

**MODELO DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL DE  
LAS PLANTAS DE CONCRETOS FLORIDABLANCA Y SURATA DE CEMEX  
COLOMBIA S. A**

**JAVIER DARIO SUÁREZ MARTÍNEZ**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2016**

**MODELO DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL DE  
LAS PLANTAS DE CONCRETOS FLORIDABLANCA Y SURATA DE CEMEX  
COLOMBIA S.A**

**JAVIER DARIO SUÁREZ MARTÍNEZ**

**Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero Mecánico**

**Director**

**PEDRO JOSÉ DÍAZ GUERRERO**

**Ingeniero Mecánico, M. Sc**

**Codirector**

**SERGIO ANDRÉS CABALLERO MARTÍNEZ**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2016**

## DEDICATORIA

*A mis padres,*

*quienes con su amor y su esfuerzo me hicieron ingeniero. Sea éste título un tributo y un reconocimiento a la entrega abnegada y a la lucha que dieron en su vida para sacarme adelante.*

*Este triunfo es también de ellos, por ellos y para ellos.*

*A mi hijo,*

*como ejemplo, para que luche con disciplina y hasta sentirse orgulloso de sí, por todo cuanto se proponga. Sea este logro fuente de inspiración, para que a su momento decida realizarse profesionalmente y adquirir un saber que promueve un crecimiento continuo en el ser y nutre de herramientas para servir.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por estar conmigo a cada instante dándome fuerza y sabiduría.

A papá, por su inquebrantable fe en mí, su ejemplo de perseverancia y su comprensión para conmigo.

A mamá, por cuidarme con tanta dedicación y por apoyarme en todo momento.

A mis hermanitas, que son una musa en mi vida.

A mi hijo, por ser el motor que propulsa mi corazón y me impide bajar los brazos.

A Margarita mi amor, por llenarme de confianza y motivación para luchar.

A la familia Gómez Suárez, especialmente a la tía Rosita; por acogerme con tanto cariño.

A mi alma mater la Universidad Industrial de Santander, por su contribución para abrir mi mente a un pensamiento crítico y su aporte para formarme resiliente.

A Cemex, principalmente al Ing. Horacio Blanco, gerente de la zona; por la confianza depositada en mí y por abrirme las puertas para realizar mi pasantía.

Al Ing. Sergio Caballero, jefe de la planta Concretos Suratá y codirector de este proyecto, por su apoyo y colaboración durante mi estadía en la compañía.

Al Ing. Pedro Díaz, director de este proyecto, por su orientación y sus aportes.

A todos les quedo infinitamente agradecido.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	18
<b>1. CEMEX COLOMBIA S.A.</b> .....	19
1.1 VISION Y MISION.....	20
1.2 POLITICA DE CALIDAD. ....	21
1.3 DESARROLLO SUSTENTABLE.....	21
1.4 PROGRAMA DE PRÁCTICAS.....	22
1.5 EL CONCRETO CEMEX .....	24
<b>2. CEMEX CONCRETOS BUCARAMANGA</b> .....	25
2.1 ORGANIGRAMA.....	27
2.2 PLANTA DE CONCRETOS FLORIDABLANCA .....	28
2.3 PLANTA DE CONCRETOS SURATÁ.....	30
2.4 PRODUCCIÓN DEL CONCRETO .....	31
2.5 DISTRIBUCIÓN DEL CONCRETO .....	34
2.6 COLOCACIÓN DEL CONCRETO .....	34
2.7 EQUIPO MÓVIL.....	35
2.7.1 Camión mezclador (mixer) .....	38
2.7.1.1 Funcionamiento .....	39
2.7.1.2 Especificaciones técnicas .....	39
2.7.2 Autobomba .....	42

2.7.3 Bomba estacionaria .....	43
2.8 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL.....	44
2.8.1 Mantenimiento Correctivo .....	46
2.8.2 Mantenimiento Preventivo .....	46
2.8.3 Mantenimiento Predictivo.....	52
2.8.4 Sistema de información SAP .....	52
2.8.5 Personal de mantenimiento .....	53
2.8.6 Stock de Repuestos.....	54
2.8.7 Tiempos de Mantenimiento.....	54
2.8.8 Costos de Mantenimiento .....	54
2.8.9 Indicadores de mantenimiento.....	54
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>56</b>
3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	56
3.2 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.....	57
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>61</b>
4.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD POR EL MÉTODO DE FACTORES PONDERADOS .....	61
4.1.1 ¿Qué es el análisis de Criticidad?.....	61
4.1.2 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad.....	63
4.1.3 ¿Qué elementos se deberían tomar en cuenta para determinar la criticidad?.....	64
4.2 SISTEMAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	65
4.2.1 Indicadores de gestión.....	66
4.2.2 Indicadores de mantenimiento.....	68

<b>5. ANÁLISIS DEL ESTADO INICIAL DEL MANTENIMIENTO EN CEMEX CONCRETOS BUCARAMANGA .....</b>	<b>69</b>
5.1 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DOFA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL.....	70
5.1.1 Identificación de Impactos y relaciones .....	72
5.1.2 Consideraciones para la definición de estrategias:.....	74
5.1.3 Matriz DOFA .....	75
5.2 HALLAZGOS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO .....	77
5.2.1 Desconocimiento del proceso.....	77
5.2.2 Falta de seguimiento y apoyo .....	78
5.2.3 Desorden y omisión de procesos.....	79
<b>6. DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>	<b>82</b>
6.1 IDENTIFICACIÓN Y CAPTURA DE FALLAS .....	82
6.2 SEGMENTACIÓN EN SISTEMAS Y COMPONENTES .....	86
6.3 FUNCIONES Y MODOS DE FALLA.....	87
6.4 CODIFICACIÓN DE LAS FALLAS.....	88
6.5 CONFORMACIÓN DEL GRUPO LÍDER DE MANTENIMIENTO.....	89
6.6 DEFINICIÓN DE AGENTES DE RIESGO .....	90
6.7 DEFINICIÓN DE LOS LÍMITES .....	92
6.7.1 Frecuencia .....	92
6.7.2 Relación Mantenimiento – Producción:.....	93
6.7.3 Relación Valor del equipo – Costo de mantenimiento .....	94
6.7.4 Principales agentes contaminantes .....	95
6.7.4.1 Emisiones de Gases Contaminantes .....	95

6.7.4.2 Derrame de Concreto .....	96
6.7.4.3 Emisiones sonoras (dB):.....	97
6.8 CRITERIOS PARA ESTIMAR LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS .....	98
6.9 CRITICIDAD DE LOS MODOS DE FALLA.....	99
6.10 CÁLCULO DE LA PRIORIDAD.....	101
6.11 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD .....	101
6.12 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN.....	104
<b>7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD .....</b>	<b>105</b>
7.1 APLICACIÓN .....	105
7.1.1 Identificación y Captura de Fallas .....	105
7.1.2 Segmentación en sistemas y componentes.....	107
7.1.3 Funciones y modos de falla .....	108
7.1.4 Codificación de las fallas .....	110
7.1.5 Ponderación de Criterios .....	112
7.1.6 Cálculo de la N.....	114
7.1.7 Cálculo de la Prioridad.....	114
7.1.8 Matriz de Criticidad .....	115
7.1.9 Cronograma de ejecución.....	115
7.2 DEFINICIÓN DEL MODELO.....	116
<b>8. DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA .....</b>	<b>117</b>
8.1 DEFINICIÓN DE INDICADORES PARA EL CONTROL DEL PROCESO .....	118
8.1.1 Disponibilidad.....	119
8.1.2 Número de Fallas.....	120

8.1.3 Costos de Mantenimiento .....	121
8.1.4 Costos de Mantenimiento promedio .....	121
8.1.5 Porcentaje de ejecución.....	121
8.1.6 Backlog (Acumulación de trabajo) .....	122
8.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN.....	123
8.3 MONITOREO Y CONTROL DEL PROCESO .....	125
<b>9. IMPLEMENTACIÓN EN SAP .....</b>	<b>127</b>
9.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....	127
9.2 GESTIÓN DE AVISOS .....	128
9.3 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PROGRAMADO.....	129
9.4 GESTIÓN DE ÓRDENES DE MANTENIMIENTO (OTs) .....	130
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>132</b>
<b>11. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>134</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>135</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Banderas CEMEX y Colombia.....	19
Figura 2. Plantas y Canteras de Cemex Colombia S.A .....	20
Figura 3. Modelo de Sostenibilidad Cemex .....	21
Figura 4. Practicante de Mantenimiento – Planta de concretos de Floridablanca .	23
Figura 5. Organigrama Cemex Concretos Bucaramanga .....	27
Figura 6. Florida línea 1 .....	29
Figura 7. Florida línea 2 .....	30
Figura 8. Silos planta surata. ....	30
Figura 9. Cisterna transportadora de cemento a granel.....	32
Figura 10. Almacenamiento de agregados, Planta Florida F016 .....	33
Figura 11. Camión Mixer Cemex .....	38
Figura 12. Autobomba Cemex. ....	42
Figura 13. Bomba estacionaria Cemex.....	43
Figura 14. Estructura Organizacional de área de mantenimiento .....	45
Figura 15. Logo SAP.....	53
Figura 16Informe de arranque .....	55
Figura 17. Matriz de criticidad .....	64
Figura 18. Matriz DOFA .....	71
Figura 19. Estrategias Matriz DOFA .....	72
Figura 20. Estado de los filtros de aceite y aire. ....	80
Figura 21. Check List Mixer .....	83
Figura 22. División en sistemas y subsistemas de una mixer .....	87
Figura 23. Falla Catastrófica .....	103
Figura 24. Logística del módulo SAP- PM .....	129
Figura 25. Ciclo de las OTs en el módulo SAP - PM .....	130

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Flota de Mixer .....	36
Tabla 2. Flota de Equipos de bombeo .....	37
Tabla 3. Rutinas de Mantenimiento Preventivo para equipos Mixer .....	47
Tabla 4. Rutinas de mantenimiento para equipos de bombeo .....	48
Tabla 5. Formato de programación semanal del mantenimiento .....	52
Tabla 6. Matriz DOFA del Mantenimiento .....	75
Tabla 7. Reporte del Check List.....	84
Tabla 8. Parámetros de confiabilidad y mantenimiento en relación a los niveles de taxonomía .....	88
Tabla 9. Grupo líder de Mantenimiento.....	90
Tabla 10. Matriz de criticidad según la norma ISO 14224 .....	91
Tabla 11. Ponderación de la Frecuencia .....	92
Tabla 12. Ponderación de prioridad TPPR .....	94
Tabla 13. Valor promedio de los equipos.....	94
Tabla 14. Ponderación de Costos Mantenimiento .....	95
Tabla 15. Límites Máximos de Opacidad permisibles para vehículos accionados con diésel (ACPM) en aceleración libre .....	96
Tabla 16. Matriz de criticidad para los modos de fallo .....	102
Tabla 17. Categorización y tiempo de atención .....	103
Tabla 18. Cronograma de ejecución .....	104
Tabla 19. Falla Seleccionadas para el análisis .....	106
Tabla 20. Reporte del Check List, organizado por sistemas y componentes.....	107
Tabla 21. Fallas codificadas .....	110
Tabla 22. Ponderación de las fallas .....	112
Tabla 23. Índice de necesidad de mantenimiento.....	114

Tabla 24. Prioridad de atención .....	114
Tabla 25. Matriz de criticidad de las fallas seleccionadas.....	115
Tabla 26. Paquete de indicadores .....	118
Tabla 27. Control de registros.....	126

## LISTA DE ANEXOS<sup>1</sup>

- ANEXO A. Compromiso de confidencial 1
- ANEXO B. Compromiso de confidencial 2
- ANEXO C. Solicitud de confidencialidad UIS
- ANEXO D. Compromiso de confidencialidad UIS
- ANEXO E. Aval CEMEX
- ANEXO F. Aval UIS
- ANEXO G. Distribución de Plantas en Colombia
- ANEXO H. Sistemas y subsistemas
- ANEXO I. Hoja de vida equipos
- ANEXO J. Informe de arranque
- ANEXO K. Aviso check list
- ANEXO L. Formato check list Bomba
- ANEXO M. Formato check list Mixer
- ANEXO N. Formato Recibo - Entrega
- ANEXO O. Capacitación Operarios
- ANEXO P. Repore de fallas Check List

---

<sup>1</sup> La totalidad de los anexos se encuentran en la carpeta "ANEXOS" en el CD-ROM

## RESUMEN

**TÍTULO:** MODELO DE GESTIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL DE LAS PLANTAS DE CONCRETOS FLORIDABLANCA Y SURATA DE CEMEX COLOMBIA S. A\*

**AUTOR:** SUAREZ MARTINEZ, Javier Dario\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Mixer, Bomba estacionaria, Autobomba, Confiabilidad, Disponibilidad, Criticidad, Falla funcional, Modo de falla, Riesgo, Lista de verificación, Tiempos de falla, Indicador de mantenimiento, Orden de trabajo, SAP

### **DESCRIPCIÓN:**

En este trabajo se evalúa la gestión del mantenimiento del equipo móvil, para saber cuan eficiente es la aplicación de la política de mantenimiento Cemex en el entorno productivo de sus plantas de concretos Floridablanca y Surata; a partir de esta información se identifican factores fuertes y débiles (Matriz DOFA) y se definen estrategias para solucionar las distintas fallas de los equipos.

Se diseña un análisis de criticidad por el método de factores ponderados basado en el concepto de riesgo (aplicable a los distintos modos de falla de los equipos), tomando como base la norma ISO 14224 para definición de los diferentes agentes de riesgo y sus límites. Luego se crea un grupo interdisciplinar que es el líder del mantenimiento y el encargado de ponderar cada uno de los factores, se procede a estipular el modo de calcular las consecuencias de cada falla, su categoría según el grado de criticidad que presenta y el nivel de atención que requiere y con todo esto, se diseña un cronograma jerárquico de ejecución de las tareas de mantenimiento.

Posteriormente se seleccionan los índices que describen eficazmente el desempeño del proceso (teniendo esencialmente en cuenta sus objetivos), se implementan en el sistema de información SAP y adicionalmente se crea un manual - instructivo para el manejo del programa. Finalmente se define la metodología para preservar el control de la actividad en el tiempo, a través de la alimentación, cálculo y monitoreo de sus indicadores.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.. Director: Ing. Pedro José Díaz Guerrero. MSc.

## ABSTRACT

**TITLE:** MANAGEMENT MODEL FOR MOBILE EQUIPMENT MAINTENANCE OF CONCRETE PLANT FLORIDABLANCA AND SURATA OF CEMEX COLOMBIA S. A \*

**AUTHOR:** SUAREZ MARTINEZ, Javier Dario \*\*

**KEYWORDS:** Mixer, Stationary pump, Pumper, Reliability, Availability, Criticality, Functional failure, Failure mode, Risk, Checklist, Times of failure, Maintenance indicator, Work order, SAP

### DESCRIPTION:

In this work the maintenance management of mobile equipment, to know how efficient the implementation of Cemex maintenance policy in the production environment of its concrete plants Floridablanca and Surata evaluated; from this information strengths and weaknesses factors (SWOT Matrix) are identified and defined strategies to solve the various equipment failures.

An analysis of criticality by the method of weighted factors based on the concept of risk (applicable to the various failure modes of equipment) is designed, based on the ISO 14224 standard for defining the different risk agents and limits. an interdisciplinary group is the leader of maintenance and charge of weighing each of the factors is then created, proceed to stipulate how to calculate the consequences of each failure, its category according to the degree of criticality presented and the level of attention required for all this, a hierarchical implementation schedule of maintenance is designed.

Later indexes effectively describe the performance of the process (essentially taking into account its objectives) are selected, implemented in the SAP system information and additionally create a manual - instructions for program management. Finally it defined methodology to preserve control activity over time, through feeding, calculating and monitoring indicators.

---

\* Project of grade

\*\* Faculty of Engineering Physical Mechanical. School Engineering Mechanical. Director: Eng. Pedro José Díaz Guerrero. MSc.

## INTRODUCCIÓN

En Cemex Colombia S.A., los procesos de distribución y colocación del concreto, deben ser muy ágiles y deben garantizar la conservación de las características de la mezcla. La flota de equipo móvil se encarga de ejecutar estos procesos, esta flota está compuesta por camiones mezcladores – mixers (que llevan el producto hasta su destino) y por unidades de bombeo (que colocan el concreto en la obra exactamente donde se requiere). Esta flota es muy importante para producción y calidad, por tanto la compañía tiene estipulado un protocolo de mantenimiento que busca garantizar su conservación y disponibilidad.

En las plantas de concretos de Floridablanca y Suratá de la compañía, el proceso de mantenimiento del equipo móvil es centralizado y controlado desde Bogotá (Planta Américas), el departamento local de producción debe hacer seguimiento, dar apoyo y garantizar que se ejecute a cabalidad el protocolo estipulado.

Producción descuido el proceso de mantenimiento y debido a esto, se dejaron de alimentar las bases de datos y de llevar algunos registros que permiten el correcto flujo del proceso.

Todo aquello que se puede medir se puede controlar, de aquí radica la necesidad de definir el estado actual de la flota móvil y de evaluar su proceso de mantenimiento; para así poder definir una herramienta proactiva que monitoree el proceso. Este trabajo desarrollará una metodología para la creación de un modelo de gestión, creará los indicadores necesarios para monitorear eficazmente el desempeño del proceso y establecerá un modo de preservar el control de la actividad a través de la alimentación, cálculo y monitoreo de sus indicadores.

## 1. CEMEX COLOMBIA S.A.

Cemex fue fundada en 1906 en México, hoy día es una multinacional que cuenta con cerca de 46,500 empleados en todo el mundo. Su red de operaciones produce, distribuye y comercializa cemento, concreto premezclado, agregados y otros productos relacionados con la construcción; además de esto, participa activamente en los mercados de más de 50 países y se constituye como el líder mundial en el negocio de concretos.

Cemex Colombia S.A. llegó a Colombia en 1996, luego de la adquisición de Cementos Samper, Cementos Diamante y Central de Mezclas, hoy tiene presencia en más de 20 ciudades del país. Es la empresa líder nacional del mercado de concretos con el 35% de participación, es la segunda empresa más importante a nivel nacional con un 33% de participación en el mercado del cemento y tiene una contribución del 5% en el mercado de agregados, lo que lo constituye también como líder de ese sector dado que este mercado se encuentra fuertemente dominado por el comercio informal en el país.

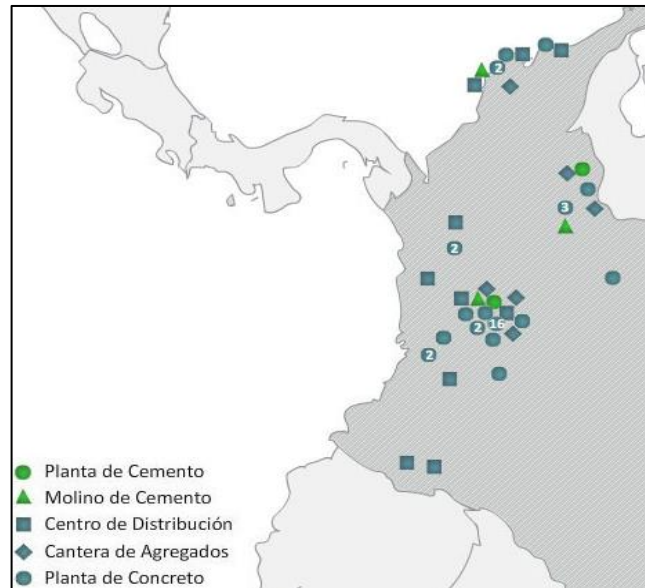
**Figura 1. Banderas CEMEX y Colombia.**



Fuente: CEMEX COLOMBIA [en línea] disponible en: [www.cemexcolombia.com](http://www.cemexcolombia.com)

Cemex Colombia S.A. posee 5 plantas de cemento, 69 plantas de concreto premezclado, 1 planta de mortero seco y 6 canteras de agregados en el país. Su número de empleados en Colombia asciende cerca de los 1.900 directos y más de 1500 indirectos.

**Figura 2. Plantas y Canteras de Cemex Colombia S.A**



Fuente: Cemex Latam Holdins. Acerca de Nosotros: Colombia. [www.cemexlatam.com](http://www.cemexlatam.com). [En línea] 2014. [Citado el: 7 de Noviembre de 2014.] <<http://www.cemexlatam.com/ES/AcercaNosotros/Colombia.aspx>>

## 1.1 VISIÓN Y MISIÓN.

- Visión: La visión desde el 2011 es impulsar el desarrollo del país ofreciendo soluciones para la construcción que generen bienestar a la gente construyendo un mejor futuro.
- Misión: Crear valor sostenido al proveer productos y soluciones líderes en la industria, para satisfacer las necesidades de construcción de sus clientes en todo el mundo.

## 1.2 POLÍTICA DE CALIDAD.

La política de calidad de Cemex Colombia S.A. consiste en satisfacer las necesidades de sus clientes, produciendo y comercializando productos y servicios que cumplan con estándares de calidad, a través del mejoramiento continuo, con la participación de un equipo humano comprometido y capacitado, trabajando en condiciones seguras y en armonía con el medio ambiente, brindando soluciones que generen bienestar a la comunidad y rentabilidad a los accionistas.

## 1.3 DESARROLLO SUSTENTABLE.

El desarrollo sustentable es parte integral de la principal estrategia de negocio y operaciones diarias. Cemex desea construir a un mundo más inteligente mediante un modelo simple y directo, que sigue tres líneas de acción:

**Figura 3. Modelo de Sostenibilidad Cemex**



Fuente: CEMEX DOMINICANA Modelo de sostenibilidad [en línea] disponible en: <http://www..com/sostenibilidad/ModeloSostenibilidad.aspx>

- i. Optimizar la creación de valor: Cemex busca ser líder en la industria en la construcción sustentable, promoviendo el desarrollo de infraestructura y el acceso a la vivienda.
- ii. Gestionar la huella ambiental: Cemex trabaja constantemente en la reducción de impactos ambientales con estrategias como la optimización del carbono que lo han hecho acreedor a reconocimientos mundiales por esta labor.
- iii. Trabajar con Grupos de Interés: En Cemex, se considera que la salud y la seguridad tienen una alta prioridad. Se busca continuamente brindar apoyo a las comunidades cercanas a las operaciones y vincular grupos de interés (practicantes).

#### **1.4 PROGRAMA DE PRÁCTICAS**

En Cemex Colombia existe una rotación aproximada de 150 estudiantes por año que potencializan sus conocimientos al interior de la organización. Los estudiantes tienen la oportunidad de iniciar su vida profesional en una de las empresas multinacionales más importantes del sector de la construcción a nivel mundial, con todo lo que eso conlleva en cuanto a experiencia y desarrollo profesional.

El practicante debe contar con el aval de la universidad para desarrollar la práctica, además de un buen promedio académico a lo largo de su carrera, un buen nivel de inglés, un manejo avanzado de Excel, ser proactivo, tener excelentes relaciones interpersonales y una actitud positiva frente al trabajo en equipo.

El pasante tiene la responsabilidad de elaborar un proyecto para desarrollar durante su estadía en la compañía, con objetivos alcanzables, cuantificables y

definidos en el tiempo; estos deben ser significativos para el pasante (para la Universidad), relevantes en los procesos de la compañía y se deben reportar avances cada dos meses.

**Figura 4. Practicante de Mantenimiento – Planta de concretos de Floridablanca**



Fuente: El autor

A demás del basto aprendizaje al enfrentarse a un complejo mundo industrial con problemas reales dentro de la compañía, el pasante recibe beneficios como: acompañamiento por parte un tutor o jefe inmediato, asignación de un Cemex ID asignado directamente desde México, que le permite tener acceso a equipos de oficina y muchas aplicaciones dentro de la empresa; el pasante es acogido como parte de la familia Cemex, se le asigna dotación completa y capacitación en seguridad industrial antes de empezar sus labores; se introduce al trabajo mediante el empalme y la inducción por el pasante a reemplazar.

La duración de la práctica es de 6 meses y puede ampliarse hasta 1 año dependiendo del beneficio de la práctica para la organización y para el pasante. El estudiante tiene la posibilidad de documentar su trabajo dentro de la organización

como tesis de grado, previo el establecimiento de un compromiso de confidencialidad con la información de parte del estudiante y de la Universidad. El estudiante recibe un auxilio económico, (apoyo que supera el ofrecido por petroleras como Ecopetrol) y en ocasiones también puede hacer uso de las rutas de transporte para acceder al lugar de trabajo, totalmente subsidiadas por la empresa; todo esto hace que el desarrollar pasantías en Cemex sea muy codiciado y a la vez competido.

## **1.5 EL CONCRETO CEMEX**

El concreto u hormigón es una roca artificial que se deja moldear como resultado de la mezcla entre cemento, agua, grava, arena y aditivos (se le añaden según su aplicación). Esta mezcla se endurece por medio de una reacción exotérmica entre sus componentes, hasta lograr consistencia pétreo. Sus propiedades físicas (durabilidad, impermeabilidad y resistencia a la compresión), lo hacen altamente empleado en la construcción de edificaciones de diversos tipos y en la protección de superficies expuestas a agentes químicos.

Cemex produce concreto premezclado conforme a las especificaciones del cliente y lo entrega directamente en las obras (usando camiones mezcladores y bombas de concreto). Cemex, desarrolla soluciones basadas en un profundo conocimiento y aplicación de la tecnología del concreto, apoyándose en años de experiencia, una base mundial de conocimiento y expertise de vanguardia, que le permiten ofrecer a sus clientes “Concrete By Design” –concreto hecho a la medida.

Todos los concretos Cemex son producidos bajo un estricto control de calidad de las materias primas, además de esto, se monitorea todo el proceso con tecnología de punta.

## 2. CEMEX CONCRETOS BUCARAMANGA

Las plantas de concretos de Floridablanca y Suratá, con sus tres líneas de producción, atienden el negocio del concreto en toda Bucaramanga, su zona metropolitana, municipios aledaños y demás área de influencia en el departamento de Santander; por esta razón el conjunto de estas plantas se conoce como Cemex Concretos regional Bucaramanga. Todas las operaciones de esta regional, son dirigidas por el ingeniero mecánico – UIS, Horacio Blanco, Gerente de la “zona norte del país” y administrador de todas las plantas de concretos Cemex en los departamentos de Santander, Norte de Santander y Cesar.

En las plantas de concretos denominadas Cemex Bucaramanga, el departamento de calidad elabora la receta de cualquier tipo de concreto según los requerimientos del cliente, producción se encarga de elaborar la mezcla garantizando que cada componente se agregue en las proporciones adecuadas y que el proceso de mezclado sea el apropiado; el departamento de calidad realiza pruebas de resistencia, elasticidad y otras, hasta determinar la conformidad en las propiedades; finalmente el equipo móvil (bombas y mixers) se encarga de la distribución y colocación oportuna del concreto asegurando que este mantenga sus propiedades hasta su fraguado.

Todos los procesos en Cemex Concretos Bucaramanga, se encuentran subdivididos y adscritos a dos centros de costo diferentes, de la siguiente manera:

- **Producción y distribución del concreto:** A este centro de costos se cargan todos los gastos de producir y distribuir el concreto, a él ingresan todas las rentas por ventas de concreto en metros cúbicos [m<sup>3</sup>]. El valor del m<sup>3</sup> de

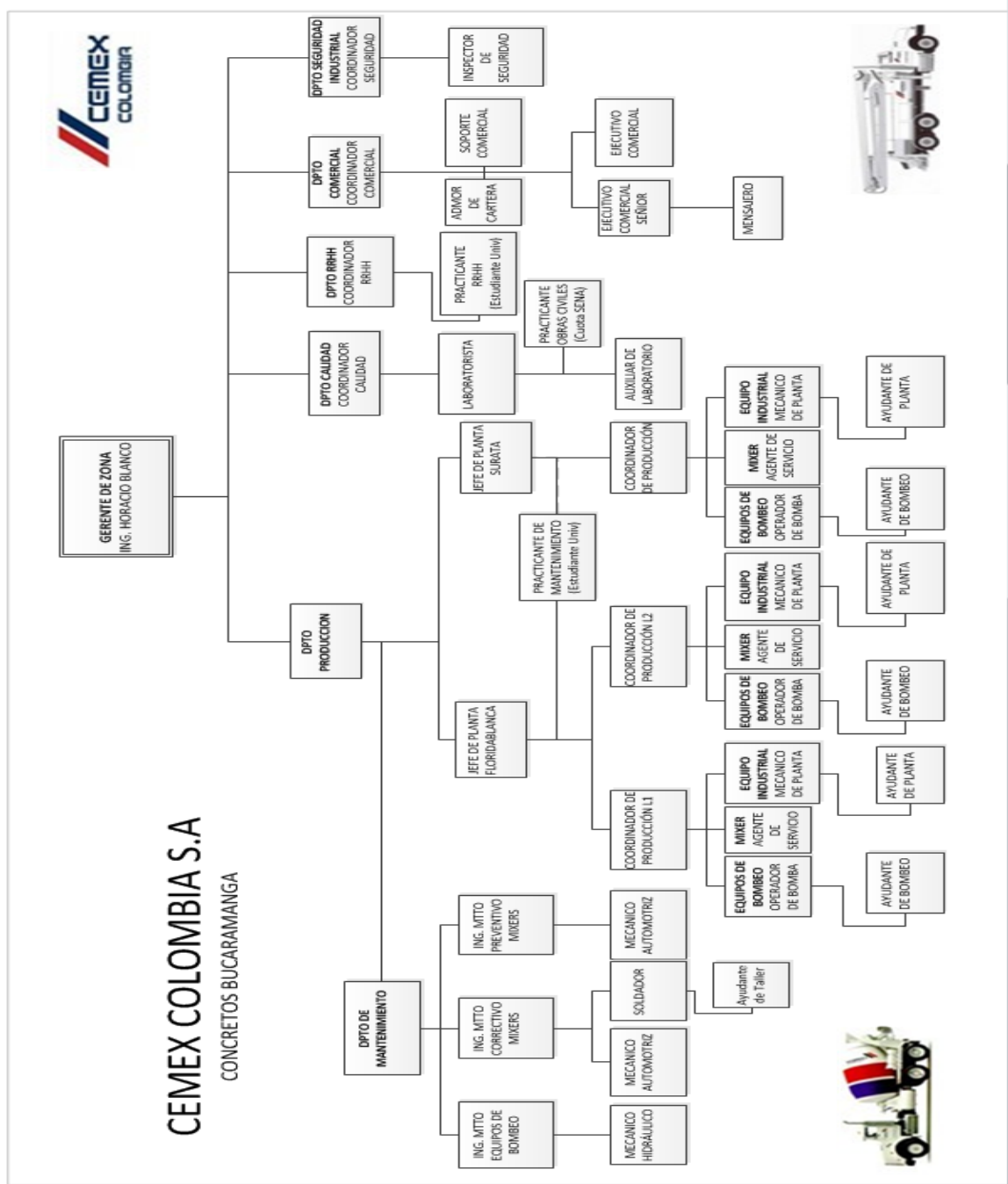
concreto incluye el transporte del concreto hasta el sitio de la obra y la descarga directa del camión mixer.

- **Colocación o bombeo del concreto:** Aquí se cargan todos los gastos de colocar el concreto específicamente en el punto de la obra donde se requiere, su descarga se realiza con la ayuda de un equipo de bombeo (Bomba estacionaria o autobomba). A este centro de costos ingresan todas las rentas por ventas de los servicios de bombeo de concreto por metro cúbico [m<sup>3</sup>] bombeado. El valor del metro cúbico de concreto bombeado incluye únicamente su colocación con el equipo de bombeo, no cubre el valor del metro cúbico de concreto como tal.

Cemex posee un sistema de producción altamente tecnificado y automatizado que se controla mediante un software de producción, este está implementado en todas sus plantas a nivel mundial y es operado por el Coordinador de producción que generalmente es un ingeniero mecánico. Desde la oficina de control, este ingeniero recibe las órdenes de producción del centro de servicios (área comercial que elabora la programación diaria) y programa la planta en el software para que elabore la receta requerida (Dosificando las materias primas).

## 2.1 ORGANIGRAMA

Figura 5. Organigrama Cemex Concretos Bucaramanga



Fuente: El autor

## 2.2 PLANTA DE CONCRETOS FLORIDABLANCA

Se encuentra ubicada en Floridablanca Santander, a la altura del Km. 2 vía Piedecuesta, contigua a la estación de policía de Floridablanca, cuenta con dos líneas de producción: - Florida línea 1 (F016) y - Florida línea 2 (F066), cada una posee una planta diferente para la producción de concreto y un único jefe de planta, el ingeniero civil Saúl Eduardo Quintero.

Dentro de esta planta se encuentran las oficinas de la gerencia de zona norte del país (Santander, Norte de Santander y Cesar), del jefe de planta y una oficina para el coordinador de producción en cada línea; también se encuentran las instalaciones de la coordinación de los departamentos de recursos humanos, de calidad con su respectivo laboratorio (donde se realizan pruebas al producto para determinar su conformidad) y del área comercial con su administración de cartera; desde allí se controla el funcionamiento de estos procesos, tanto para la planta de Floridablanca como para la de Suratá.

A demás de esto en esta planta se cuenta con dos talleres para el mantenimiento de los camiones mixer y de los equipos de bombeo, dos zonas de lavado, una zona de pesaje con báscula electrónica (de cisternas de cemento, volquetas de agregados y camiones mixer) y dos cuartos de máquinas. Cada línea de producción tiene su propia planta de producción del concreto y un número de operarios (agentes de servicio y operadores de bomba) y equipos móviles (camiones mixer y bombas) asignados según la capacidad de producción instalada.

**LÍNEA 1:** Identificada con código F016, su capacidad de producción instalada es 500 m<sup>3</sup>/día y cuenta con una planta tipo premezcladora de concreto.

**Figura 6. Florida línea 1**



Fuente: El autor

Esta línea de producción tiene asignados un personal de 25 agentes de servicio, que se encargan de la distribución del concreto en 16 camiones mixer y 5 operadores de bomba, que cuentan con la colaboración de 4 ayudantes de bombeo, para la operación de 3 bombas con las que ejecutan la colocación del concreto.

**LÍNEA 2:** Su código de identificación es F066, su capacidad de producción instalada es 350 m<sup>3</sup>/día y cuenta con una planta dosificadora para la fabricación de concreto. Esta línea de producción tiene asignados 15 agentes de servicio y 3 operadores de bomba, que se apoyan en 2 ayudantes de bombeo; su equipo móvil adscrito está conformado por 10 camiones mixer y 2 bombas.

**Figura 7. Florida línea 2**



Fuente: El autor

### **2.3 PLANTA DE CONCRETOS SURATÁ**

Se encuentra ubicada en el municipio de Suratá Santander a la altura del Km. 4 vía al mar, tiene una única línea de producción: - Suratá (F017), esta posee una planta dosificadora para la producción de concreto. Su jefe de planta es el ingeniero mecánico UIS, Sergio Andrés Caballero Martínez.

**Figura 8. Silos planta surata.**



Fuente el autor

Dentro de esta planta se encuentran la oficina del jefe de planta y el coordinador de producción; así también, un laboratorio de calidad (donde se realizan pruebas al producto para determinar su conformidad), un taller para el mantenimiento de los camiones mixer y equipos de bombeo, una zona de lavado, una zona de pesaje con báscula electrónica (de cisternas de cemento, volquetas de agregados y camiones mixer) y un cuarto de máquinas.

La coordinación del departamento de Seguridad Industrial se localiza en esta planta, este departamento se encarga de asegurar condiciones seguras de salud en el trabajo, tanto para las operaciones de la planta de Floridablanca como para las de Suratá.

Esta planta tiene asignados un total de 18 agentes de servicio y 2 operadores de bomba, estos trabajadores con la colaboración de 2 ayudantes de bombeo, se encargan de la operación de 14 camiones mixer y 1 bombas que es el equipo móvil asignado a la planta de cuerdo a los 350 m<sup>3</sup>/día, que es su capacidad de producción instalada.

## **2.4 PRODUCCIÓN DEL CONCRETO**

La producción del concreto inicia con la recolección y almacenamiento de las materias primas. Los principales componentes del concreto son suministrados por otros segmentos de la empresa: Cemex Cementos y Cemex agregados.

El cemento se provee en cisternas desde las Plantas de cementos de Cúcuta y Bogotá y al llegar a la planta (Floridablanca o Suratá) es almacenado en silos verticales para protegerlo de cualquier agente húmedo. El cemento se dosifica con la ayuda de los sensores incorporados de peso y volumen que posee el silo, luego

se transporta hacia el lugar donde se realizará el mezclado o descarga, de acuerdo al tipo de planta.

**Figura 9. Cisterna transportadora de cemento a granel.**



Fuente: El autor.

La arena, grava y demás agregados son suministrados por la planta de agregados de Bucaramanga y estos se almacenan junto a la planta al aire libre, posteriormente son llevados por un malacate (Florida línea 1), una banda transportadora (Florida línea 2) o un cargador frontal (Suratá), a tolvas en donde son dosificados por peso y/o volumen, según el tipo de concreto a fabricar.

**Figura 10. Almacenamiento de agregados, Planta Florida F016**



Fuente: El autor

El agua se almacena en tanques de gran capacidad y se bombea hasta el lugar del mezclado en la planta a través de una tubería dotada de electroválvulas que controlan el flujo ( $m^3$ ) que requiere la mezcla, estas válvulas son controladas por el software de producción.

Los aditivos (sustancias químicas solubles en agua que alteran las características como el asentamiento, la manejabilidad y el tiempo de fraguado del concreto) se almacenan en tanques y se conducen hacia la zona de mezclado al igual que el agua, la cantidad de aditivo es restada automáticamente a la cantidad de agua por el software de producción.

Las proporciones adecuadas de las materias primas para la elaboración del concreto se llevan: - En una planta premezcladora (F016), a un tambor que se encarga de homogenizar la mezcla para descargarla lista a través del embudo de cargue en el mixer. - En una planta dosificadora (F017 y F066), directamente al mixer, a través del embudo de cargue y es el camión quien se encarga de todo el proceso de mezclado.

## **2.5 DISTRIBUCIÓN DEL CONCRETO**

El transporte de concreto se realiza en los mixer o camiones mezcladores, los cuales están formados por un chasis de 3 ejes y un sistema hidráulico empleado para el mezclado del producto en un tambor (montado sobre el chasis), que se conoce como olla, trompo o mezclador.

El concreto es un producto perecedero, su curva de fraguado (endurecimiento) empieza prácticamente después de efectuar la mezcla entre el agua y el cemento (material adherente), por eso es muy importante garantizar el movimiento permanente de la olla mientras haya producto en su interior.

## **2.6 COLOCACIÓN DEL CONCRETO**

Se entiende por colocación de concreto la manipulación y ubicación del producto hasta el lugar en donde se requiere que fragüe y forme algún elemento como por ejemplo una columna, una placa, un muro o una cimentación.

Existen varios métodos de colocación que van desde el uso de palas manuales (generalmente en obras pequeñas), baldes movilizados con torre grúa, hasta el uso de equipos especializados diseñados para bombear concreto (empleado en construcciones de mayor magnitud y alcances complejos). Los sistemas de colocación incluyen también herramientas empleadas para la compactación del concreto como por ejemplo los vibradores de aguja, las reglas vibratorias y los rodillos; uno de los objetivos de la compactación es la eliminación total de burbujas de aire que puedan afectar la homogeneidad y la resistencia del concreto cuando este se fragüe completamente.

La colocación comprende el proceso de bombeo en la obra para fundir distintos elementos como:

Este proceso tiene tiempos de ciclo muy variantes en función del elemento a fundir, de la disponibilidad del concreto para bombear, de la disponibilidad del cliente y del estado físico de la bomba.

Para Cemex es un proceso muy importante dado que amarrado a la venta de este servicio se asegura la compra del concreto, muchas concreteras pequeñas no cuentan con el servicio o tienen pocos equipos de bombeo.

Dado que el estado físico-mecánico de las bombas y camiones mixer afecta este proceso es del interés de Cemex tener equipos confiables y disponibles.

## **2.7 EQUIPO MÓVIL**

La flota de equipo móvil de las plantas de concretos Floridablanca y Suratá está compuesta por 40 camiones revolvedores (mixers) y 6 bombas de concreto (2 autobombas y 4 bombas estacionarias) que se encargan de la distribución y colocación del concreto respectivamente.

La planta de concretos Floridablanca tiene asignados 26 equipos mixers y 5 equipos de bombeo de los cuales 2 son autobombas y 3 son bombas estacionarias. La planta de concretos Suratá tiene asignados 14 equipos mixers y 1 bomba estacionaria.

Las mixers tienen una capacidad de 6, 7 o 8 m<sup>3</sup> y se encuentran en marcas International y Mack, las bombas son marca Putzmester y Schwing.

**Tabla 1. Flota de Mixer**

<b>Planta</b>	<b>Placa</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>Linea</b>	<b>Marca olla</b>	<b>Cap. [m<sup>3</sup>]</b>
FLORIDA	UFQ428	1998	MACK	MR-690S	CIFA	7
FLORIDA	UFQ477	1998	MACK	MR-690S	CIFA	7
FLORIDA	SRE270	1999	MACK	MR-690S	CIFA	7
FLORIDA	SRE335	1999	MACK	MR-690S	CIFA	7
FLORIDA	SRE343	1999	MACK	MR-690S	CIFA	7
FLORIDA	SRE437	1999	MACK	MR-690S	CIFA	7
FLORIDA	T0535	2002	MACK	DM-690S	MCNEILUS	8
FLORIDA	T0205	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA	T0303	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA	T0415	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA	T0454	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA	BRA297	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	7
FLORIDA	BRA859	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	7
FLORIDA	BRD146	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	7
FLORIDA	BRD154	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	7
FLORIDA	BRD265	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	7
FLORIDA	T0439	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA	T0631	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA II	T0260	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA II	T0527	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA II	T8616	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA II	T8628	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA II	T0289	2003	MACK	DM-690S	MCNEILUS	8
FLORIDA II	T0549	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA II	T8611	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
FLORIDA II	BYE848	2007	INTERNATIONAL	7600i	MCNEILUS	8
SURATA	UFQ440	1998	MACK	MR-690S	CIFA	7

Planta	Placa	Modelo	Marca	Linea	Marca olla	Cap. [m <sup>3</sup> ]
SURATA	UFQ473	1998	MACK	MR-690S	CIFA	7
SURATA	SRE280	1999	MACK	MR-690S	CIFA	7
SURATA	T0267	2002	MACK	DM-690S	MCNEILUS	8
SURATA	T0307	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
SURATA	T0583	2003	MACK	CV-713	MCNEILUS	8
SURATA	T0429	2003	MACK	DM-690S	MCNEILUS	8
SURATA	BNU478	2004	MACK	CV-713	CIFA	7
SURATA	BRA839	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	7
SURATA	BRC407	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	7
SURATA	BRD163	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	7
SURATA	T0574	2005	MACK	CV-713	MCNEILUS	8

**Tabla 2. Flota de Equipos de bombeo**

Ubicación	Tipo de equipo	Placa bomba	Marca eq. Bomba	Bomba	Modelo bomba	Descripción camión
FLORIDA	Bomba estacionaria	BC-5302	CIFA	PC907	1995	Camion chevrolet bmy488 kodiak ce6128
SURATA	Bomba estacionaria	BC-5205	SCHWING	BP 2000	2007	Camión cvv663 4600 international ce6118
FLORIDA II	Bomba estacionaria	CXF541-1	SCHWING	WPT-70	2007	Camión cxf541 international ce6117
FLORIDA II	Autobomba	BP-95206	SCHWING			Camión doble troque ziw345 international
FLORIDA	Autobomba	BP-0490	SCHWING	2023 - 110/65		Camión doble troque t0627 international
FLORIDA	Bomba estacionaria	BC-5208	PUTZMEISTER	TK70	2012	Camion tly003 chevrolet frr 700p ce6131

**2.7.1 Camión mezclador (mixer)** El camión mixer (conocido también como camión-hormigonera, camión mezclador y/o agitador), consiste en un camión equipado con una hormigonera. Debido a esta disposición, le es posible transportar hormigón premezclado al mismo tiempo que procede a su amasado. Es el método más seguro y utilizado para transportar hormigón en trayectos largos y es poco vulnerable en caso de un retraso.

El camión mixer se presenta en dos versiones, la mezcladora que es la más común, más conocida como camión mixer y la agitadora. La primera trabaja en estrecha relación con las centrales dosificadoras en seco, de las cuales recibe la mezcla para proceder a su amasado, mientras que las segundas trabajan en combinación con las centrales amasadoras teniendo sólo la misión de agitar y transportar el hormigón.

El mixer posee una capacidad que oscila normalmente entre 6 y 8 m<sup>3</sup> (actualmente hay equipos de mayor volumen), siendo más frecuentes en la actualidad valores cercanos a este último.

**Figura 11. Camión Mixer Cemex**



**2.7.1.1 Funcionamiento** El motor del camión se encuentra trabajando entre 1.800 a 2.100 revoluciones por minuto. La bomba hidráulica situada en la parte delantera, toma de dicho motor una fuerza (a través de un cardan) la cual genera un cierto caudal de aceite y a una alta presión. Dicha presión hace trabajar el motor hidráulico, generándose en éste una cierta energía de tipo rotacional y en una cierta cantidad de revoluciones por minuto. El reductor planetario, reduce la alta cantidad de revoluciones en el motor hidráulico, transmitiéndola finalmente al tambor (aprox. 15-20 rpm). Esto sucede durante el mezclado, pero es válido para la agitación del hormigón, sólo que a una menor cantidad de revoluciones (2 – 6 rpm).

Los camiones agitadores y los mezcladores son prácticamente iguales en cuanto a modelo y sistema de funcionamiento, diferenciándose solamente en la configuración de las paletas helicoidales internas de la cuba o tambor. La cuba amasadora dispone de paletas con una cierta inclinación y con “pestañas” de ataque, con el objeto, esto último, de evitar que el hormigón pase de largo en el ciclo rotatorio del tambor, impulsándolo hacia abajo y como la paleta está levemente inclinada, el hormigón se mezclará uniformemente y en forma óptima.

Las cubas agitadoras, como no tienen la responsabilidad de amasar, puesto que reciben la mezcla lista, disponen de paletas helicoidales con poca o nula inclinación y sin “pestañas” de ataque, prácticamente lisas y esto con el objeto de permitir que el hormigón pase de largo, en la rotación del tambor, agitándose solamente a velocidad de 2 a 6 revoluciones por minuto.

### **2.7.1.2 Especificaciones técnicas**

- Motor ecológico, de 6 cilindros y 12000 cc Diesel, turbo alimentado, con intercooler. Potencia aproximada de 300HP.
- Freno de motor.

- Sistema de partida.
- Filtro de aire con prelimpiador.
- Compresor de aire con tapa antilluvia.
- Radiador de 1000 pulg<sup>2</sup>.
- Separador de agua/combustible.
- Bomba cebadora de combustible manual.
- Embrague (2 discos)
- Transmisión de 7 velocidades.
- Mangueras de radiador y motor de neoprene.
- Cabina desplazada lado izquierdo.
- Calefacción y descongelador.
- Terminación interior Trim II.
- Tacómetro con horómetro electrónico.
- Velocímetro métrico electrónico.
- Bocina eléctrica y de aire 1 trompeta.
- Señalizadores delanteros y traseros.
- Luces de marcación.
- Espejos laterales.
- Espejos convexos.
- Capot y tapabarros delanteros de fibra de vidrio.
- Columna dirección ajustable.
- Chasis 13 3/8"x 3 1/4"x 3/8"
- Refuerzo de chasis 1/4"
- Travesaño chasis detrás cabina especial para montaje bomba mixer.
- Travesaños detrás bogie en viga I.
- Distancia entre ejes 222".
- Largo de plataforma 230".
- Tiro delantero gancho.
- Estanque combustible de 50 gal. izquierdo.

- Eje delantero de 20000 lbs. de capacidad.
- Resortes delanteros desiguales, especiales para mixer.
- Engranaje de dirección 592S.
- Dirección hidráulica integral.
- Eje trasero capacidad: 44000 lb
- Bloqueador del divisor de potencia.
- Resortes antiladeo.
- Relación diferencial 5.32.
- Bogie Con distancia entre ejes de 50".
- Neumáticos delanteros 385/65R22.5 18J
- Neumáticos traseros 11R22.5
- Llaves de ruedas.
- Frenos de aire doble circuito.
- Frenos auxiliares de emergencia.
- Válvula manual, control frenos traseros.
- Toma de fuerza montado en parte trasera del motor para accionar bomba de la betonera.
- Betonera de 10.5 yd (capacidad variable)

## 2.7.2 Autobomba

**Figura 12. Autobomba Cemex.**



Fuente: El autor

- Son bombas de concreto que han sido montadas sobre el chasis de un camión y adicionalmente cuentan con una pluma distribuidora. Pueden tener o no motor independiente, de acuerdo con la capacidad del cabezote y operan con sistemas de bombeo muy diferentes.
- Sólo en casos donde el alcance del brazo no cubre el área de vaciado, se le adiciona tubería con el fin de llegar al sitio de colocación.
- Aunque las autobombas son equipos versátiles y de rápida instalación, tienen restricciones en cuanto al alcance del brazo y por el espacio físico para ubicarlas y operarlas.

Dentro de las condiciones para utilizar las autobombas se debe tener en cuenta:

- El brazo debe estar por lo menos a 5 m de la línea de electricidad, con el fin de prevenir cortos circuitos en la red, daños al equipo y lesiones al personal tanto de la obra como del equipo de bombeo.

- El área debe estar libre de postes, torres, grúas, o cualquier elemento que impida la normal operación del brazo de la bomba.
- La operación del equipo sólo necesita una persona, que mediante control remoto opera todo el sistema de bombeo y los movimientos del brazo.
- La capacidad de estos equipos oscila entre los 42 y los 60 m<sup>3</sup> por hora, dependiendo de la agilidad de recibo de la obra.

### 2.7.3 Bomba estacionaria

**Figura 13. Bomba estacionaria Cemex.**



Fuente: El autor

- Estos equipos pueden montarse sobre camión o ser remolcados; no llevan pluma de distribución, por lo que su instalación y agilidad depende en gran parte de los escarpados; no llevan pluma de distribución, gran parte de los encargados del montaje de la tubería y de la participación que tenga el personal de la obra.
- El camión utilizado para remolcar o soportar la bomba, aloja la tubería y las abrazaderas así como todos los elementos necesarios para el normal funcionamiento del equipo.

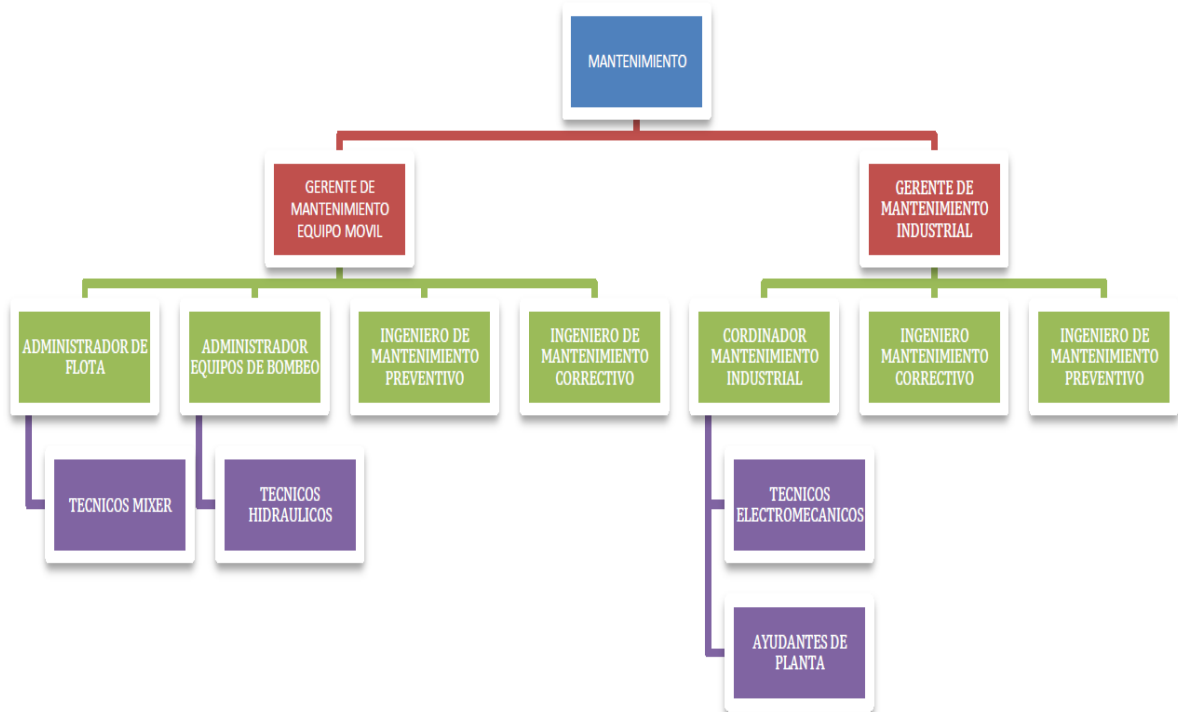
- Su instalación es lenta y se inicia con el bloqueo del equipo, seguido por la instalación de la tubería la cual se debe apoyar sobre camillas y amarrar a cualquier estructura que no permita el desplazamiento de la misma. Una vez instalada la tubería, se procede a la purga con una mezcla de mortero, que lubrica internamente los tubos y evita posibles obstrucciones. Es de anotar que este procedimiento se sigue de igual forma en las autobombas.
- Las bombas estacionarias varían en su capacidad de colocación por hora, dependiendo de las características del motor, del tamaño de los pistones, de la longitud de los cilindros y de la capacidad de la bomba hidráulica.
- A diferencia de las autobombas, el espacio que requiere una bomba estacionaria es mucho menor y la tubería se puede instalar hasta donde se requiera colocar el concreto, llegando a alcanzar distancias de 300 m horizontales y 100 m verticales.
- Las bombas estacionarias requieren para su operación de un operador y de un ayudante, los cuales se encargan de instalar y trasladar la tubería.
- Debido al traslado de la tubería y por el manejo de la manguera de descarga, la capacidad de las bombas estacionarias oscila entre 24 y 42 m<sup>3</sup> por hora, con presiones dentro de la tubería de aproximadamente 130 bares.

## **2.8 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL**

El mantenimiento del equipo móvil de las plantas de concretos Floridablanca y Suratá tiene por objetivos:

- Garantizar la disponibilidad operativa de los equipos asegurando la integridad física de los conductores.

**Figura 14. Estructura Organizacional de área de mantenimiento**



Fuente: Tesis: Propuesta de mejoramiento al plan de mantenimiento del equipo móvil de las plantas de concreto de Cemex Premezclados S.A ubicadas en la ciudad de Bucaramanga.

Para alcanzar sus objetivos, El departamento de mantenimiento de Cemex tiene definidas las siguientes rutinas:

**Mantenimiento autónomo:** Mantenimiento basado en actividades de inspección, limpieza, ajuste y revisiones del equipo llevado a cabo por el personal operativo: Agente de servicio (A.S) y Operador de Bomba (O.B) que no hace parte del personal de mantenimiento eléctrico o mecánico.

El objetivo de este mantenimiento es verificar condiciones seguras de operación. Para realizar este trabajo los A.S y O.B deben diligenciar unos formatos “Check list” que se tienen definidos para el reporte de las fallas.

Lo programado es que los operarios revisan diariamente los equipos a través de Check List y si detectan alguna condición insegura se reporta al administrador de flota quien toma la decisión si el equipo debe salir a operar o ir a mantenimiento.

Los Check list deben entregarse semanalmente debidamente diligenciados.

**2.8.1 Mantenimiento Correctivo** El objetivo que se tiene planeado para este tipo de mantenimiento es atender y dar solución a las fallas que se presenten día a día en los equipos y que se detectan en el mantenimiento autónomo.

No existe una metodología formal para el desarrollo de este tipo de mantenimiento ni se programa la ejecución de las tareas.

**2.8.2 Mantenimiento Preventivo** Se tiene planeada una estrategia de mantenimiento preventivo para cada equipo, todas las actividades a realizar y la periodicidad de las mismas se encuentran estipuladas en el sistema de gestión SAP.

Existen (3) tres rutinas diferentes de mantenimiento preventivo para cada equipo móvil, estas rutinas son diferentes para los equipos mixer y para los equipos de bombeo.

Las tareas de mantenimiento preventivo de tipo M1, M2 y M3 se deben llevar a cabo cada vez que el equipo cumpla con el número de horas trabajadas preestablecidas y siempre y cuando se haya alimentado la información del Horómetro del equipo en el sistema SAP.

Es responsabilidad del personal en mención: A.S y O.B, registrar el horómetro del equipo en la planilla de tanqueo cada vez que se realice este abastecimiento.

**Tabla 3. Rutinas de Mantenimiento Preventivo para equipos Mixer**

<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>RUTINA (frecuencia)</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES</b>
MIXER	M1 (600 o 750 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavado), Engrase y cambio de graseras dañadas, Cambio y adición de lubricantes, Cambio de filtros del Motor y del Agua, Cambio de filtros de Aire, combustible y demás fluidos si lo requieren.</li> <li>• Revisión y ajuste general del equipo (Transmisión, Dirección, Sist. de Suspensión, Sist. de Frenos, Olla, componentes eléctricos y electrónicos)</li> </ul>
MIXER	M2 (1.200 o 1.500 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavado), Engrase y cambio de graseras dañadas, Cambio y adición de lubricantes, Cambio de filtros del Motor y del Agua, Cambio de filtros de Aire, combustible y demás fluidos si lo requieren.</li> <li>• Revisión y ajuste general del equipo (Transmisión, Dirección, Sist. de Suspensión, Sist. de Frenos, Olla, componentes eléctricos y electrónicos)</li> <li>• Revisión detallada de la Olla (según marca) y el desgaste de las aletas.</li> <li>• Control de tiempos de Mantenimiento Preventivo</li> </ul>
MIXER	M3 (2.400 o 3.000 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavado), Engrase y cambio de graseras dañadas, Cambio y adición de lubricantes, Cambio de filtros del Motor y del Agua, Cambio de filtros de Aire, combustible y demás fluidos si lo requieren.</li> <li>• Revisión y ajuste general del equipo (Transmisión, Dirección, Sist. de Suspensión, Sist. de Frenos, Olla, componentes eléctricos y electrónicos)</li> <li>• Revisión detallada de la Olla (según marca) y el desgaste de las aletas.</li> </ul>

**Tabla 4. Rutinas de mantenimiento para equipos de bombeo**

<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>RUTINA (frecuencia)</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES</b>
CAMIÓN	M1 (600 o 750 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavado), Engrase y cambio de graseras dañadas, Cambio y adición de lubricantes, Cambio de filtros del Motor y del Agua. Cambio de filtros de Aire, combustible y demás fluidos si lo requieren.</li> <li>• Revisión y ajuste general del equipo (Transmisión, Dirección, Sist. de Suspensión y Sist. de Frenos)</li> <li>• Revisión del sistema eléctrico y electrónico tipo A.</li> </ul>
CAMIÓN	M2 (1.200 o 1.500 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavado), Engrase y cambio de graseras dañadas, Cambio y adición de lubricantes, Cambio de filtros del Motor y del Agua, Cambio de filtros de Aire, combustible y demás fluidos si lo requieren.</li> <li>• Revisión y ajuste detallado del equipo (Transmisión, Dirección, Sist. de Suspensión, Sist. de Frenos y Sist. Hidráulico)</li> <li>• Revisión detallada del sistema eléctrico y electrónico.</li> </ul>
CAMIÓN	M3 (2.400 o 3.000 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavado), Engrase y cambio de graseras dañadas, Cambio y adición de lubricantes, Cambio de filtros del Motor y del Agua, Cambio de filtros de Aire, combustible y demás fluidos si lo requieren.</li> <li>• Revisión y ajuste detallado del equipo (Transmisión, Dirección, Sist. de Suspensión, Sist. de Frenos y Sist. Hidráulico)</li> <li>• Revisión detallada del sistema eléctrico y electrónico</li> </ul>

<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>RUTINA (frecuencia)</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES</b>
BOMBA ESTACIONARIA	M1 (600 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavar: motor, chasis, sistema de bombeo), Engrase detallado del equipo, Cambio y adición de lubricantes.</li> <li>• Cambio de filtros del Motor, Aire y combustible.</li> <li>• Revisión y ajuste general del equipo de bombeo (Pistones de empuje, Enfriador del aceite, Mandos hidráulicos, Acumulador, Unión Válvula Rock, anillo de Corte y anillo de Presión, Válvulas</li> <li>• Revisión del sistema eléctrico tipo A.</li> </ul>
BOMBA ESTACIONARIA	M2 (1.200 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavar: motor, chasis, sistema de bombeo), Engrase detallado del equipo, Cambio y adición de lubricantes.</li> <li>• Cambio de filtros del Motor principal, Aire y combustible, Aceite hidráulico, Filtro enfriador, Filtro del bloque de Válvulas.</li> <li>• Revisión y ajuste general del equipo de bombeo (Enfriador del aceite, Mandos hidráulicos, Acumulador, Unión Válvula Rock, anillo de Corte y anillo de Presión, Válvulas</li> <li>• Revisión del sistema eléctrico tipo B</li> </ul>
BOMBA ESTACIONARIA	M3 (3.000 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo (Lavar: motor, chasis, sistema de bombeo), Engrase detallado del equipo, Cambio y adición de lubricantes.</li> <li>• Cambio de filtros del Motor principal, Aire y combustible, Aceite hidráulico, Filtro enfriador, Filtro del bloque de Válvulas</li> <li>• Revisión y ajuste general del equipo de bombeo (Enfriador del aceite, Mandos</li> </ul>

<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>RUTINA (frecuencia)</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES</b>
		hidráulicos, Acumulador, Unión Válvula Rock, anillo de Corte y anillo de Presión, Válvulas <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de pistones de empuje (2500 m3)</li> <li>• Revisión del sistema eléctrico tipo B</li> </ul>
AUTOBOMBA	M1 (750 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo</li> <li>• Inspeccionar cada uno de los soportes del brazo, del tanque hidráulico, del motor auxiliar (si posee), de la cámara de refrigeración, de la tolva y de los cilindros de apoyo y accionamiento (delanteros y traseros)</li> <li>• Revisar cada manguera y sello buscando fugas o fisuras</li> <li>• Revisión y ajuste general del sistema de lubricación y toma de muestras de aceite hidráulico y de motor</li> <li>• Revisión del sistema eléctrico tipo A</li> <li>• Revisión detallada del Boom: Brazos 1, 2, 3 Y 4</li> </ul>
AUTOBOMBA	M2 (1500 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo y Cambio y adición de lubricantes.</li> <li>• Inspeccionar cada uno de los soportes del brazo, del tanque hidráulico, del motor auxiliar (si posee), de la cámara de refrigeración, de la tolva y de los cilindros de apoyo y accionamiento (delanteros y traseros)</li> <li>• Revisar cada manguera y sello buscando fugas o fisuras</li> <li>• Revisión y ajuste general del sistema de lubricación y toma de muestras de aceite hidráulico y de motor.</li> <li>• Comprobar y tomar nota de la Presión del Brazo y de bombeo</li> </ul>

<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>RUTINA (frecuencia)</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES</b>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar anillos de presión, de desgaste y placa gafas. Cambio de pistones de trabajo (2500 m3). Si es posible girar piezas de desgaste</li> <li>• Cambio de filtros del hidráulico, del enfriador y del bloque de válvulas (si lo posee)</li> <li>• Revisión del sistema eléctrico tipo B.</li> <li>• Toma de tiempos de mantenimiento preventivo</li> <li>• Revisión detallada del Boom: Brazos 1, 2, 3 Y 4</li> </ul>
AUTOBOMBA	M3 (3.000 hrs)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limpieza General del equipo y Cambio y adición de lubricantes</li> <li>• Inspeccionar cada uno de los soportes del brazo, del tanque hidráulico, del motor auxiliar (si posee), de la cámara de refrigeración, de la tolva y de los cilindros de apoyo y accionamiento (delanteros y traseros)</li> <li>• Revisar cada manguera y sello buscando fugas o fisuras.</li> <li>• Revisión y ajuste general del sistema de lubricación y toma de muestras de aceite hidráulico y de motor</li> <li>• Comprobar y tomar nota de la Presión del Brazo y de bombeo</li> <li>• Revisar anillos de presión, de desgaste y placa gafas. Cambio de pistones de trabajo (2500 m3). Si es posible girar piezas de desgaste</li> <li>• Cambio de filtros del hidráulico, del enfriador y del bloque de válvulas (si lo posee).</li> <li>• Revisión del sistema eléctrico tipo B.</li> <li>• Revisión detallada del Boom: Brazos 1, 2, 3 Y 4</li> </ul>

El planeador se encarga de la programación de las tareas de mantenimiento según los registros de los horómetros que la operación reporte. Estos registros generan una notificación en el sistema SAP que le indican cuando debe programar un equipo. La programación se envía semanalmente a las plantas en el siguiente formato:

**Tabla 5. Formato de programación semanal del mantenimiento**

		PROGRAMACION SEMANAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EQUIPO AUTOMOTRIZ											
PROGRAMACION MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMANA DEL 27 DE ENERO DE 2014 AL 01 DE FEBRERO DE 2016													
MIXER EXTERNAS													
LUNES 27	OT	MARTES 28	OT	MIÉCOLES 29	OT	JUEVES 30	OT	VIERNES 31	OT	SABADO 01	OT	DOMINGO 02	OT
				BPH673 ANAPOIMA	400001298615	T0564 CUCUTA	4000013227 21	T1520 CALI	40000131263 8	T0548 B/GUILLA	400001344336	T0422 CARTAGENA	400001386261
				T0217 ANAPOIMA	400001215300	T0531 CUCUTA	4000013227 37	T0334 CALI	40000133535 4	T0556 B/GUILLA	400001286175	T1531 CARTAGENA	400001305343
				BRD166 ANAPOIMA	400001386242	T0640 CUCUTA	40000138412 0	T0540 CALI	40000132272 5	T0679 B/GUILLA	400001287522	T1561 CARTAGENA	400001337857
						T0681 CUCUTA	40000138413 1	T0607 CALI	40000132273 9	T6873 B/GUILLA	400001264078	T0543 CARTAGENA	400001344339
								T0678 CALI	40000133276 3	T0621 B/GUILLA	400001286439	T6739 CARTAGENA	400001321345
												T6751 CARTAGENA	400001322744
												T6750 CARTAGENA	400001155030

**2.8.3 Mantenimiento Predictivo** Cemex tiene algunos trabajo de mantenimiento a condición, para esto realiza:

- Análisis del aceite de motor de los vehículos, cada vez que este se cambia. Esto se hace con el fin de monitorear el estado interno del motor y determinar cuándo debe realizarse su reparación.
- Medición de espesores de tubería y accesorios de los equipos de bombeo. Esto se hace con el fin de determinar cuándo deben cambiarse y así evitar accidentes por estallidos.

**2.8.4 Sistema de información SAP** El software SAP es un sistema de gestión que integra información de distintas áreas o módulos de la empresa (logística, finanzas, recursos humanos, mantenimiento, entre otras), en una base de datos centralizada para facilitar y agilizar la toma de decisiones.

**Figura 15. Logo SAP**



Fuente: WIKIPEDIA ENCICLOPEDIA LIBRE. SAP [en línea] disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/SAP\\_SE](https://es.wikipedia.org/wiki/SAP_SE)

SAP es un sistema modular, cada módulo realiza una función diferente pero está totalmente integrado con los demás, ofreciendo auténtica así compatibilidad entre todas las funciones de la empresa. A raíz de esto, un cambio en un módulo de aplicación automáticamente modificará los datos en los módulos involucrados. Todos los módulos tienen la misma interfaz de usuario para facilitar su operación.

SAP R/3 (Conocido como "All in One") es el nombre de un software ERP (Enterprise Resource Planning)\*

El término ERP corresponde a un tipo de sistema de cómputo integrado de gestión que permite controlar todos los procesos que se llevan a cabo en una empresa, a través de módulos.

SAP se encuentra dividido en varios módulos y estos a su vez en submódulos que, juntos, permiten el control y registro completo de las operaciones de la empresa.

**2.8.5 Personal de mantenimiento** El personal mecánico, encargado del taller de la empresa, es un contratista externo, son técnicos altamente capacitados y aptos para resolver casi cualquier tipo de falla. Los operadores de bomba, agentes de servicio y cada uno de los implicados en el proceso, deben velar por mantener los equipos en funcionamiento y reparar cualquier tipo de avería que se presente. Si

el daño está fuera del alcance del personal y nadie puede corregir la falla, se informa al jefe de planta, quien se encarga de gestionar y ubicar el personal idóneo para solucionar el problema.

**2.8.6 Stock de Repuestos** En Bogotá existe un almacén con un completo stock de repuestos, sin embargo en las plantas de Bucaramanga solo se tienen “consumibles”, lo demás debe solicitarse a Almacén o comprarse en Bucaramanga directamente.

**2.8.7 Tiempos de Mantenimiento** En las plantas de concretos de Bucaramanga no se llevan registros de tiempos de mantenimiento, historial de fallos ni tiempos de parada. Para la programación el planeador utiliza su expertise.


**2.8.8 Costos de Mantenimiento** Todo se lleva a través de órdenes de compra, no se vinculan los costos de mantenimiento asociados a las órdenes de trabajo, no se lleva una relación entre las fallas y los costos producidos.

**2.8.9 Indicadores de mantenimiento** El único indicador que se lleva, es la disponibilidad operativa de los equipos y se calcula de la siguiente manera: diariamente, al arranque de producción se hace la relación entre el número de equipos de la flota disponibles y el número total de equipos asignados y este valor multiplicado por 100 es el porcentaje de disponibilidad de la flota. El % de disponibilidad mensual es el promedio de las disponibilidades diarias.

$\% \text{ disponibilidad} = (\# \text{ equipos disponibles} / \# \text{ total de equipos asignados}) * 100$

Figura 16 Informe de arranque

FECHA	DIA	MES	AÑO
	4	Octubre	2013



**INFORME DE ARRANQUE  
BUCARAMANGA**

MIXER	
FLOTA ASIGNADA	40
DISPONIBLES	35
FLORIDA	17
FLORIDA 2	5
SURATA	11
GOMEZ	2

AGENTES DE SERVICIO	
AS ASIGNADOS	51
DISPONIBLES	47

BOMBAS	
FLOTA ASIGNADA	7
DISPONIBLES	6
AUTOBOMBA	3
ESTACIONARIA	3

PERSONAL BOMBEO	
BOMBEROS	10
DISPONIBLES	9
AYUDANTES	8
DISPONIBLES	7

VOLUMEN PROGRAMADO	
FLORIDA	350
FLORIDA 2	311
SURATA	312
TOTAL	973

ARRANQUE	
VIAJES PROGRAMADOS	30
VIAJES CARGADOS	18
VIAJES TOTAL DIA	153

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El gerente de la zona (Ing. Horacio Blanco) decide cambiar la cuota del practicante de la planta de concretos de Floridablanca, de un estudiante de ingeniería civil que se venía desarrollando mejoras en al área de calidad y actividades de apoyo en al área comercial, por un estudiante de ingeniería mecánica para que desarrolle propuestas de mejora en las áreas de producción y/o mantenimiento.

Después de un proceso de selección se elige al autor de este proyecto como practicante de la planta de concretos de Floridablanca por un periodo de seis meses. Se dio libertad al pasante de decidir en qué área de la empresa trabajar, se le sugirió plantear alternativas para mitigar el impacto ambiental durante la producción del concreto o implementar mejoras en los procesos de mantenimiento que se desarrollan en Concretos Bucaramanga.

Identificar un problema “desconocido” por la operación y en parte por el mismo departamento de mantenimiento, fue un trabajo arduo de varios meses, requirió primero que todo el acceso a los procedimientos internos de la compañía, Cemex como toda empresa importante es muy celosa en el manejo de su información interna y todo se maneja de manera confidencial, ejemplo de esto es que para avalar la documentación de este trabajo, previamente la compañía exigió tanto al autor como a la Universidad, la suscripción de un compromiso de dar a la información “Carácter Confidencial” y uso “Netamente académico” (Ver anexos).

La confidencialidad fue requerida ya que se solicitó acceder a la Norma control, documento que contiene todos los procedimientos internos de la compañía (RH,

mantenimiento, Producción, Comercial). Este acceso requirió la colaboración del departamento central de RRHH en México, para que con el número de empleado 99042429 asignado al practicante (identificación asignada a todos los empleados de la empresa), se asignara una identificación interna adicional “CEMEX ID” que permitiera acceder a los equipos de cómputo. Posteriormente se necesitó la ayuda del departamento de sistemas para la asignación de un correo institucional LOTUS con la plataforma norma control implícita.

Con el acceso a la Norma control, se pudo estudiar y aprender los procedimientos que la compañía tiene definidos para realizar el mantenimiento de sus equipos en las plantas de concretos de Floridablanca y Suratá. Así se pudieron evidenciar varias diferencias entre lo contemplado y lo que se venía ejecutando, se identificaron fallas en la gestión del protocolo de mantenimiento programado.

Para conocer más a profundidad las labores específicas que se ejecutan y el estado en el que se encontraba la gestión del mantenimiento se solicitó acceso al sistema de información de la empresa SAP (Ver anexo); con este acceso, la vivencia diaria de la ejecución de las tareas de mantenimiento, las reuniones y las encuestas realizadas a los operarios y mecánicos, finalmente se pudo definir plenamente problema.

### **3.2 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA**

Debido a la importancia de los procesos de distribución y colocación del concreto, se demanda un servicio altamente eficiente de los mismos, por esta razón el equipo móvil encargado de ejecutar estos procesos, tiene diseñado un protocolo de mantenimiento que busca garantizar la disponibilidad operativa de los equipos y la integridad de los operarios. Dicho protocolo contempla para su gestión y

control el reporte y registro de algunos factores: tiempos, fallos, lecturas de medidores (horómetro y odómetro), entre otros.

Hace algunos años en las plantas de concretos de Cemex Colombia S. A. existía la figura del “Inspector de mantenimiento” (Manuel Eusebio Melgarejo para Cemex Concretos Bucaramanga), quien se encargaba de administrar el equipo móvil local y los operarios del mismo (Agentes de servicio, Operadores de bomba y ayudantes). Él capacitaba al personal (operación, cuidados con los equipos, mantenimiento y reportes), supervisaba su trabajo, llevaba el control de los registros y velaba por el cumplimiento del protocolo de mantenimiento supervisando al personal que ejecuta los trabajos de mantenimiento (Mecánicos automotriz e hidráulicos, Soldadores y Electricistas).

Tras una reducción de personal, desapareció la figura Inspector de mantenimiento y sus funciones se delegaron al Coordinador de flota (Ing. Manuel Flórez) quien administra los equipos mixers a nivel nacional y al Coordinador de equipos de bombeo (Ing. Giovanni Hernández) quien administra los equipos de bombeo a nivel nacional. Con esto se perdió control y acompañamiento al proceso de mantenimiento, ya que los Coordinadores al tener a cargo flotas muy grandes, se concentran en lo urgente, consecuentemente se dejaron de llevar procesos dado que no se verifica su cumplimiento.

Hoy, el jefe de planta es el responsable de la producción del concreto y el encargado local del mantenimiento tanto de la flota móvil y como del equipo industrial adjudicado a su planta. Los procedimientos de mantenimiento del equipo móvil pasaron a un segundo plano por dar prioridad al volumen de producción y al cuidado del equipo industrial.

La capacitación de ingreso al personal en cuanto a mantenimiento es incompleta, muchos operarios desconocen el protocolo de mantenimiento y las

responsabilidades que en cuanto a su cargo competen, no son conscientes de la importancia del reporte, de la verificación o ejecución de la tarea de mantenimiento para su seguridad, para el bienestar del equipo y para el beneficio de la producción. La falta de conciencia de los operarios y la falta de seguimiento al proceso, generó indisciplina en el diligenciamiento de los formatos, en el revisar los equipos y en la ejecución oportuna de tareas de mantenimiento entre otras razones porque consideran: que no aportan al proceso de mantenimiento, pues no se revisan ni tramitan, que su ejecución se puede postergar sin consecuencias, que no se cuenta con los recursos necesarios o se ven como tareas entorpecedoras que reducen tiempo de operación.

Los agentes de servicio “AS” (operadores de las mixers) y los Operadores de Bombas “OB” en su gran mayoría dejaron de realizar el mantenimiento autónomo y el personal de mantenimiento no está ejecutando el mantenimiento preventivo de acuerdo la programación. Se desconoce el estado de fallos actual de los equipos y el estado de ejecución real de los mantenimientos preventivos (no concuerda lo ejecutado con lo reportado en el SAP).

Así las cosas, mantenimiento requiere apoyo de producción para poder programar los paros de los equipos con el mínimo de afección, para que se apruebe la realización de trabajos outsourcing, se soliciten oportunamente los repuestos, se hagan los reportes de datos necesarios y se exija el cumplimiento oportuno y cabal de todas las rutinas programadas. Tras no darse este respaldo, el número de fallas es alto, la programación de la ejecución de los trabajos es inadecuada (puede entorpecer la producción) y se desconoce la evolución del proceso.

Por lo anterior, se requiere definir un modelo de criticidad para los distintos modos de fallo de los equipos que permita programar la ejecución del correctivo siguiendo un orden jerárquico; y por los mismos precedentes, existe la necesidad de crear índices para medir, monitorear y controlar el proceso de mantenimiento, que

contribuyan en la toma de decisiones fácticas y que sean la base del modelo de gestión para asegurar la mejora continua del proceso, meta que con el respaldo de la compañía pretende este trabajo.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD POR EL MÉTODO DE FACTORES PONDERADOS<sup>2</sup>

#### Definiciones y términos de la Metodología de Análisis de Criticidad (AC).

Para dominar el lenguaje de la Metodología de Análisis de Criticidad (AC) debes conocer los siguientes términos y conceptos.

**4.1.1 ¿Qué es el análisis de Criticidad?** Es una metodología que permite establecer jerarquías entre: Instalaciones, Sistemas, Equipos y componentes.

De acuerdo con su impacto total del negocio, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en la instalación. Además, apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto en la confiabilidad actual y en los riesgos.

**Activo:** Término contable para cualquier recurso que tiene un valor, un ciclo de vida y genera un flujo de caja. Puede ser humano, físico y financiero intangible. Por ejemplo: el personal, centros de trabajo, plantas y equipos, entre otros.

---

<sup>2</sup> BIBING Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón [en línea] disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

**Afectación:** Es la limitación y condiciones que se imponen por la aplicación de una ley al uso de un predio o un bien particular o federal, para destinarlos total o parcialmente a obrar de utilidad pública.

**Causa de falla:** Circunstancias asociadas con el diseño, manufactura, instalación, uso y mantenimiento que hayan conducido a una falla.

**Consecuencia:** Resultado de un evento. Puede existir una o más consecuencias de un evento, las cuales sean expresadas cualitativa o cuantitativamente. Por ello, los modelos para el cálculo deben considerar los impactos en seguridad, higiene, ambiente, producción, costos de reparación e imagen de la empresa.

**Consecuencia de una Falla:** Se define en función a los aspectos que son de mayor importancia para el operador, como el de seguridad, el ambiental y el económico.

**Contexto Operacional:** Conjunto de factores relacionados con el entorno; incluyen el tipo de operación, impacto ambiental, estándares de calidad, niveles de seguridad y existencia de redundancias.

**Criticidad:** Es un indicador proporcional al riesgo que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, y permite direccionar el esfuerzo y los recursos a las áreas donde es más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad y administrar el riesgo.

**Defecto:** Causa inmediata de una falla: desalineación, mal ajuste, fallas ocultas en sistemas de seguridad, entre otros.

**Efecto de falla:** Describe lo que ocurre cuando acontece cada modo de falla.

**Falla:** Terminación de la habilidad de un ítem para ejecutar una función requerida.

**Falla funcional:** Es cuando el ítem no cumple con su función de acuerdo al parámetro que el usuario requiere.

**Jerarquización:** Ordenamiento de tareas de acuerdo con su prioridad.

**Modo de falla:** Es la forma por la cual una falla es observada. Describe de forma general como ocurre y su impacto en la operación del equipo. Efecto por el cual una falla es observada en un ítem fallado. Hechos que pueden haber causado cada estado de falla.

**Prioridad:** La importancia relativa de una tarea en relación con otras tareas.

**Riesgo:** Este término de naturaleza probabilística está definido como la “probabilidad de tener una pérdida”. Comúnmente se expresa en unidades monetaria. Matemáticamente se expresa como:

$$R(t) = P(t) \times C$$

Dónde:

R(t) es el riesgo en función del tiempo P(t) es la probabilidad de ocurrencia de un evento en función del tiempo, y C sus consecuencias.

**4.1.2 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad.** Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla.

En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio si le ocurre una falla.

**Figura 17. Matriz de criticidad**



Fuente: BIBING Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón [en línea] disponible en:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5311/fichero/5-+Analisis+de+criticidad.pdf>

La matriz tiene un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el Valor de Criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

**4.1.3 ¿Qué elementos se deberían tomar en cuenta para determinar la criticidad?** La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación.

## **Criticidad = Frecuencia x Consecuencia**

La lista generada para la asignación de puntaje, resultado de un trabajo de equipo, permite nivelar y homologar criterios para establecer prioridades, y focalizar que el esfuerzo garantice el éxito y maximizar la rentabilidad.

### **4.2 SISTEMAS DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO<sup>3</sup>**

El mantenimiento es una disciplina integradora que garantiza la disponibilidad, funcionalidad y conservación de los equipos, siempre que se aplique correctamente, a un costo competitivo. Al inicio de todo proceso de Mejoramiento, ya sea a nivel personal como de organización, se exige, como primera etapa, que se adquiera conciencia de la realidad y posteriormente, que se definan los objetivos a alcanzar. Entretanto, una vez iniciado el proceso, es necesario monitorear el proceso alcanzado, a través de observaciones y comparaciones a lo largo del tiempo, de parámetros que definan claramente el grado de calidad de dicho desempeño, constatando, sin subjetivismo si se ha mejorado con respecto al inicio del periodo.

Es necesario evaluar y controlar la gestión de mantenimiento para saber cuan eficiente es la aplicación de la política de mantenimiento que se ha planificado para el entorno productivo de la empresa. Esta información permite actuar de forma rápida y precisa sobre los factores débiles. La mejor forma resulta con la implementación, estudio y análisis de un paquete de indicadores.

Es evidente que en la selección de los índices que describan de manera más eficaz el desempeño del mantenimiento, es esencial tener en cuenta la concepción

---

<sup>3</sup> MORA, Alberto. Mantenimiento planeación ejecución y control. Bogotá: Alfaomega, 2009. p. 38

moderna de la actividad de mantenimiento, vinculado esencialmente a sus objetivos.

**4.2.1 Indicadores de gestión** Al inicio de todo proceso de mejoramiento, la primera etapa es adquirir conciencia para luego definir los objetivos a alcanzar y los medios para ello.

Para entender los criterios de selección de los indicadores, es necesario conocer el concepto de indicador que se define como un parámetro numérico que facilita la información sobre un factor crítico identificado en la organización, en los procesos o en las personas respecto a las expectativas o percepción de los clientes en cuanto a costo – calidad y plazos. Los indicadores deben verse de manera proactiva, de tal forma que se puedan tomar decisiones hacia el futuro, manejándolos.

Las características fundamentales que deben cumplir los indicadores de mantenimiento, siempre con la mirada puesta en lo que se desea alcanzar con el mantenimiento industrial, son las siguientes:

- Pocos, pero suficientes para analizar la gestión.
- Claros de entender y calcular.
- Útiles para conocer rápidamente como van las cosas y por qué.

Por estos motivos los indicadores deben:

- Identificar los factores claves del mantenimiento y su afección a la producción.
- Dar los elementos necesarios que permiten realizar una evaluación profunda de la actividad en cuestión.
- Establecer unos valores plan o consigna que determinen los objetivos a lograr.
- Controlar los objetivos propuestos comparando los valores reales con los valores planificados o consigna.

- Facilitar la toma de decisiones y acciones oportunas ante las desviaciones que se presentan.

El análisis no debe presentar conclusiones especulativas. Las variaciones para mejorar o empeorar deben ser tomadas como síntomas que fueron discutidos. Antes de emitir comentarios, el órgano de control debe estar seguro de que los datos que les dieron origen son confiables.

El análisis debe tener observaciones negativas que deben estar acompañadas de sugerencias de alternativas para mejorar que deben ser discutidas con los supervisores del área de ejecución de mantenimiento antes del registro en el informe de análisis.

Es válida la colocación de valores comparativos, entre períodos diferentes o valores promedio obtenidos en el año anterior, para su examen respecto a los resultados de disposiciones gerenciales, tomadas en función de análisis anteriores y así establecer metas para la mejora de los índices, junto con el área ejecutante.

Alguno de los errores más comunes en los que se incurren durante la aplicación del sistema de gestión son los siguientes:

- Inadecuada selección de los índices, excesivos en número y no jerarquizados.
- Insuficiente y confusa definición que provoque diferentes interpretaciones y / o cálculos.
- Escasa o nula identificación de la relación existente entre el índice y los factores críticos.
- Sistemas inadecuados de captación de datos para el cálculo de los índices, cálculos erróneos o tardíos.

Dentro de la aplicación, ejecución y control de un sistema de mantenimiento existen diferentes etapas, que las mismas pueden ser medidas a través de la

citación de diferentes índices (Intervención, defectos, fuerzas de trabajo) que en su determinación van a permitir analizar el desenvolvimiento del sistema aplicado. Apoyándose en la información que brindan estos índices como medios de control, se puede determinar la calidad del mantenimiento efectuado y así poder corregir las deficiencias en el sistema.

**4.2.2 Indicadores de mantenimiento** Los indicadores de mantenimiento son utilizados para medir o cuantificar la gestión en las grandes industrias por parte del departamento de mantenimiento en la administración de los equipos y de la empresa en general. Juegan un papel importante en la gerencia y supervisión por parte del departamento de mantenimiento y son aquellos que muestran qué tan eficiente es en su proceso la empresa además de la confiabilidad del proceso y la rapidez con que atacan un imprevisto durante la producción.

## **5. ANÁLISIS DEL ESTADO INICIAL DEL MANTENIMIENTO EN CEMEX CONCRETOS BUCARAMANGA**

En Bucaramanga hay más de cinco empresas concreteras entre las que se encuentran compañías del bagaje de Holcim, Argos y Cemex, todas compañías con grandes capacidades, que han hecho de este ambiente un mercado muy competitivo.

La disponibilidad y la confiabilidad del equipo móvil (mixers y bombas) de las plantas de concretos es transcendental para competir en un mercado donde la calidad y la puntualidad en la entrega de los productos (distribución) y la eficiencia en la prestación de los servicios de bombeo (colocación) define en el proveedor más apetecido por los clientes.

En una obra civil se debe alistar la infraestructura y todo un despliegue logístico-humano antes de poder fundir un elemento (realizar una descarga o bombeo de concreto). Un retraso en la colocación y/o distribución del concreto implica una valiosa pérdida de tiempo, dinero y trabajo; puede ocasionar fluctuaciones en las propiedades del concreto o que este se solidifique total o parcialmente dentro del equipo de distribución o de bombeo ocasionando serios daños al mismo.

El departamento de Mantenimiento de Cemex está centralizado en Bogotá y desde allí debe garantizar la disponibilidad operativa de todo el equipo móvil a nivel nacional. Es un departamento independiente de operaciones que le brinda apoyo, le presta servicios, le abastece repuestos y le programa la ejecución de los preventivos de acuerdo a los reportes de las plantas.

Localmente cada planta debe asegurar la ejecución de las tareas del mantenimiento; a pesar de esto no hay personal en las plantas (Floridablanca y Suratá) dedicado específicamente a mantenimiento y esta responsabilidad recae sobre el jefe de planta.

Producción concentra sus esfuerzos en la fabricación de los concretos y ha descuidado el proceso de mantenimiento al punto que el personal no tiene claro el protocolo, han dejado de ejecutar procedimientos, otros no se ejecutan oportunamente y la condición actual de los equipos es inadecuada

## **5.1 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DOFA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO MÓVIL.**

La Norma control de los procedimientos de la empresa es un documento controlado de la compañía. No se permite su reproducción parcial o total, el autor de este trabajo se abstiene de colocarlo como soporte anexo, atendiendo su compromiso de confidencial con la información. Sin embargo se expone la realización del análisis del documento con el objetivo definir los hallazgos encontrados que fundamentan el modelo de gestión planteado.

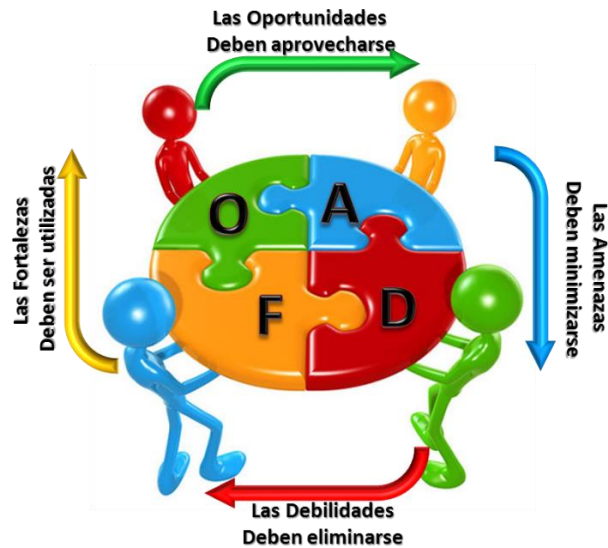
Figura 18. Matriz DOFA



Se usa la metodología de la matriz DOFA para describir la situación actual de la gestión del Mantenimiento del equipo móvil en las plantas de concretos Floridablanca y Suratá, analizando tanto los factores internos, como los externos que interviene en el proceso. Este análisis se hace viendo desde la gestión actual del mantenimiento de los equipos móviles que se lleva a cabo y su objetivo es definir estrategias que sean la base de la definición de un modelo adecuado para dar gestión al mantenimiento planteado.

Estas estrategias se obtienen mediante la combinación de características internas y externas al proceso estudiado y pretenden aprovechar los puntos fuertes para atacar los puntos débiles. A continuación se describe la función de cada una de las estrategias a definir:

**Figura 19. Estrategias Matriz DOFA**



Fuente: INICIATIVAS IBERIANA. Análisis Interno DAFO [en línea] disponible en: <http://iniciativasiberiana.blogspot.com.co/2016/02/analisis-interno-dafo.html>

**Estrategias FO:** Acciones encaminadas a maximizar y utilizar las Fortalezas y al aprovechamiento y generación de Oportunidades.

**Estrategias DO:** Acciones encaminadas a eliminar las Debilidades y al aprovechamiento de las Oportunidades.

**Estrategias FA:** Acciones encaminadas a maximizar y utilizar las Fortalezas y minimizar las amenazas.

**Estrategias DA:** Acciones encaminadas a eliminar las Debilidades y a minimizar las Amenazas.

**5.1.1 Identificación de Impactos y relaciones** El proceso de Mantenimiento del equipo móvil de las plantas de concreto Floridablanca y Suratá, tiene impacto, dependencia o relaciones con:

- La disponibilidad y confiabilidad de los equipos de distribución y colocación de concreto está directa y estrechamente relacionada con la calidad de estos servicios. En la medida en que varía la confiabilidad del equipo, a la vez varía su disponibilidad y con esto se tienen más equipos para una entrega más rápida.
- El estado de los equipos mixer influye en la calidad del concreto, especialmente en las líneas de producción que cuentan con una planta dosificadora, pues son los responsables del mezclado.
- Los costos de mantenimiento y sus asociados tienen una contribución del 30% sobre los costos totales de los procesos de distribución y colocación del concreto según información suministrada por los jefes de planta.
- El estado de algunos componentes de los equipos (del motor, sistema de inyección) asociados con la combustión, impacta directamente en la emisión de partículas y gases contaminantes al medio ambiente.
- Absolutamente todas las actividades de mantenimiento tienen riesgos asociados con la seguridad e integridad de los trabajadores (operarios y mecánicos).
- Mantenimiento está íntimamente relacionado con el almacén por el manejo de repuestos e inventarios.
- Mantenimiento tiene relación con producción (Jefe de planta) para que apruebe compras y contratación de servicios externos.
- Con el departamento de seguridad industrial y salud en el trabajo laboran de la mano en la búsqueda de condiciones seguras de operación tanto para el

personal operativo (OB y AS) durante la distribución y colocación del concreto, como para el personal mecánico (Automotriz, Hidráulico, Soldador) durante la ejecución de la OTs.

- Tiene dependencia del departamento de recursos humanos, pues este se encarga de definir los perfiles, competencias, habilidades y capacitación necesarios para las diferentes labores de mantenimiento.
- Para el paro adecuado de los equipos se requiere la coordinación conjunta de Producción (Jefe de planta y coordinador de producción), el departamento central de Mantenimiento en Bogotá y el personal del taller de mantenimiento de la planta.

#### **5.1.2 Consideraciones para la definición de estrategias:**

- Implementar metodologías encaminadas al incremento de la disponibilidad y confiabilidad de equipos así como a la reducción en los costos de mantenimiento sin afectar la calidad del mismo.
- Involucrar en el sistema de gestión elementos enfocados a mejorar la eficiencia en la planeación del mantenimiento.
- Aplicar herramientas y metodologías orientadas al control y optimización de costos de mantenimiento.
- Incluir elementos orientados al desarrollo personal y profesional de los colaboradores de mantenimiento.

- Combinar las buenas prácticas de mantenimiento con técnicas para control de riesgos, prevención de accidentes y cuidado del medio ambiente como un elemento de gestión unificado.

### 5.1.3 Matriz DOFA

**Tabla 6. Matriz DOFA del Mantenimiento**

<b>FORTALEZAS:</b>	<b>DEBILIDADES:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de información gestión (SAP) confiable y reconocido.</li> <li>• Personal experto y capacitado técnicamente.</li> <li>• El protocolo diseñado se adapta al tipo y edades de los equipos.</li> <li>• Fuerte cultura en seguridad industrial y salud en el trabajo.</li> <li>• Dispone de un gran número de vehículos para la distribución del concreto.</li> <li>• Se lleva una codificación secuencial de las facturas recibidas por servicio o compra de repuestos y materiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inexistencia de un orden de prioridad para la ejecución del correctivo.</li> <li>• No existe asignación puntual de responsables y funciones para ejecutar el correctivo.</li> <li>• Desconocimiento del módulo PM - SAP por parte de Producción.</li> <li>• Inexistencia del historial de fallos de los equipos.</li> <li>• Capacitación insuficiente.</li> <li>• Inexistencia de indicadores de gestión.</li> <li>• No se realizan estudios estadísticos para determinar la frecuencia de revisiones y sustituciones de piezas claves.</li> </ul>

<p><b>OPORTUNIDADES:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opciones de repuestos sustituto.</li> <li>• Ubicación de proveedores en la ciudad.</li> <li>• Implementación de metodologías de mantenimiento TPM o RCM.</li> <li>• Aumento de los niveles de disponibilidad y utilización de la flota móvil.</li> <li>• Exigencia de equipos con altos estándares de mantenimiento y seguridad en obras grandes.</li> <li>• Delegación de funciones al practicante de ingeniería mecánica para que apoye a Mantenimiento y Producción.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS FO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar técnicas de mantenimiento enfocadas a controlar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos</li> <li>• Implantar indicadores de gestión.</li> <li>• Crear procedimientos para el desarrollo del mantenimiento bajo el enfoque de mejora continua.</li> <li>• Involucrar al equipo de seguridad industrial en todas las actividades de mantenimiento como herramienta para garantizar condiciones, equipos e instalaciones seguras.</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS DO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluir la administración del talento humano en la labor del mantenimiento.</li> <li>• Definir actividades de mantenimientos necesarias para preservar costos de mantenimiento sin desatender lo importante por darle prioridad a lo urgente.</li> <li>• Establecer el procedimiento para la documentación de todos los trabajos de mantenimiento y el correcto registro de la información de las OTs.</li> </ul>
<p><b>AMENAZAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Compañías con precios más favorables.</li> <li>• Aumento de precios en los combustibles y lubricantes.</li> <li>• Mal estado de las vías.</li> <li>• Escases de repuestos para las baterías de</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS FA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar metodologías de mantenimiento enfocadas a mejorar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos</li> <li>• Emplear la creatividad e innovación del</li> </ul>	<p><b>ESTRATEGIAS DA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Crear campañas de concientización a los operarios para el adecuado uso de los equipos.</li> <li>• Diseñar un análisis de criticidad de las fallas que permita priorizar las tareas y crear un cronograma</li> </ul>

bombeo en el mercado nacional.	personal para el desarrollo de propuestas encaminadas a la optimización de los costos de mantenimiento.	jerárquico . • Definir la metodología para mantener el control del proceso de mantenimiento a través de indicadores.
--------------------------------	---	---

## 5.2 HALLAZGOS EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

### 5.2.1 Desconocimiento del proceso.

**No se conocía el Protocolo General de Mantenimiento (Procedimientos, Operaciones, Periodicidad):** Después de indagar con los jefes de planta, los agentes de servicio y los operadores de las bombas, se evidencio un conocimiento vago del protocolo de mantenimiento de la empresa y sus responsabilidades dentro del proceso.

El personal técnico mecánico conocía medianamente las tareas que se deben ejecutar en cada tipo de OT de mantenimiento preventivo (M1, M2 y M3) pero estos no se ejecutaban cabalmente puesto que operaciones no se les entregaba la descripción impresa de la OT.

Conocían que existe un protocolo pero se desconocían los algunos procedimientos específicos para la ejecución de las tareas de mantenimiento y su gestión en el sistema SAP.

### **No se conocía el estado de actual de los equipos:**

Producción no revisaba los reportes de los operarios (AS y OB), ni pedía reportes a los mecánicos sobre el estado de fallos actual de los equipos.

Los operarios reportaban las fallas a los mecánicos y estos a su vez hacían su reporte al coordinador de mantenimiento en Bogotá y a su supervisor de la empresa contratista. Las solicitudes de repuestos se hacían directamente de los mecánicos al coordinador de mantenimiento, los tiempos de abastecimiento en ocasiones son altos y no se daba ningún tipo de gestión por parte de la producción para agilizar su suministro.

### **5.2.2 Falta de seguimiento y apoyo**

#### **No se conocía el estado de las fallas:**

No se daba seguimiento a la solución de las fallas, es decir no se conocía si la falla estaba en proceso de asignación de recursos, abastecimiento de repuestos y materiales, programación del paro del equipo, ejecución del trabajo quien era el responsable del proceso en el que se encontraba la falla.

Dadas estas condiciones los tiempos de mantenimiento demasiado altos y el aprovisionamiento de repuestos es lento.

#### **No se programaba la ejecución del mantenimiento correctivo:**

La flota de equipo móvil tiene un número de equipos considerable y si se tiene en cuenta que cada equipo se subdivide en un número también alto de subsistemas y componentes, el número de fallas que se encuentra en los equipos es bastante alto, algunas son triviales y pueden pasar casi desapercibidas otras en cambio,

algunas pueden ocasionar un paro la indisponibilidad del equipo y otras más graves pueden poner en riesgo la integridad física de los conductores o de los equipos.

El personal mecánico ejecuta los trabajos a priori de los que pueda solucionar, de los que considera más críticos o de los que tiene el recurso para desarrollar el trabajo.

No se crean avisos solicitudes de mantenimiento del sistema SAP para que el planeador defina el cronograma diario de ejecución del correctivo.

No se tienen tiempos de mantenimiento y esto imposibilita una programación efectiva de los trabajos.

### **No se conocía el estado de la ordenes de trabajo**

Operaciones no conocía el estado de las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo ya que a pesar de recibir la programación no supervisaba su ejecución.

### **5.2.3 Desorden y omisión de procesos**

#### **No se llevaban los Check List desde hace 1 año**

Debido al desconocimiento del proceso, a la falta de capacitación al ingreso a la planta, dado que no hay una persona que de capacitación en mantenimiento, algunos operarios desconocían la existencia del formato check list y otros hacían caso omiso a su diligenciamiento al ver que no se tramitaba ninguna gestión y que ni siquiera se recogían los formatos que se llenaban.

## **No se registraban las lecturas de los horómetros**

No había una persona ni en la planta de Floridablanca ni en la planta de Suratá capacitada para registrar en el sistema la lectura de los medidores horómetro y odómetro de los equipos.

Una practicante de mantenimiento de Bogotá se desplazaba a Bucaramanga para subir los registros de los horómetros de los equipos de las plantas de concretos de Floridablanca y Suratá, esto se dificultaba hacerlo con frecuencia lo que retardaba los reportes y por tanto los mantenimientos.

## **Vehículos con más de 1 año sin Mantenimiento Preventivo**

Al revisar el estado de los equipos y teniendo en cuenta las quejas de algunos operarios se evidenció que algunos equipos llevaban más de 1 año sin mantenimiento preventivo.

**Figura 20. Estado de los filtros de aceite y aire.**



Los mecánicos no se guiaban por la programación que se envía desde Bogotá, los insumos (filtros y aceites) para realizar este mantenimiento en ocasiones llegan después de llegar la programación y se tardan hasta 1 mes, por lo que la programación se desfasa con respecto a la ejecución.

### **No se cerraban adecuadamente las OTs**

Las órdenes las cerraba mantenimiento y no producción, los mecánicos reportaban directa y únicamente a mantenimiento la realización de los trabajos de mantenimiento

Aparecen en el SAP órdenes de trabajo ejecutadas que difieren con las que realmente ejecutaron los mecánicos según su registro (anexo), esto se debe a que al no a ver reporte de operaciones sobre la ejecución de los trabajos de preventivo, después de un tiempo mantenimiento asume que los trabajos ya se ejecutaron y cierra la orden de trabajo para que el contador se reinicie y permita nuevamente la contabilización de las horas de trabajo hasta el próximo mantenimiento.

### **No se retroalimentaban las OTs**

Mantenimiento cerraba las órdenes sin que operaciones registrara ninguna observación, no se registraban tiempos de mantenimiento, novedades ni repuestos utilizados.

## **6. DESARROLLO METODOLÓGICO**

Se desarrollará una metodología que permite realizar un análisis de criticidad por el método de factores ponderados.



### **6.1 IDENTIFICACIÓN Y CAPTURA DE FALLAS**

Según la rutina de mantenimiento autónomo, los agentes de servicio y operadores de bomba deben hacer una revisión exhaustiva del equipo diariamente, para identificar y registrar las averías encontradas.

En el momento de encontrar una falla considerada de criticidad importante, el operador debe reportarla al Administrador de flota, para que involucre una persona de Mantenimiento (mecánico), la cual asume la responsabilidad de que el Operador y la Unidad salgan a trabajar bajo condiciones seguras de operación.

Para identificar las fallas de los equipos, se modificó el formato “Check list” de la empresa para facilitar su diligenciamiento y buscando que se haga una revisión más completa y eficaz.

**Figura 21. Check List Mixer**

 <b>LISTA DE VERIFICACION PARA EQUIPOS: CAMION REVOLVEDOR</b> 								
PLANTA _____		PLACA _____		SEMANA DEL ____ AL ____ DE _____		/201__		
REVISION DIARIA								
I. CON EL VEHICULO APAGADO								
		L	M	M	J	V	S	D
1	Niveles de aceite de motor, hidraulico direccion y nivel de agua (refrigerante)							
2	Sistema de freno (Estado de bandas y mangueras)							
3	Drenar tanques de combustible y de aire							
4	Existencia de Fugas							
5	Estado de la trasmisión, Diferenciales, Clutch y Dirección							
6	Estado de suspensión delantera y trasera							
7	Limpieza general del equipo (Pegas de concreto)							
8	Estado de las llantas (Presión de aire, rines, estado de las gomas)							
9	Sistema electrico equipo en general							
10	Estado de embudo de Carga Y Descarga							
11	Estado estructura falso chasis, tornilleria y pedestales							
12	Condiciones generales de lubricación (engrase)							

En la figura anterior se observa parte del formato de revisión, en los anexos se pueden observar los formatos Check list para equipos mixer y bomba, con las modificaciones aplicadas:

- Definición del estado del equipo (apagado, encendido en ralentí, en marcha) en el que se deben realizar las revisiones.
- Inclusión de algunos sistemas/componentes que no aparecían en el formato
- Establecimiento de un responsable de su diligenciamiento de forma diaria y no semanal.

Se definió un procedimiento para efectuar una correcta revisión y reporte de las fallas en los formatos y posteriormente se dio instrucción al personal operadores de bomba y agentes de servicio. En los anexos se encuentra esta capacitación, ver anexo.

En la siguiente tabla se resumen los datos tipo que se capturan de los formatos Check List.

**Tabla 7. Reporte del Check List**

<b>FECHA REPORTE</b>	<b>COD PLANTA</b>	<b>PLANTA</b>	<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>SISTEMA O COMPONENTE</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA FALLA</b>
13/12/2014	F017	SURATA	MIXER	T0267	CHAPAS Y CERRADURAS	NO SIRVEN
13/12/2014	F017	SURATA	MIXER	T0267	COMPRESOR	FUGAS DE AIRE POR EL RETORNO QUE BAJA DE LA PALANCA
08/02/2014	F066	FLORIDA2	MIXER	T0454	EMBUDO DE CARGUE	ROTURA
07/02/2014	F016	FLORIDA1	MIXER	T0303	EMBUDO DE CARGUE	ROTURA
06/02/2014	F016	FLORIDA1	MIXER	BRD146	CANALES AUXILIARES	NO TIENE, SE NECESITAN ENVIAR MEDIDAS A BOGOTÁ PARA SU FABRICACIÓN
06/02/2014	F016	FLORIDA1	MIXER	BYE848	MOTOR	FUGA DE ACEITE
06/02/2014	F016	FLORIDA1	MIXER	BYE848	OLLA	TIENE PEGA
06/02/2014	F016	FLORIDA1	MIXER	BYE848	SUSPENSIÓN	NO FUNCIONA BIEN
06/02/2014	F016	FLORIDA1	MIXER	T0205	EMBUDO DE CARGUE	MAL ESTADO
06/02/2014	F016	FLORIDA1	MIXER	T0439	TAPA ECOLÓGICA	NO TIENE
06/02/2014	F066	FLORIDA2	MIXER	T0527	CANAL	COLOCARLE EL CAUCHO DEL EMBUDO DE LA CANAL

<b>FECHA REPORTE</b>	<b>COD PLANTA</b>	<b>PLANTA</b>	<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>SISTEMA O COMPONENTE</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA FALLA</b>
06/02/2014	F066	FLORIDA2	MIXER	T8628	CHASIS	2 PUENTES DAÑADOS Y TORNILLOS SUELTOS
05/02/2014	F017	SURATA	MIXER	BNU478	FRENO	SE QUEDA PEGADO
05/02/2014	F017	SURATA	MIXER	BNU478	LUCES	NO FUNCIONAN LAS DIRECCIONALES
05/02/2014	F017	SURATA	MIXER	BNU478	MOTOR	TANQUE DEL AGUA CONTAMINADO CON ACPM
05/02/2014	F017	SURATA	MIXER	BNU478	MOTOR	TEMPERATURA ELEVADA

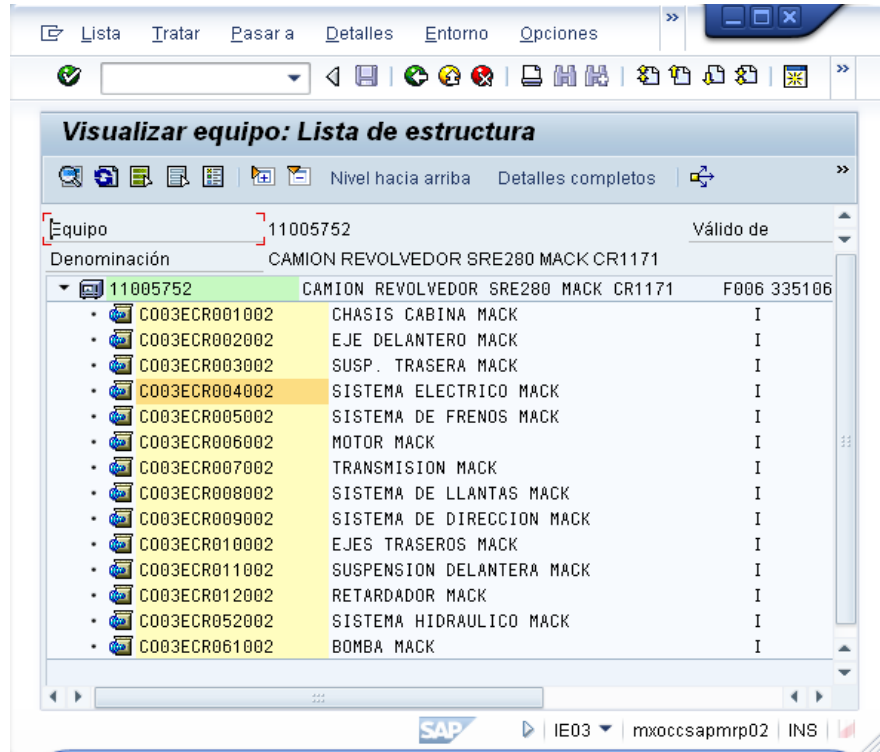
Como se observa en la tabla los operarios no hacen una identificación organizada de las fallas, algunas se describen a nivel de sistemas y otras a nivel de componentes, no hay una ubicación precisa de la falla; registran la descripción de la falla según lo evidenciado pero el modo de falla como tal no está definido en el reporte de los operarios.

## **6.2 SEGMENTACIÓN EN SISTEMAS Y COMPONENTES**

Para organizar el reporte de los Check list y definir los modos de falla se hace una clasificación de las fallas aterrizándolas a los sistemas y componentes donde estas ocurren.

Buscando que este análisis se integre al sistema de gestión de la empresa, se utiliza la estructura organizacional de la compañía definida en el sistema SAP para los distintos equipos, esto con miras a que el análisis de las fallas de los equipos pueda implementarse fácilmente para todas sus ubicaciones técnicas. En la imagen se observa la segmentación de un camión revolvedor Mixer.

**Figura 22. División en sistemas y subsistemas de una mixer**



Fuente: Módulo SAP – PM de Cemex Colombia S. A

### 6.3 FUNCIONES Y MODOS DE FALLA

Los modos de falla son las distintas formas en que falla un equipo, sistema o componente; estos fallos provocan una disminución parcial o total de sus funciones o capacidades (para las que fue diseñado y a las que se espera que se comporte).

Para poder hablar de modo de falla propiamente dicho, se requiere previamente definir el nivel de jerarquización a la cual se este se definirá. Para establecer el nivel de detalle al cual se definirá el modo de falla, se tomó como base la norma ISO 14224.

**Tabla 8. Parámetros de confiabilidad y mantenimiento en relación a los niveles de taxonomía**

RECOLECCION DATOS RM	NIVELES DE JERARQUIA				
	(4) PLANTA / UNIDAD	(5) SECCION / SISTEMA	(6) EQUIPO	(7) SUBUNIDAD	(8) COMPONENTE / ITEM MANTENIBLE
Impacto de falla sobre la seguridad	X				
Impacto del mantenimiento sobre la seguridad	X				
Impacto de la falla sobre la operación	X	(X)			
Impacto del mantenimiento con respecto a la operación	X	(X)			
Impacto de la falla sobre el equipo			X	(X)	(X)
Modo de falla		(X)	X	(X)	(X)
Mecanismo de falla			(X)	(X)	X
Causas de falla				(X)	X
Método de detección		(X)	X	(X)	(X)
Subunidad en falla				X	
Componente / ítem mantenible en falla					X
Tiempo inactivo	(X)	(X)	X		
Tiempo de la actividad de mantenimiento			X	(X)	(X)

X = falla, (x) = alternativas posibles

Fuente: ISO14224

Según lo evidenciado el “modo de falla” a de relacionarse con el nivel más bajo de la estructura, por lo tanto se deben establecer las funciones de cada componente y de cada sistema poder obtener el impacto real de la falla en la operación equipo.

#### 6.4 CODIFICACIÓN DE LAS FALLAS

<b>A</b>	<b>BB</b>	<b>CC</b>	<b>DD</b>
----------	-----------	-----------	-----------

**A:** Letra asignada según el tipo de equipo tipo de equipo, Mixer: M; Estacionaria: E; Autobomba: A.

**BB:** Relativo al sistema (Iniciales) donde se detecta la falla.

**CC:** Relativo al componente específico (Iniciales) que presenta la falla.

**DD:** Consecutivo del modo de falla para el componente específico. En la medida en que se vaya identificando se ira asignando el correspondiente consecutivo.

Se crean reglas y excepciones para evitar que dos fallas diferentes posean la misma codificación.

Dada la similitud (marca, línea, modelos) de la flota como se observa en el listado de equipos de la flota móvil se establece que:

Dos mismas fallas en equipos del mismo tipo (mixer - mixer) tendrán el mismo grado de criticidad y por tanto el mismo nivel de atención.

Dos fallas iguales en equipos de diferente tipo (mixer - bomba) pueden tener diferente grado de criticidad y tienen diferente prioridad de atención debido a que un equipo mixer es mucho más fácil de sustituir.

## **6.5 CONFORMACIÓN DEL GRUPO LÍDER DE MANTENIMIENTO**

Se conforma un equipo de trabajo para que lidere la gestión del Mantenimiento y contribuya al direccionamiento de los esfuerzos de trabajo atendiendo al orden de prioridades de las fallas establecido en el análisis de criticidad de las mismas.

El líder del equipo será el Jefe de planta Ing. Sergio Andrés Caballero Martínez y su mano derecha será el pasante en curso en el área de mantenimiento.

El análisis de las fallas se hará por este grupo interdisciplinario (conformado por personas de diferentes áreas de la empresa como se observa en la tabla) para tener un criterio objetivo e integrador, en la programación del mantenimiento.

**Tabla 9. Grupo líder de Mantenimiento**

<b>DIVISIÓN</b>	<b>MIEMBRO</b>
Dirección de Planta	Jefe de planta
Planta	Pasante de Mantenimiento en curso
Calidad	Coordinador de Calidad
Seguridad Industrial	Jefe de seguridad Industrial
Camiones Mezcladores	Agente de servicio master
Camiones Mezcladores	Agente de servicio
Camiones Mezcladores	Agente de servicio
Camiones Mezcladores	Agente de servicio
Equipos de bombeo	Operador de bomba
Taller	Mecánico

Fuente: El autor

Los miembros pueden cambiar pero se debe conservar la inclusión de como mínimo un representante de cada división en el grupo. Esto garantiza que el criterio con el que se pondera la severidad de los modos de falla y se toman decisiones, tenga una visión global del proceso y tenga en cuenta todos los riesgos asociados.

Este equipo de mantenimiento será una canal directo entre los empleados, el jefe de planta y el personal técnico, que se reunirán frecuentemente con el fin de evaluar el mantenimiento y presentar propuestas de mejora.

## **6.6 DEFINICIÓN DE AGENTES DE RIESGO**

Para la definición de las variables de ponderación se toma como referencia la matriz de criticidad de la norma ISO 14224, que se presenta a continuación.

**Tabla 10. Matriz de criticidad según la norma ISO 14224**

CATEGORIAS	Catastrófico	Severo	Moderado	Menor
	Fallas en las que el resultado sea la muerte o pérdida del sistema	Lesiones graves, enfermedades o daños en el sistema central (e.g. <USD 1000000)	Lesiones menores, enfermedades o daños en sistema (e.g. <USD 250000)	Daños menores en lesiones o sistemas (e.g. <USD 50000)
Consecuencias en la seguridad	I - Pérdida de vidas - Seguridad vital crítica y sistemas inoperables	V - Lesiones serias al personal - Pérdida potencial de funciones de seguridad	IX - Lesiones que requieren tratamiento médico - Efecto limitado en funciones de seguridad	XII - Lesiones que no requieran tratamiento médico - Efectos menores en las funciones de seguridad
Consecuencias en el medio ambiente	II Contaminación importante	VI Contaminación significativa	X Poca contaminación	XIV Ninguna o muy poca contaminación
Consecuencias en la producción	III Parada extensiva en producción/operación	VII Parada de producción por encima de los límites aceptables	XI Parada de producción por debajo de los límites aceptables	XV Menor parada de producción
Consecuencias operacionales	IV Altos costos de mantenimiento	VIII Costos de mantenimiento por encima de lo normalmente aceptable	XII Costos de mantenimiento por debajo de lo normalmente aceptable	XVI Bajos costos de mantenimiento
Los límites aceptables tienen que ser definidos para cada aplicación				
	Inaceptable			
	Deben ser consideradas las medidas correctivas			
	Aceptable			

Fuente: Norma ISO 14224

Analizando la información recolectada y las políticas de la empresa, se determinó que para Cemex es importante la afección de las fallas en los siguientes agentes:

- **[IS]** Impacto en la seguridad y la salud de las personas
- **[IO]** Impacto en la operación, la calidad del concreto y la calidad del servicio
- **[IM]** Impacto en el medio ambiente, en la imagen corporativa y/o en estamentos normativos
- **[CM]** Impacto en los costos de mantenimiento (Repuestos + Mano de Obra)
- **[IP]** Impacto en la producción
- **[TPPR]** Tiempo promedio para reparar (Tiempos de mantenimiento)

## 6.7 DEFINICIÓN DE LOS LÍMITES

Para la definición de los límites de las categorías se calcularon y estimaron algunos factores:

**6.7.1 Frecuencia** Para la estimación de la frecuencia de la falla funcional, se tuvo en cuenta que cada equipo tiene más de un modo de falla asociado, el más frecuente es el de mayor impacto en el equipo y por tanto el más representativo. La frecuencia de ocurrencia del evento, generalmente se determina por el número de fallas por año.

Lo más preciso es usar el Tiempo Promedio entre Fallas (TPPF) o la frecuencia de con la que se presenta cada modo de fallo, pero como no se cuenta con esta información, la ponderación de este criterio se basa en la opinión de expertos (Grupo líder de Mantenimiento).

Cada modo de falla debe ponderarse dentro de las siguientes categorías.

**Tabla 11. Ponderación de la Frecuencia**

<b>Categoría</b>	<b>Patrón</b>	<b>Límites</b>
5	Muy recurrente	> 5 Fallas/año
4	Recurrente	$(5 \leq f < 4)$ Fallas/año
3	Eventual	$(3 \leq f < 4)$ Fallas/año
2	Habitual	$(1 \leq f < 3)$ Fallas/año
1	Inusual	< 1 Falla/año

**6.7.2 Relación Mantenimiento – Producción:** Con miras a establecer la capacidad de la operación y la relación del mantenimiento con la Producción se definió la siguiente fórmula:

$$m^3/\text{mes} = \# \text{ viajes mixer día} * \text{días hábiles} * m^3/\text{mixer} * \# \text{ mixer}$$

# viajes mixer día → Número de viajes que una mixer puede hacer en un día.

$$\# \text{ viajes mixer día} = \text{Turno}/T_c$$

Turno= Horas de trabajo diarias [min]

$T_c$  → Tiempo de ciclo: Tiempo promedio (2 meses) que tarda una mixer desde que empieza a cargar un viaje hasta que empieza a cargar un segundo viaje.

$$T_c = T_{\text{cargue}} + T_{\text{fp}} + T_{\text{ocio}} + T_{\text{alistamiento}}$$

$$T_{\text{fp}} \rightarrow T_{\text{ida}} + T_{\text{obra}} + T_{\text{regreso}}$$

Días hábiles → Calendario

$$m^3/\text{mixer} = \text{Capacidad Promedio de los equipo (Pega de concreto)}$$

$$\# \text{ mixer} = \# \text{ mixer asignadas} * \% \text{ Disponibilidad} * \% \text{ Utilización}$$

$$\% \text{ Disponibilidad} = (TPPF / (TPPF + TPPR)) * 100$$

$$TPPF = (\text{Cantidad de horas Operadas} / \text{Número de fallos})$$

$$TPPR = (\text{Cantidad de horas de fallos} / \text{Número de fallos})$$

Se midieron tiempos durante 2 meses (ver anexo) obteniéndose los siguientes resultados:

Turno = 670min, Tc = 177.2 min, Tcargue = 9.2 min, Tfp = 115min, Tocio = 16min, Talistamiento = 37min, Tida = 24min, Tobra = 72min, Tregreso = 19min, m<sup>3</sup>/mixer = 6.8m<sup>3</sup> (Nominal =7.525 m<sup>3</sup>), % Utilización = 91, %Disponibilidad = 92 %, # mixer = 33.49, Turno= 10.24 horas, # viajes mixer día =3.471.

Con base en los resultados y en la duración promedio de las tareas de mantenimiento, se definieron los siguientes límites para el agente: “Tiempos de mantenimiento”

**Tabla 12. Ponderación de prioridad TPPR**

<b>Categoría</b>	<b>Límites</b>
1	> 10 horas
2	(6 ≤ t < 10) horas
3	(3 ≤ t < 6) horas
4	(1 ≤ t < 3) horas
5	< 1 Hora

**6.7.3 Relación Valor del equipo – Costo de mantenimiento** A continuación se hará un costo estimado de los equipos móvil de Cemex con el fin de establecer las categorías para el nivel de impacto del factor: “Costos de Mantenimiento”

**Tabla 13. Valor promedio de los equipos**

<b>TIPO DE EQUIPO</b>	<b>VALOR PROMEDIO</b>
MIXER	\$ 300.000.000
BOMBA ESTACIONARIA	\$ 170.000.000
BOMBA PLUMA	\$ 140.000.000
CAMIÓN	\$ 150.000.000
BOMBA ESTACIONARIA + CAMIÓN	\$ 320.000.000
BOMBA PLUMA + CAMIÓN	\$ 290.000.000
<b>VALOR PROMEDIO ESTIMADO*</b>	<b>\$ 300.000.000</b>

\*Teniendo en cuenta que hay más Mixer que bombas.

Según estos parámetros y los gastos tipo mensual, se definieron los límites para este agente de riesgo en 5 categorías, cada una corresponde a un porcentaje del valor promedio de los equipos.

**Tabla 14. Ponderación de Costos Mantenimiento**

<b>Categoría</b>	<b>Patrón</b>	<b>Límites</b>
1	Costos > 5 % del valor total del equipo	Costos > \$ 15 millones
2	(2 ≤ Costos < 5) % del valor total del equipo	\$ (6 ≤ Costos < 15) millones
3	(0,5 ≤ Costos < 2) % del valor total del equipo	\$ (1,5 ≤ Costos < 6) millones
4	(0,15 ≤ Costos < 0,5) % del valor total del equipo	\$ (0,45 ≤ Costos < 1,5) millones
5	< 0,15 % del valor total del equipo	Costos < \$ 0,45 millones

**6.7.4 Principales agentes contaminantes** La revisión tecnomecánica establece algunos parámetros que tienen que cumplir todos los vehículos para poder transitar por el territorio Nacional, entre ellos están la emisión de gases de combustión, el estado de las luces, el estado de las llantas el estado exterior del vehículo y otros.

**6.7.4.1 Emisiones de Gases Contaminantes** La resolución 910 de 2008, reglamenta los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes que deben cumplir las fuentes móviles terrestres. En su artículo número 8, esta resolución establece los límites máximos de emisión permisibles para vehículos diésel, durante su funcionamiento en condición de aceleración libre y a temperatura normal de operación.

**Tabla 15. Límites Máximos de Opacidad permisibles para vehículos accionados con diésel (ACPM) en aceleración libre**

Año modelo	Opacidad (%)
1970 y anterior	50
1971-1984	45
1985-1997	40
1998 y posterior	35

El nivel de opacidad está estrechamente relacionado con el color del humo que emiten los vehículos, ya que en la compañía no se cuenta con un Opacimetro se supondrá el color del humo gris oscuro – negro como una falla tipo 5 “Daños ambientales que violan las regulaciones.”

**6.7.4.2 Derrame de Concreto:** Ocasionalmente la compañía debe botar concreto para evitar que este fragüe dentro de los equipos ocasionando daños severos a los mismos.

Resulta complicado definir la afección de estos derrames al medio ambiente ya que esta depende de:

- La cantidad derramada: Mayores cantidades de derrame, producen mayores daños ambientales.

- Sitio del derrame: Zonas con fuentes de aguas, habitadas por personas y/o animales, y lugares con vegetación tienen mayores consecuencias.
- Composición del concreto: La composición química del concreto puede ser un agravante, dependiendo de sus componentes.

Un derrame de concreto en cualquier cantidad o lugar afecta negativamente al medio ambiente, si este es detectado acarrea multas y/o sanciones para la compañía. Por lo tanto para el presente análisis se considera que cualquier falla que pueda derivar en el derrame de concreto tiene un grado de criticidad 4 “Daños ambientales que violan las regulaciones”

**6.7.4.3 Emisiones sonoras (dB):** Actualmente no existe reglamentación que regule los máximos niveles de ruido permisibles para fuentes móviles. La compañía atendiendo a su misión por un desarrollo sustentable, debe estipular cuales son los decibeles considerados de operación normal y a partir de qué punto se considera que existe una afección al medio ambiente.

Para este estudio se considera que cualquier daño que ocasione molestias audibles superiores a los niveles de ruido percibidos en la operación cotidiana, es una falla de categoría 3 “Daños ambientales no regulados”.

**Fuga de combustibles y/o lubricantes:** El manejo normativo es el mismo de los derrames de concreto, la afección se tasa según la cantidad, el sitio del derrame y la composición química del fluido.

Una fuga de cualquier fluido lubricante o combustible, en cualquier cantidad y lugar afecta negativamente al medio ambiente, si este es detectado acarrea multas y/o sanciones para la compañía. Por lo tanto para el presente análisis se considera que cualquiera de estas fugas tiene un grado de criticidad 4 “Daños ambientales que violan las regulaciones”

## 6.8 CRITERIOS PARA ESTIMAR LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS

La estimación de las consecuencias se hará evaluando cada modo de falla en cada agente, según las variables y los límites definidos en la siguiente tabla.

Tabla xxx. Factores y variables para la ponderación de las fallas

NIVEL	d	IC	TPPR	IP	IM	f
5	Perdida funcional total y condiciones de operación inseguras	Costos < \$ 0,45 millones	< 1 Hora	Equipo con único sustituto: Autobomba	Daños ambientales y violación de estamentos normativos y/o daños de imagen severos.	> 5 Fallas/año
4	Perdida funcional parcial y condiciones de operación inseguras	\$ (0,45 ≤ Costos < 1,5) millones	(1 ≤ t < 3) horas	Equipo con dos sustitutos: Estacionaria	Daños ambientales que no violan las regulaciones y/o daños de imagen considerables	(5 ≤ f < 4) Fallas/año
3	Disminución del rendimiento del equipo	\$ (6 ≤ Costos < 15) millones	(3 ≤ t < 6) horas	Equipo con varios sustitutos: Mixer	Daños ambientales no regulados.	(3 ≤ f < 4) Fallas/año
2	Equipo operativo con fallas que afectan la imagen corporativa	\$ (0,45 ≤ Costos < 1,5) millones	(6 ≤ t < 10) horas	----	Daños ambientales y/o de imagen mínimos, sin violación de leyes.	(1 ≤ f < 3) Fallas/año
1	La falla afecta únicamente el confort del operario	Costos > \$ 15 millones	> 10 horas	Ninguna o Mínima afección en la producción	Sin daños ambientales ni de imagen corporativa	< 1 Falla/año

La necesidad de aplicar mantenimiento a una falla se determinan aplicando el valor de las categorías correspondientes de cada columna o impacto en la siguiente ecuación:

$$N = (CM*TPPR) + IP + IM + f$$

CM: Costo estimado del mantenimiento

TPPR: Tiempo promedio para reparar

IP: Impacto en producción

IM: Impacto en medio ambiente e imagen corporativa

f: Frecuencia de ocurrencia

Esta ecuación tiene en cuenta que entre menor sea el valor del mantenimiento (CM\*TPPR) mayor es el grado de mantenibilidad del fallo y por tanto mayor es la necesidad de mantenimiento, ya que con una mínima inversión se puede reparar y lograr nuevamente la operatividad del equipo, lo que no ocurre con los impactos negativos de la falla, entre mayor es el impacto mayor es la necesidad de reparar prontamente.

## **6.9 CRITICIDAD DE LOS MODOS DE FALLA**

El grado de criticidad de una falla depende de su impacto en la disponibilidad del equipo que es objetivo principal del mantenimiento en Cemex. Con esta premisa se definen las siguientes categorías de criticidad.

	<b>CATEGORÍA CRITICIDAD</b>	<b>NIVEL DE ATENCIÓN</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>CONSECUENCIAS</b>
<b>FALLA TOTAL</b>	ALTA	Emergencia	Pérdida del funcionamiento y/o de condiciones de seguridad que permiten continuidad en la operación del equipo	$d > 3$
<b>FALLA DE RENDIMIEN TO</b>	MEDIA	Programable	Disminución en la capacidad operativa del equipo que no altera las condiciones seguras de operación.	$d = 3$
<b>FALLA DE IMAGEN</b>	BAJA		Fallas que afectan la imagen corporativa, la imagen de los equipos y/o el confort del operario	$d < 3$

La disponibilidad de un equipo está en función únicamente de las condiciones de funcionamiento y seguridad que determinan las fallas que presenta.

Para establecer un orden jerárquico de atención a las fallas se debe en primer lugar clasificar las fallas según su impacto en la operación del equipo y la seguridad de personas e instalación.

### **6.10 CÁLCULO DE LA PRIORIDAD**

La necesidad que un fallo tiene de mantenimiento, se atenúa con la disminución de la disponibilidad operativa del equipo. La relación de estas dos variables permite el cálculo de la prioridad total de atención a la falla, a través de la expresión matemática:

$$\text{Prioridad} = (\text{disponibilidad} \times \text{Necesidad})$$

$$P = d \times N$$

### **6.11 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD**

Se diseñó una matriz de Criticidad, que permite categorizar los diferentes niveles de criticidad y establecer tiempos máximos de atención para las fallas, según la región donde estas se encuentren.

Según los resultados obtenidos del análisis de criticidad se clasifican las fallas por disponibilidad y necesidad en la zona correspondiente. Para esto se registran los códigos de las fallas con la placa del equipo donde corresponda.

**Tabla 16. Matriz de criticidad para los modos de fallo**

Disponibilidad	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	Falla Total
	4	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	Falla Parcial
	3	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	Falla de apariencia
	2	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	
	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	Consecuencia

Este ordenamiento categoriza las fallas atendiendo a su orden jerárquico de prioridades. Esta información es muy útil a la hora de programar la ejecución de las tareas, teniendo en cuenta que el número de fallos que se presenta es bastante alto.

**Falla parcial:** Es aquella falla que puede interpretarse de dos formas diferentes pero no excluyentes.

Una falla parcial es aquella que disminuye la capacidad del equipo para (producción) realizar sus funciones vitales pero no lo detiene. También puede ser que no disminuya su capacidad de producción pero si disminuye su confiabilidad (seguridad).

**Falla total:** Es aquella falla que interrumpe totalmente la función del equipo y lo obliga a una reparación inmediata.

**Falla de apariencia:** Son aquellas fallas que no tienen relación con el funcionamiento del equipo pero que afectan el confort del operario y venden mala imagen corporativa al público.

**Falla catastrófica:** Es aquella que interrumpe totalmente la capacidad de producción del equipo, pero su diferencia con la total es que, esta última si se repara en un tiempo razonable y el dinero requerido está dentro de los rangos presupuestados de la empresa. La falla catastrófica tarda más tiempo y dinero en corregirse, esta falla se sale del presente análisis por costos de reparación y requiere evaluar la rentabilidad de la misma mediante un análisis beneficio costo antes de programar la reparación del equipo.

**Figura 23. Falla Catastrófica**



Cualquier falla que deje inoperativo un equipo por disminución en su capacidad funcional o por seguridad, debe considerarse una emergencia y atenderse con mayor prioridad.

El orden jerárquico de atención a la falla depende de su impacto para la empresa y de los costos de mantenimiento directos asociados.

**Tabla 17. Categorización y tiempo de atención**

Nivel CT	Categoría de criticidad	Prioridad	Tiempo de atención
	Alta	1	Inmediata
	Media	2	1 a 5 días
	Baja	3	Programable

El tiempo de atención se ha definido por el grupo líder de mantenimiento, este tiempo se irá ajustando paulatinamente cuando se implemente el modelo de gestión y se irse reduciendo a medida que mejora la gestión del proceso.

## 6.12 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

Esta herramienta académica propone atacar los problemas del equipo móvil de las plantas de concretos de Cemex – Bucaramanga, de forma ordenada y justificada, atendiendo un orden de prioridades, donde en primer se programan las tareas según su criticidad para la compañía.

Para definir el cronograma de ejecución de las fallas de mantenimiento se ordenan las fallas: en primer lugar por la zona de la matriz de criticidad y en segundo lugar por el valor de P obtenido.

**Tabla 18. Cronograma de ejecución**

ORDEN EJEC	CÓD. PLANTA	TIPO EQUIPO	EQUIPO	CÓD. FALLA	P	OT - AVISO	ESTADO
1							
2							
3							

## 7. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El método de factores ponderados basado en el concepto de riesgo, es un estudio de criticidad bastante preciso, dado que estudia los efectos de las fallas globalmente y categorizando factores según su importancia para la organización en particular.

Con base en este estudio se puede realizar una correcta programación de las actividades de mantenimiento.

### 7.1 APLICACIÓN

Mediante un ejemplo práctico se busca aplicar el modelo de análisis de criticidad planteado y analizar las fallas reportadas por los equipos en un día de operación normal hasta establecer un cronograma jerárquico de ejecución de las tareas de mantenimiento.

**7.1.1 Identificación y Captura de Fallas** Se recoge y agrupa la información reportada por los operarios.

**Tabla 19. Falla Seleccionadas para el análisis**

<b>FECHA REPORTE</b>	<b>CÓD. PLANTA</b>	<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>UBICACIÓN APROX. DE LA FALLA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA FALLA</b>
25/10/2015	F016	CAMIÓN	T0627	LATAS	Cabina Oxidada
25/10/2015	F016	ESTACIONARIA	CVV663	CABINA	Pintura del exterior de la cabina en mal estado
25/10/2015	F016	ESTACIONARIA	CVV663	AGITADOR DE LA TOLVA	Aspas desgastadas
25/10/2015	F066	MIXER	T8616	LLANTA DELANTERA DERECHA	Llanta lisa
25/10/2015	F016	MIXER	T0627	RUEDAS TRASERAS	Frenos desgraduados
25/10/2015	F066	MIXER	T8616	LLANTAS	Larga de frenos
25/10/2015	F016	MIXER	T0627	ALETAS DE LA OLLA	Pega de concreto en el interior de la olla
25/10/2015	F017	MIXER	BRD163	BOMBA DE LA DIRECCIÓN	Fuga considerable de aceite hidráulico
25/10/2015	F066	MIXER	T8616	OLLA	Aletas desgastadas
25/10/2015	F017	MIXER	BRD163	COMPRESOR	Se baja la presión constantemente
25/10/2015	F016	ESTACIONARIA	CVV663	ARRANQUE	El motor principal no enciende
25/10/2015	F017	MIXER	BRD163	AMORTIGUADOR DELANTERO	Fuga de aceite por un amortiguador
25/10/2015	F017	MIXER	BRD163	LLANTA DELANTERA	El vehículo se patina

**7.1.2 Segmentación en sistemas y componentes** En la siguiente tabla se muestra la organización de las fallas reportadas en sistemas y componentes.

**Tabla 20. Reporte del Check List, organizado por sistemas y componentes**

<b>CÓD. PLANTA</b>	<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>DESCRIPCIÓN FALLA</b>
F066	MIXER	T8616	OLLA	ALETAS	Aletas desgastadas
F066	MIXER	T8616	LLANTAS	DIRECCIONAL DERECHA	Llanta lisa
F066	MIXER	T8616	FRENOS	BANDAS	Frenos desgraduados
F016	MIXER	T0627	OLLA	ALETAS	Pega de concreto en el interior de la olla
F016	CAMIÓN	T0627	LATONERÍA Y PINTURA	PARTE INTERIOR	Cabina Oxidada
F016	MIXER	T0627	FRENOS	BANDAS	Frenos desgraduados
F016	ESTACIONARIA	CVV663	MOTOR	MOTOR DE ARRANQUE	El motor principal no enciende
F016	ESTACIONARIA	CVV663	LATONERÍA Y PINTURA	PARTE EXTERIOR	Pintura del exterior de la cabina en mal estado
F016	ESTACIONARIA	CVV663	BATERÍA DE BOMBEO	AGITADOR	Aspas desgastadas
F017	MIXER	BRD163	SUSPENSIÓN	AMORTIGUADOR	Fuga de aceite por un amortiguador
F017	MIXER	BRD163	NEUMÁTICO	COMPRESOR	Se baja la presión constantemente
F017	MIXER	BRD163	LLANTAS	DIRECCIONAL DERECHA	El vehículo se patina
F017	MIXER	BRD163	DIRECCIÓN	BOMBA HIDRÁULICA	Fuga considerable de aceite hidráulico

**7.1.3 Funciones y modos de falla** En la siguiente tabla se muestran la definición de las funciones de los componentes involucrados y su modo de falla asociado.

<b>TIPO EQUIPO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>FUNCIÓN DEL COMPONENTE</b>	<b>MODO DE FALLA COMPONENTE</b>
MIXER	T8616	OLLA	ALETAS	Evitar que el concreto se salga de la olla, permitir la descarga del concreto y amasar la mezcla mientras gira la olla.	MEZCLADO INSUFICIENTE
MIXER	T8616	LLANTAS	DIRECCIONAL DERECHA	Amortiguar y dar agarre al eje delantero y favorecer el direccionamiento del vehículo.	TRACCIÓN DE LA DIRECCIONAL DERECHA, INSUFICIENTE.
MIXER	T8616	FRENOS	TENSOR DE BANDAS	Abrirse para presionar la banda contra la campana y ejercer frenado por fricción.	BANDAS DESTENSIONADAS
MIXER	T0627	OLLA	ALETAS	Evitar que el concreto se salga de la olla, permitir la descarga del concreto y amasar la mezcla mientras gira la olla.	MEZCLADO INSUFICIENTE
CAMIÓN	T0627	LATONERÍA Y PINTURA	PARTE INTERIOR	Evitar la oxidación y proveer un ambiente de confort al y proteger al operario.	HAY PRESENCIA DE OXIDACIÓN
MIXER	T0627	FRENOS	BANDAS	Abrirse para presionar la campana y ejercer frenado por fricción.	BANDAS DESTENSIONADAS

TIPO EQUIPO	EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN DEL COMPONENTE	MODO DE FALLA COMPONENTE
ESTACIONARIA	CVV663	MOTOR	MOTOR DE ARRANQUE	Provee el par torsor suficiente para que el motor principal venza la inercia y encienda correctamente.	NO HAY SUFICIENTE PAR TORSOR PARA ARRANCAR EL MOTOR PRINCIPAL
ESTACIONARIA	CVV663	LATONERÍA Y PINTURA	PARTE EXTERIOR	Vender una buena imagen empresarial proteger componentes y sistemas del vehículo y evitar la oxidación.	SE VENDE UNA MALA IMAGEN EMPRESARIAL
ESTACIONARIA	CVV663	BATERÍA DE BOMBEO	AGITADOR	Mantener el concreto en movimiento e impedir que se seque en la tolva.	EL CONCRETO SE PEGA A LA TOLVA
MIXER	BRD163	SUSPENSIÓN	AMORTIGUADOR	Absorber las variaciones del terreno y dar adherencia suficiente de una llanta al piso.	NO HAY SUFICIENTE ADHERENCIA EN UNA RUEDA
MIXER	BRD163	NEUMÁTICO	COMPRESOR	Presurizar aire y enviarlo por los ductos del sistema neumático donde se requiera.	PRESIÓN INSUFICIENTE
MIXER	BRD163	LLANTAS	DIRECCIONAL DERECHA	Amortiguar, dar agarre al suelo y proteger al vehículo en caso de colisión, absorbiendo energía cinética del impacto.	TRACCIÓN DE LA DIRECCIONAL DERECHA, INSUFICIENTE.
MIXER	BRD163	DIRECCIÓN	BOMBA HIDRÁULICA	Presurizar y enviar aceite hidráulico para accionar	Caudal de deficiente

TIPO EQUIPO	EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN DEL COMPONENTE	MODO DE FALLA COMPONENTE
				suavemente la válvula rotativa que actúa sobre el cilindro hidráulico de asistencia.	

**7.1.4 Codificación de las fallas** En la siguiente tabla se muestran las fallas codificadas.

**Tabla 21. Fallas codificadas**

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	COD FALLA
T8616	OLLA	ALETAS	Conformar una mezcla homogénea de concreto en un tiempo óptimo sin sobre-revolucionar el equipo, contener el concreto sin que fragüe	MEZCLA NO HOMOGÉNEA	MOLAL01
T8616	LLANTAS	DIRECCIONAL DERECHA	Amortiguar, dar agarre al suelo y proteger al vehículo en caso de colisión, absorbiendo energía cinética del impacto.	NO HAY SUFICIENTE AGARRE AL PISO	MLLDD01
T8616	FRENOS	BANDAS	Abrirse para presionar la campana y ejercer frenado por fricción.	BANDAS DESTENSIONADAS	MFRBA01
T0627	OLLA	ALETAS	Conformar una mezcla homogénea de concreto en un	HAY PRESENCIA DE PEGA DE	MOLAL02

<b>EQUIPO</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>COMPONENTE</b>	<b>FUNCIÓN</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>COD FALLA</b>
			tiempo óptimo sin sobre-revolucionar el equipo, contener el concreto sin que fragüe	CONCRETO EN EL INTERIOR DE LA OLLA.	
T0627	LATONERÍA Y PINTURA	PARTE INTERIOR	Vender una buena imagen empresarial y evitar la oxidación.	HAY PRESENCIA DE OXIDACIÓN	CLAPI01
T0627	FRENOS	BANDAS	Abrirse para presionar la campana y ejercer frenado por fricción.	BANDAS DESTENSIONADAS	MFRBA01
CVV663	MOTOR	MOTOR DE ARRANQUE	Provee el par torsor suficiente para que el motor principal venza la inercia y encienda correctamente.	NO HAY SUFICIENTE PAR TORSOR PARA ARRANCAR EL MOTOR PRINCIPAL	EMOMA0 1
CVV663	LATONERÍA Y PINTURA	PARTE EXTERIOR	Vender una buena imagen empresarial y evitar la oxidación.	SE VENDE UNA MALA IMAGEN EMPRESARIAL	ELAPE01
CVV663	BATERÍA DE BOMBEO	AGITADOR	Mantener el concreto en movimiento e impedir que se seque en la tolva.	EL CONCRETO SE PEGA A LA TOLVA	EBBAG01
BRD163	SUSPENSIÓN	AMORTIGUADOR	Absorber las variaciones del terreno y dar adherencia suficiente al piso.	NO HAY SUFICIENTE ADHERENCIA	MSUAM0 1
BRD163	NEUMÁTICO	COMPRESOR	Proveer y mantener aire	PRESIÓN	MNEDD0

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	COD FALLA
			presurizada para operar los dispositivos en el freno de aire y/o los sistemas de aire auxiliares.	INSUFICIENTE	1
BRD163	LLANTAS	DIRECCIONAL DERECHA	Amortiguar, dar agarre al suelo y proteger al vehículo en caso de colisión, absorbiendo energía cinética del impacto.	NO HAY SUFICIENTE AGARRE AL PISO	MLLDD02
BRD163	DIRECCIÓN	BOMBA HIDRÁULICA	Presurizar el aceite hidráulico para accionar suavemente la válvula rotativa que actúa sobre el cilindro hidráulico de asistencia.	DIRECCIÓN EXTREMADAMENTE DURA	MDIBO01

**7.1.5 Ponderación de Criterios** El grupo líder de mantenimiento ponderó cada falla, en la tabla anexa se muestran los resultados.

**Tabla 22. Ponderación de las fallas**

EQUIPO	MODO DE FALLA	CÓD. FALLA	d	CM	TPPR	IP	IM	f
T8616	LA MEZCLA NO ES COMPLETAMENTE HOMOGÉNEA	MOLAL01	3	3	3	1	1	1
T8616	NO HAY SUFICIENTE AGARRE AL PISO	MLLDD01	3	4	4	1	1	2
T8616	BANDAS DESTENSIONADAS	MFRBA01	4	5	5	1	1	3

<b>EQUIPO</b>	<b>MODO DE FALLA</b>	<b>CÓD. FALLA</b>	<b>d</b>	<b>CM</b>	<b>TPPR</b>	<b>IP</b>	<b>IM</b>	<b>f</b>
T0627	HAY PRESENCIA DE OXIDACIÓN	CLAPI01	2	3	3	5	2	1
T0627	BANDAS DESTENSIONADAS	AFRBA01	4	5	5	5	1	3
CVV663	NO HAY SUFICIENTE PAR TORSOR PARA ARRANCAR EL MOTOR PRINCIPAL	EMOMA01	5	4	4	3	1	2
CVV663	SE VENDE UNA MALA IMAGEN EMPRESARIAL	ELAPE01	2	3	2	3	2	1
CVV663	EL CONCRETO SE PEGA A LA TOLVA	EBBAG01	3	4	3	3	1	1
BRD163	NO HAY SUFICIENTE ADHERENCIA	MSUAM01	3	5	4	1	4	2
BRD163	DISMINUCIÓN GRADUAL DE LA CAPACIDAD DE MEZCLADO	MOLAL02	3	3	3	1	1	1
BRD163	PRESIÓN INSUFICIENTE	MNEDD01	4	4	4	1	1	1
BRD163	NO HAY SUFICIENTE AGARRE AL PISO	MLLDD02	3	4	4	1	1	2
BRD163	DIRECCIÓN EXTREMADAMENTE DURA	MDIBO01	4	5	5	1	4	2

**7.1.6 Cálculo de la N** Aplicando la fórmula para el cálculo de la necesidad de aplicar mantenimiento a cada equipo según el modo de falla que presenta se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 23. Índice de necesidad de mantenimiento**

EQUIPO	CÓD. FALLA	d	CM	TPPR	IP	IM	f	N
T8616	MOLAL01	3	3	3	1	1	1	12
T8616	MLLDD01	3	4	4	1	1	2	20
T8616	MFRBA01	4	5	5	1	1	3	30
T0627	CLAPI01	2	3	3	5	2	1	17
T0627	AFRBA01	4	5	5	5	1	3	34
CVV663	EMOMA01	5	4	4	3	1	2	22
CVV663	ELAPE01	2	3	2	3	2	1	12
CVV663	EBBAG01	3	4	3	3	1	1	17
BRD163	MSUAM01	3	5	4	1	4	2	27
BRD163	MOLAL02	3	3	3	1	1	1	12
BRD163	MNEDD01	4	4	4	1	1	1	19
BRD163	MLLDD02	3	4	4	1	1	2	20
BRD163	MDIBO01	4	5	5	1	4	2	32

**7.1.7 Cálculo de la Prioridad** Aplicando la fórmula para el cálculo de prioridad de cada falla que se presenta se obtuvieron los siguientes resultados:

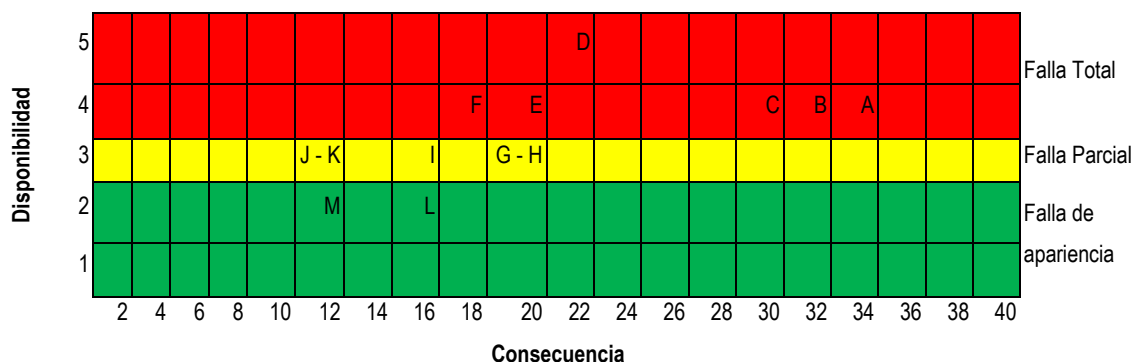
**Tabla 24. Prioridad de atención**

N°	EQUIPO	CÓD. FALLA	d	CM	TPPR	IP	IM	f	N	P
A	T0627	AFRBA01	4	5	5	5	1	3	34	136
B	BRD163	MDIBO01	4	5	5	1	4	2	32	128
C	T8616	MFRBA01	4	5	5	1	1	3	30	120
D	CVV663	EMOMA01	5	4	4	3	1	2	22	110
E	BRD163	MSUAM01	3	5	4	1	4	2	27	81
F	BRD163	MNEDD01	4	4	4	1	1	1	19	76
G	T8616	MLLDD01	3	4	4	1	1	2	20	60

N°	EQUIPO	CÓD. FALLA	d	CM	TPPR	IP	IM	f	N	P
H	BRD163	MLLDD01	3	4	4	1	1	2	20	60
I	CVV663	EBBAG01	3	4	3	3	1	1	17	51
J	T8616	MOLAL01	3	3	3	1	1	1	12	36
K	BRD163	MOLAL02	3	3	3	1	1	1	12	36
L	T0627	CLAPI01	2	3	3	5	2	1	17	34
M	CVV663	ELAPE01	2	3	2	3	2	1	12	24

**7.1.8 Matriz de Criticidad** Categorizando los datos dentro de la matriz de criticidad se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 25. Matriz de criticidad de las fallas seleccionadas**



### 7.1.9 Cronograma de ejecución

N°	COD PLANTA	TIPO EQUIPO	EQUIPO	COD FALLA	d	P	OT/AVISO	ESTADO
1	F016	AUTOBOMBA	T0627	AFRBA01	4	136		
2	F017	MIXER	BRD163	MDIBO01	4	128		
3	F066	MIXER	T8616	MFRBA01	4	120		
4	F016	ESTACIONARIA	CVV663	EMOMA01	5	110		
5	F017	MIXER	BRD163	MNEDD01	4	76		
6	F017	MIXER	BRD163	MSUAM01	3	81		
7	F066	MIXER	T8616	MLLDD01	3	60		
8	F017	MIXER	BRD163	MLLDD01	3	60		
9	F016	ESTACIONARIA	CVV663	EBBAG01	3	51		

N°	COD PLANTA	TIPO EQUIPO	EQUIPO	COD FALLA	d	P	OT/AVISO	ESTADO
10	F066	MIXER	T8616	MOLAL01	3	36		
11	F016	MIXER	BRD163	MOLAL02	3	36		
12	F016	CAMION	T0627	CLAPI01	2	34		
13	F016	ESTACIONARIA	CVV663	ELAPE01	2	24		

Se organiza primero por franjas (colores) según la ubicación en la matriz y segundo por el valor de la prioridad de atención P.

## 7.2 DEFINICIÓN DEL MODELO

A continuación se presenta paso a paso la metodología adecuada para implementar el análisis de criticidad de los modos de falla y definir un cronograma de ejecución de las actividades de mantenimiento.

Paso	Actividad a realizar
1	Identificar y registrar las fallas de los equipos
2	Organizar las fallas en sistemas y componentes
3	Definir funciones y modos de falla
4	Codificar los modos de falla
5	Evaluar cada modo de falla según los criterios definidos
6	Calcular el índice de necesidad de mantenimiento de cada modo de falla
7	Categorizar los fallos en la matriz de criticidad según la frecuencia con que se presenta la falla y su consecuencia estimada.
8	Reorganizar las fallas y definir un cronograma de ejecución para las mismas según el nivel de atención que requiere.

## 8. DEFINICIÓN DE LA PROPUESTA

De la consolidación y revisión de las acciones propuestas, de cada tarea realizada, de las experiencias tomadas de todo el grupo y teniendo en cuenta los elementos a gestionar, se concluye que el sistema de gestión más adecuado para el área de mantenimiento debe contemplar como mínimo los siguientes aspectos.

- Manejo del sistema de información
- Organización de la información técnica disponible
- Administración de los costos de mantenimiento
- Administración de los planes de mantenimiento y optimización de la planeación
- Formación y aplicación de técnicas de monitoreo de condiciones y control de la evolución del proceso.

Se plantea usar una filosofía de mantenimiento enfocada a la eliminación de pérdidas asociadas con paros de los equipos, por lo cual se amplían los objetivos del departamento de mantenimiento a:

- Participar como instructores en la capacitación del personal.
- Ejecutar y dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo.
- Verificar los procesos de mantenimiento de las plantas de concreto con el fin de asegurar su correcta ejecución.
- Participar en el análisis de oportunidad, dando seguimiento a la implementación de proyectos de mejora en las diferentes plantas de concreto.
- Apoyar a las plantas en la reducción de costos (Sustitución de repuestos importados, reparación de piezas, determinación de vida útil de equipos)

- Revisar el proceso de abastecimiento de los repuestos necesarios (Stock) para asegurar la continuidad en la operación de las plantas de concreto.

Al finalizar el proceso de implementación se espera obtener:

- Las diferentes actividades de mantenimiento necesarias para preservar la condición de operación de los equipos de la compañía.
- Los procedimientos de las funciones de mantenimiento, incluyendo las responsabilidades por cargos del personal de las plantas.
- Control de documentos.

## 8.1 DEFINICIÓN DE INDICADORES PARA EL CONTROL DEL PROCESO

Tabla 26. Paquete de indicadores

Indicador	Abreviatura	Modo de cálculo	Unidad
Disponibilidad	d	$TPPF/(TPPR+TPPF)$	%
Número de fallas	f	$\sum Fallas$	Unidad
Costos de mantenimiento	$C_m$	$\sum C_{OT}$	\$
Costos de mantenimiento promedio	$C_{\bar{m}}$	$C_{\bar{m}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{mi}}{n}$	\$
Porcentaje de ejecución	Ejec	$\frac{OTs\ ejecutadas}{OTs\ programadas} \times 100$	%
Backlog	Backlog	$\frac{Trabajos\ pendientes}{Capacidad\ laboral}$	Semanas

**8.1.1 Disponibilidad** Mide la capacidad de un equipo o de la flota para operar bajo condiciones normales de operación sobre un periodo de tiempo determinado. Es un indicador determinístico que traduce los resultados de las acciones de mantenimiento a un índice combinado para un equipo o para el total de la flota.

La disponibilidad para un equipo se calcula como:

$$d = \frac{TPPF}{TPPF + TPPR} * 100 [\%]$$

**TPPF:** El tiempo promedio para fallar es el tiempo medio en que un equipo puede operar a capacidad y sin interrupciones dentro del periodo considerado. En otras palabras, es el tiempo medio de una falla a otra. Se calcula como:

$$TPPF = \frac{\text{Cantidad de horas de operación}}{\text{Número de fallas presentadas}} [\text{Horas}]$$

La cantidad de horas de operación puede extraerse del software SAP en su entorno de producción, donde se encuentran registradas las horas de cargue diarios de todos los vehículos. El número de fallas presentadas también se extrae de SAP según los avisos creados y corresponde exclusivamente a las fallas presentadas durante el periodo de operación contabilizado.

**TPPR:** El Tiempo promedio para reparar es el tiempo medio que toma reparar el equipo después de una falla.

$$TPPR = \frac{\text{Cantidad de horas de mantenimiento}}{\text{Número de fallas presentadas}} [\text{Horas}]$$

La cantidad de horas de mantenimiento se extrae de SAP sumando la duración de la ejecución de las órdenes de trabajo (retroalimentación) de un equipo o de una

flota según se asocie. La cantidad de horas de mantenimiento y el número de fallas presentadas debe calcularse en el mismo periodo de tiempo.

$$d_f = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} [\%]$$

$d_i$  = disponibilidad por equipo mixer o bomba

$n$  = número total de mixer o bombas

$d_f$  = disponibilidad total de la flota mixer o de bombas analizada

La disponibilidad para la flota total de equipos mixer o bombas, se calcula como el promedio de las disponibilidades de los equipos analizados, este indicador se calcula para cada planta (Florida y Suratá) con el fin de que cada jefe de planta ejerza control y estipule las acciones de mejora pertinentes para aumentar la disponibilidad de sus equipos, así como también se calcula para el total de los equipos con miras a establecer objetivamente el avance general del proceso de Mantenimiento.

**8.1.2 Número de Fallas** Este indicador se calcula como el resultado de los reportes de fallas del personal operativo (check list) y mecánico (retroalimentación de órdenes de trabajo) convalidadas por el personal mecánico encargado.

$$f = \sum \text{Fallas}$$

El número de fallas de un equipo se obtiene sumando el total de reportes de fallas o avisos de mantenimiento creados en el sistema de información SAP. De manera equivalente puede obtenerse el total de fallas por flota, por planta o el total de fallas de todos equipos.

**8.1.3 Costos de Mantenimiento** Este indicador lleva cuenta de los costos directos del mantenimiento asociados a sus fallas causantes por equipos o por flotas.

$$C_m = \sum C_{OT} \text{ [\$]}$$

$C_{OT}$ : Es el costo de las ordenes de trabajo asociadas ya sea al equipo o a toda la flota, dependiendo del rango donde se esté calculando.

**8.1.4 Costos de Mantenimiento promedio** Se asocian los costos de mantenimiento directos promedio por flota, este indicador se calcula discriminando equipos tipo mixers de equipos tipo bombas así:

$$C_{\bar{m}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{mi}}{n} \text{ [\$]}$$

$C_{\bar{m}}$ : Costos de mantenimiento promedio para mixer o bombas

n: Número total de mixer o bombas

$C_{mi}$ : Costo de mantenimiento de una mixer o una bomba

La información de los costos de mantenimiento totales por OT se extrae del sistema SAP luego de que está se encuentre debidamente cerrada y retroalimentada por el jefe de planta y el Coordinador.

**8.1.5 Porcentaje de ejecución** Este indicador controla la ejecución de las órdenes de trabajo efectivamente programadas, incluyendo todos los tipos de OTs. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Ejec} = \frac{\text{OTs ejecutadas}}{\text{OTs programadas}} \times 100 \text{ [\%]}$$

OTs ejecutadas: Es el número resultado de la suma del total de órdenes de trabajo ejecutadas.

OTs programadas: Es el número resultado de la suma del total de órdenes de trabajo programadas.

Estos datos se extraen del sistema SAP consultando el historial de ordenes de trabajo y en estado en el que se encuentran las mismas.

**8.1.6 Backlog (Acumulación de trabajo)** Su objetivo principal es mantener un balance perfecto entre la carga de trabajo y los recursos disponibles que evite que los trabajos diferidos se incrementen progresivamente y generen situaciones de deterioro, desorden y frustración por promesas de ejecución que nunca se cumplen en el interior de las plantas.

El Backlog no es más que el trabajo que ha sido planificado pero que no se ha programado, el trabajo planificado y programado pero que no se ha ejecutado o aquel que se ha iniciado pero no se ha completado.

Este índice permite evaluar la utilización del personal en términos de Horas Hombre (HH) en jornadas de trabajo estándar (ocho horas al día).

$$Backlog = \frac{Trabajos\ pendientes}{Capacidad\ laboral} [semanas]$$

Capacidad laboral: Es el tiempo laboral disponible por semanas multiplicado por la fuerza laboral del puesto de trabajo (número de trabajadores mecánicos, electricistas, soldadores o hidráulicos). Por ejemplo, para los mecánicos se posee: (8 horas/día x 5 días/semana) x (2 hombres) = 80 H.H/semana.

Trabajos pendientes: Es la suma en horas de las duraciones de las actividades pendientes, estas se determinan a través de la base de datos del SAP o son estimadas por la experiencia de programador cuando no existen registros.

En pocas palabras, el Backlog estima el tiempo necesario para poder ejecutar y completar los trabajos pendientes, con la fuerza de trabajo que cuentan cada planta. Con este dato se programan los trabajos y se considera ajustar la fuerza de trabajo para agilizar el proceso y controlar el backlog.

Este Backlog debe ser consultado cada vez que le corresponda mantenimiento programado al equipo o cada vez que se presente una avería que represente una emergencia en el equipo.

## **8.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN**

El proceso inicia con la creación de órdenes de mantenimiento preventivas y/o correctivas generadas a partir de avisos de mantenimiento SAP, los cuales parten de los hallazgos reportados en los Check list por los operadores, las inspecciones realizadas a equipos o la alimentación de las variables de control de los equipos (horas de trabajo). Las órdenes de mantenimiento pueden ser programadas o emergencias.

En el caso de las emergencias se elabora la orden de trabajo y se procede a ejecutar de inmediato, en caso de faltar algún repuesto o material la persona que creó la OT (coordinador de flota, jefe de planta o practicante de mantenimiento) debe hacer la requisición registrando el carácter urgente pues el equipo se encuentra en paro.

En el caso de las OTs programadas el planeador de mantenimiento debe incluirlas en el cronograma de mantenimiento (programación diaria). Este cronograma debe ser publicado por el planeador de mantenimiento en la planta respectiva, con suficiente anticipación de modo que el paro de los equipos allí relacionados no afecte la calidad y puntualidad en la distribución del producto a los diferentes clientes. De igual forma el planeador debe asegurar la disponibilidad de los materiales, repuestos y personal subcontratado que se requieran para la ejecución de las actividades.

Una vez se tiene el equipo en el taller, el practicante de mantenimiento se encarga de imprimir la orden de mantenimiento y entregársela al personal técnico encargado de la ejecución; en caso de actividades realizadas por personal propio o in house, el practicante de mantenimiento debe adicionalmente retirar los repuestos necesarios del almacén y aplicar el procedimiento de etiquetaje, bloqueo y prueba para equipos en mantenimiento.

Durante la ejecución del mantenimiento el personal debe aplicar los procedimientos técnicos y de seguridad descritos en la OT. Al finalizar la actividad el practicante debe recoger las órdenes de mantenimiento firmadas por los técnicos, validar los hallazgos y registrar en el sistema SAP los tiempos de duración de los trabajos y las actividades adicionales mediante avisos si es el caso.

En el caso de trabajos realizados en talleres extremos, previo a la ejecución del mantenimiento el proveedor debe enviar una cotización incluyendo el costo de la mano de obra así como de los materiales empleados para realizar el trabajo; esta cotización es validada y tramitada mediante una requisición o solicitud del pedido que elabora el jefe de planta junto a la respectiva orden de compra. Durante la ejecución de actividades externas el jefe de planta o coordinador de flota pueden realizar visitas de supervisión para la recepción y verificación de los trabajos e

igualmente el practicante debe registrar en SAP mediante la retroalimentación de la orden, los tiempos de paro que hayan tenido los equipos.

Una vez recibido a conformidad el trabajo, el proveedor debe enviar la factura para que el jefe de planta o el planeador de mantenimiento acepten los costos en los que se ha incurrido por la realización de las actividades solicitadas en la orden de servicio. Una vez aceptados los servicios las facturas se envían al departamento de contabilidad para su respectiva causación y trámite contable.

Por parte de mantenimiento el proceso finaliza con el cierre técnico y comercial de la orden. Para el caso de emergencias la única diferencia es que el área de mantenimiento puede solicitar a un proveedor externo sus servicios con la orden de mantenimiento como soporte.

### **8.3 MONITOREO Y CONTROL DEL PROCESO**

La alimentación adecuada del software de información SAP permitirá mantener controlado el proceso y conocer en tiempo en tiempo el estado del mismo a través de la consulta del historial de fallos, historial de repuestos, tiempos de mantenimiento, costos de mantenimiento y el listado de órdenes de trabajo generados y actualizados de forma automática por el mismo sistema a partir de la creación de avisos, creación, programación, liberación y retroalimentación de órdenes de trabajo y el registro de las lecturas de los medidores (horómetro y odómetro) por parte de los usuarios.

La codificación de las fallas y su registro en el SAP permite que el trabajo de definir la criticidad se vaya reduciendo con el tiempo, de esta manera el proceso se hará cada vez más fluido.

El control del proceso se da a través del cálculo y revisión periódica de sus indicadores de gestión y de la evaluación comparativa de un periodo a otro para determinar objetivamente su evolución.

**Tabla 27. Control de registros**

Nombre del Registro	Código	Responsable del Archivo	Nivel de Acceso	Lugar de Archivo	Frecuencia de Aparición	Vigencia del Archivo	Disposición después de Vigencia
Formato "Orden de Trabajo" (OT)	COC-MVP-PT-01/1	Ingeniero de mantenimiento ó Planeador de Mantenimiento	Planeador de Mantenimiento	Oficina de Mantenimiento	Por Evento	Un mes	Archivo muerto
Formato "Cuadro de Programación de Mantenimiento"	COC-MVP-PT-01/2	Planeador de Mantenimiento	Planeador de Mantenimiento	Oficina de Mantenimiento	Semanal	Un mes	Tres meses y se destruye
Formato "Entrega Vehículo Mantenimiento Autónomo"	COC-MVP-PT-02/1	Ingeniero de mantenimiento	Ingeniero de mantenimiento o Planeador de mantenimiento	Oficina de Mantenimiento	Por Evento	Un mes	Archivo Muerto
Formato "Reporte Novedades y Daños"	COC-MVP-PT-03/1	Ingeniero de mantenimiento	Ingeniero de mantenimiento	Oficina de Mantenimiento	Por Evento	Un año	Se destruye
Formato "Reporte novedades de llantas"	COC-MVP-PT-03/2	Ingeniero de mantenimiento	Ingeniero de mantenimiento	Oficina de Mantenimiento	Por Evento	Un año	Se destruye
Formato "Registro de varadas en Carretera"	COC-MVP-PT-04/1	Ingeniero de mantenimiento	Ingeniero de mantenimiento	Oficina de Mantenimiento	Por Evento	Seis meses	Se destruye
Formato "Entrega y Recibo de Equipo a Terceros"	COC-MVP-PT-06/1	Ingeniero de mantenimiento	Ingeniero de mantenimiento	Oficina de Mantenimiento	Por Evento	seis meses	Seis meses y se destruye

Para la alimentación del sistema se requiere un estricto control de documentos para lo cual se crearon algunos formatos y se capacitó en su diligenciamiento. Cemex definió los responsables de alimentar, calcular y revisar los indicadores, el nivel de acceso, así como el lugar de almacenamiento, la frecuencia de aparición, la vigencia y la disposición final de estos archivos.

## **9. IMPLEMENTACIÓN EN SAP**

Es de vital importancia que en las plantas se reconozca y maneje adecuadamente el sistema de información para el mantenimiento SAP. Luego de programar el sistema acorde al modelo de gestión definido y tras evidenciarse la falta de competencia y capacitación del personal en el manejo de este software, se desarrolló un manual instructivo del programa para facilitar su uso y garantizar la correcta gestión de la información del proceso.

Este instructivo consta de (4) cuatro capítulos que introducen al lector en el programa y lo conducen a través de la metodología adecuada para realizar las labores esenciales del módulo SAP – PM que requiere la gestión del mantenimiento de las plantas de concretos Floridablanca y Suratá.

Debido a la extensión de este mencionado manual, el mismo se ha consignado como anexo a este trabajo. A continuación se hace una breve introducción del contenido de cada capítulo.

### **9.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES**

Se hace una breve descripción de los conceptos más importantes para que el lector se familiarice con los términos y pueda entender a qué se hace mención cuando estos se traen a colación dentro de los procedimientos.

Dentro de las definiciones se encuentran los conceptos de: Módulo de mantenimiento SAP – PM, Estructura Organizacional, Ubicaciones técnicas, Lista de materiales para mantenimiento, Puesto de trabajo, Equipos, Vehículos, Aviso

de mantenimiento, Orden de Trabajo, Creación de una orden de trabajo (OT), Liberación y programación de una OT, Ejecución de una OT, Notificación de una OT, Cierre técnico de una OT y Liquidación de una OT. Asimilar este lenguaje es necesario para comprender el tutorial.

## **9.2 GESTIÓN DE AVISOS**

En este capítulo se describe la metodología para la correcta creación de avisos (solicitudes de mantenimiento) en el módulo PM – SAP, esta puede llevarse a cabo desde tres diferentes transacciones SAP: IW26, IH01 e IE03. Se describe el procedimiento desde las tres transacciones.

Un aviso es un documento solicitud de un trabajo a realizar, un reporte de una falla o anomalía identificada en algún equipo que generalmente reporta operaciones.

Únicamente aplica para mantenimientos no planeados o correctivos. En el caso de mantenimiento preventivo no es necesario, este lo genera automáticamente SAP, según la planeación definida.

La correcta y oportuna realización de esta actividad permite reportar daños o novedades en los equipos y generar solicitudes de mantenimiento para que se creen órdenes de trabajo asociadas.

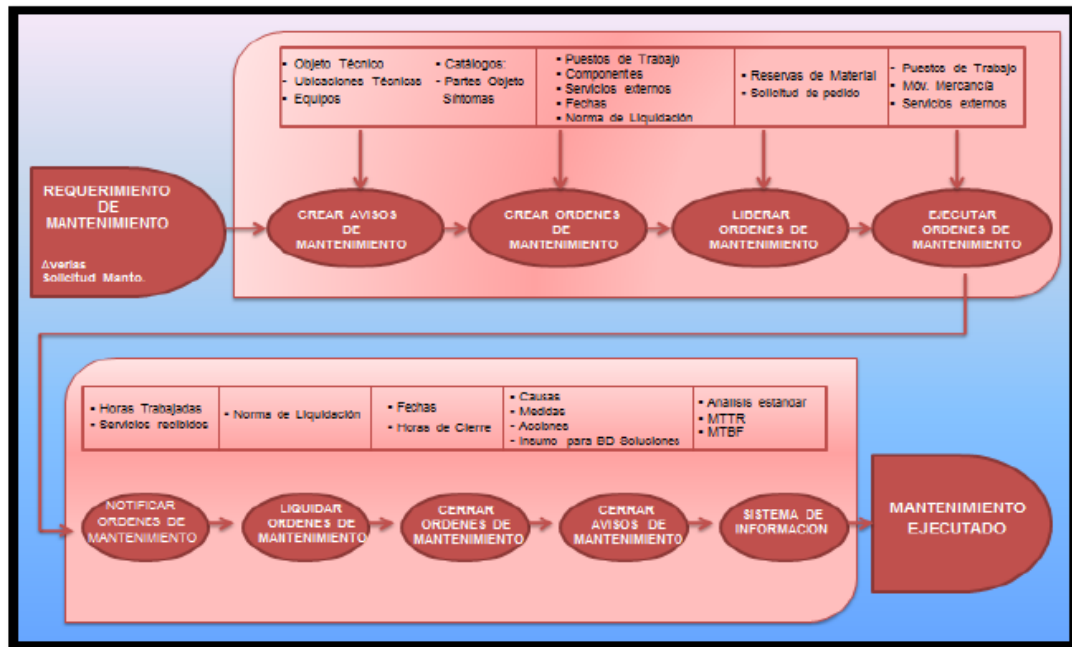
Los avisos son mecanismos para llevar el historial de las reparaciones efectuadas en los equipos y capturar información técnica de la reparación, que es importante cuando se presenta una nueva falla o condición.

### 9.3 GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO PROGRAMADO

La gestión del mantenimiento programado en el módulo PM – SAP es básicamente el proceso de implementación y ejecución del mantenimiento preventivo para los equipos de la empresa.

El proceso del mantenimiento programado inicia con el requerimiento o necesidad, se planifican y programan las actividades, se genera la orden de mantenimiento que posteriormente son liberadas y ejecutadas, después de realizarse las respectivas órdenes de mantenimiento estas son notificadas, se cierran con el sistema de información que es el encargado de manejar toda la logística del módulo de mantenimiento. Este proceso lleva implícitamente las estrategias de tiempo y frecuencia de ejecución de las tareas de mantenimiento.

**Figura 24. Logística del modulo SAP- PM**



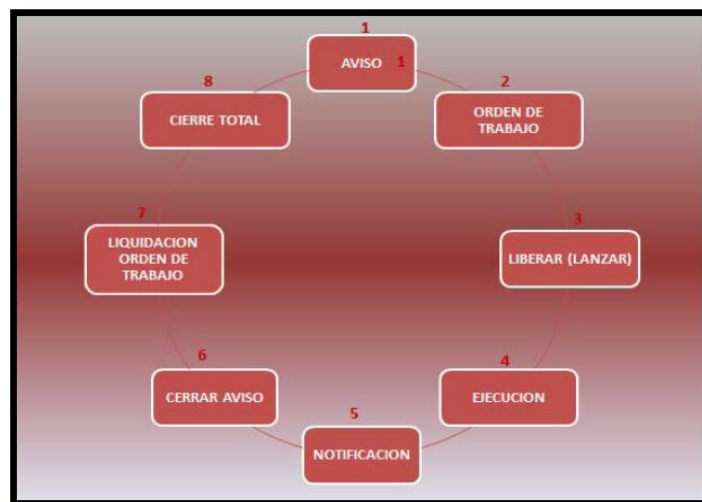
En este capítulo se describe la metodología para el registro de las lecturas de los medidores horómetro, odómetro y consumo de combustible a través de la creación y/o documentos de medición en la transacción IK11.

La correcta y oportuna realización de esta actividad permite registrar las lecturas de los medidores de los equipos en el sistema SAP, para que los planes de mantenimiento programados disparen de forma automática notificaciones SAP; que indican el momento en el que un equipo requiere mantenimiento preventivo y permiten su programación.

#### 9.4 GESTIÓN DE ÓRDENES DE MANTENIMIENTO (OTs)

En este capítulo se describe la metodología para la creación y retroalimentación de órdenes de trabajo u órdenes de mantenimiento. La correcta y oportuna realización de esta actividad permite estipular los procedimientos adecuados y seguros para ejecutar un trabajo de mantenimiento.

**Figura 25. Ciclo de las OTs en el módulo SAP - PM**



Siguiendo los pasos indicados en este capítulo se podrán retroalimentar OTs y así, captar información real y muy importante para mantenimiento (duración real de las tareas, fallas detectadas, trabajos pendientes, recursos adicionales), que conllevarán a que se ejecuten completamente los trabajos, se pueda hacer una programación más efectiva de los mismos y se puedan crear proyectos de mejora para el plan de mantenimiento, ajustándolo al estado de vida útil de los equipos y a la tasa de fallas que presenten.

## 10. CONCLUSIONES

- Este modelo de gestión busca que se evite caer en el paradigma de “a más mantenimiento menos fallas”, mejora los diagnósticos y tiempos de respuesta del equipo porque analiza cada uno de los modos de falla de un equipo y plantea su ejecución siguiendo un orden jerárquico, optimiza el control de los costos de mantenimiento y mejora la motivación de las personas al tener un norte y una definición clara de su responsabilidad ante una situación dada.
- El objetivo del mantenimiento es garantizar la función requerida de los equipos y sistemas, no eliminar todas las fallas, practicar el mantenimiento sin poner las manos en el equipo aumenta la confiabilidad y sólo se deben realizar reparaciones permanentes para eliminar los problemas crónicos.
- El mantenimiento no aumenta la confiabilidad de equipos, sólo mantiene la confiabilidad proyectada, para aumentarla es preciso evitar la intervención humana innecesaria. La confiabilidad cuesta dinero y sólo debe buscarse cuando realmente sea efectiva.
- El listado del histórico codificado de fallas y su jerarquización de acuerdo a su criticidad permiten ir refinando el proceso de programación a medida que van aumentando los datos de tiempos, costos y ciclo de vida de los equipos.
- Como conclusión final el trabajo cumplió con su objetivo general de Fortalecer los vínculos entre la Universidad Industrial de Santander y Cemex Colombia S.A. a través de la continuidad de proyectos de mutuo beneficio ya que los jefes de planta vieron que el trabajo desarrollado fue bueno y necesario para la

compañía y por tanto determinaron darle continuidad al proceso y continuar haciendo nuevas solicitudes de practicantes.

## 11. RECOMENDACIONES

- La aplicación de técnicas para análisis de fallas proveen un método efectivo de priorizar y atender las fallas. Se debe enfatizar en el origen de la causa de las fallas y no en solamente reparar.
- Las causas de la acumulación de trabajo son un factor importante a seguir y evaluar, especialmente en los casos en que el backlog aumenta continuamente y se escapa del control. Falta de materiales, disposiciones operacionales y de seguridad, equipos obsoletos, falta de capacitación del personal deben ser analizados para su corrección y control.
- La referencia o target para el backlog en organizaciones de “clase mundial” está entre 3 a 6 semanas. Si el backlog está por encima de estos valores puede considerarse un ajuste de la fuerza de trabajo: - más horas extras - incorporación de cuadrillas temporales o - ajustar la planificación a través de un sistema de prioridades más estricto. Por otro lado si el valor del backlog está por debajo de los valores de referencias, podría ser indicativo de que los tiempos estimados para la ejecución de las OT han sido sobre estimados.
- El éxito del modelo de gestión requiere de una cultura organizacional donde cada uno de los actores del proceso de mantenimiento este íntimamente comprometido con la consecución de objetivos y el alcance de las metas. Por este motivo se sugiere hacer proyecciones de los indicadores e incentivar a trabajar mancomunadamente por la mejora continua de los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

BELTRÁN F, Fernando y LEDESMA V, John Jairo. Implementación de un programa de mantenimiento en SAP basado en la metodología de RCM para una máquina lavadora de botellas. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica, 2016. 76p

CÁCERES, Beatriz. Cómo Incrementar la Competitividad Mediante Estrategias para Gerenciar Mantenimiento. Bogotá: ACIEM, 2004. 78p

CEMEX COLOMBIA S.A. [En línea] Consultado durante todo el tiempo de ejecución del proyecto. Disponible en internet. <  
<http://www.cemexcolombia.com/Index.aspx>>

Cemex Latam Holdins. Acerca de Nosotros: Colombia. [www.cemexlatam.com](http://www.cemexlatam.com). [En línea] 2014. [Citado el: 7 de Noviembre de 2014.]  
<http://www.cemexlatam.com/ES/AcercaNosotros/Colombia.aspx>.

CORTES MORENO, Luisa Fernanda. Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los equipos de transporte y bombeo de concreto de la empresa Holcim (Colombia) S.A. Monografía de grado Especialista en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2015. 64p

FUENTES P, David Javier; RINCÓN R, Oscar M y otros. Implementación de la estrategia RCM-MSG3 en el módulo PM SAP, para las plantas de Avidesa Mac Pollo S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga. Universidad

Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2016. 116p

GONZÁLEZ JAIMES, Isnardo. Seminario II: Monografía de Especialización. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander-UIS. Posgrado en Gerencia de Mantenimiento, 2008. 62p

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMA TÉCNICA. NTC 1486. 2008. Documentación y presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de Investigación. Sexta Actualización. Bogotá D.C. INCONTEC 2008 36p.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Planeación, ejecución y control. Bogotá: Alfaomega Colombiana S.A, 2009. 504p

MORERA A, Víctor Hugo y VALENCIA Q, Carlos Antonio. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para la productora de Concreto Hormigón Colombia S.A. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. 2016. 78p

S.I: Manual de Indicadores de Mantenimiento. Capítulo 4, indicadores de efectividad.