esmaltes,
- Lacas y tonizadores.
- Plásticos, materiales antiestáticos , aislante para cables eléctricos de alta tensión

Grafico 3. Aplicaciones de negro de humo

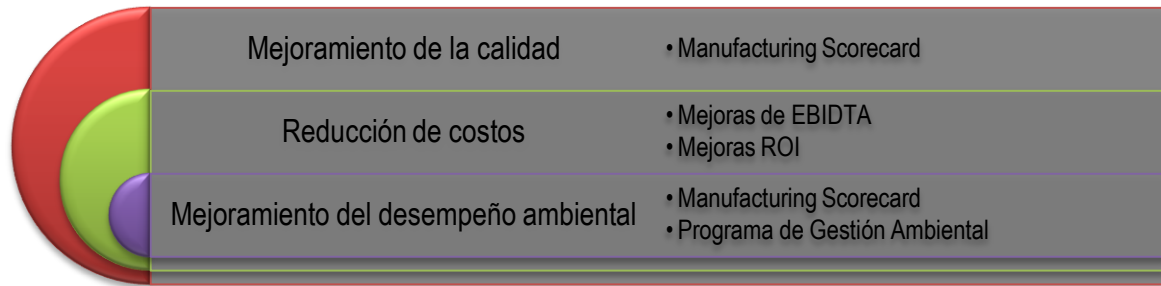


Fuente: Autores del proyecto. Gráfica realizada con base en información de la empresa

1.4 OBJETIVOS ESTRATÉGICOS

Conociendo la actividad económica de Cabot Colombiana y el campo de aplicación principal del negro de humo en la industria, entonces es importante considerar los objetivos estratégicos que tiene planteados la organización, con el fin de profundizar en la visión de la empresa con respecto al negocio. Seguidamente se muestra una gráfica que señala los tres focos principales de interés de Cabot y que se traducen en sus objetivos estratégicos.

Gráfica 4. Objetivos estratégicos Cabot Colombiana S.A.



Fuente: Autoras del proyecto. Gráfica realizada a partir de información suministrada por la empresa.

Es importante resaltar que aunque los objetivos estratégicos de la organización son los tres señalados, existe toda una serie de programas, planes e indicadores encaminados a cumplir con las metas propuestas, ya sea por proceso o en forma general para toda la empresa.

1.5 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Con el ánimo de comprender mejor el proceso de fabricación de negro de humo en Cabot Colombiana, seguidamente se hace una descripción general de los equipos que componen la línea de producción. Así mismo, es importante resaltar que además este conocimiento básico de los equipos posteriormente será de gran ayuda para el análisis de los datos de fallas. Los equipos pueden visualizarse esquemáticamente en la Gráfica 2.

1.5.1 Filtros Principales (MUF)

Los filtros principales son unidades que separan continuamente el negro de humo de sus respectivos gases en un proceso de producción ininterrumpido. Tanto el negro de humo como los gases son de gran valor y fluyen hacia sus respectivos procesos aguas abajo. El negro de humo es retenido en las bolsas o mangas internas de la unidad de filtración y los gases que pasan a través de estas mangas son empleados como fuente de calor en secadores y petroquímicos.

Funciones primarias: Proveer protección al medio ambiente evitando emisión de negro al aire, y separar el negro de humo de la corriente de tail gas (fuente de energía).

1.5.2 Filtros De Proceso

Es un filtro tipo pulse jet el cual separa el negro de humo de la corriente de aire que lo transporta. Las entradas al filtro de proceso provienen de la unidad principal de filtración, del filtro de purga y de los colectores de finos. En este caso las partículas de negro de humo son retenidas en la parte externa de las bolsas, dejando pasar el aire de transporte. Las bolsas son continuamente limpiadas a través de un pulso de aire de alta presión que permite desprender el negro de humo para que caiga a la tolva de este equipo desde donde se enviará al proceso aguas abajo.

Funciones primarias: Proveer protección al medio ambiente y separar el negro de humo de la corriente de aire que lo transporta

1.5.3 Filtros De Purga

Es un filtro tipo pulse jet el cual separa pequeñas partículas de negro de humo de la corriente de vapores de agua que lo transporta proveniente del secador. A diferencia del filtro de purga, este tipo de filtros no poseen extractores sino que el tiro es forzado por la chimenea que poseen.

Funciones primarias: Proveer protección al medio ambiente; recuperar cualquier particular de Negro de humo que salga del secador; mejorar la calidad de pellet (minimiza la llegada de finos a la sección de empaque), removiendo las pequeñas partículas.

1.5.4 Chimeneas (Flare)

Los flare stacks son equipos diseñados para quemar el tail gas que no fue usado como fuente de energía en la planta. Estos equipos permiten quemar el tail gas gracias a la combustión completa de estos gases de cola, con el oxígeno presente en el aire del medio ambiente.

Funciones primarias: Actuar como un equipo de seguridad para proteger los filtros principales (MUF) de sobre presiones ocurridas en eventos no planeados, y evitar que estos gases de cola vayan a la atmósfera.

1.5.5 Reactor

Son equipos modernos especiales para la quema de negro y que varían considerablemente en su geometría interna, en la cual todas las materias primas son introducidas. Estos equipos presentan diferentes zonas en donde inicialmente gases de combustión son generados dentro de un cámara, para posteriormente inyectar el aceite y rápidamente mezclado con los gases provenientes de dicha cámara, vaporizan el aceite, y luego se da paso a el proceso de pirolisis en la zona de reacción, finalmente se enfría la mezcla formada dentro de zona de inyección de agua a temperaturas no mayores de 800°C.

Todos los reactores tienen una chaqueta metálica impermeable a los gases. La zona de reacción está recubierta con un forro interior de cerámica, generalmente en una base de alúmina, que es estable a temperaturas de aprox. 1800 ° C. Se tiene varios puntos de inyección de agua en todo el cuerpo del reactor para permitir que el volumen de reacción efectiva del reactor para ser ajustado, logrando variar del tiempo medio de residencia del negro de humo a la temperatura de reacción.

1.5.6 Intercambiador

Equipo de transferencia de calor en la cual permite bajara la temperatura de negro proveniente de la zona de reacción. Este equipo consta es de 100 tubos en la cual se utiliza Aire de alta presión para realizar el proceso de transferencia.

1.5.7 Venturi

Equipo utilizado para enfriar el negro proveniente de la etapa de reacción (después del intercambiador), aumenta la velocidad de la mezcla formada para que esta pueda pasar a la etapa de filtración.

1.5.8 Molino

Equipo utilizado para el proceso de molienda en la cual mediante martillos permite disminuir el tamaño de las partículas de negro provenientes del proceso de filtración.

1.5.9 Peletizador

Equipo que permite densificar el negro, proveniente de la etapa de molienda, mediante la mezcla de agua y aglutinantes. Internamente este sistema posee un árbol de pines que por rotación permite de la mezcla eleve su densidad y pase de ser fino a la formación del pellet como tal, adicionalmente posee un sistema de boquillas para spray de agua que ayuda la homogenización de la mezcla.

1.5.10 Secador

Tambor de tipo rotativo que permite secar el negro proveniente de la etapa de peletización, estos se ayudan de quemadores que permiten lograr temperaturas superiores a 500°C para el secado del Negro, y preparan al producto para que se sea transportado a los silos de almacenamiento.

1.6 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO

Cabot Colombiana cuenta con una estructura organizacional moderna, plana, ágil y adecuada para el cumplimiento de su misión, con un recurso humano altamente calificado compuesto por empleados con contrato a término indefinido, término definido, estudiantes SENA y profesionales en práctica.

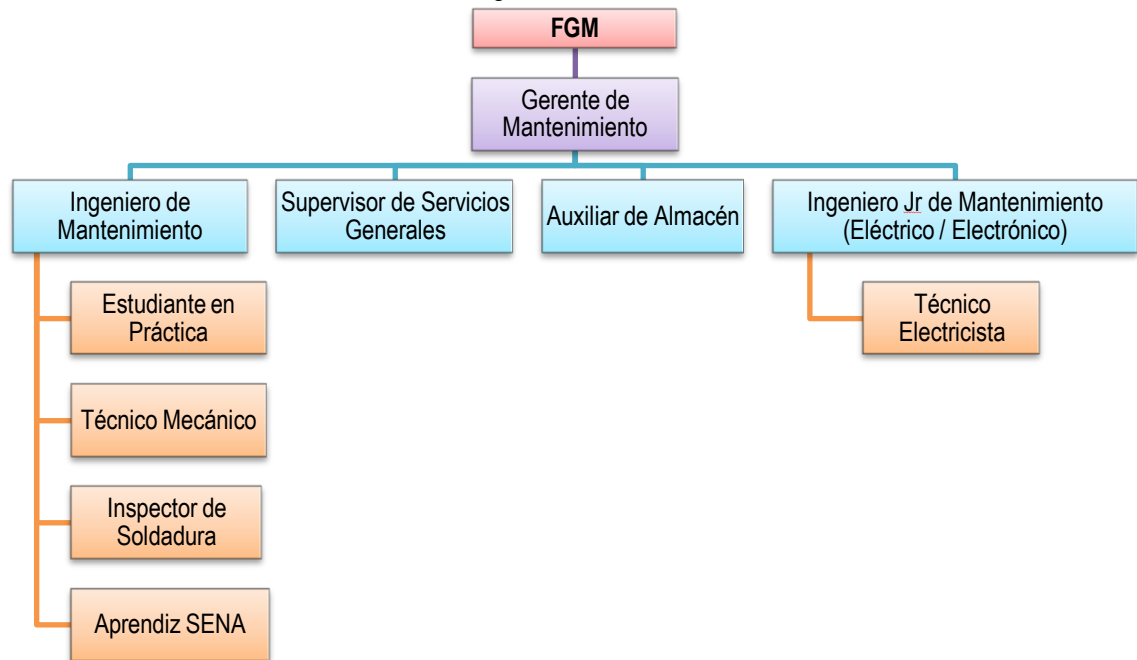
Como instrumento de análisis la estructura organizacional de un proceso o de una compañía puedes detectar fallas estructurales, ya que representa gráficamente las unidades y relaciones y estas se pueden observar en cualquier unidad o relación que corresponda con el tipo de actividad, función o autoridad que desempeña la unidad en sí. A través de análisis periódicos de los organigramas actualizados se pueden detectar cuando el espacio de control de una unidad excede a su capacidad o nivel y en cualquier de estos casos recomendar la modificación de la estructura en sentido vertical u horizontal.

El área de mantenimiento en Cabot Colombiana S.A está liderada por el Gerente General (FGM), quien tiene a cargo el Gerente de Mantenimiento, del cual se desglosa toda la estructura del área conformada en su mando medio por un Ingeniero de Mantenimiento, un Supervisor de Servicios Generales, un Auxiliar de Almacén, y un Ingeniero Junior de Mantenimiento (eléctrico/electrónico).

Podemos observar que no existe una figura definida para el área de confiabilidad y aunque el ingeniero de mantenimiento realice funciones de confiabilidad, el organigrama del área no le asigna directamente la responsabilidad de la función.

A continuación se representa de forma gráfica la estructura del área de mantenimiento:

Gráfica 5. Estructura organizacional del área de Mantenimiento



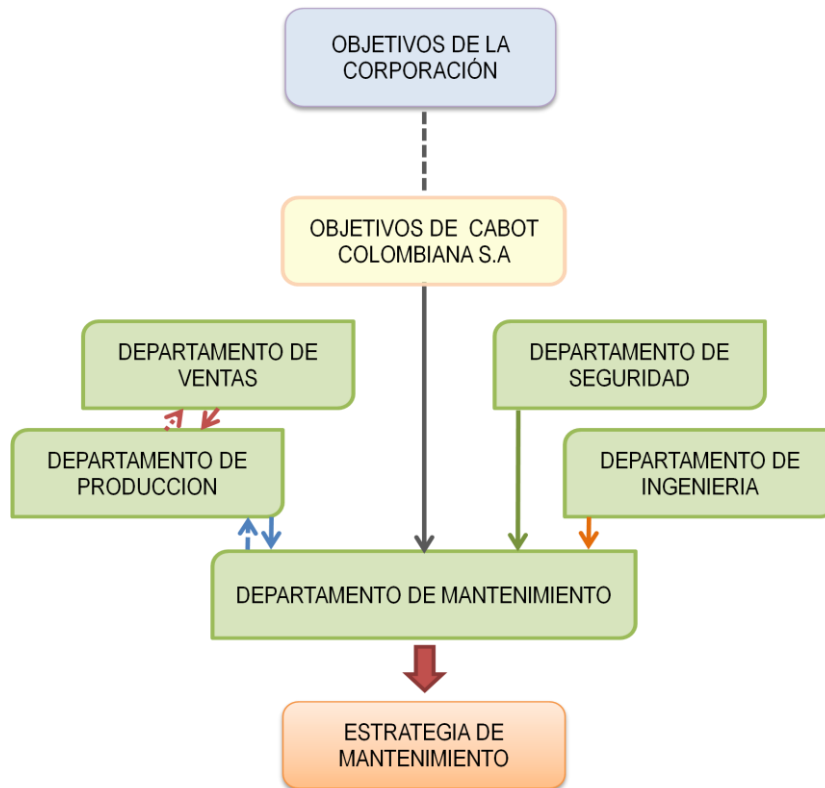
Fuente: Información Cabot Colombiana S.A.

1.7 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

Una estrategia es una pauta que da coherencia, unifica e integra decisiones, determina y revela el propósito de una organización en términos de objetivos a largo plazo, programas de acción y prioridades en la asignación de los recursos. Además selecciona los negocios en los que esta o estará involucrada la organización definiendo el tipo de organización humana y económica que la compañía es, o tiene intención de ser, buscando lograr ventajas que se pueden mantener en el largo plazo en cada uno de los negocios, a base de reaccionar adecuadamente a las oportunidades y peligros del entorno, y a las fortalezas y debilidades de la organización, comprometiendo todos los niveles de la empresa y definiendo la naturaleza de las contribuciones económicas que tiene intención de hacer a sus asociados o portadores de interés.

CABOT COLOMBIANA S.A es una empresa que hace parte de una red internacional de plantas de Cabot Corporation Inc. por lo cual sus estrategias están direccionadas con los objetivos de la Corporación. El departamento de mantenimiento define sus estrategias de acuerdo a los objetivos de la empresa y a las entradas de los procesos internos de la compañía como lo son producción, seguridad industrial, ingeniería de procesos y ventas que tiene retroalimentación directa con producción y este a su vez con mantenimiento.

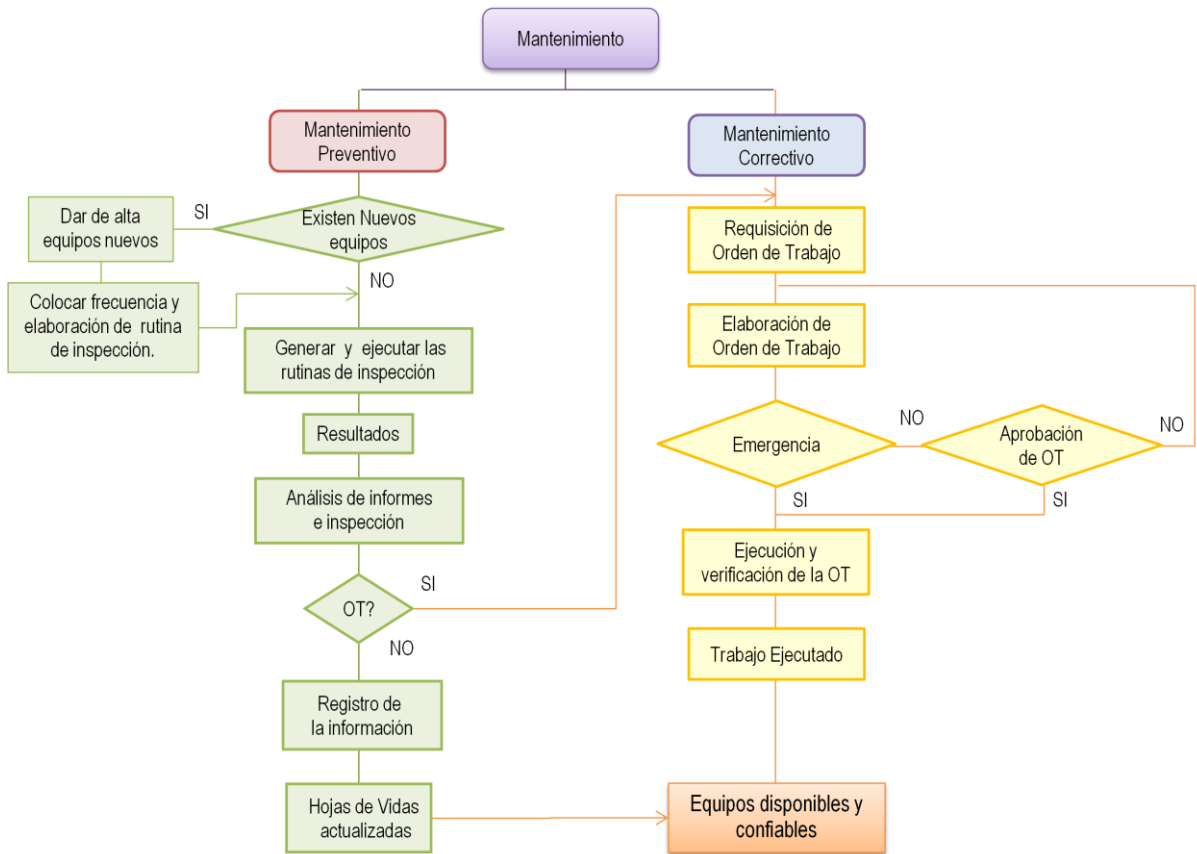
Gráfica 6. Estrategia de Mantenimiento en Cabot Colombiana S.A.



Fuente: Autoras del proyecto. Gráfica realizada con base en información de Cabot Colombiana S.A.

Una vez se definen de manera global las estrategias de mantenimiento, se establecen pautas de trabajo documentadas para garantizar que todas las personas que intervienen en el proceso lleven a cabo la consecución de los objetivos planteados. A continuación se muestra de manera general el esquema de trabajo del área de mantenimiento como instrumento para llevar a cabo las estrategias planteadas.

Gráfica 7. Flujograma del proceso de Mantenimiento



Fuente: Autoras del proyecto. Gráfica realizada con base en información de Cabot Colombiana S.A.

1.8 ANÁLISIS ESTRATÉGICO

Complementado con todos los aspectos descritos previamente, es claro que para lograr un acercamiento más completo sobre el estado actual de la empresa y comprender de mejor forma el entorno en que se desarrolla, es necesario analizar con más detalle los factores tanto internos y externos que puedan incidir en la misma. Para esto, se utilizaran las herramientas: Análisis PEST y DOFA.

1.8.1 Análisis PEST

El análisis PEST es una herramienta de gran utilidad para comprender el crecimiento o declive de un mercado, y en consecuencia, la posición, potencial y dirección de un negocio, compuesta por las

iniciales de factores Políticos, Económicos, Sociales y Tecnológicos. El PEST funciona como un marco para analizar una situación, y como el análisis DOFA, es de utilidad para revisar la estrategia, posición, dirección de la empresa, propuesta de marketing o idea, afianzándose esencialmente en factores externos³.

Considerando que la intención del análisis PEST para este proyecto, es ofrecer un acercamiento inicial al contexto en el que se desarrolla Cabot Colombiana y a su vez servir de insumo para la realización de la matriz DOFA, este se realizara de forma muy general y no ahondando en detalles técnicos de la herramienta.

1.8.1.1 Análisis Político

Para analizar los factores políticas que pueden afectar no solo a Cabot Colombiana S.A., sino a cualquier empresa del territorio nacional necesariamente hay que considerar los aspectos relacionados alrededor del nuevo presidente de la república y con ello sus relaciones con países aliados con Estados Unidos (en el caso de empresas exportadoras). Seguidamente se presenta el análisis realizado:

- **Presidencia Juan Manuel Santos:** El mandato de un nuevo presidente, de un modo u otro siempre tiene incidencia en las empresas del territorio nacional, ya que su corriente política marca el paso de sus relaciones con otros países, las reformas políticas (laboral, comercio exterior, tributaria, etc.) a aplicarse durante su periodo, entre otros aspectos que indudablemente pueden afectar las empresas colombianas. El presidente electo Juan M. Santos como candidato del llamado “uribismo” seguramente no mostrara cambios trascendentales y traumáticos para el país, ya que continuará con la corriente presentada en los últimos 8 años durante la presidencia del Dr. Alvaro Uribe. Además, considerando que el presidente electo fue Ministro de Comercio exterior durante el Mandato de Cesar Gaviria, seguramente procurará por la firma del TLC, mantener el atractivo extranjero hacia el país y beneficios tributarios para las empresas

³ Chapman, Alan. Gerencia. Análisis DOFA y análisis PEST. En línea: http://www.degerencia.com/articulo/analisis_dofa_y_analisis_pest

exportadoras, lo cual es bastante favorable para estas y consecuentemente para Cabot Colombiana.

- **Presidencia Barak Obama:** Estados Unidos como uno de los principales aliados de Colombia necesariamente tiene que ser incluido dentro de este análisis y de manera muy especial el papel de su presidente Barak Obama. En lo que concierne a su relación con el actual presidente de la república, el mandatario estadounidense ha expresado en diversas declaraciones su intención que mantener cordiales y colaborativas relaciones con nuestro país, situación que entonces no genera preocupación.

Por otro lado y mostrando incidencia un poco mas directa con Cabot Colombiana, es importante resaltar el papel que ha asumido el presente estadounidense en el rescate del sector automovilístico de EEUU, después de la recesión económica presentada el año anterior donde incluso se cerraron algunas compañías. En un artículo de Telemundo Atlanta se menciona: “El presidente estadounidense, Barack Obama, volvió a defender el rescate del sector automovilístico del país y la entrega de más de 60.000 millones de dólares a General Motors (GM) y Chrysler durante una visita hoy a una planta de montaje de Ford en Chicago. De forma paralela, el Export-Import Bank de Estados Unidos anunció hoy que proporcionará un préstamo de garantía a Ford, por valor de unos 250 millones de dólares, para fomentar la exportación del Explorer 2011 y otros modelos producidos en el país a México y Canadá”.⁴

Las situaciones planteadas evidentemente resultan favorables para la empresa, debido a que se evidencia la preocupación del gobierno estadounidense por respaldar el mercado automovilístico y con ello todos los sectores involucrados en su cadena de abastecimiento, entre los cuales se encuentra el llanero y el de negro de humo. Así mismo la continuidad con las políticas de inversión extranjera del actual gobierno también ofrecen un panorama estable para las empresas exportadoras.

⁴ Telemundo Atlanta. Noticia: “Obama defiende el éxito del rescate del sector automotriz durante su visita a una planta Ford”. Washington, 5 ago. En línea: <http://www.telemundoatlanta.com/2.0/3/287/795028/EEUU/Obama-defiende-el-exito-del-rescate-del-sector-automotriz-durante-su-visita-a-una-planta-de-Ford.html>

1.8.1.2 Análisis Económico

En materia del entorno económico, analistas internacionales han manifestado que se prevé un aumento en la demanda mundial de negro de humo, de 4,3% por año para el 2013 (correspondiente a 11,6 millones de toneladas), impulsada por un mercado mundial del caucho saludable. Se estiman ganancias exageradas en cierta medida por el hecho de que el crecimiento será de un aumento relativamente alto teniendo en cuenta la débil base de 2008, cuando una parte considerable del mundo vio los inicios de la recesión⁵. Es claro que la gran mayoría de negro de humo encuentra su principal aplicación como uso como material de refuerzo en las manufacturas de caucho vulcanizado, incluyendo más de 60% en neumáticos de vehículos de motor. Solo la demanda de negro de humo del sector de los neumáticos se prevé que aumente un 3,7% por año hasta el 2013, lo cual se traduce en aproximadamente 6,9 millones de toneladas métricas.

Por otro lado, complementando la estabilidad del mercado del negro de humo, también se proyecta un incremento en la demanda de la región Asia / Pacífico, excluyendo a Japón. Los grandes mercados de China e India estiman ganancias particularmente impresionantes, debido a una expansión rápida y continua de sus respectivos vehículos de motor y las industrias de neumáticos, que será impulsado por un crecimiento sólido de la economía de ambas naciones. China e India registraron el mayor aumento de la capacidad de negro de humo entre todos los países del mundo durante el período 2003 a 2008, una tendencia que continuará hasta el 2013⁶.

Teniendo en cuenta estos planteamientos, la tendencia económica de la industria del negro de humo ofrece un panorama bastante favorable para las empresas que se encuentran en este sector, entre las cuales está Cabot Colombiana S.A. y por tanto es necesario direccionar todos los esfuerzos a mantenerse e incluso incrementar participación en el mercado.

⁵ Report linker. World Carbon Black Industry. Global demand to rise 4.3% annually through 2013. En línea: <http://www.reportlinker.com/p0180098/World-Carbon-Black-Industry--.html?request=news>

⁶ Ibid.

1.8.1.3 Análisis Social

En lo concerniente a factores sociales que puedan afectar el contexto alrededor de Cabot Colombiana S.A., básicamente a lo que se puede hacer referencia es al auge de la industria automovilística como consecuencia de los gustos y tendencias de los compradores, donde debido a la gran variedad de modelos que ofrecen las casas matrices y concesionarios de vehículos.

El perfil de los compradores puede variar a partir de su orientación de marcas, edad, estrato social y hasta núcleo familiar, y como consecuencia de la gran variedad de posibilidades para los compradores no solo en estilos sino también en precios y financiaciones, ya incluso se está volviendo más atractivo comprar vehículos nuevos que usados.

Es claro que la estabilidad de la industria automotriz, también favorece el sector llanero y por ende el de negro de humo, ya que como se ha mencionado previamente, la principal aplicación de este producto se encuentra en el refuerzo de neumáticos.

1.8.1.4 Análisis tecnológico

Analistas internacionales han estimado un aumento en el mercado de negros de humo especiales, de aproximadamente un 5,9% al año, equivalente a 1,2 millones de toneladas métricas. Aunque los negros especiales comprenden menos del 10% de la demanda global de negro de humo, estos disponen de precios por kilo considerablemente más altos que los negros de humo tradicionales. Aunque la demanda de los negros especiales se concentra en los plásticos, tintas y pinturas sectores, otros usos, se visualizan mejores perspectivas de crecimiento a través del 2013⁷.

Con base en esta información, entonces es conveniente direccionar una parte considerable del presupuesto de la organización en investigación y desarrollo en el sector de los negros especiales, tal y como lo ha considerado Cabot Colombiana, y se tratará más adelante en el análisis DOFA.

⁷ Ibid.

1.8.2 Análisis DOFA

Con el ánimo de complementar el análisis PEST realizado, es necesario considerar tanto los factores externos evaluados previamente, como factores internos de la organización, que contribuyan a sentar las bases de futuros planteamientos que surjan del presente proyecto y a su vez soporten la pertinencia de las recomendaciones dadas. Para ello, se utilizará la comúnmente conocida “Matriz DOFA”, que combina el interior de la empresa (fortalezas y debilidades) con las fuerzas externas (oportunidades y amenazas). Seguidamente una breve explicación de lo que define cada aspecto de la matriz DOFA:

Debilidades

- Son aquellas características propias de la empresa, que constituyen obstáculos internos al logro de los objetivos organizacionales

Oportunidades

- Son aquellas situaciones externas, positivas, que se generan en el entorno y que, una vez identificadas, pueden ser aprovechadas para el logro de los objetivos organizacionales.


Fortalezas

- Son aquellas características de la empresa que la diferencian en forma positiva al compararse con otras y en consecuencia potencian las posibilidades de crecimiento y desarrollo.

Amenazas

- Están compuestas por severas condiciones que pueden afectar el desenvolvimiento de la empresa, llegando en caso extremo, a su desaparición.

La intención de la matriz DOFA es entonces, analizar los cambios reales y posibles en el entorno, las capacidades o recursos con que cuenta la empresa, las expectativas de crecimiento y desarrollo de sus directivos, y los objetivos que se plantean dentro del marco cultural, económico, político, que se define; y de acuerdo a esos análisis proponer los cambios y modificaciones necesarias en el seno de la empresa para ajustarse a las nuevas realidades, principalmente basadas en herramientas de gestión de confiabilidad. Seguidamente la matriz DOFA elaborada para Cabot Colombiana S.A.:

		FORTALEZAS F	DEBILIDADES - D
		<ul style="list-style-type: none"> • Reconocimiento a nivel mundial • Sistema de Gestión Integrado (Calidad, Seguridad y Medio Ambiente) con estándares internacionales • Puerto cercano • Asesoría y acompañamiento de la corporación • Sistema de información • Baja resistencia al cambio por parte del personal 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja capacidad en comparación con otras plantas de negro de humo de la corporación • Alta rotación del personal • Equipos viejos • Débil área de Mantenimiento – Mucho personal nuevo • Desmejora en indicadores de gestión
OPORTUNIDADES – O	ESTRATEGIAS – FO	ESTRATEGIAS – DO	
<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo de la corporación para nuevos proyectos tecnológicos • Oportunidades de nuevos clientes y fortalecimiento de Asia pacifico • Oportunidad de proyectos de ampliación de la capacidad de la planta y posibilidad de mejorar los costos de producción • Firma del TLC con Estados Unidos • Posibilidad de desarrollo de nuevos producto en la línea del Negro de Humo 	<ul style="list-style-type: none"> • Realización y propuesta de proyectos relacionados con recetas para nuevos negros de humo que no se fabrican den CT (Planta de Negro de Humo Cartagena), pero que tienen demanda en la corporación. • Formular e implementar estrategia de Marketing, teniendo en cuenta las 5Ps (Plaza, precio, producto, promoción y Post Venta). 	<ul style="list-style-type: none"> • Realización y propuesta de proyectos relacionados nueva tecnología para la línea de producción, orientada a incremento de capacidad y reducción de costos. • Plan de Coaching para todo el personal nuevo de la empresa. • Plan de mantenimiento centrado en Confiabilidad, tanto de los equipos, como del personal. 	
AMENAZAS – A	ESTRATEGIAS – FA	ESTRATEGIAS – DA	
<ul style="list-style-type: none"> • Competencia: El mercado altamente competitivo en que se encuentra la empresa – Crecimiento de China • Disminución en el precio del dólar • Nueva crisis mundial – Crisis en el sector automotriz y llanero 	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechar la ubicación geoestratégica de Cartagena, que mejora tiempos de entrega y costos para los clientes, en comparación con los de la competencia, para la atracción de nuevos clientes. • Reforzar el mercado de tintas y cauchos, para amortizar una posible reiteración de la crisis en el sector llanero y automotriz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reforzar el mercado local y posibles nichos no explorados, con el fin de incrementar la participación en mercados diferentes al llanero. • Diseño e implementación de un plan de reducción de OQ (Off Quality) y DT (Down Time), con el fin de mejorar el desempeño de los indicadores actuales y maximizar la capacidad de producción de la planta. 	

CAPITULO II.

Análisis del desempeño actual de la gestión de confiabilidad de la línea de producción de negro humo



2. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE CONFIABILIDAD DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE NEGRO HUMO

En el capítulo anterior se hizo un análisis de contexto estratégico de la empresa considerando factores tanto internos como externos de la misma y que dieran como resultado una visión global de la organización. En el presente capítulo, la intención es aterrizar el entorno estratégico a la actual situación de la empresa, haciendo énfasis a su estado en cuanto a la gestión de la confiabilidad en la línea de producción de negro de humo.

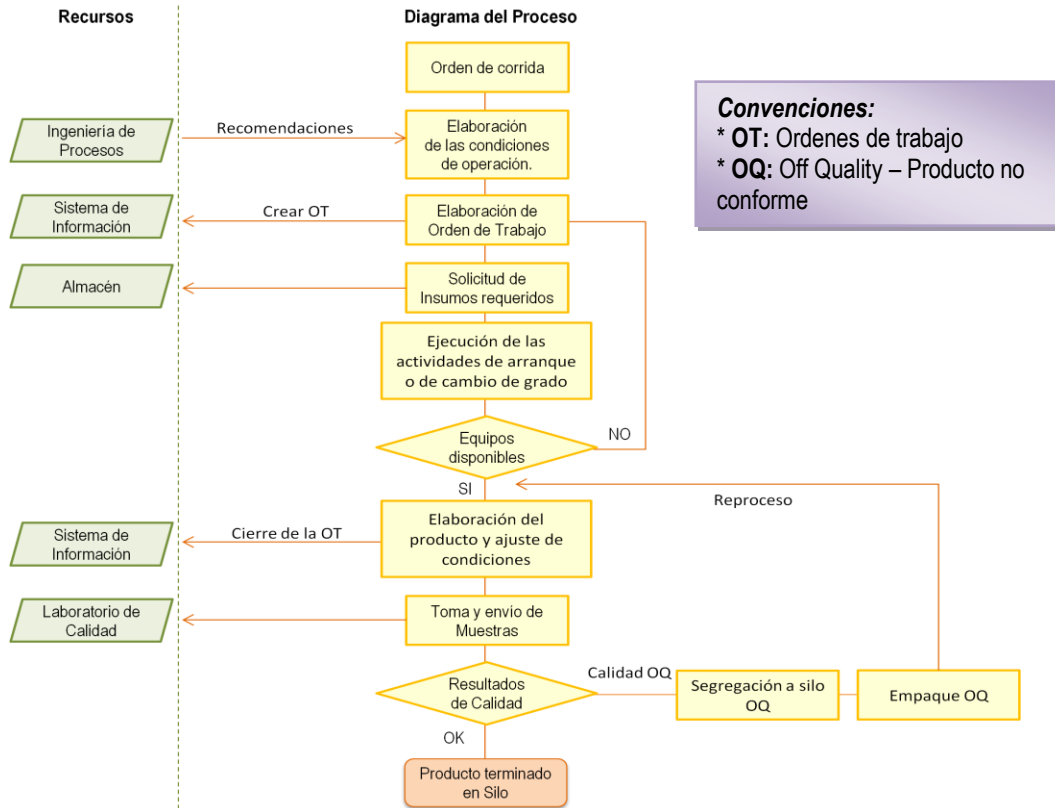
Para ello, inicialmente se complementara la información presentada previamente en cuanto al sistema de producción de la empresa describiendo el flujo de operaciones de la línea de producción. Posteriormente se analizarán los datos históricos de la línea de producción, considerando el periodo comprendido entre los últimos doce meses (Abril del 2009 y Abril del 2010) y con esto se hará un análisis de la efectividad del proceso, considerando como principal variable el OEE (Overall Equipment Effectiveness) y sus componentes. Una vez analizada esta información se presenta el análisis más desarrollado de aspectos relacionados con la confiabilidad en la línea de producción, como son el análisis estadístico de las fallas, etc.

2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Los diagramas de flujo son herramientas importantes porque facilitan la manera de representar visualmente el flujo de datos por medio de un sistema de tratamiento de información, procesos y/o procedimientos que se requieren para realizar un programa o un objetivo⁸. Es por esto que para lograr una mejor comprensión del proceso de producción de negro de humo en Cabot Colombiana S.A, a continuación se muestra una representación gráfica del proceso de producción a través de un diagrama de flujo de las operaciones que se realizan en la línea objeto del presente estudio.

⁸ Organización Internacional del Trabajo. OIT. Diagramas de flujo.

Gráfica 8. Diagrama de flujo del proceso de producción de negro de humo



Fuente: Autoras del proyecto. Gráfica realizada a partir de información suministrada por la empresa

2.2 DATOS HISTÓRICOS DE PRODUCCIÓN POR LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Habiendo profundizado aún más en el sistema de producción de Cabot Colombiana, con lo que se espera se tenga plena claridad sobre este, entonces a continuación se presentaran los datos de producción de la empresa, para lo cual se sugiere tener en cuenta las siguientes consideraciones con el fin de garantizar la comprensión de la información mostrada:

- Año, mes: El periodo a analizar son los 12 meses comprendidos entre abril del 2009 y abril del 2010.
- Producción de negro de humo: La unidad en que se presentan los datos de producción es MT, es decir toneladas métricas, y corresponde a la cantidad de negro de humo producido tanto OQ (fuera de calidad) como OnQ (en calidad). Los datos mostrados fueron variados con un factor de conversión sugerido por la empresa para garantizar la confidencialidad de la información.

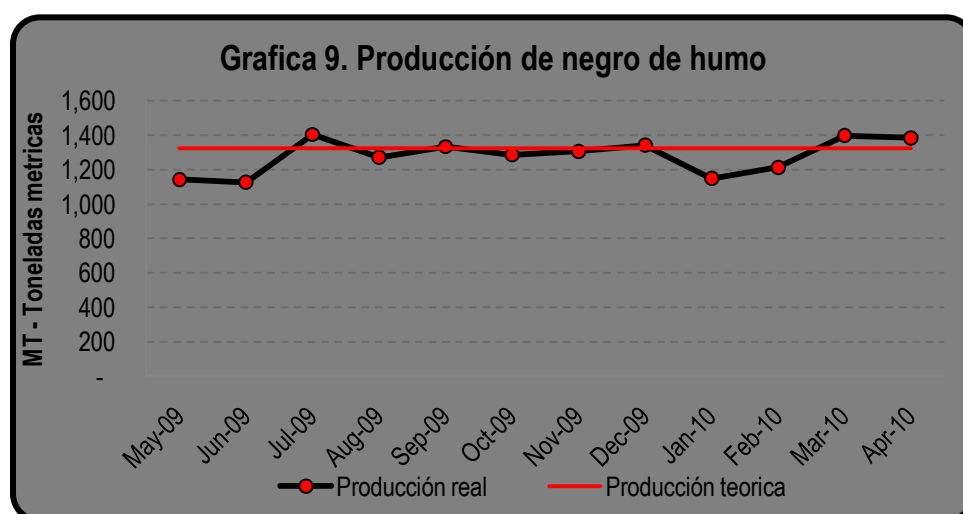
- Horas On load: Corresponde al tiempo en horas, en que la unidad (línea de producción) estuvo en servicio.
- Horas Off load: Corresponde al tiempo en horas, en que la unidad no estuvo operando.

A continuación los datos de producción, suministrados por la empresa, mostrados en la tabla 1 y de forma esquemática en la gráfica 8:

Tabla 1. Datos de producción de negro de humo

Año	Mes	Producción de negro de humo, MT	Horas On load	Horas off load
2009	Mayo	1.142	926	562
	Junio	1.126	932	508
	Julio	1.404	1.426	62
	Agosto	1.271	1.160	328
	Septiembre	1.333	1.331	109
	Octubre	1.287	1.265	223
	Noviembre	1.306	1.394	46
2010	Diciembre	1.342	1.372	116
	Enero	1.149	1.076	412
	Febrero	1.214	1.207	137
	Marzo	1.398	1.474	14
	Abril	1.385	1.402	38

Fuente: Información suministrada por la empresa



Fuente: Autoras del proyecto. Gráfica realizada, a partir de información suministrada por Cabot Colombiana S.A.

Como dato importante se estima que la producción teórica de la planta con 1.323 MT al mes, por lo tanto cuando este valor se supera, se dice que hay record de producción. Aunque la gráfica 8 muestra en general que se cumple con la producción teórica, esto no significa que sea record de ventas pues como se mencionó previamente, este dato reporta no solo producción buena sino también producto no conforme (OQ).

2.3 ANÁLISIS DE OEE

Teniendo claro los niveles de producción en la organización, seguidamente se realizará un análisis más detallado sobre el proceso considerando una variable importante que refleja el estado actual de eficacia en la línea de producción de negro de humo. La variable en mención es la que ya se ha mencionado en reiteradas ocasiones como OEE, cuya importancia radica principalmente en el hecho de que para su cálculo considera tres variables que engloban el comportamiento de la empresa y son: Up time, On Quality y Rate.

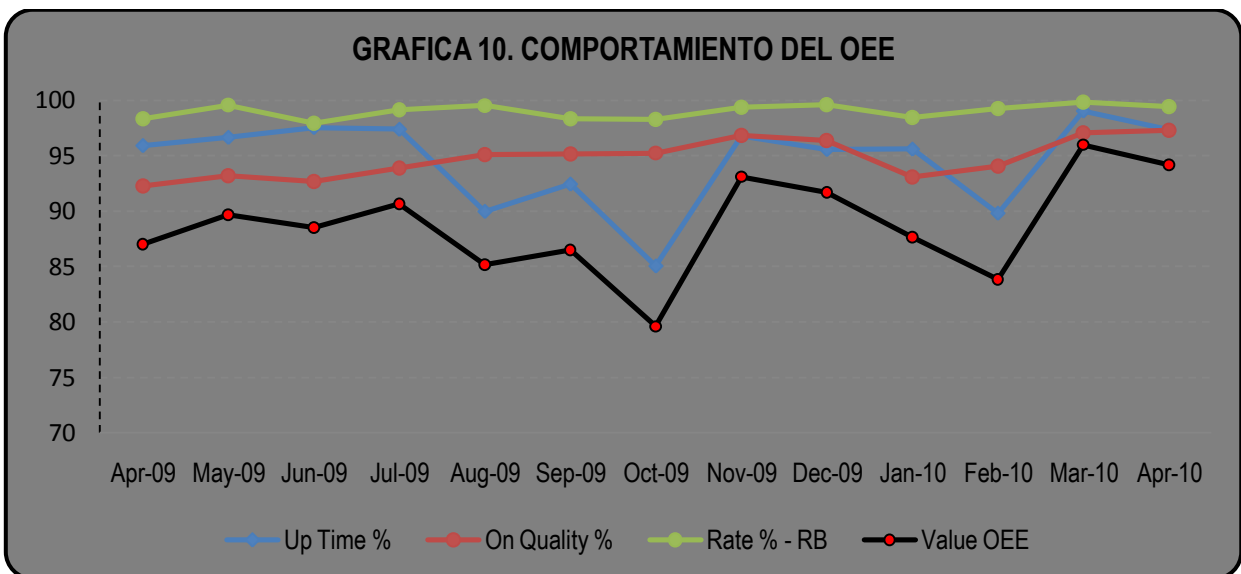
Para poder medir el impacto en las mejoras de confiabilidad que se tendrán por la aplicación de un modelo de confiabilidad en CABOT COLOMBIANA S.A es necesario tener un mecanismo de medición del estado actual y del estado ideal que se pretende alcanzar. Es por esto, que seguidamente se realiza el análisis de la situación actual del **Overall Equipment Effectiveness (OEE)**. Para el cálculo del OEE, se considera la siguiente fórmula: **OEE= % Productividad * % de disponibilidad * % de calidad**

El impacto de la confiabilidad puede verse desde el punto económico como la mejora en el proceso de ventas (la mejora en la confiabilidad se traduce como más producto para vender) y el costo de mercancías vendidas (pocas fallas o incidentes reducen gastos.)

A continuación se explicará cada uno de los componentes del OEE y su forma de aplicación en Cabot Colombia S.A.

- **Up Time:** este indicador hace referencia al tiempo real que funcionan los equipos, frente al tiempo destinado para su uso. Este indicador es calculado mensualmente restando del 100% del tiempo disponible de utilización el tiempo en que los equipos estuvieron fuera de funcionamiento, que sería (1 - Down Time). Este indicador es expresado en términos porcentuales y almacenados en el Sistema de Información utilizado por Cabot Colombiana S.A.
- **Rate:** este indicador se refiere a la velocidad de trabajo real de las maquinas, frente a la velocidad de diseño, o lo que es lo mismo, la rata de producción de negro de humo. Igualmente este indicador es expresado en términos porcentuales, y es calculado mensualmente por el departamento de Ingeniería de Procesos de la compañía.
- **On Quality:** este último indicador que compone el OEE hace referencia a la cantidad de producto conforme generado en un mes de producción, frente al total de productos generados en un periodo de un mes. El cálculo de éste se realiza mensualmente haciendo la diferencia entre la cantidad total producida y la cantidad total de producto no conforme generado, esto es (100% del total de la producción - % de producto no conforme generado).

A continuación se analizará gráficamente el comportamiento de estos tres indicadores en el periodo comprendido entre Abril del 2009 y Abril de 2010, y como afecta cada uno en el cálculo del OEE.



Fuente: Autoras del proyecto. Gráfica realizada, a partir de información suministrada por Cabot Colombiana S.A.

En el gráfico anterior se puede apreciar que la velocidad real de trabajo de los equipos o lo que es lo mismo, el cumplimiento de las recetas⁹ de producción (Rate %) tiene un comportamiento estable entre el 95% y el 100% en el periodo de análisis. Igualmente el indicador que hace referencia a la calidad del producto que es el On Quality presenta una tendencia relativamente estable entre el 90% y el 100% no mostrando mucha influencia negativa sobre el OEE. El porcentaje de Up Time muestra sin embargo un comportamiento bastante variado con un punto inferior en el mes de Octubre de 2009 que afecta directamente el comportamiento del OEE en este mismo punto.

Se puede observar que la línea de comportamiento del OEE es afectada negativamente de manera principal, por el desfavorable comportamiento de la variable Up Time, situación que deja entrever una deficiencia en el proceso que debe ser mejorada ya que trae consigo una cadena de consecuencias negativas, que entre otros aspectos implican:

- **Limitación de la capacidad de la planta.** Considerando niveles de producción alrededor de la producción teórica, como se muestra en el punto anterior, de 1.323 MT de negro de humo, niveles de OEE como el actual de 88,7% (promedio doce meses), se traducen en aproximadamente 150 MT de producto que se dejan de tener disponibles al mes o lo que es igual a alrededor de 2000 MT al año, las cuales son básicamente resultado de la baja disponibilidad de los equipos como lo muestra el Up Time, en la gráfica. Definitivamente esta cantidad de negro de humo que se deja de producir representa dinero que la empresa está dejando de ganar.
- **Generación de OQ (producto no conforme - Off Quality), como consecuencia de arranques de planta.** Es claro que mientras se ajusten las variables de proceso para lograr la calidad especificada para el grado de negro de humo a fabricar en un arranque de planta, el proceso solo genera producto no conforme que representa sobre costos al proceso, ya que este debe ser empacado y reprocesado posteriormente, así como desmejoras en el indicador de On Quality (1 - %Off Quality), el cual también es factor para el cálculo del OEE.

⁹ En Cabot Colombiana S.A. se denomina recetas de producción, al estándar de variables y condiciones de proceso para la fabricación de un tipo de negro de humo.

En la medida en que se presenten mayores eventos que impliquen paradas de planta, se generaran más producto no conforme como consecuencia de los arranques.

- **Costos de arranque de planta.** Los arranques de planta también representan costos a la empresa, no solo por el negro de humo que se deja de producir, sino también por los costos de set up en que se incurren, los cuales bien podría ser ahorrados si no se presentaran tantos eventos que produjeran parada total de planta.
- **Desgaste en los equipos por paradas intempestivas.** Indiscutiblemente las paradas no programadas de planta, ocasionadas por fallas en los equipos contribuyen a un desgaste y deterioro agravado de estos.
- **Incumplimientos a pedidos de cliente.** Cualquier falla o parada no programada en el proceso, podría conllevar a atrasos en el programa de producción y causar incumplimientos en las fechas de entrega a los clientes, lo cual es bastante perjudicial para la empresa, considerando el mercado de escala mundial en el que se encuentra.
- **Perjuicios a la imagen de la empresa frente a la corporación.** Cabot Colombiana S.A., como parte de una corporación multinacional es evaluada por el cumplimiento de sus indicadores del Scorecard (entre los cuales se encuentra el OEE) e incluso comparada con los resultados de todas las demás plantas en un ranking global. Cartagena (Cabot Colombiana S.A.) pasó de ser en el 2008 la planta N°1 del ranking, a ocupar actualmente el puesto 11 de las 22 plantas de negro de humo en la corporación, entre otros factores, por incumplimiento del objetivo propuesto del OEE¹⁰.

Todos estos inconvenientes planteados, se constituyen en aspectos negativos que afectan el nivel de desempeño del proceso de producción de negro de humo y que a través de la aplicación de estrategias y herramientas de gestión de confiabilidad, se podrían mejorar considerablemente.

¹⁰ Información confidencial suministrada por la empresa.

2.4 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD - FALLAS

Una vez realizado el análisis del proceso de producción de negro de humo, y con ello variables como el OEE que dejan en evidencia el estado actual de la planta, es conveniente, entonces abordar los aspectos relacionados con la confiabilidad de la misma.

En la sección anterior se dejó en evidencia las debilidades de la planta, debido a un OEE muy bajo en comparación con empresas de clase mundial, donde la cifra está alrededor del 95%. Entre las causas superficiales que se logran apreciar por el bajo OEE presentado que el Down Time es prácticamente la variable que está afectando directamente este indicador, al punto de que parecen mostrar comportamientos muy similares (Ver Gráfica 9).

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera relevante continuar con análisis de la confiabilidad de la planta, en lo que a las fallas de los equipos se refiere, durante el periodo de tiempo ya mencionado (Abr'2009 y Abr'2010).

Seguidamente se explican los pasos que se siguieron para la realización de este análisis, así como los resultados logrados, que posteriormente son abordados con más detalle.

Tabla 2. Pasos para análisis de fallas

PASOS	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS
Datos de fallas	Se recopilaron los datos de falla de los equipos de la línea de producción de negro de humo comprendidos entre Abr'2009 y Abr'2010	69 Fallas reportadas
Análisis de datos	Con ayuda de una tabla dinámica se organizaron los datos para posteriormente ser analizados	Se pueden organizar los datos de falla según equipo, fecha, grado, etc.
Priorización	Se priorizaron los equipos con mayor numero de fallas y los que cuyas fallas han provocado mayores horas de Down Time	MUF es identificado como equipo predominante en fallas, seguido del Reactor (en menor proporción)
Análisis de Riesgo	Se realiza un análisis de riesgo de las fallas de los equipos priorizados, teniendo en cuenta frecuencia y severidad	Las fallas tanto en el MUF como en el Reactor, los catalogan como equipos críticos, sin embargo se selecciona el MUF por predominar en frecuencia
Datos de equipo crítico	Se seleccionan únicamente los datos de las fallas provocadas por el equipo seleccionado como crítico (MUF)	Análisis de fallas del MUF
Análisis Weibull Equipo crítico	Se aplican los principios de la distribución de Weibull a los datos de las fallas del MUF y se calculan los parámetros correspondientes.	Análisis de los datos de falla del MUF, a partir de los fundamentos de Weibull
Gráfico Weibull Equipo Crítico	Se realiza las gráficas de Beta, R (confiabilidad) y Landa para análisis de resultados.	Se realizan gráficas de confiabilidad, a partir de la distribución de Weibull y análisis de parámetros para identificación del patrón de falla

Fuente: Autoras del proyecto

2.4.1 Información de fallas de los equipos

Como se expuso en la anterior descripción, el paso inicial para el análisis de las fallas es la recopilación de los datos. Para esto, se presenta la tabla 3, cuyos ítems contenidos se describen seguidamente:

- **Estado del equipo:** Corresponde al señalamiento del equipo en funcionamiento o parado por down time.
- **Inicia:** Corresponde a la fecha y hora exacta en que se presenta la falla.
- **Finaliza:** Corresponde a la fecha y hora exacta en que finaliza la falla, entendiéndose esta como el momento en el que mantenimiento entrega el equipo a producción y entra nuevamente en línea.
- **TNO:** Tiempo de no operación. Corresponde al tiempo de duración de la falla, en el cual el equipo no está disponible por estar en reparación.
- **TO:** Tiempo de operación del equipo. Corresponde a la diferencia entre la fecha donde finalizó la falla i y la fecha de suceso de la falla $i+1$. Puede ser entendido también, como el tiempo comprendido entre dos fallas, donde el equipo funciona sin problemas.
- **TBF:** Tiempo entre falla. Corresponde a la diferencia entre la fecha donde se presentó la falla i y la fecha de suceso de la falla $i-1$.
- **Razón:** Causa general de la falla.
- **Equipo:** Equipo que presento la falla.

Cabe resaltar que los datos presentados fueron suministrados por la empresa, para fines únicamente académicos, por lo que se agradece la confidencialidad del lector:

Tabla 3. Datos de fallas – Línea de producción de negro de humo Abr'2009 – Abr'2010

N°	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	TNO	TO	TBF	RAZÓN (CAUSA) DE LA FALLA	EQUIPO
1	Fuera de Ser. Operando	4/3/2009 12:49 4/3/2009 17:13	4/3/2009 17:13 4/6/2009 8:21	4.42		63.1	Sale reactor por alta OAC debido a alto contenido de sedimentos en aceite	Reactor
2	Fuera de Ser. Operando	4/6/2009 8:21 4/6/2009 9:51	4/6/2009 9:51 4/9/2009 6:15	1.52		67.53 68.3	Alta presión estática en MUF	MUF
3	Fuera de Ser. Operando	4/9/2009 6:15 4/9/2009 9:49	4/9/2009 9:49 4/11/2009 9:30	3.58		69.90 47.6	Se para la KF por problemas en el motor.	KF-5
4	Fuera de Ser. Operando	4/11/2009 9:30 4/11/2009 11:42	4/11/2009 11:42 4/23/2009 3:11	2.22		51.25 279.4	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
5	Fuera de Ser. Operando	4/23/2009 3:11 4/23/2009 7:12	4/23/2009 7:12 4/23/2009 10:44	4.03		281.6 3.52	FGM Exclusion (DISPARO COMPRESOR ZR-200 POR ALTA °T ACEITE).	Compresor
6	Fuera de Ser. Operando	4/23/2009 10:44 4/23/2009 12:44	4/23/2009 12:44 4/23/2009 13:13	2.02		7.55 0.47	Alta presión estática en MUF	MUF
7	Fuera de Ser. Operando	4/23/2009 13:13 4/23/2009 14:54	4/23/2009 14:54 4/24/2009 3:48	1.70		2.48 12.88	Alta presión estática en MUF	MUF
8	Fuera de Ser. Operando	4/24/2009 3:48 4/24/2009 6:38	4/24/2009 6:38 4/25/2009 10:27	2.85		14.58 27.80	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
9	Fuera de Ser. Operando	4/25/2009 10:27 4/25/2009 12:28	4/25/2009 12:28 4/27/2009 21:45	2.03		30.65 57.27	Alta presión estática en MUF	MUF
10	Fuera de Ser. Operando	4/27/2009 21:45 4/27/2009 22:37	4/27/2009 22:37 4/30/2009 23:27	0.88		59.30 72.82	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
11	Fuera de Ser. Operando	4/30/2009 23:27 5/1/2009 0:52	5/1/2009 0:52 5/2/2009 10:52	1.42		73.70 34.00	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
12	Fuera de Ser. Operando	5/2/2009 10:52 5/2/2009 12:15	5/2/2009 12:15 5/4/2009 23:18	1.40		35.42 59.03	AJUSTE DE RODAMIENTOS RODILLO NOR-ESTE DE SECADOR.	Secador
13	Fuera de Ser. Operando	5/4/2009 23:18 5/5/2009 0:22	5/5/2009 0:22 5/6/2009 17:34	1.08		60.43 41.18	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
14	Fuera de Ser. Operando	5/6/2009 17:34 5/6/2009 22:20	5/6/2009 22:20 5/7/2009 10:57	4.78		42.27 12.60	KF-5 FRENADA. (LOBULOS ROSANDO CONTRA CUERPO KF.)	KF-5
15	Fuera de Ser. Operando	5/7/2009 10:57 5/7/2009 17:17	5/7/2009 17:17 5/10/2009 14:03	6.35		17.38 68.75	Fuga de NH en filtro	MUF
16	Fuera de Ser. Operando	5/10/2009 14:03 5/10/2009 20:34	5/10/2009 20:34 5/14/2009 20:34	6.53		75.10 95.98	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
17	Fuera de Ser. Operando	5/14/2009 20:34 5/14/2009 21:28	5/14/2009 21:28 6/4/2009 6:08	0.92		102.5 488.6	FGM exclusion (cortocircuito acometida motor colector de polvo CT-1)	Filtro de polvo

N°	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	TNO	TO	TBF	RAZÓN (CAUSA) DE LA FALLA	EQUIPO
18	Fuera de Ser. Operando	6/4/2009 6:08 6/4/2009 12:40	6/4/2009 12:40 6/10/2009 13:06	6.55		489.5	Parada para reparar problema en bomba de aceite por baja presión y flujo	Bombas de Aceite
19	Fuera de Ser. Operando	6/10/2009 13:06 6/10/2009 13:58	6/10/2009 13:58 6/18/2009 15:08	0.88		150.9	Salida de tablero de 4,160 Vol. Saca ambas unidades	Generador
20	Fuera de Ser. Operando	6/18/2009 15:08 6/18/2009 17:28	6/18/2009 17:28 6/20/2009 12:06	2.35		194.0	Fusible Quemado de Modulo 17 de Reacor	Tarjeta DCS
21	Fuera de Ser. Operando	6/20/2009 12:06 6/23/2009 11:50	6/23/2009 11:50 7/2/2009 22:51	71.7		44.97	FGM Exlcusion (Cambio de garganta y habilitar quench 5 ft por TRIS V7H)	Reactor
22	Fuera de Ser. Operando	7/2/2009 22:51 7/3/2009 0:00	7/3/2009 0:00 7/3/2009 0:00	1.15		298.7	Daño en piston de represión	MUF
23	Fuera de Ser. Operando	7/3/2009 0:00 7/3/2009 0:30	7/3/2009 0:30 7/16/2009 16:56	0.52		1.15	Daño en piston de represión	MUF
24	Fuera de Ser. Operando	7/16/2009 16:56 7/16/2009 21:33	7/16/2009 21:33 8/3/2009 3:11	4.63		328.9	Falla en el compresor	Compresor
25	Fuera de Ser. Operando	8/3/2009 3:11 8/4/2009 15:30	8/4/2009 15:30 8/4/2009 15:53	36.3		418.2	Parada programada para cambio de árbol PRD y bolsas FG Purga	Peletizador
26	Fuera de Ser. Operando	8/4/2009 15:53 8/4/2009 23:42	8/4/2009 23:42 8/7/2009 15:12	7.83		36.70	FALLA DE ENERGIA POR DAÑO FUSIBLES LINEA DE ALTA TENSION.	Fallo externo de energia
27	Fuera de Ser. Operando	8/7/2009 15:12 8/9/2009 0:40	8/9/2009 0:40 8/11/2009 6:04	33.4		71.32	Fuga de agua por la pieza de transició, ocasiona inestabilidad en la calidad.	Reactor
28	Fuera de Ser. Operando	8/11/2009 6:04 8/11/2009 13:35	8/11/2009 13:35 8/22/2009 2:06	7.53		86.87	Se atasca la KF por lámina caída del TK agitador	Tanque agitador
29	Fuera de Ser. Operando	8/22/2009 2:06 8/22/2009 19:30	8/22/2009 19:30 8/29/2009 13:51	17.4		260.0	REPARACION AGITADOR DEL TANQUE Y REVISION LINER QUEMADOR REACTOR.	Reactor
30	Fuera de Ser. Operando	8/29/2009 13:51 8/29/2009 17:54	8/29/2009 17:54 9/9/2009 9:26	4.07		179.7	Fallo externo de energía	Fallo externo de energia
31	Fuera de Ser. Operando	9/9/2009 9:26 9/9/2009 19:56	9/9/2009 19:56 9/13/2009 4:23	10.5		259.5	Fallo externo de energía	Fallo externo de energia
32	Fuera de Ser. Operando	9/13/2009 4:23 9/13/2009 9:41	9/13/2009 9:41 9/13/2009 23:19	5.32		90.95	Fallo externo de energía	Fallo externo de energia
33	Fuera de Ser. Operando	9/13/2009 23:19 9/13/2009 23:28	9/13/2009 23:28 9/14/2009 14:25	0.15		18.93	Válvula masoneilan	Reactor
34	Fuera de Ser. Operando	9/14/2009 14:25 9/14/2009 15:44	9/14/2009 15:44 9/17/2009 19:29	1.32		15.10	Válvula masoneilan	Reactor
35	Fuera de Ser. Operando	9/17/2009 19:29 9/18/2009 0:12	9/18/2009 0:12 9/24/2009 23:07	4.73		77.07	Fallo externo de energía	Fallo externo de energia

N°	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	TNO	TO	TBF	RAZÓN (CAUSA) DE LA FALLA	EQUIPO
36	Fuera de Ser.	9/24/2009 23:07	9/26/2009 10:05	34.9		171.6	Revisión de tolvas MUF	MUF
	Operando	9/26/2009 10:05	9/28/2009 21:18		59.22			
37	Fuera de Ser.	9/28/2009 21:18	9/30/2009 2:57	29.6		94.18	Revisión de tolvas MUF	MUF
	Operando	9/30/2009 2:57	9/30/2009 11:17		8.32			
38	Fuera de Ser.	9/30/2009 11:17	9/30/2009 11:24	0.12		37.98	Actualización formula de PC del XB-1000.	Reactor
	Operando	9/30/2009 11:24	10/3/2009 9:21		69.95			
39	Fuera de Ser.	10/3/2009 9:21	10/4/2009 23:45	38.4		70.07	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
	Operando	10/4/2009 23:45	10/6/2009 11:21		35.58			
40	Fuera de Ser.	10/6/2009 11:21	10/6/2009 14:42	3.37		74.00	Alta presión estática en MUF	MUF
	Operando	10/6/2009 14:42	10/7/2009 11:19		20.60			
41	Fuera de Ser.	10/7/2009 11:19	10/7/2009 11:32	0.23		23.97	Alta presión estática en MUF	MUF
	Operando	10/7/2009 11:32	10/7/2009 20:11		8.63			
42	Fuera de Ser.	10/7/2009 20:11	10/7/2009 23:13	3.05		8.87	Daño en la comunicación de las válvulas de bloque de GN del petroquímico	Petroquímico
	Operando	10/7/2009 23:13	10/8/2009 19:28		20.23			
43	Fuera de Ser.	10/8/2009 19:28	10/9/2009 2:11	6.73		23.28	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
	Operando	10/9/2009 2:11	10/9/2009 16:24		14.20			
44	Fuera de Ser.	10/9/2009 16:24	10/9/2009 17:10	0.78		20.93	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
	Operando	10/9/2009 17:10	10/9/2009 22:33		5.37			
45	Fuera de Ser.	10/9/2009 22:33	10/10/2009 3:16	4.73		6.15	Se dispara soplador GB-21 por alta temperatura y apaga el Reactor	Soplador
	Operando	10/10/2009 3:16	10/14/2009 9:38		102.3			
46	Fuera de Ser.	10/14/2009 9:38	10/14/2009 13:48	4.17		107.0	Falla la transferencia eléctrica de la planta.	Generador
	Operando	10/14/2009 13:48	10/21/2009 22:10		176.3			
47	Fuera de Ser.	10/21/2009 22:10	10/23/2009 5:56	31.7		180.5	Revisión de tolvas MUF	MUF
	Operando	10/23/2009 5:56	10/24/2009 14:17		32.33			
48	Fuera de Ser.	10/24/2009 14:17	10/24/2009 14:44	0.47		64.12	Apagada del reactor por alta presión estática debido a los problemas en la válvula	MUF
	Operando	10/24/2009 14:44	11/9/2009 22:06		391.3			
49	Fuera de Ser.	11/9/2009 22:06	11/11/2009 2:15	28.1		391.8	Revisión de tolvas y cambio de bolsas con fuga	MUF
	Operando	11/11/2009 2:15	12/26/2009 10:49		1088			
50	Fuera de Ser.	12/26/2009 10:49	12/26/2009 11:16	0.47		1116	Alta presión estática en MUF	MUF
	Operando	12/26/2009 11:16	1/11/2010 21:56		394.6			
51	Fuera de Ser.	1/11/2010 21:56	1/13/2010 3:48	29.8		395.1	Fuga de NH en filtro	MUF
	Operando	1/13/2010 3:48	1/15/2010 11:59		56.17			
52	Fuera de Ser.	1/15/2010 11:59	1/15/2010 14:52	2.88		86.05	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
	Operando	1/15/2010 14:52	1/16/2010 9:55		19.05			
53	Fuera de Ser.	1/16/2010 9:55	1/16/2010 12:53	2.98		21.93	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
	Operando	1/16/2010 12:53	1/17/2010 4:50		15.93			

N°	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	TNO	TO	TBF	RAZÓN (CAUSA) DE LA FALLA	EQUIPO
54	Fuera de Ser. Operando	1/17/2010 4:50 1/17/2010 5:10	1/17/2010 5:10 2/2/2010 22:15	0.35	401.0	18.92	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
55	Fuera de Ser. Operando	2/2/2010 22:15 2/3/2010 1:49	2/3/2010 1:49 2/3/2010 11:00	3.58	9.17	401.4	Fallo externo de energía	Fallo externo de energía
56	Fuera de Ser. Operando	2/3/2010 11:00 2/3/2010 12:28	2/3/2010 12:28 2/6/2010 13:58	1.47	73.50	12.75	Alta presión estática en MUF	MUF
57	Fuera de Ser. Operando	2/6/2010 13:58 2/6/2010 14:17	2/6/2010 14:17 2/9/2010 0:04	0.33	57.77	74.97	Condensado en el aire de la fotocelda, sistema de secado de aire con problemas.	Secador de aire de instrumentos
58	Fuera de Ser. Operando	2/9/2010 0:04 2/10/2010 11:20	2/10/2010 11:20 2/10/2010 12:50	35.2	1.48	58.10	Instalación de la nueva estación de gas natural	Subestación de Gas Natural
59	Fuera de Ser. Operando	2/10/2010 12:50 2/10/2010 22:22	2/10/2010 22:22 2/12/2010 6:57	9.55	32.57	36.77	Incendio del material aislante en parte reparada del Shack.	Intercambiador (Shack)
60	Fuera de Ser. Operando	2/12/2010 6:57 2/12/2010 8:52	2/12/2010 8:52 2/13/2010 13:54	1.92	29.03	42.12	DAÑO EN EL FUSIBLE DE PARA DE EMERGENCIA DEL REACTOR	Reactor
61	Fuera de Ser. Operando	2/13/2010 13:54 2/13/2010 20:08	2/13/2010 20:08 2/22/2010 16:29	6.25	212.3	30.95	LA LLANTA NORTE QUEDO SIN CUÑAS EN LA PARTE NORTE	Secador
62	Fuera de Ser. Operando	2/22/2010 16:29 2/22/2010 23:20	2/22/2010 23:20 2/23/2010 22:07	6.87	22.77	218.5	DAÑO EN EL MOTOR DEL PRD.	Peletizador
63	Fuera de Ser. Operando	2/23/2010 22:07 2/25/2010 0:41	2/25/2010 0:41 3/12/2010 9:18	26.5	368.6	29.63	Revisión de tolvas MUF	MUF
64	Fuera de Ser. Operando	3/12/2010 9:18 3/12/2010 9:34	3/12/2010 9:34 3/14/2010 17:54	0.28	56.32	395.1	Alta presión estática en MUF	MUF
65	Fuera de Ser. Operando	3/14/2010 17:54 3/14/2010 19:18	3/14/2010 19:18 3/28/2010 23:16	1.42	339.9	56.60	Alta presión estática en MUF	MUF
66	Fuera de Ser. Operando	3/28/2010 23:16 3/29/2010 7:16	3/29/2010 7:16 3/29/2010 9:16	8.00	2.00	341.3	Falla en el variador de velocidad del peletizador	Peletizador
67	Fuera de Ser. Operando	3/29/2010 9:16 3/29/2010 13:09	3/29/2010 13:09 4/6/2010 22:05	3.90	200.9	10.00	Fallo rodillo suroeste secador.	Secador
68	Fuera de Ser. Operando	4/6/2010 22:05 4/8/2010 4:58	4/8/2010 4:58 4/8/2010 5:01	30.9	0.03	204.8	Parada programada para revisión de tolvas por fumadera	MUF
69	Fuera de Ser.	4/8/2010 5:01	4/8/2010 5:08	0.12		30.93	Alta OAC por taponamiento de Boquillas.	Reactor
				623.8	8248.4	8872.2		

Fuente: Autoras del proyecto. Tabla elaborada a partir de información suministrada por Cabot Colombiana S.A.

2.4.2 Análisis estadístico completo de fallas de los equipos.

Una vez que se obtienen los datos de las fallas, es importante identificar los equipos que más presentan problemas, con el fin de identificar los pocos vitales y priorizar los esfuerzos en los equipos que más necesitan trabajo.

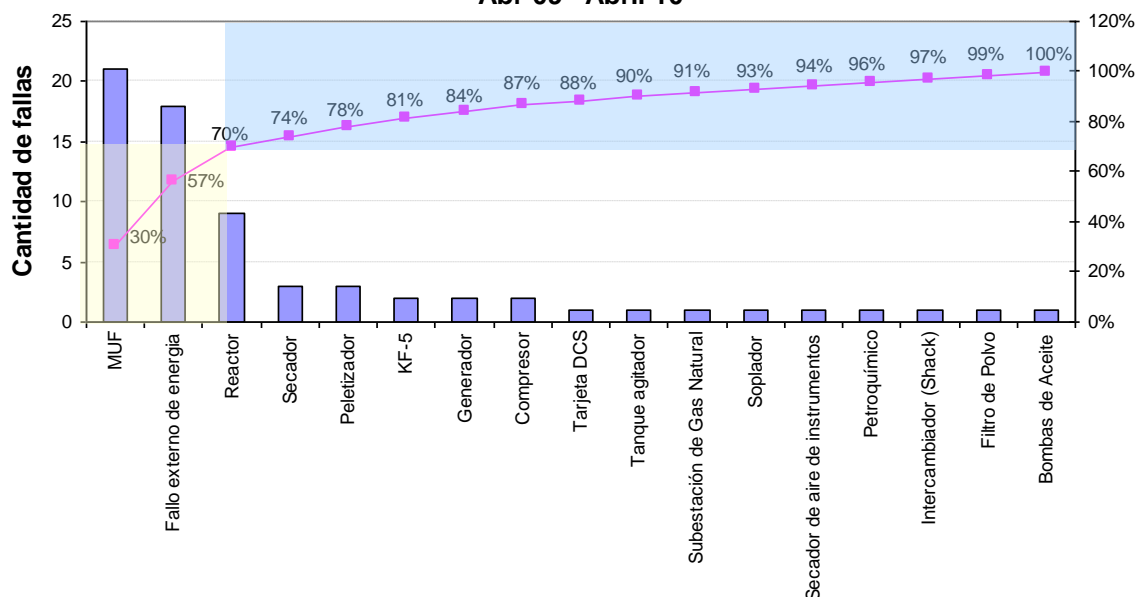
Tabla 4. Fallas por equipos

EQUIPO	# de fallas	Pareto
MUF	21	30%
Fallo externo de energía	18	57%
Reactor	9	70%
Secador	3	74%
Peletizador	3	78%
KF-5	2	81%
Generador	2	84%
Compresor	2	87%
Tarjeta DCS	1	88%
Tanque agitador	1	90%
Subestación de Gas Natural	1	91%
Soplador	1	93%
Secador de aire de instrumentos	1	94%
Petroquímico	1	96%
Intercambiador (Shack)	1	97%
Filtro de Polvo	1	99%
Bombas de Aceite	1	100%
TOTAL	69	

En la tabla 4, se presentan las fallas discriminadas por equipos, con su correspondiente frecuencia relativa acumulada. Estos datos son la base para la realización de una gráfica de Pareto (Ver Gráfica 10), que permite visualizar de mejor forma los equipos que más han presentado problemas durante el periodo de tiempo analizado.

Como se puede apreciar en esta gráfica el MUF (Filtro principal), las fallas de energía y el reactor, son los orígenes principales de las fallas del último año, ya que corresponden al 70% del total de las fallas presentadas. Cabe resaltar que para el caso de las fallas de energía, están corresponden básicamente a cortes imprevistos del fluido eléctrico por parte del proveedor.

Gráfica 11 Diagrama de Pareto - Fallas
Abr'09 - Abril'10



En términos generales se puede decir que considerando la frecuencia de las fallas en los equipos de la línea de producción de negro de humo en Cabot Colombiana S.A., se han identificado al MUF y al Reactor como los equipos que más han presentado problemas en el último año. No obstante, para llegar a una conclusión más alineada a la realidad sería bueno analizar los equipos no solo por la frecuencia de las fallas, sino también por el tiempo que duraron estas, ya que es igual de importante un equipo que presenta continuas fallas como uno que falla pocas veces, pero que cuando lo hace su reparación tarda mucho tiempo (independientemente de que la causa sea, repuestos, recursos, personal, complejidad, etc). Seguidamente se presenta una tabla el TNO, tiempo perdido ó tiempo no operado por equipos y el correspondiente grafico de Pareto.

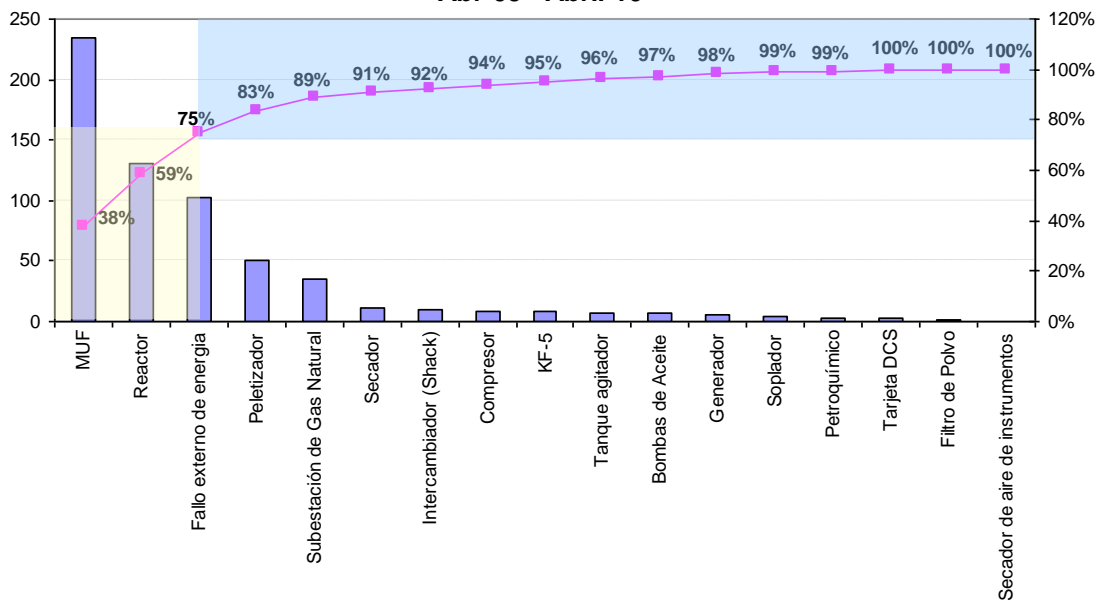
Tabla 5. Horas perdidas por fallas en equipos

EQUIPO	Total horas	Pareto
MUF	234.912	38%
Reactor	130.682	59%
Fallo externo de energia	103.163	75%
Peletizador	51.199	83%
Subestación de Gas Natural	35.283	89%
Secador	11.549	91%
Intercambiador (Shack)	9.550	92%

Compresor	8.666	94%
KF-5	8.366	95%
Tanque agitador	7.533	96%
Bombas de Aceite	6.550	97%
Generador	5.050	98%
Soplador	4.733	99%
Petroquímico	3.050	99%
Tarjeta DCS	2.350	100%
Filtro de Polvo	0.916	100%
Secador de aire de instrumentos	0.333	100%
Grand Total	623.884	

Fuente: Autoras del proyecto

**Gráfica 11. Diagrama de Pareto - Horas (Down Time) por fallas
Abr'09 - Abril'10**



Fuente: Autoras del proyecto

Como se puede apreciar el reactor y el MUF siguen a la cabeza como equipos que además de presentar frecuentes fallas, han sido los que más horas perdidas han provocado. Este análisis preliminar ha permitido identificar dos equipos importantes donde se pueden direccionar los primeros esfuerzos para mejorar la confiabilidad de la planta. Sin embargo, es conveniente complementar esta información con un análisis de criticalidad que nos permita detallar el diagnostico actual.

2.4.3 Análisis de criticalidad

Para el análisis de criticalidad, se utilizará una matriz que considera frecuencia y severidad de las fallas, en donde en este último aspecto se tienen en cuenta efectos en: personas, proceso, medio ambiente, cliente e imagen, tal y como se muestra en la tabla 6, en donde incluso ya se colocó la calificación dada al reactor y al MUF.

Tabla 6. Matriz de criticalidad

P	SEVERIDAD					FRECUENCIA				
	Personas	Proceso	Medio Ambiente	Clientes	Imagen	1	2	3	4	5
1	Lesión leve	No hay	Efecto leve	No hay efecto	Impacto leve					
2	Lesión menor	Fastidio	Efecto menor	Fastidio individual	Impacto limitado					
3	Lesión mayor	Inestabilidad	Efecto localizado	Insatisfacción varios	Impacto mayor					
4	Una muerte	Alta Inestabilidad	Efecto mayor	Perdida individual	Impacto nacional					
5	Varias muertes	Daños graves	Efecto masivo	Perdida masiva	Impacto Internal				Reactor MUF	

Fuente: Autoras del proyecto

La calificación mostrada se obtuvo considerando los criterios y justificaciones presentadas en las tablas 7 y 8:

Tabla 7. Criterios de evaluación para matriz de criticalidad - Frecuencia

Puntos	PO = PROBABILIDAD DE FALLA			Justificación	
	Probabilidad de falla	Descripción	Frecuencia de falla	MUF	REACTOR
1	Remota o rara	No es razonable que este modo de falla ocurra	Fallas mayores de 3 años	Este tipo de equipos normalmente suelen causar continuos problemas si no se aplica un adecuado programa de mantenimiento preventivo y predictivo, debido a las altas temperaturas y presiones que se manejan en proceso, así como por la naturaleza misma del negro de humo.	
2	Muy baja o aislado	Basado en diseños similares y teniendo numero de fallas bajo	1/10000		
3	Baja o esporadico	Basado en diseños similares que han experimentado fallas esporádicas	1/1000		
4	Concebible	Basado en diseños similares que han causado problemas	1/100		
5	Recurrente	Hay certeza que las fallas se repitiran	1/10		

Fuente: Autoras del proyecto

Tabla 8. Criterios de evaluación para matriz de criticalidad - Severidad

PS = PROBABILIDAD DE SEVERIDAD			Justificación de selección	
Puntos	Probabilidad de falla	Descripción	MUF	REACTOR
1	Menor	No hay efecto inmediato	Una falla grave en el MUF puede provocar serios problemas ambientales, a causa de grandes escapes de negro de humo a la atmosfera.	Una falla en el reactor que produzca fuga de producto o escape de gases, puede ocasionar una grave tragedia ya que se manejan elevadas temperaturas que podrían provocar incendios de grandes dimensiones.
2	Marginal	Fastidiosa. No hay degradación del Sistema		
3	Moderado	Causa insatisfacción. Alguna degradación del sistema		
4	Critica	Causa un alto grado de insatisfacción. Perdida de la función del sistema		
5	Catastrófica	Una falla que puede ocasionar muertes o daños graves a la propiedad		

Fuente: Autoras del proyecto

Aunque el MUF y el Reactor son evaluados como equipos críticos, debido a la severidad y frecuencia de sus fallas, se establece como prioridad al MUF por presentar mayor numero de fallas y mayor cantidad de horas perdidas en el periodo de tiempo analizado. Sin embargo, el análisis que se continuara para el MUF puede servir de base para posteriormente ser realizado respectivamente en el Reactor.

2.4.4 Análisis de los resultados de la información de producción y del análisis estadístico de fallas en MUF (MTBF, beta, weibull, etc)

Antes de realizar el análisis de las fallas, a través de la aplicación de la distribución de Weibull, a continuación se presentan los datos de las fallas específicas del MUF:

Tabla 9. Datos de fallas de Unidad de Filtro Principal

N	INICIA	FINALIZA	TIEMPO NO OPE.	TIEMPO DE OPE.	TIEMPO ENTRE FALLAS	RAZÓN (CAUSA) DE LA FALLA
1	06/04/2009 08:21	06/04/2009 09:51	1,52			Alta presión estática en MUF
2	23/04/2009 10:44	23/04/2009 12:44	2,02	408,87	410,38	Alta presión estática en MUF
3	23/04/2009 13:13	23/04/2009 14:54	1,70	0,47	2,48	Alta presión estática en MUF

N	INICIA	FINALIZA	TIEMPO NO OPE.	TIEMPO DE OPE.	TIEMPO ENTRE FALLAS	RAZÓN (CAUSA) DE LA FALLA
5	07/05/2009 10:57	07/05/2009 17:17	6,35	286,47	288,50	Fuga de NH en filtro
6	02/07/2009 22:51	03/07/2009 00:30	1,67	1349,55	1355,90	Daño en pistón de represión
7	24/09/2009 23:07	26/09/2009 10:05	34,97	2014,60	2016,27	Revisión de tolvas MUF
8	28/09/2009 21:18	30/09/2009 02:57	29,67	59,22	94,18	Revisión de tolvas MUF
9	06/10/2009 11:21	06/10/2009 14:42	3,37	152,38	182,05	Alta presión estática en MUF
10	07/10/2009 11:19	07/10/2009 11:32	0,23	20,60	23,97	Alta presión estática en MUF
11	21/10/2009 22:10	23/10/2009 05:56	31,78	346,62	346,85	Revisión de tolvas MUF
12	24/10/2009 14:17	24/10/2009 14:44	0,47	32,33	64,12	Apagada del reactor por alta presión estática
13	09/11/2009 22:06	11/11/2009 02:15	28,15	391,35	391,82	Revisión de tolvas y cambio de bolsas con fuga
14	26/12/2009 10:49	26/12/2009 11:16	0,47	1088,57	1116,72	Alta presión estática en MUF
15	11/01/2010 21:56	13/01/2010 03:48	29,88	394,65	395,12	Fuga de NH en filtro
16	03/02/2010 11:00	03/02/2010 12:28	1,47	511,18	541,07	Alta presión estática en MUF
17	23/02/2010 22:07	25/02/2010 00:41	26,58	489,65	491,12	Revisión de tolvas MUF
18	12/03/2010 09:18	12/03/2010 09:34	0,28	368,60	395,18	Alta presión estática en MUF
19	14/03/2010 17:54	14/03/2010 19:18	1,42	56,32	56,60	Alta presión estática en MUF
20	06/04/2010 22:05	08/04/2010 04:58	30,90	554,77	556,18	Parada programada para revisión de tolvas por fumadera
			234,91	8569,72	8773,73	

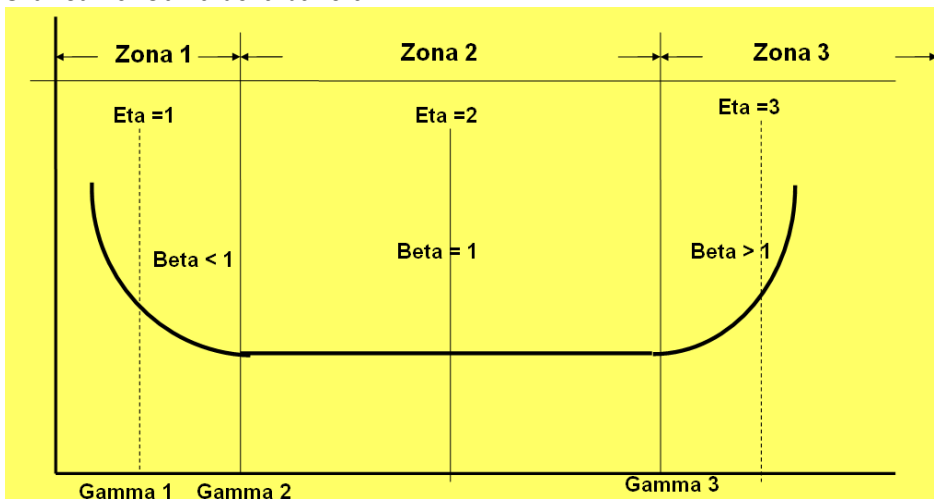
Fuente: Autoras del proyecto

Es importante resaltar que estas fallas mostradas de la Unidad Principal de Filtro correspondientes al periodo de tiempo transcurrido entre Abril del 2009 y Abril del 2010, resultan alarmantes. Estos datos hacen entender que en promedio se presentaron 1.6 fallas mensuales, situación que inmediatamente deja entrever grandes deficiencias en la confiabilidad del equipo y que afecta directamente la confiabilidad de la planta, ya que la falla de este provoca paradas de planta, tal y como se explica en la sección de descripción del equipo. Para poder combatir esta situación, entonces se hace necesario identificar las causas principales de falla, así como sus patrones, para lo cual se realiza el siguiente análisis a partir de los principios de la distribución de Weibull.

Conociendo los datos de las fallas para el equipo crítico seleccionado, se procede con el análisis de estas a través de la distribución de Weibull.

El análisis de Weibull, es una herramienta importante de la confiabilidad. La distribución del Weibull fue inventada por Waloddi Weibull en los años 1930. Es el modelo estadístico más popular para los datos de vida de un equipo y tiene la ventaja de usar los tamaños de la muestra muy pequeños para hacer juicios razonables de conducta futura sobre la vida de los equipos.¹¹

Gráfica 13. Curva de la bañera



Fuente: Modulo de Confiabilidad. Gonzalo Cardozo. UTB

Los parámetros de Weibull pueden describir cualquier comportamiento de falla durante el ciclo de vida de un equipo, usando las tres zonas de la curva de la bañera. La distribución de Weibull es denominada triparamétrica, ya que está completamente definida por tres parámetros los cuales son:

- Eta (η), como parámetro escalar. la característica de vida, o el punto a que 63,2% de los items probablemente habrán fallado con el mismo modo de falla.
- Beta (β) como parámetro de forma. Es la cuesta de la curva o la característica de la forma de la curva de fallas. la beta se usa para ayudar a determinar qué clase de actividades de mantenimiento se destina para un modo de falla dado.

¹¹ Distribución de Weibull. Modulo de Gestión de la Confiabilidad. Gonzalo Cardozo. Especialización Gerencia en Producción y Calidad. Universidad Tecnológica de Bolívar. 2009

- Gama (γ) como parámetro de posición. Describe el punto a que la curva de weibull cambia de forma.

Para el cálculo de estos parámetros, se acudió a la herramienta de mínimos cuadrados, por ser un método simple y expedito para explicar y porque la gráfica de los datos sirve como prueba de bondad para ajuste de la distribución. A continuación una breve explicación del cálculo de estos parámetros:

Paso 1. Inicialmente se organizan los datos de las fallas de menor a mayor y se obtiene la mediana trazando posiciones, mediante la siguiente ecuación:

$$MR\% \sim \frac{i - 0.3}{N + 0.4} \cdot 100$$

Donde i es el número de orden de fallos y N es el tamaño de la muestra, que para este caso correspondería a 19. Seguidamente la tabla de datos organizada:

Tabla 10. Tiempos de falla - MUF

ORDEN DE FALLA	TIEMPO (horas)	F(T)
1	2.483	3.608
2	23.967	8.763
3	45.233	13.918
4	56.600	19.072
5	64.117	24.227
6	94.183	29.381
7	182.050	34.536
8	288.500	39.691
9	346.850	44.845
10	391.817	50.000
11	395.117	55.155
12	395.183	60.309
13	410.383	65.464
14	491.116	70.619
15	541.067	75.773
16	556.183	80.928
17	1116.717	86.082
18	1355.900	91.237
19	2016.267	96.392

Fuente: Autoras del proyecto

Paso 2. Se hallan los X_i y Y_i para poder aplicar regresión lineal mediante las siguientes ecuaciones:

$$y_i = \ln \{- \ln[1 - F(T_i)]\}$$

$$x_i = \ln(T_i)$$

De igual forma también se procede con el cálculo de los productos requeridos para posteriormente realizar la regresión lineal y hallar: a y b. Seguidamente la tabla de los datos de falla con los cálculos mencionados:

Tabla 11. Regresión Lineal para aplicación de Weibull

TIEMPO (horas)	F(T)	Y	X	XY	X ²	Y ²
2.5	3.608	-3.304	0.910	-3.005	0.827	10.914
24.0	8.763	-2.389	3.177	-7.589	10.091	5.708
45.2	13.918	-1.898	3.812	-7.235	14.530	3.602
56.6	19.072	-1.553	4.036	-6.268	16.289	2.412
64.1	24.227	-1.282	4.161	-5.335	17.311	1.644
94.2	29.381	-1.056	4.545	-4.799	20.659	1.115
182.1	34.536	-0.859	5.204	-4.469	27.085	0.738
288.5	39.691	-0.682	5.665	-3.862	32.089	0.465
346.8	44.845	-0.519	5.849	-3.036	34.210	0.270
391.8	50.000	-0.367	5.971	-2.188	35.650	0.134
395.1	55.155	-0.221	5.979	-1.320	35.751	0.049
395.2	60.309	-0.079	5.979	-0.472	35.753	0.006
410.4	65.464	0.061	6.017	0.369	36.205	0.004
491.1	70.619	0.203	6.197	1.257	38.399	0.041
541.1	75.773	0.349	6.294	2.197	39.609	0.122
556.2	80.928	0.505	6.321	3.192	39.956	0.255
1116.7	86.082	0.679	7.018	4.766	49.254	0.461
1355.9	91.237	0.890	7.212	6.417	52.016	0.792
2016.3	96.392	1.201	7.609	9.135	57.897	1.441

SUMATORIA:		-10.320	101.955	-22.248	593.582	30.172
TIEMPO (horas)	F(T)	Y	X	XY	X²	Y²

Fuente: Autoras del proyecto

Paso 3: Calculo de a y b:

$$a = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \beta = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Teniendo en cuenta las formulas de regresión lineal, se procede con el cálculo de a y b, cuyos valores obtenidos fueron:

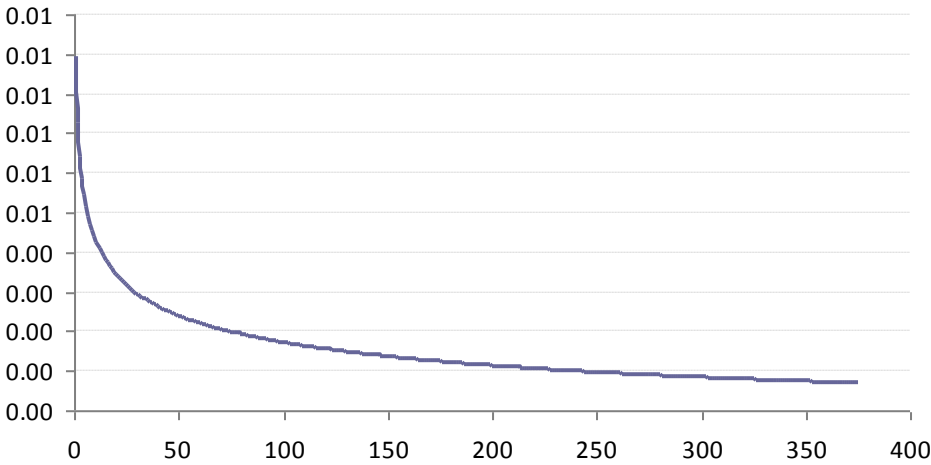
a =	-4.367751393
b =	0.712734207

De manera que:

$\beta =$	0.712734207
$\eta =$	458.592948986

Paso 4. Conociendo los parámetros necesarios para aplicar la distribución de Weibull, la cual fue realizada con ayuda de la herramienta de Excel, a través de la formula Weibull (X, Beta, Gama). Lo importante de este paso es analizar el comportamiento de la variable B, la cual ofrece una radiografía sobre el patrón de falla más común en el equipo y corresponde a la mortalidad Infantil.

Grafica 13. Comportamiento del parámetro Beta



Fuente: Autoras del proyecto

Esta mortalidad infantil puede ser consecuencia de malas reparaciones, de problemas en arranque, utilización de repuestos inadecuados o de mala calidad, de falta de entrenamiento del personal u

otras razones asociadas, pero que para conocerlas con mayor detalle se hace necesario la realización de un FMECA – Análisis de Modos de Fallos y Efectos.

2.4.5 Análisis Económico de las fallas

Con miras a visualizar de mejor forma la problemática de las fallas presentadas por la Unidad principal de Filtro - MUF y su importancia dentro del proceso productivo, se ha considerado relevante cuantificar su costo. Para esto se consulto con la gerencia financiera de la empresa, quien ha suministrado como dato fundamental que el costo del lucro cesante por cada día de la planta es de U\$ 35.000 (aproximadamente 70.000.000 colombianos), lo cual corresponde a un costo por hora aproximado de U\$ 1.459.

Con base en este dato, si se tiene en cuenta que el total de horas perdidas por el equipo fue de 235 y que todas provocaron paradas totales de planta, entonces los costos asociados por lucro cesante corresponden a U\$ 342.580, lo cual se traduce en aproximadamente en \$685.159.000, cifra que sirve para justificar futuros proyectos de inversión para mejoras de la confiabilidad del equipo y a su vez de la planta en general.

Es importante considerar que este costo estimado de las fallas del MUF, corresponden solo al lucro cesante por ocasionar paradas de planta y que podría ser mayor si se incluyen los costos de mantenimiento de estas fallas, ya sea con la consecución de repuestos, mano de obra, contratistas, etc.

CAPITULO III.

Perfil de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad en la Cabot Colombiana S.A.



3. PERFIL DE LOS FACTORES CRITICOS DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD

Ya se ha tratado previamente en el desarrollo del presente trabajo que un sistema de mantenimiento eficiente implica las actividades dirigidas a conservar la vida útil de los equipos en excelentes condiciones de operación para evitar las fallas imprevistas.

La Gestión de la confiabilidad es una de las más recientes estrategias que generan grandes beneficios a las empresas que la han aplicado. Se basa en los análisis estadísticos y los análisis de condición, orientados a mantener la confiabilidad de los equipos, con la activa participación del personal de la empresa.

Teniendo en cuenta que la Confiabilidad de un sistema o un equipo, es la probabilidad de que dicha entidad pueda operar durante un determinado periodo de tiempo sin pérdida de su función, el fin último del Análisis de Confiabilidad de los activos físicos es cambiar las actividades reactivas y correctivas, no programadas y altamente costosas, por acciones preventivas planeadas que dependan de análisis objetivos, situación actual, e historial de equipos, y permitan un adecuado control de costos. La Gestión de la Confiabilidad lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional.

Por lo anterior, es importante puntualizar que en un sistema de Gestión de confiabilidad es necesario el análisis de sus cuatro parámetros operativos: Confiabilidad Humana, Confiabilidad de los Procesos, Mantenibilidad y Confiabilidad de los equipos; sobre los cuales se debe actuar si se quiere un mejoramiento continuo y de largo plazo¹².

¹² Confiabilidad.net. Artículo: La Cultura de la confiabilidad operacional. En línea: <http://confiabilidad.net/articulos/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional/>

Gráfica 15. Componentes de la Confiabilidad Operacional



Fuente: Artículo “La cultura de la confiabilidad operacional”. Confiabilidad.net

Un proceso normal de Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional implica cambios en la cultura de la empresa, generando una organización diferente con un amplio sentido de la productividad y con una visión clara de los objetivos del negocio. La variación en conjunto o individual que pueda sufrir cada uno de los cuatro parámetros mostrados, afecta el comportamiento general del sistema.

Cualquier hecho aislado de mejora en alguno de los cuatro frentes de la **CO** puede traer beneficios, pero al no tomarse en cuenta los demás factores, estos son limitados o diluidos en la organización y pasan a ser solo el resultado de un proyecto y no de un cambio organizacional¹³.

Teniendo presente lo anterior, el capítulo en curso pretende realizar una evaluación de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad, considerando los aspectos relacionados con: la confiabilidad humana, los procesos administrativos y los equipos, en la línea de producción de negro de humo de Cabot Colombiana.

¹³ Ibid.

3.1 FACTORES CRITICOS DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA

La confiabilidad operacional como se ha mencionado anteriormente es una herramienta que se basa en análisis estadísticos, y de condición orientados a mantener la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, con la activa participación del personal de la empresa.

La confiabilidad operacional lleva implícita la capacidad industrial (procesos, tecnología y gente) para el propósito que se espera de ella, por lo cual se abordará la gestión de la confiabilidad humana como un factor determinante en la confiabilidad operacional y no como un factor aislado de ésta, ya que la confiabilidad humana del talento humano se define como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz de todas las personas, en todos los procesos, sin cometer errores o fallas derivadas del conocimiento a actuar humano, durante su competencia laboral, dentro de un entorno organizacional específico.

El mejoramiento de la confiabilidad humana se puede lograr mediante la integración de estrategias consideradas como factores críticos de éxito orientados a la gestión del conocimiento, la creación de una cultura de trabajo orientada al trabajo en equipo, la aplicación de modelo de competencias que favorezcan el desarrollo y mejoren los niveles de participación del personal, gestionando su desempeño con el fin de preservar el conocimiento de la organización.

En la presente investigación se han definido varios factores críticos de éxitos a evaluar dentro de la gestión de la confiabilidad humana, los cuales permiten optimizar los conocimientos, habilidades y destrezas de los miembros de la organización con la finalidad de generar *Capital Humano*.

A continuación se representan gráficamente los factores identificados como críticos en la gestión del talento humano, los cuales serán evaluados en Cabot Colombiana S.A. para identificar el nivel de cada uno dentro de la organización.

Grafico16. Factores Críticos de Éxito en la Gestión de la Confiabilidad Humana



Fuente: Autores del Proyecto

Los factores identificados se agruparon en 5 cinco grupos diferentes los cuales buscan determinar el estado de cada aspecto dentro de la organización y establecer cuales deben fortalecerse y cuales deben mantenerse, ya que afectan en gran medida el desempeño de la organización y que en los numerales explicados con mayor detalle.

3.1.1 Capacitación

Este grupo hace referencia al nivel de formación, entrenamiento y experiencia que tienen las personas dentro de la organización para desempeñar el cargo en que laboran.

La selección del personal se basa en la formación y experiencia de la persona según lo requerido por el cargo, sin embargo el personal que labora en la compañía regularmente tiene capacitaciones a nivel general que le permiten desarrollar competencias para la mejora de sus puestos de trabajo, aunque el entrenamiento de las personas en cargos técnicos al ingresar a la compañía presenta oportunidades de mejora, sobre todo en lo concerniente con la evaluación de la efectividad del entrenamiento.

3.1.2 Comportamiento

En lo concerniente con el comportamiento, este hace referencia a los aspectos relacionados con la motivación, sentido de pertenencia e incentivos que tienen los trabajadores con la compañía a nivel de adquirir mayor compromiso con las actividades desarrolladas no solo desde su labor sino también con la colaboración a otros puestos para la mejora continua de la organización vista como un solo objetivo en común.

Este aspecto presenta grandes oportunidades de mejora para Cabot, ya que es necesario reforzar la motivación e incentivos a los trabajadores, para que se sientan a gusto con su labor y no se presente la situación que se ha venido dando en los últimos años, donde la rotación ha sido muy alta. Por ejemplos en las áreas de mantenimiento y producción de la empresa, se ha presentado una alta rotación del personal, al punto de que incluso los actuales ingenieros de mantenimiento (mecánico, eléctrico y de confiabilidad), líderes de áreas críticas, son diferentes a los existentes hace dos años atrás. De igual forma sucede con el área de producción, en donde se han cambiado varios ingenieros de proceso y operadores.

Independientemente de las causas que motivaron su retiro de la empresa (mejores oportunidades de trabajo en el mercado laboral o jubilación), indiscutiblemente el cambio de personal implica pérdida de experiencia propia del proceso de producción de negro de humo, tiempo de empalme y adaptación para el nuevo ingreso, tiempo para entrenamiento del personal, entre otros aspectos, que pueden favorecer descuidos en el proceso o sencillamente errores humanos.

Para agudizar aún más el problema, la rotación de personal ha llevado a la empresa a reevaluar la actual estructura organizacional del área de mantenimiento, donde se han incluso fusionado cargos como el de Ingeniero mecánico con el de ingeniero de confiabilidad, situación que también es importante estudiar como aspecto crítico dentro de la gestión de confiabilidad en la empresa.

Conversando con algunas personas de la empresa, muchos llegan a un común denominador con esta situación y está básicamente relacionada con la estructura de la organización, ya que aún cuando los sueldos están alrededor de los salarios que se manejan en el mercado laboral, el hecho

de ser una corporación multinacional ha limitado un poco el crecimiento profesional de los trabajadores. Dicho en otras palabras, la estructura organizacional al ser muy plana y a la cabeza de directivas en otros países como Brasil y Argentina, limita las posibilidades de ascenso para un profesional en crecimiento y con ello mejor escala salarial, estatus laboral, etc.

3.1.3 Cultura de trabajo en equipo

Este factor crítico de éxito en la gestión de la confiabilidad humana, hace referencia al trabajo en equipo, a la comunicación e interdisciplinariedad de los trabajadores.

Para el caso de Cabot Colombiana, la cultura de trabajo en equipo está muy bien afianzada dentro de la compañía, ya que constantemente se realizan actividades para afianzar la participación del personal de manera multidisciplinaria y se dispone de los medios que favorecen los niveles de comunicación dentro de la organización.

La implementación de iniciativas alrededor de un Programa Global de mejora continua, denominada HPO (High Performance Organization) ha contribuido a afianzar la cultura de trabajo en equipo y de colaboración entre áreas al punto de que algunas personas están siendo formadas para desarrollarse en más de un cargo. La visión de este programa está enmarcada en desarrollar personas que trabajen para la organización y no para un departamento en particular.

3.1.4 Desempeño

En este aspecto se busca analizar las herramientas que brinda la compañía para la gestión del desempeño. Específicamente se evaluarán tres subfactores que son:

- Evaluación: se pretende revisar si de alguna manera la empresa hace seguimiento al desempeño de las personas mediante un tipo de evaluación que permita conocer fortalezas y aspectos por mejorar.
- Retroalimentación: este aspecto hace referencia a los niveles de retroalimentación que tiene la compañía para permitirle al trabajador conocer los aspectos que debe mantener y los que son susceptibles de mejora vistos desde el punto de vista de la organización.
- Compromisos y acciones de mejora: de nada sirve evaluar el desempeño y retroalimentar a los miembros de la organización acerca de los aspectos susceptibles de mejora si no se establecen compromisos y acciones claras para mejorar el desempeño en los aspectos que lo requieran.

El departamento de Talento Humano realiza evaluación del desempeño a las personas que laboran en la compañía con un método formal y definido por la compañía para realizar esta labor y además se realizan retroalimentación en periodos aceptables por parte de los jefes de área a su grupo de trabajo, además se establecen compromisos y acciones de mejora, sin embargo no se lleva un estricto control para su cumplimiento oportuno.

3.1.5 Desarrollo

En este aspecto se busca evidenciar la posibilidad que tienen los empleados de adquirir nuevas habilidades para su desarrollo personal, intelectual o laboral, así mismo como los recursos que brinda la compañía y la ergonomía de sus puestos de trabajo visto desde el punto de vista de contar con los elementos necesarios para sentirse cómodos desempeñando su labor.

La empresa le brinda un buen nivel de desarrollo a las personas que laboran en ella, dándoles la posibilidad de seguir estudiando y preparándose, además brindándoles los recursos para que lo puedan lograr, como por ejemplo prestamos, subsidios económicos, disponibilidad de horarios para que la persona pueda desarrollarse personal y profesionalmente. Además en sus puestos de trabajo les brinda ergonomía, proporcionándoles las herramientas y recursos más adecuados para desempeñar su labor.

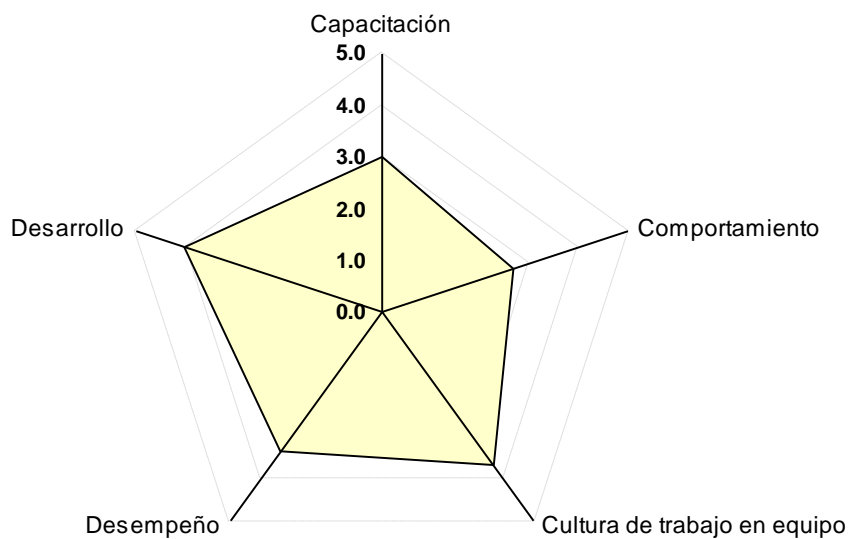
3.1.6 Evaluación

La evaluación de estos cinco aspectos se realizó mediante entrevistas realizadas al personal de la empresa, la observación directa durante las visitas a la misma e información disponible de la compañía. Se evaluó de 1 a 5 cada aspecto, siendo los criterios los siguientes:

- 1: Malo
- 2: Regular
- 3: Aceptable
- 4: Bueno
- 5: Excelente

A continuación se muestra la evaluación numérica de los factores críticos en la gestión de la confiabilidad humana, en una gráfica de radar y seguidamente la tabla con las valoraciones para el puntaje obtenido:

Grafica 16. Análisis de factores críticos de éxito de la Gestión de la Confiabilidad Humana



Fuente: Autoras del proyecto

Tabla 12. Perfil de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad Humana

FACTOR CRITICO	SUBFACTORES	SCORE	ESTADO ACTUAL				
			M	R	A	B	E
			1	2	3	4	5
Capacitación	Formación	4					
	Entrenamiento	2					
	Experiencia	3					
	Promedio	3.0					
Comportamiento	Motivación	3					
	Incentivos	2					
	Sentido de pertenencia	3					
	Promedio	2.7					
Cultura de trabajo en equipo	Formación de equipos multidisciplinarios	4					
	Niveles de participación del personal	4					
	Niveles de comunicación	4					
	Promedio	4.0					

Fuente: Autoras del proyecto

FACTOR CRITICO	SUBFACTORES	SCORE	ESTADO ACTUAL				
			M	R	A	B	E
			1	2	3	4	5
Desempeño	Evaluación del personal	4					
	Retroalimentación periódica	3					
	Acciones de mejora proactivas y correctivas	3					
	Promedio	3.3					
Desarrollo	Ergonomía	4					
	Posibilidad	4					
	Recursos	4					
	Promedio	4.0					

Fuente: Autoras del proyecto

3.2 FACTORES CRITICOS DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS PROCESOS ADMINISTRATIVOS

Una vez abordados los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad, relacionados con los aspectos humanos, es importante considerar los aspectos asociados con los procesos administrativos en la empresa.

Considerando las entrevistas realizadas al personal de la empresa, la observación directa durante las visitas a la misma y la información disponible se evaluaron los aspectos detallados en los siguientes numerales.

3.2.1 Administración del conocimiento / datos

Hace referencia a los esfuerzos de la organización por la recolección y análisis de datos confiables que sirvan como fuente de información al día y oportuna.

En este aspecto la valoración obtenida para la empresa fue de 3.3 – Aceptable. Las principales razones de esta valoración es que a pesar de existir un software para el registro de datos en línea de las condiciones del proceso, aún faltan muchas variables críticas a incluirse que no pueden ser monitoreadas constantemente por falta de instrumentación en planta. Así mismo, en lo concerniente con el análisis de los datos de fallas de los equipos, se aprecian oportunidades de mejora en la

gestión de la confiabilidad, para analizar permanentemente estos datos, tomar decisiones y generar planes de acción más encaminados a la confiabilidad de los equipos y de las personas.

3.2.2 Administración del desempeño

Este factor está muy alineado con el anterior en lo que a la existencia de KPI (Key performance Index – Indicadores claves de desempeño) y a su monitoreo permanente para análisis y toma de decisiones.

La valoración obtenida fue de 3.0 – Aceptable, como consecuencia la falta de indicadores claves de desempeño relacionados directamente con aspectos de confiabilidad. A pesar de que se lleva control de variables como OEE, por ejemplo, que ofrecen una buena aproximación del estado de la empresa, sería conveniente reforzar el seguimiento de indicadores más enfocados a la identificación de causas raíces en caso de presentarse alteraciones por fuera de los objetivos establecidos por la empresa.

Dentro de estos indicadores se sugiere: Tiempo medio entre fallas MTBF, Indicador de Beta, Disponibilidad, Tiempo Promedio para reparar MTBR e incluso indicadores asociados a costos de mantenimiento como: Índice de costo preventivo, índice de costo correctivo, etc.

3.2.3 Comunicación entre Operaciones & Mantenimiento

Este factor crítico de éxito está relacionado con la comunicación directa entre Operaciones & Mantenimiento, en donde todas las actividades asociadas con su proceso de PHVAs deben estar alineadas.

Operaciones y Mantenimiento son aspectos críticos si se tiene en cuenta que el trabajo en equipo y la comunicación deben ser constantes en el día a día de la planta, o de lo contrario siempre existirán dificultades y problemas que solo se ven reflejadas en baja disponibilidad, fallas de equipos, incumplimiento de cronogramas, etc.

La valoración dada para este factor fue de 3.5 – Aceptable, ya que se identificaron oportunidades de mejora sobre todo en lo concerniente al trabajo en equipo y comunicación, ya que los trabajadores

manifiestan dificultades a la hora de la programación de los mantenimientos vs las programaciones de corrida de producción de la planta.

3.2.4 Planeación y Programación

Este aspecto está relacionado con la planeación y programación de actividades de mantenimiento, tanto de tipo preventivo como correctivo y predictivo.

La valoración obtenida estuvo por debajo de 3, debido a que se hace necesario mejorar:

- La planeación y programación de actividades debe surgir de análisis completos de fallas de los equipos, sugerencias de proveedores de los equipos con respecto a vida útil y condiciones de operación, futuros proyectos a implementarse, etc. No obstante se identificó que muchas de las actividades desarrolladas por el área de mantenimiento, estaban siendo más de tipo reactivo que de cualquier otro, ya que las constantes fallas en los equipos de la planta estaban absorbiendo gran cantidad de tiempo del personal y poco era la dedicación hacia la planeación.
- Como consecuencia de lo anterior, también es necesario mejorar el control de las actividades planeadas vs las realizadas, así como las contingencias presentadas, con el fin de mejorar el cumplimiento de cronogramas establecidos, los cuales deben ser efectivos para garantizar la mejora en la confiabilidad de la planta.
- Los cronogramas que se establezcan deben ser comunicados y divulgados oportunamente a todo el personal, con miras a garantizar que todos estén alineados hacia las metas trazadas. Sin embargo, cabe resaltar que en la medida en que se haga una buena planeación, las actividades que se realicen serán más efectivas y seguramente disminuirán la ocurrencia de contingencias.

3.2.5 Entendimiento de procedimientos

Una de las principales oportunidades de mejora en la evaluación de los factores críticos de éxito en la gestión de los procesos administrativos fue el entendimiento de los procedimientos.

Los trabajadores manifiestan que existen procedimientos de casi todas las operaciones de la planta, pero que por estar en lenguas diferentes al español (ej: ingles, portugués) prácticamente se vuelven

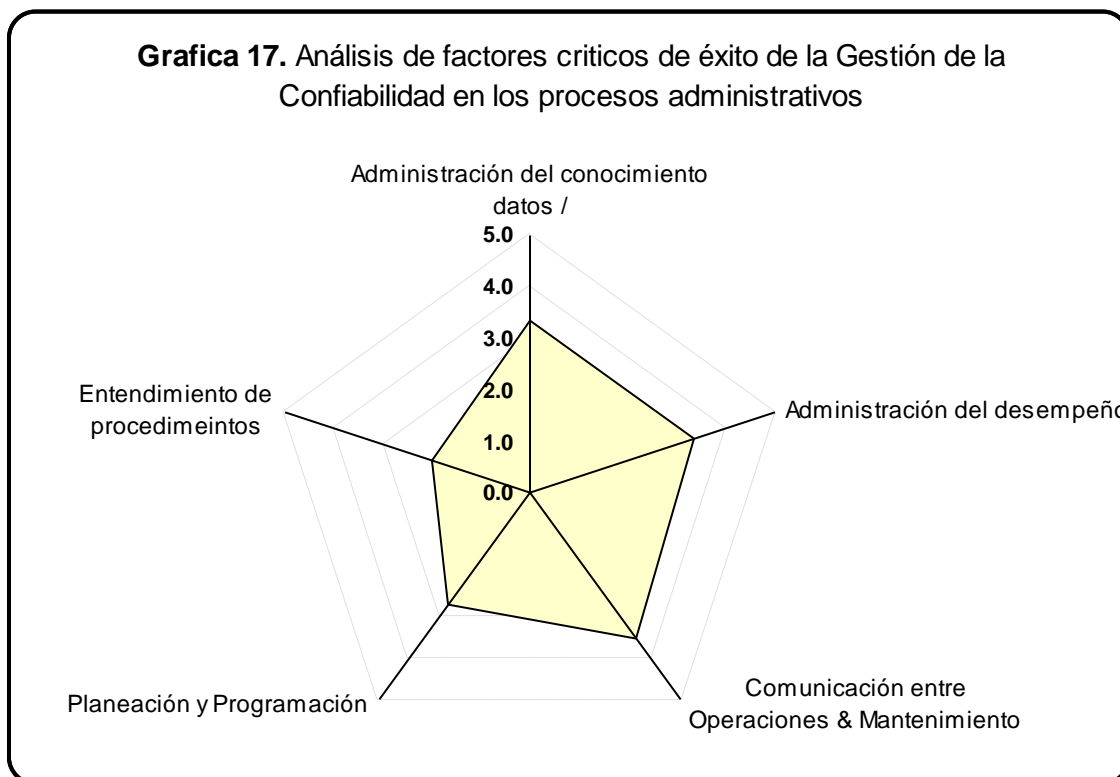
obsoletos ante los ojos de muchos trabajadores, sobre todo de niveles bajos en la estructura organizacional. Así mismo, la alta rotación de personal se ha llevado consigo conocimiento y know how de la planta, muy difícil de recuperar o sopesar con los nuevos ingresos, ya que la divulgación se está realizando de forma muy superficial y ya se han identificado errores humanos a causa de esta situación. Este aspecto guarda gran relación con los factores críticos de confiabilidad humana que fueron abordados previamente. A continuación se presenta la tabla de valoración de los factores críticos mencionados previamente, de forma consolidada:

Tabla 13. Perfil de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad de los procesos administrativos de la producción

FACTOR CRITICO	SUBFACTORES	SCORE	ESTADO ACTUAL				
			M	R	A	B	E
			1	2	3	4	5
Administración del conocimiento / datos	Software para recolección y análisis de datos	4					
	Análisis de datos oportunos	3					
	Accesibilidad de la información	3					
	Promedio	3.3					
Administración del desempeño	Existencia y monitoreo de KPIs	4				4	
	Toma de decisiones a partir del desempeño de los KPIs	3					
	Planes de acción y mejora continua a partir de desempeño de KPIs	3					
	Promedio	3.3					
Comunicación entre Operaciones & Mantenimiento	Realización de reuniones Mantenimiento & Operaciones	4					
	Colaboración entre Operaciones & Mantenimiento	3					
	Trabajo en equipo	3			3		
	Promedio	3.5					
Planeación y Programación	Planeación del mantenimiento en planta	3					
	Programación de actividades de mantenimiento en planta	3					
	Seguimiento realizado vs planeación	2					
	Promedio	2.7					
Entendimiento de procedimientos	Existencia de procedimientos, instructivos de trabajo y documentos relacionados	2					
	Divulgación y oportuna actualización de la documentación	2					
	Existencia de formatos y control de registros	2					
	Promedio	2.0					

Fuente: Autoras del proyecto

Con el ánimo de visualizar los resultados de la anterior evaluación de una forma más esquemática, seguidamente se presenta la siguiente gráfica de radar con los 5 aspectos considerados como factores críticos de éxito en la Gestión de la Confiabilidad en los procesos administrativos.



Fuente: Autoras del proyecto

3.3 FACTORES CRITICOS DE ÉXITO EN LA GESTIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE LOS EQUIPOS

En este grupo de factores críticos de éxito, se consideran aquellos que contribuyan a lograr la disponibilidad y eficiencia de los equipos de la Planta, y que van a indicarnos la fracción de tiempo en que las unidades o equipos están en condiciones de servicio (Disponibilidad) y la fracción de tiempo en que su servicio resulta efectivo para la producción. Cabe resaltar que la mejora en la Disponibilidad y eficiencia y la disminución de los costos de mantenimiento suponen el aumento de la rentabilidad de la empresa y por tanto tiene influencia directa sobre las utilidades.

En la presente investigación se han definido varios los factores críticos de éxitos a evaluar dentro de la gestión del mantenimiento y confiabilidad de equipos de la Planta, que tiene como objetivo preservar la función y la operabilidad, optimizar el rendimiento y aumentar la vida útil de los activos de la empresa CABOT COLOMBIANA S.A. A continuación se representan gráficamente los factores identificados como críticos:



Fuente: Autoras del proyecto

Los factores críticos de éxito identificados se lograron agrupar en 5 grupos diferentes, todos estos en busca de buscar los puntos de fortaleza de la organización en el tema de confiabilidad:

3.3.1 Elaboración de Planes y Programas de Mantenimiento:

La intención de este factor esta referenciada en aplicación de las tácticas que me permitan mejorar el mantenimiento predictivo de la planta mediante la inspección de los equipos en tiempos regulares para poder tomar las acciones necesarias para prevenir las fallas o en caso tal poder evitar consecuencias de la misma.

El resultado de este factor en la valoración a Cabot Colombiana fue de 3.3 (Aceptable), ya que aunque la empresa tiene definido ciertas tácticas de rutina diarias de inspección de equipos aún se muestran deficiencias en la interpretación de resultados de las inspecciones, demora en el cierre de ordenes diarias emitidas para reparación de equipo.

3.3.2 Aplicación técnica de Mantenimiento Preventivo

Esta intención basada en el conocimiento del equipo busca mirar la relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de falla de estos. La intención de este factor es poder ya se reemplazar un equipo o diagnosticar el equipo a intervalos de tiempo definidos.

La valoración dada para este factor fue de 3.0 - Aceptable. Aunque la Planta tiene identificados los equipos críticos en la planta presencia insuficiencia en que en caso de falla los stock de repuestos de estos equipos, no se tiene cumplimiento en 100% del tiempo de las rutinas ya declaradas para estos equipos y las hojas de vida de los equipos no tienen información actualizada. Adicionalmente esta área se encuentra con personal nuevo que aún se encuentra en la comprensión del proceso de la Planta.

3.3.3 Mejoramiento en planes de inspección de equipos

Mediante el seguimiento de variables críticas de equipos que la empresa ya tiene preseleccionadas mediante técnicas estadísticas y mediante el uso de persona externo calificado poder mejorar los planes de inspección de los equipos.

Para el caso de Cabot Colombiana, aún falta conocimiento e interpretación de las variables críticas de los equipos de la Planta por esta razón el resultado de este factor es 3.3 Aceptable.

3.3.4 Solución de Problemas recurrentes que afectan DT

Existen fallas en el proceso que muchas veces implican cambios en condiciones operativas que uno u otra forma podrían disminuir el tiempo de vida útil de un equipo, es por esa razón que mediante la planificación de técnicas de resolución de problemas que contribuyan a la reducción de los DT de la Planta se busca buscar las tácticas que contribuyan a la disminución de este indicador.

El personal de la empresa tiene claro la importancia de la elaboración de RCA (Análisis de Causa Raíz) como método para solución de problemas con el objetivo el porcentaje de DT no planeado por falla de equipos. El resultado fue de 4.0 Bueno.

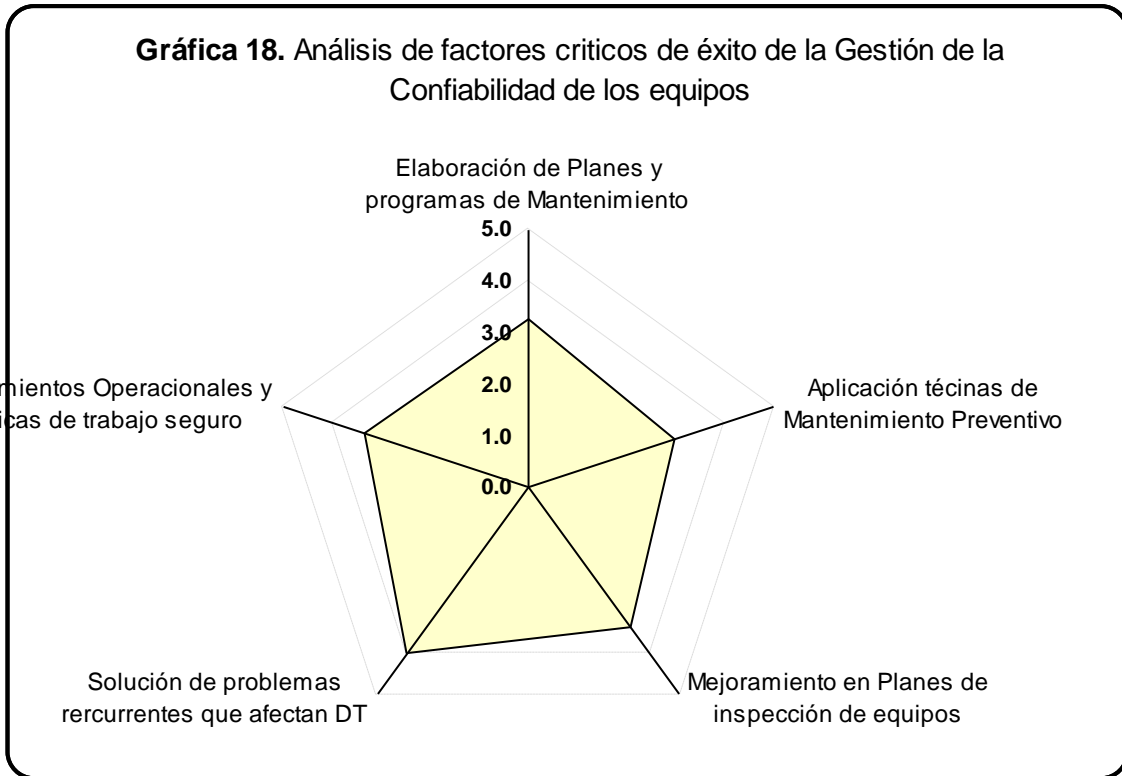
3.3.5 Procedimientos Operacionales y prácticas de seguridad

Esta intención busca mejorar la divulgación al personal de mantenimiento de aquellos procedimientos de reparación de equipos que se encuentran en la base de datos de Confiabilidad y al mismo tiempo se puede utilizar la base de seguridad de reporte de cambios en equipo y/o procedimientos para evaluación de riesgos por parte del personal de la Planta.

La evaluación de estos cinco aspectos se realizó mediante entrevistas y evidencias de información al personal del área de mantenimiento de la empresa, la observación directa e información disponible de la compañía. Se evaluó de 1 a 5 cada aspecto, siendo 1 no existe y 5 excelente como se muestra a continuación.

El resultado de este factor en la compañía, fue de 3.3. Aceptable, aunque existe comunicación entre el personal de operaciones y mantenimiento sobre cambios en condiciones operativas que podrían influenciar sobre la vida útil de los equipos, por estar personal nuevo en el área aún se tiene deficiencias e la realización de reporte y/o participación de la base de datos gerenciamiento del cambio (MOC) para análisis de riesgo de los equipos.

A continuación se muestra la evaluación numérica de los factores críticos en la gestión de la confiabilidad de los equipos, en una gráfica de radar y seguidamente la tabla con las valoraciones para el puntaje obtenido:



Fuente: Autoras del proyecto

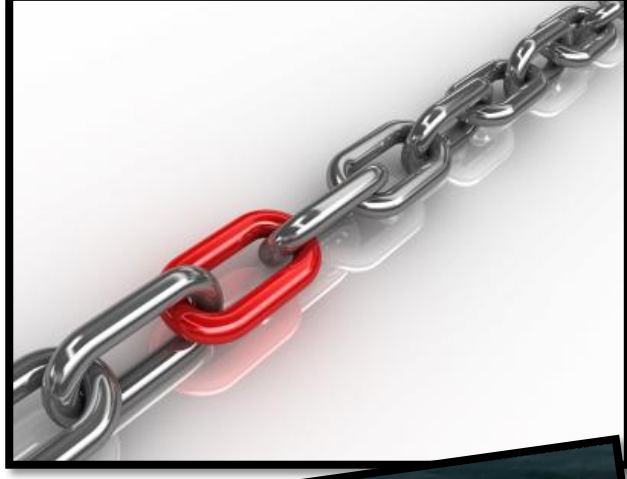
Tabla 14. Perfil de los factores críticos de éxito en la Gestión de la confiabilidad de los equipos

FACTOR CRITICO	SUBFACTORES	SCORE	ESTADO ACTUAL				
			M 1	R 2	A 3	B 4	E 5
Elaboración de Planes y programas de Mantenimiento	Rutina de inspección de equipos	3					
	Toma de decisión para prevenir fallas	3					
	Inspecciones Objetivas (termografías, prueba de espesores, etc)	4					
	Cierre de Ordenes de Trabajo de Producción a mantenimiento	3					
	Promedio	3.3					
Aplicación técnicas de Mantenimiento Preventivo	Registro de hoja de vida de los equipos de la Planta	3					
	Identificación de equipos críticos en la Planta	4					
	Rutinas de inspección en JDE(mecánicos o de instrumentos)	3					
	Uso de herramientas de solución de problemas, software PHA	3					
	Participación en los Hazop a los equipos de la Planta por cumplimiento PSM	3					
	Stock de repuestos de equipos críticos	2					
Promedio	3.0						
Mejoramiento en Planes de inspección de equipos	Seguimiento y diagnóstico de variables de confiabilidad en el AEMS (software de comportamiento de variables críticas de los equipos)	3					
	Participación entes externos en diagnóstico de equipos	4					
	Capacitación al personal en técnicas de solución de problemas	3					
	Promedio	3.3					
Solución de problemas recurrentes que afectan DT	Realización de RCA's para fallas que causen DT superior a 24 horas o fallas repetitivas	4					
	Rutinas de Mantenimiento	4					
	Promedio	4.0					
Procedimientos Operacionales y prácticas de trabajo seguro	Comunicación con el personal de producción en sobre cambio de condiciones operativas	4					
	Realización de MOC (Reporte de Cambios) y análisis de riesgo en modificación de equipos.	3					
	Procedimientos de Reparación de equipos críticos de la Planta	3					
	Promedio	3.3					

Fuente: Autoras del proyecto

CAPITULO IV.

Propuesta de mejoramiento de la confiabilidad de la
línea de producción de negro de humo a partir de
FMCA para equipo critico



4. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CONFIABILIDAD DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE NEGRO DE HUMO A PARTIR DE FMCA PARA EQUIPO CRÍTICO

Las compañías industriales que buscan ser competitivas y alcanzar estándares de clase mundial que les permita obtener participación sostenida en mercados altamente competitivos requieren de:

- Fiabilidad de sus procesos productivos internos e instalaciones
- Altos niveles de disponibilidad y continuidad operacional.
- Altos niveles de calidad, seguridad y cumplimiento de la normativa medioambiental
- Excelencia operacional sostenida y progresivamente mejorable
- Altos niveles de calidad en los productos y servicios entregados a usuarios y clientes.
- Satisfacción integral de inversionistas, empleados, proveedores, clientes y usuarios.

Las capacidades y la funcionalidad de las instalaciones, el aumento de las exigencias de los clientes y usuarios por productos están haciendo más difícil para que los fabricantes mantengan la calidad, confiabilidad y continuidad operacional de sus instalaciones. Sin duda el desafío es mantener una operación continua dentro de un marco de calidad y confiabilidad en todas las etapas que comprende el proceso productivo¹⁴.

En el capítulo 2 se pudo visualizar oportunidades de mejora relacionada con la disminución de las fallas en los equipos, seleccionándose como crítico el filtro principal de proceso (MUF), desde aspectos básicamente cuantitativos. Así mismo en el capítulo 3 con la identificación de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad, se reforzó lo desarrollado previamente complementando la información cuantitativa de cálculos y parámetros, con aspectos cualitativos que considerada no solo equipos, sino también personas y procesos.

En este marco, se pretende desarrollar un análisis detallado de modo de fallas y efectos en el equipo crítico seleccionado, con mira a establecer acciones que contribuyan a mejorar la confiabilidad de la

¹⁴ Andinagroup. Análisis de Modos de falla y efectos. En línea: http://www.andinagroup.net/rmg/servicios/servicios_preview.asp?id=23&tema=1

línea, inicialmente con el MUF, acudiendo a la metodología de FMEA. No obstante, es importante resaltar que antes de realizar el análisis, se abordaran las definiciones generales relacionadas con esta herramienta de confiabilidad, que permitan favorecer la comprensión del trabajo realizado.

4.1 Definiciones y generalidades

4.1.1 Definición de FMEA¹⁵

El análisis de modo de fallas y efectos FMEA (Failure Mode s un método inductivo, por medio del cual se identifican todas las formas de falla de la pieza o componente de un equipo y de los efectos potenciales de fallo sobre el sistema y determina los medios de detección para cada tipo de fallo (MIL – STD – 1629). Esta es una metodología clave para analizar problemas potenciales de confiabilidad en una instalación industrial y se utiliza para identificar modos de falla potenciales y para determinar sus efectos sobre el proceso productivo, sobre los activos e instalaciones e identificar acciones para eliminar esas fallas.

El uso de la técnica FMEA permite que los procesos productivos sean liberados de posibles fallas indeseables en los activos y con ello se produzcan productos y servicios agradables, confiables, seguros, para del cliente, adicionalmente FMEA también captura información histórica para el uso en la mejora futura del producto.¹⁶ Los principales objetivos de un FMEA son:

1. Identificar los Modos de falla que tiene más posibilidad de pérdida de una función.
2. Identifica las causas de las fallas y el origen de las mismas.
3. Asegura que no se malgaste el tiempo y esfuerzo tratando de buscar síntomas, en lugar de causas.

4.1.2 Descripción de la disciplina y aplicaciones¹⁷

La técnica de análisis de modos de falla y sus efectos (FMEA), es una metodología estructurada totalmente compatible y coherente con RCM (Reliability Centered Maintenance), que permite incrementar el índice de disponibilidad y confiabilidad de una instalación industrial, equipo o proceso

¹⁵ Cardozo, Gonzalo. Gestión de la Confiabilidad. Modulo II FMEA/FMECA. Especialización en Gerencia de Producción y Calidad. Universidad Tecnológica de Bolívar. 2010

¹⁶ Ibid, 13

¹⁷ Ibid, 13

productivo, contribuyendo de esta manera a alcanzar las metas corporativas de incremento de la eficiencia y eficacia de las acciones operacionales de los activos que conforma los procesos productivos en un determinado estadio operacional, incluso desde la fase de diseño y desarrollo de una planta, equipo, producto sistema o instalación.

La implementación de técnicas de FMEA es necesaria dentro del contexto de calidad recomendada por la norma ISO9001-2008, por cuanto:

- Ayuda a la toma de decisiones basadas en hechos.
- Es un proceso documentado para el mejoramiento continuo y del desempeño
- Evalúa acciones correctiva y preventivas implantadas
- Incorporación desde la fase de desarrollo de un producto, sistema o instalación, asegurando el éxito en el desempeño significativo del producto.

4.1.3 Tipos de FMEA¹⁸

Hay varios tipos de FMEA, aunque algunos se utilizan mucho más a menudo que otros. Sin embargo, cabe resaltar que el FMEA debe ser hecho siempre que las faltas significaran daño o lesión potencial al usuario del artículo del extremo que es diseñado. Los tipos de FMEA son:

- Sistema: Focos en funciones globales del sistema
- Diseño: Focos en componentes y subsistemas
- Proceso: Focos en procesos de la fabricación y de ensamblaje
- Servicio: Focos en funciones del servicio
- Software: Focos en funciones del software

4.1.4 Ventajas que se Obtienen al aplicar FMEA

FMEA se aplica para asistir al ingeniero en la mejora de la calidad y la confiabilidad del diseño. Utilizar correctamente el FMEA proporciona al ingeniero varias ventajas. Entre otras, estas ventajas incluyen:

- Mejorar la confiabilidad y la calidad de productos/procesos/instalaciones o equipos.

¹⁸ Ibid, 14

- Aumenta la satisfacción de cliente
- Identifica y elimina tempranamente de los modos de falla y los potenciales efectos sobre los productos, procesos, instalaciones y equipos
- Prioriza las deficiencias de productos/procesos e instalaciones
- Captura el conocimiento de ingeniería y de la organización
- Acentúa la prevención adelantándose a los problemas
- Reduce los costos operacionales y mejora la rentabilidad del negocio.

Es un reactivador de la motivación ya que cataliza el trabajo en equipo y de las ideas entre las funciones. La cobertura de servicios de FMEA de RMG, esta orientada a la oferta de servicios que implica una implementación exitosa de la metodología FMEA, la cual comprende el trabajo sistemático, y estructurado de asistencia técnica y facilitación de la implementación y desarrollo paso a paso de la metodología en las siguientes áreas:

- FMEA focalizado en funciones globales (Producción-Mantenimiento)
- FMEA focalizado en instalaciones, equipos, sistemas y sub-sistemas
- FMEA focalizado en procesos de fabricación y montaje
- FMEA focalizado en servicios a clientes. Lo anterior puede ser aplicado a cualquier rubro o empresa industrial por los profesionales de RMG. En caso de requerir asistencia técnica en FMEA, contáctenos inmediatamente.

Esta técnica del análisis preventivo permite hacer el siguiente:

- Busca los malfuncionamientos del producto causados por su diseño y definición
- Evalúa sus efectos potenciales sobre el cliente
- Identifica las causas posibles conectadas con el diseño y la definición del producto
- Busca las acciones preventivas apropiadas.

4.1.5 Definición de Falla

Se puede definir como falla, al cambio en un producto o sistema desde una condición satisfactoria (estándar) de trabajo, a una condición de trabajo por debajo del estándar. Es importante analizar las

fallas, porque la mayoría se pueden predecir, prevenir y evitar, y al controlar las fallas se evitan las pérdidas que estas ocasionan, como son: pérdidas económicas, de producción, de integridad física del hombre, del ambiente, de la imagen de la empresa, entre otras. Es este precisamente el principio que rige la metodología de FMEA y por ello, su importancia.

4.1.6 Definición de Modo de falla

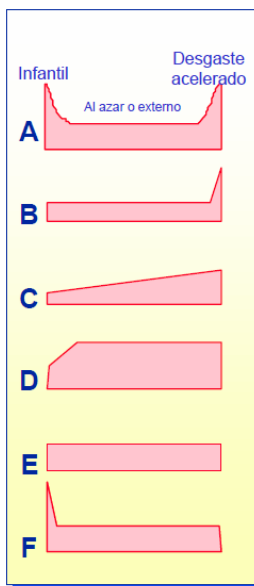
Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional de un activo físico, sistema o proceso.

4.1.7 Definición de Efectos de la falla

Para cada modo de falla existen efectos asociados. El efecto de la falla es una breve descripción de lo que pasa cuando la falla ocurre

4.1.8 Definición de Patrones de falla¹⁹

Existen varios patrones de falla, los cuales corresponde a la forma como se manifiesta una falla en el tiempo y que seguidamente se explican brevemente:



Patrón A: Es la ya conocida curva de la "bañera". Comienza con una gran incidencia de fallas (llamada mortalidad infantil), seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla, y por último una zona de desgaste. La mortalidad infantil está relacionada con errores durante su instalación, reparación u overhaul que pueden ser causados por materiales inadecuados (selección, calidad), errores en procedimientos para efectuar las tareas, reparaciones, revisiones, arranques y operación, así como errores durante la ejecución de procedimientos que pueden estar relacionados con la competencias de las personas, así como la tasa "normal" de error que puede esperarse del tipo de operación.

¹⁹ Martins Marcelo. Artículo "Para una lubricación de clase mundial debemos considerar los patrones de falla de la maquinaria y sus componentes". Exxon Mobil – Lubricants & Specialities.

Todos los componentes tienen probabilidad de “fallas al azar”, causada por factores que no están relacionados con la edad de los componentes. Los factores pueden ser condiciones de operación / eventos anormales, operación fuera de la ventana de diseño, pérdida de lubricación y errores de operación / mantenimiento. En lo que respecta al desgaste acelerado, este está relacionado con fallas que tienen una relación estadística sólida con la edad del componente.

Patrón B: Posee dos segmentos, un periodo de fallas causadas por eventos al azar o externos y un periodo de desgaste acelerado. En el patrón de fallas B, la probabilidad de mortalidad infantil es mínima basada en la complejidad del componente y la instalación (muy simple) y/o la posibilidad de llevar a cabo inspecciones completas y ensayos para asegurar la calidad previos al arranque.

Patrón C: Tiene una baja probabilidad inicial de falla que aumenta lentamente con el tiempo. No hay mortalidad infantil ni desgaste acelerado. Los componentes poseen un patrón de fallas al azar, pero basándose en análisis estadístico es claro que el número de fallas incrementa lentamente con el tiempo.

Patrón D: Poseen un patrón de fallas al azar, con un pequeño menor número de fallas en el equipo inicial. Esto se debe, a que normalmente los componentes son simples y/o pueden ser completamente inspeccionados o ensayados y el número de fallas en el periodo inicial es menor que el promedio de fallas al azar.

Patrón E: Posee un patrón de fallas al azar “casi perfecto” constante en todo el periodo de tiempo de análisis sin fallas iniciales ni desgaste acelerado.

Patrón F: Posee 2 segmentos, el periodo de mortalidad infantil y un periodo de fallas causadas por eventos al azar o externos. Debe notarse que este patrón de fallas es aplicable a la mayoría de los componentes (aproximadamente al 68% en el caso de las aeronaves). Ejemplos comunes de piezas con patrón F, son las que poseen problemas de diseño y errores de construcción (Manejo del

cambio); maquinarias complejas con muchas piezas y/o con sistemas eléctricos o mecánicos muy complejos.

4.2 Aplicación de FMEA para MUF

Teniendo claro los principales conceptos asociados a la metodología FMEA, seguidamente se presenta la explicación de la aplicación de esta herramienta al equipo crítico seleccionado, que como se ha mencionado previamente fue el MUF.

4.2.1 Descripción del equipo

Con el fin de facilitar la aplicación del Análisis de Modos y Fallas en el MUF, es importante conocer las características principales de este equipo con más detalle, así como su importancia dentro del proceso y funcionamiento básico. Seguidamente se presente una breve descripción del equipo.

La Unidad Principal de Filtro – MUF, tiene como propósito principal:

- Separar las partículas de Negro de Humo de los gases de cola provenientes del reactor.
- Proteger el medio ambiente de la emisión de partículas. Esta protección al medio ambiente se hace principalmente con ayuda de la gran cantidad de mangas, que actúan como filtros. Estas mangas son medios de filtro de fina porosidad, que capturan las partículas sólidas mientras permiten a los gases (de cola) pasar por ellos. Las mangas más utilizadas son:
 - En las mangas de fibra de vidrio convencional: La torta de negro de carbón en la tela filtrante hace realmente la filtración. Esto se llama filtración profundizada.
 - Mangas revestidas con membranas: El negro de carbón se recoge directamente en la superficie de la membrana. Esto se llama la filtración superficial.

Las mangas del MUF estándar de Cabot son de forma cilíndrica, 3.6m de longitud, 0.127m de diámetro, y fabricadas de fibra de vidrio con terminación de teflon. Las grandes mangas (hasta 10m por 0.3m) están también siendo usadas en algunos filtros de viejo diseño, y suelen ser de membrana. El MUF es uno de los equipos más grande y más costosos del proceso de fabricación de

negro de humo en Cabot. La estructura física dura típicamente 20+ años con un mantenimiento general y el reemplazo frecuente de las mangas.

El principio de funcionamiento básico de un MUF es simple. A medida que la cantidad de negro de carbón filtrado de la corriente de proceso se deposita en las mangas, la capacidad de los gases de pasar a través de las mangas disminuye. Por lo tanto las mangas necesitan ser limpiadas. Después de la limpieza, la capacidad de los gases al paso a través de la manga se vuelve muy cercana al nivel logrado en su limpieza pasada. Sin embargo, las mangas nunca se limpian totalmente. Sigue habiendo una capa de negro de carbón en la superficie y dentro de los poros.

En la filtración profundizada (no en mangas de membrana), es esta capa del negro de humo que hace la filtración, la manga apenas proporciona la superficie en la cual se forma el torta del negro de carbón. Esta es la razón por la cual al filtrar en mangas nuevas un cierto negro se emite por un período corto, luego la capa permanente se establece y cualquier negro de carbón que pudiera pasar a través no es perceptible.

En la filtración superficial, se utilizan las mangas de membrana cubiertas de fibra de vidrio. Muchos filtros viejos también se benefician por el uso de las mangas de membrana. Funcionan de una manera similar a la manga plana de fibra de vidrio. Sin embargo, estas mangas vienen con una capa que sirve para la función que el negro de humo sirve en una manga sin membrana: la membrana hace la filtración en las mangas de la. Los poros dentro de la membrana eventualmente se bloquean con negro de humo también.

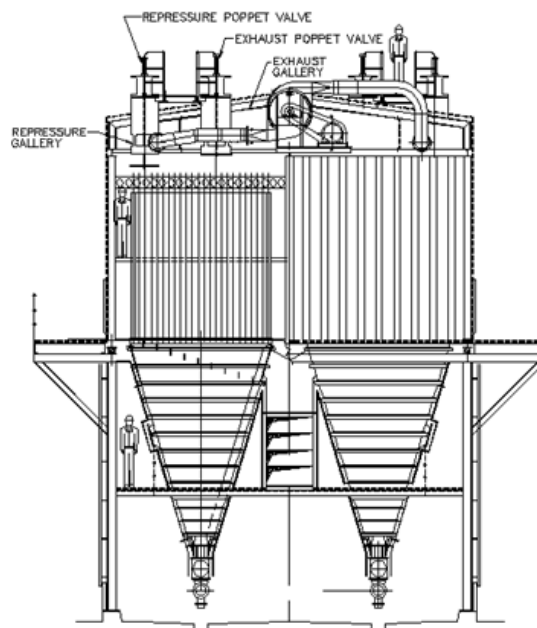
Seguidamente se presentan fotos y esquemas que permiten visualizar de mejor forma el equipo a estudiar:

Foto 1. Unidad de filtro principal – Cabot Colombiana S.A.



Fuente: Información confidencial Cabot Colombiana S.A.

Gráfica 19. Dibujo de Unidad de filtro



Fuente: Información confidencial Cabot Colombiana S.A.

4.2.2 Aplicación FMEA para MUF

Inicialmente, es importante resaltar que este análisis se hizo en conjunto con personal de operaciones y mantenimiento de la empresa, ya que precisamente son ellos quienes tienen el conocimiento acerca del equipo estudiado y quienes suministraron información valiosa para la aplicación de esta herramienta. El formato utilizado para la realización del Análisis de Modos de Fallas y Efectos - FMEA, es el siguiente:

Tabla 15. Formato para Análisis de Modos de Falla y Efectos

Análisis de fallas						Característica de Falla					Plan de acción			
Nº	Grupo Comp.	Nº Falla	Componente	Modo de Falla	Efecto de la Falla	Causa de Falla	Deterioro Característico	Control	Ocu rtg	Sev rtg	RPN O*S	Acciones sugerida	Resp.	Prioridad

Fuente: Modulo de Gestión de la Confiabilidad

A continuación una descripción general del proceso de realización del FMEA, teniendo en cuenta la estructura del formato utilizado para su aplicación, mostrado previamente:

- **Paso 1.** Básicamente, el primer paso consistió en la división del equipo por partes y este a su vez en componentes, a los cuales posteriormente se les identificaría sus posibles modos, efectos y causas de las fallas.
- **Paso 2.** Determinación de los modos de falla de la Unidad de Filtro Principal (MUF) esto con base en los requerimientos funcionales y sus efectos. Esta información en su gran mayoría fue suministrada por el personal de la empresa, quienes con su experiencia y conocimientos en el proceso, conocían claramente los principales problemas presentados en los equipos, así como sus potenciales efectos y causas asociadas. Los pasos 1 y 2, completaron la parte denominada Análisis de Falla en el formato (Ver Matriz).

- **Paso 3.** Una vez identificado los principales modos de fallas, para complementar el análisis también se identificaron los patrones de deterioro característico y controles de la empresa para evitar estas fallas.
- **Paso 4.** Valoración de la severidad y ocurrencia para posteriormente calcular el índice de RPN (producto de estas dos valoraciones). Seguidamente se muestran las tablas utilizadas para su calificación²⁰:

Tabla 16. Criterios de valoración de severidad

CLASE	SEVERIDAD O EFECTO	PUNTOS
EXTREMA	Puede dañar la maquina o al operador. Peligro sin advertencia	10
	Puede dañar la maquina o al operador. peligro con advertencia	9
ALTA	Interrupción el la línea de producción. Perdida de la función primaria. 100% de desperdician.	8
	Reducción de la función primaria. El producto requiere clasificación. Algo de desperdicio.	7
MODERADA	Interrupción menor de la producción. Algo de desperdicio. Perdida de desempeño de la función secundaria.	6
	Interrupción menor de la producción. 100 % de reproceso. Desempeño reducido de la función secundaria.	5
	Defecto menor identificado por casi todo los clientes. el producto requiere clasificación y algo de retrabajo	4
BAJO	defecto menor identificado por algunos clientes	3
	Defecto menor identificado por un clientes observador. Los defectos pueden ser trabajados en el lugar.	2
NULA	No hay efecto	1

Fuente: Modulo Gestión de la confiabilidad. Gonzalo Cardozo. UTB

²⁰ Tablas de valoración severidad y ocurrencia. Tomadas del modulo de gestión de la confiabilidad. Gonzalo Cardozo. Especialización Gerencia en producción y calidad. Universidad Tecnológica de Bolívar. 2009

Tabla 17. Criterios de Valoración de Ocurrencia

CLASE	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	FALLAS	PUNTOS
MUY ALTA	La falla es casi inevitable	1 en 2 hrs	10
		1 en 3 hrs	9
ALTA	El proceso no esta en control estadístico o similares	1 en 8 hrs	8
		1 en 20 hrs	7
MODERADA	El proceso esta en control estadístico pero con fallas aisladas. Procesos previos tienen fallas	1 en 80 hrs	6
		1 en 400 hrs	5
		1 en 2000 hrs	4
BAJA	El proceso esta en control estadístico	1 en 15000 hrs	3
MUY BAJA	El proceso esta en control estadístico. solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 150.000 hrs	2
REMOTA	La falla es improbable. no se conocen fallas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 1.5 m hrs	1

Fuente: Modulo Gestión de la confiabilidad. Gonzalo Cardozo. UTB

Los pasos 4 y 5, completaron la parte de característica de la falla del formato.

- **Paso 5:** Una vez completado todo el análisis de las fallas y características de las mismas, se sugiere un plan de acción para atacar dichas fallas. Seguidamente una descripción un poco más detallada:
 - **Actividades:** Se proponen una serie de actividades de tipo preventivas para evitar la ocurrencia de las fallas, teniendo en cuenta el deterioro presentado y sus posibles causas
 - **Responsable:** Se sugiere responsabilidad de la implementación de las actividades propuestas ya sea por parte de mantenimiento u operaciones o ambos, teniendo en cuenta que son las áreas que tienen incidencia directa en el proceso.
 - **Prioridad:** Considerando la cantidad de acciones propuestas y el poco tiempo de implementarlas, se sugiere un indicador de prioridad que se estableció con base en el RPN, siendo los de prioridad 1, las actividades que deben desarrollarse en primera instancia y las de 4 en última instancia.
 - **Seguimiento de actividades:** Con base en el MTBF y la desviación estándar calculada en el capítulo 2, que en total resultaron en 1403 horas, es decir, 58 días

(aproximadamente 2 mes), se programan todas las actividades sugeridas para implementarse dentro de este marco de tiempo con el fin de poder disminuir la probabilidad de ocurrencia de las mismas. Cabe resaltar que para facilitar la programación de las actividades sugeridas, se dividió el MTBF en 4 quincenas, cuyas actividades a desarrollarse en cada una dependían de la prioridad establecida, como se describió anteriormente.

Lo anterior se puede apreciar de forma consolidada en matriz FMECA, para la Unidad de Filtro Principal. **Ver Anexo 1.**

4.3 Análisis de Modos de Falla y Efectos

De la aplicación del FMEA a la Unidad de Filtro Principal, son muchas las apreciaciones que se pueden obtener, con miras a identificar oportunidades de mejora que contribuyan a favorecer la confiabilidad del equipo y este a su vez por ser crítico, a mejorar la confiabilidad de la planta. A continuación se presentan los aspectos importantes resultantes del FMECA y la matriz de riesgo de las fallas identificadas:

4.3.1 Aspectos importantes resultantes del FMECA

- La Unidad Principal de Filtro se dividió en 5 subsistemas principales y estos a su vez en componentes más específicos que los contenían. Se identificaron 21 modos de falla principales para el MUF.
- El deterioro característico más común entre los modos de falla fue el desgaste. El personal de la empresa comenta que este deterioro es consecuencia de las características del producto y condiciones del proceso que provocan el desgaste paulatino del equipo, consecuentemente se evidencia que la causa más común de las fallas fue la corrosión.
- Se observa una gran oportunidad de mejora con los controles para evitar las fallas, ya que en su gran mayoría son visuales y no es posible detectar en línea muchas anomalías del equipo, antes de que se presente una falla, sino por el contrario es necesario dirigirse

directamente a la planta para tomar mediciones u observar medidores (como vibración, presión, etc.), lo cual puede resultar un poco engorroso, considerando el equipo reducido de operaciones (3 operadores por turno de 12 horas) y el tamaño de la planta. Sería conveniente considerar mejorar la instrumentación en el equipo, para poder detectar de forma automática alteraciones en el comportamiento normal de las variables asociadas al mismo.

- Se aprecian algunos modos de fallas asociados a la confiabilidad humana, debido a que se estableció que en muchas ocasiones las causas fundamentales de las fallas están relacionadas errores humanos de los operadores o personas encargadas del mantenimiento, al realizar una labor, ya sea por inexperiencia, incumplimiento de procedimientos, falta de supervisión o falta de entrenamiento. Esta situación también se constituye como una gran oportunidad de mejora.
- Otras situación que se pudo evidenciar en el FMECA, fueron fallas de rotura, cierre no hermético o trabadas de algunos componentes del equipo, que tienen una alta severidad y que no pueden ser toleradas por la compañía porque sus causas básicamente están asociadas a la baja compatibilidad del componente con las condiciones bajo las cuales se trabaja en el proceso y por lo tanto es necesario analizarlas con mayor detalle y revisar el diseño del componente.
- Las acciones propuestas tienen como respaldo para su implementación, el dinero perdido por el lucro cesante de la planta durante la cantidad de tiempo que estuvo parada como consecuencia de las fallas de este equipo. Si se considera la inversión de un capital en mantenimiento preventivo y predictivo para este equipo y para la planta en general, seguramente el presupuesto estará por debajo del dinero perdido, estimado en aproximadamente \$ 685.000.000, el cual solo corresponde al lucro cesante de la planta y que puede ser muchísimo mayor si se sumaran los costos de mantenimiento asociados a la reparación de las fallas presentadas. Lo anterior, sencillamente quiere decir que la inversión en este equipo esta totalmente justificada y es totalmente necesaria.

4.3.2 Matriz de Riesgo de fallas

Una vez completado todo el Análisis de Modos de falla y efectos, el cual dio como resultante 21 modos de fallas principales para la Unidad de Filtro principal, es importante complementar este con una matriz de riesgos de todas estas fallas identificadas, con el fin de establecer un panorama general para el equipo.

La matriz de riesgos se realizó considerando básicamente la probabilidad de ocurrencia de las fallas y la severidad de las mismas, teniendo en cuenta las valoraciones establecidas dentro del rango de 1 a 10. Con base en la calificación obtenida por cada modo de falla, se ubicaban estos dentro de la matriz, la cual a su vez esta dividida en tres segmentos: Critico (Rojo), Moderado (Amarillo), Aceptable (Verde), que permitirán visualizar esquemáticamente las fallas de mayor riesgo, las cuales deben ser atacadas prioritariamente.

Seguidamente se presenta la matriz de riesgo obtenida para las 21 fallas identificadas para la Unidad de Filtro Principal:

Tabla 18. Matriz de riesgos – Fallas MUF

		SEVERIDAD									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FRECUENCIA	1										3.1, 3.3, 4.1, 4.3, 5.3
	2						1.5, 3.4, 4.4	1.3, 2.1	1.2, 1.4	1.6, 1.8	
	3								1.1, 2.2	1.7	
	4										
	5									3.2, 4.2, 5.2	5.1
	6										
	7										
	8										
	9										
	10										

Fuente: Autoras del proyecto

Como se observa la distribución de las fallas dentro de los segmentos, esta en un 95% como riesgos moderados y aceptables. Solo una minoría (5%), correspondiente a una falla, se encuentra categorizada como crítica. Este resultado deja entrever que el equipo es valorado con un riesgo moderado y por esta razón muy posiblemente no se le han dado la suficiente atención a la fallas, lo cual ha provocado la continua ocurrencia de

	NoF	%
	5	24%
	15	71%
	1	5%
TOTAL	21	100%

las mismas. Podría ser importante evaluar nuevamente la valoración dada a las fallas identificadas, con miras a considerar el equipo con una criticidad mayor a la que posee actualmente.

5. RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos con la aplicación de las diferentes herramientas de gestión de la confiabilidad, como son la distribución de Weibull, el análisis de modos de fallas y efectos - FMEA, la identificación de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad y en general todas las utilizadas en el desarrollo del anterior trabajo integrador, seguidamente se sugieren las siguientes acciones para tener en cuenta:

- Evaluar la implementación de técnicas y herramientas para mantenimiento preventivo y sobre todo predictivo, considerando que después de realizar el FMECA se identificó que el deterioro característico más común entre los modos de falla fue el desgaste y consecuentemente se evidencia que la causa más común de las fallas fue la corrosión. Una de estas técnicas sugeridas consiste en mediciones con Ultrasonido, para espesores de superficies. Seguimientos estas mediciones puede detectar deterioros en materiales de equipos, antes de que ocurran fallas como roturas, grietas o cualquier consecuencia de corrosión.
- Elaborar y proponer un plan de mejora de la instrumentación de los equipos, sobre todo de la Unidad Principal de Filtros, para facilitar el seguimiento de variables críticas de proceso y de condiciones de operación que puedan identificar anomalías antes de que ocurran las fallas. En la realización del FMECA de la Unidad Principal de Filtro, se observa una gran oportunidad de mejora con los controles para evitar las fallas, ya que en su gran mayoría son visuales y no es posible detectar en línea el deterioro del equipo, que con variables como diferenciales de presión o temperatura podrían identificarse. Sería conveniente considerar mejorar la instrumentación en el equipo, para poder detectar de forma automática alteraciones en el comportamiento normal de las variables asociadas al mismo.
- Fortalecer el plan de entrenamiento y formación principalmente del personal involucrado tanto en el proceso de producción como de mantenimiento. Se aprecian algunos modos de

fallas asociados a la confiabilidad humana, debido a que se estableció que en muchas ocasiones las causas fundamentales de las fallas están relacionadas errores humanos de los operadores o personas encargadas del mantenimiento, al realizar una labor, ya sea por inexperiencia, incumplimiento de procedimientos, falta de supervisión o falta de entrenamiento.

- Elaborar y evaluar un plan de renovación de equipos cercanos a la obsolescencia, para minimizar las fallas ocasionadas por antigüedad de los equipos y/o por diseños que actualmente no son los más pertinentes con las condiciones del proceso y que pueden estar afectando no solo la confiabilidad de la planta, sino también la productividad de la misma.
- Tomar como base el análisis de modos de fallas y efectos realizado para la Unidad Principal de Filtro, en otros equipos críticos como el Reactor, con el cual también se pueden identificar oportunidades de mejora para la confiabilidad de la planta y posibles fuentes de reducción de costo y/o ahorro para el proceso.
- Evaluar la posibilidad de formular y proponer un proyecto de generación eléctrica, con el cual se abastezca el proceso de producción o por el contrario que sirva de stand by en caso de fallos inesperados del fluido eléctrico por parte del proveedor. En los datos de falla se evidenciaron un total de 103 horas perdidas por fallos externos de energía, que considerando el valor de la hora de lucro cesante de la planta de U\$1.458, se traducen en perdidas alrededor de los U\$ 150.208, correspondientes a \$300.416.000 (pesos colombianos), sin contar los costos asociados a arranque de planta, procesos administrativos, etc., que bien podrían servir para justificar un proyecto de esta envergadura.
- Considerar las deficiencias identificadas en los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad, relacionada tanto con los equipos, como con las personas y los procesos administrativos, para complementar las acciones resultantes del FMECA.

- Reforzar el análisis de fallas, principalmente con el uso de herramientas estadísticas de la gestión de confiabilidad como son la Distribución de Weibull, como fuente importante de información para identificación de equipos críticos, patrones de falla más comunes, oportunidades de mejora, ahorros en costo e incluso como justificación de proyectos de inversión para mejoras en proceso. Se sugiere tener en cuenta los pasos mostrados en el desarrollo del presente trabajo, como guía para estos análisis.

CONCLUSIONES

- El estudio realizado y los resultados obtenidos apuntan a evitar, reducir y prevenir principalmente:

1. **Altos costos asociados a no disponibilidad.** En el desarrollo del trabajo se evidenció que la baja confiabilidad de la planta trae consecuencias como: limitación de la capacidad, generación de OQ (producto no conforme - Off Quality), desgaste en los equipos por paradas intempestivas; incumplimientos a pedidos de cliente, perjuicios a la imagen de la empresa frente a la corporación, entre otros. Todas estas consecuencias negativas sencillamente se traducen en sobre costos y dinero perdido para la compañía, porque de un modo u otro todas tienen una incidencia económica negativa. Es claro que el principal objetivo de una empresa es generar rentabilidad, y en la medida en que se desarrollen acciones encaminadas a reducir costos.
2. **Estrés laboral.** Haciendo referencia, a la generación de estrés causado por las continuas fallas que obligan al personal a trabajar en forma continua y en tiempo extra para restablecer las condiciones de operación de los equipos. hecho que puede estar incidiendo en la alta rotación del personal.
3. **Desgaste administrativo para afrontar las continuas fallas de los equipos.** En la identificación y análisis de los factores críticos de éxito en la gestión de la confiabilidad se evidencia, que los inconvenientes presentados con las continuas fallas tienen repercusión en la confiabilidad no solo desde el punto de vida de los equipos, sino también en el ámbito humano y de procesos administrativos, porque esta situación incluso puede estar incidiendo en las deficiencias de planeación, programación y cumplimiento de cronogramas y/o procedimientos, etc.

- Por otro lado, el desarrollo de este trabajo contribuyó a crear consciencia de inversión en el desarrollo de un plan de renovación de equipos cercanos a la obsolescencia, que pudiesen estar afectando la confiabilidad de la planta, por desgaste relacionado con la vida útil de los equipos y/o diseños que no se ajustan a las condiciones actuales de proceso.
- Este trabajo contribuyó a entender que el OEE logra conseguir valores óptimos cuando se apunta al mejoramiento de la confiabilidad. Al analizar los niveles de producción alrededor de la producción teórica de 1.323 MT de negro de humo, niveles de OEE como el actual de 88,7% (promedio doce meses), se traducen en aproximadamente 150 MT de producto que se dejan de tener disponibles al mes o lo que es igual a alrededor de 2000 MT al año, las cuales son básicamente resultado de la baja disponibilidad de los equipos. Definitivamente esta cantidad de negro de humo que se deja de producir representa dinero que la empresa está dejando de ganar.
- El estudio de la confiabilidad apunta a aprovechar oportunidades de nuevos proyectos de ampliación de la capacidad actual de la planta y a mejorar los costos de producción, teniendo en cuenta que este pone a la disposición de la compañía la base de información del comportamiento de sus equipos, procesos y personal.
- Las acciones propuestas tienen como respaldo para su implementación, el dinero perdido por el lucro cesante de la planta durante la cantidad de tiempo que estuvo parada como consecuencia de las fallas de este equipo. Si se considera la inversión de un capital en mantenimiento preventivo y predictivo para este equipo y para la planta en general, seguramente el presupuesto estará por debajo del dinero perdido, estimado en aproximadamente \$685.000.000, el cual solo corresponde al lucro cesante de la planta y que puede ser muchísimo mayor si se sumaran los costos de mantenimiento asociados a la reparación de las fallas presentadas. Lo anterior, sencillamente quiere decir que la inversión en este equipo está totalmente justificada y es totalmente necesaria.

- El proyecto realizado está totalmente alineado a los objetivos estratégicos de la compañía, ya que:
 - ✓ Principalmente está encaminado a la reducción de costos, pues al lograr mejoras en la parte de confiabilidad del equipo los costos que se tienen mes a mes se va a ver disminuidos en un gran porcentaje debido a que el # de reparaciones por correctivo se eliminarían y solo se haría su intervención por preventivo y con los repuestos mínimos necesarios para operar el equipo. Al mismo tiempo la mejora en calidad se vería influenciada en este proyectos pues teniendo en cuenta que este proceso de filtración es crítico e importante durante el proceso de fabricación del negro, al no parar tantas veces el equipo por paradas de planta no programa se tendrá menos acumulación de producto en el sistema o negro que se quede en el sistema que me podrían generar problemas de calidad más adelante en el proceso por humedad u otro variable característica del producto.
 - ✓ En la parte medio ambiental y de seguridad, pues teniendo en cuenta que al función principal del proceso de filtración del negro de humo está relacionado con la protección al medio ambiente menos emisiones de gases de cola al ambiente, tener la confiabilidad de este equipo me podrían garantizar bolsas en buen estado o materiales en buen estado que disminuyan las fugas de gases y de negro al medio ambiente y de paso no tener un reclamos ambiental significativo en el área que se presente para quejas y reclamos por parte de vecinos.
 - ✓ Es importante resaltar que estas fallas mostradas de la Unidad Principal de Filtro correspondientes al periodo de tiempo transcurrido entre Abril del 2009 y Abril del 2010, resultan alarmantes. Estos datos hacen entender que en promedio se presentaron 1.6 fallas mensuales, situación que inmediatamente deja entreveer grandes deficiencias en la confiabilidad del equipo y que afecta directamente la confiabilidad de la planta, ya que la falla de este provoca paradas de planta, tal y como se explica en la sección de descripción del equipo. Para poder combatir esta situación, entonces se hace necesario identificar las causas principales de falla, así como sus patrones, para lo cual se realiza el siguiente análisis a partir de los principios de la distribución de Weibull.

BIBLIOGRAFIA

ACUÑA, Jorge Ingeniería de Confiabilidad. Editorial Mc Graw Hil. 2008

Andinagroup. Análisis de Modos de falla y efectos. En línea:
http://www.andinagroup.net/rmg/servicios/servicios_preview.asp?id=23&tema=1

ARATA, Adolfo. Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en las plantas industrial. Ril editores. 2009.

Cabot Colombiana. Información de la empresa. www.cabotconnect.com

Cardozo, Gonzalo. Modulo de gestión de la confiabilidad. Especialización Gerencia en producción y calidad. Universidad Tecnológica de Bolívar. 2009

Chapman, Alan. Gerencia. Análisis DOFA y análisis PEST. En línea:
http://www.degerencia.com/articulo/analisis_dofa_y_analisis_pest

Confiabilidad.net. Artículo: La Cultura de la confiabilidad operacional. En línea:
<http://confiabilidad.net/articulos/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional/>

Distribución de Weibull. Francisco Poujol Galván, [Insituto de Investigaciones Eléctricas](http://www.insituto-de-investigaciones-elctricas.com)
<http://confiabilidad.net/articulos/distribucion-weibull/>

Lefcovich, Mario. Estrategia y dirección estratégica. La importancia del análisis estratégico en el diagnostico empresarial. En línea: <http://www.gestiopolis.com/canales8/ger/cuadro-de-diagnostico-estrategico-e-importancia-del-analisis-estrategico.htm>

LOZANO, José Félix. Confiabilidad Humana. ISBN: 978-84-935668-2-1. Noviembre, 2008.

Martins, Marcelo. Artículo "Para una lubricación de clase mundial debemos considerar los patrones de falla de la maquinaria y sus componentes". Exxon Mobil – Lubricants & Specialities.

PALACIO, Luis Hernando. Cálculo de los Parámetros de la Distribución de Weibull. Confiabilidad.net. En línea: <http://confiabilidad.net/articulos/calculo-de-los-parametros-de-la-distribucion-de-weibull/>

Report linker. World Carbon Black Industry. Global demand to rise 4.3% annually through 2013. En línea: <http://www.reportlinker.com/p0180098/World-Carbon-Black-Industry--.html?request=news>

Telemundo Atlanta. Noticia: "Obama defiende el éxito del rescate del sector automotriz durante su visita a una planta Ford". Washington, 5 ago. En línea: <http://www.telemundoatlanta.com/2.0/3/287/795028/EEUU/Obama-defiende-el-exito-del-rescate-del-sector-automotriz-durante-su-visita-a-una-planta-de-Ford.html>

VELEZ M., Luis A. Cálculo de la confiabilidad. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias.

ANEXOS