

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL EQUIPO  
DE MAYOR CRITICIDAD EN LA PLANTA PREMEZCLADORA CIFA, CEMEX  
BELLO -ANTIOQUIA

HEITMAN ZAMIR CARREÑO ARDILA

OSCAR JAIME ROTAVISTA CASTAÑO



UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
MEDELLÍN, 2019

DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM PARA EL EQUIPO  
DE MAYOR CRITICIDAD EN LA PLANTA PREMEZCLADORA CIFA, CEMEX  
BELLO -ANTIOQUIA

HEITMAN ZAMIR CARREÑO ARDILA

OSCAR JAIME ROTAVISTA CASTAÑO

PROPUESTA DE MONOGRAFIA PARA OPTAR POR AL TITULO DE  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

ASESOR

CÉSAR MONTEROZA ARRIETA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
MEDELLÍN, 2019

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| 1. RESUMEN.....  | 7  |
| 2. JUSTIFICACIÓN.....  | 8  |
| 3. OBJETIVOS.....  | 9  |
| 3.1. OBETIVO GENERAL .....   | 9  |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 9  |
| 4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....  | 10 |
| 5. METODOLOGÍA .....   | 17 |
| 5.1. Análisis de criticidad para equipos de planta .....                                     | 17 |
| 5.2. Contexto operativo .....  | 19 |
| 5.3. Análisis de criticidad para componentes del equipo seleccionado.....                    | 20 |
| 5.4. Funciones.....  | 20 |
| 5.5. Fallas funcionales .....  | 21 |
| 5.6. Modos de Fallo.....   | 21 |
| 5.7. Efecto de los fallos .....  | 22 |
| 5.8. Consecuencias de falla .....  | 23 |
| 5.9. Diagrama de decisión.....   | 24 |
| 5.10. Tareas de mantenimiento .....  | 25 |
| 6. RESULTADOS Y ANALISIS .....   | 27 |
| 6.1. Análisis de criticidad equipos planta pre mezcladora CIFA.....                          | 27 |
| 6.2. Contexto operativo .....  | 29 |
| 6.3. Selección de componentes del pre mezclador CIFA DNA 1,5 para análisis RCM 41            |    |
| 6.4. Funciones de los componentes de mayor criticidad en el pre mezclador CIFA DNA 1,5 ..... | 42 |
| 6.5. Fallos funcionales, modos de falla y efectos de los fallos .....                        | 44 |
| 6.6. Hoja de resultados RCM .....  | 45 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 6.7. Tareas de mantenimiento..... | 47 |
| 7. CONCLUSIONES .....             | 49 |
| 8. RECOMENDACIONES.....           | 51 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA.....              | 52 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Guía practica para análisis de criticidad, tomada Manual de mantenimiento (Pistarelli).....          | 18 |
| Figura 2 Modelo tabla indicador de criticidad, fuente propia.....   | 19 |
| Figura 3 Modelo hoja de análisis RCM, tomada de Manual de mantenimiento (Pistarelli)                          | 23 |
| Figura 4 Categorías de las consecuencias de los fallos, tomada de Manual de mantenimiento (Pistarelli) .....  | 24 |
| Figura 5 Diagrama de decisión RCM, tomado Manual de mantenimiento (Pistarelli) .....                          | 25 |
| Figura 6 Modelo Hoja de Resultados RCM, adaptada de Manual de mantenimiento (Pistarelli).....                 | 26 |
| Figura 7 Modelo plan de mantenimiento, fuente propia.....   | 26 |
| Figura 8 Toma parcial del listado de equipo, fuente propia .....  | 27 |
| Figura 9 Portada SIM, fuente Cemex.....   | 28 |
| Figura 10 Historial de varadas plantas CIFA, fuente Cemex. ....   | 28 |
| Figura 11 Indicador de criticidad para equipos de planta pre mezcladora CIFA, fuente propia. ....             | 29 |
| Figura 12 Planta pre mezcladora ALTRON, fuente Cemex. ....  | 30 |
| Figura 13 Planta pre mezcladora CIFA Bello, fuente propia.....  | 30 |
| Figura 14 Ubicación planta Bello, fuente Maps. ....   | 31 |
| Figura 15 Toma aérea planta Bello, fuente propia. ....  | 31 |
| Figura 16 División en sistemas de planta pre mezcladora CIFA, fuente modulo PM SAP Cemex. ....                | 32 |
| Figura 17 Estructura de sistemas y equipos, fuente modulo PM SAP Cemex.....                                   | 34 |
| Figura 18 Pre mezclador CIFA DNA 1,5, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.....                | 35 |
| Figura 19 Datos técnicos pre mezclador, fuente Manual de uso y mantenimiento-CIFA mezclador de doble eje..... | 35 |
| Figura 20 Cubierta superior, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.....                         | 36 |
| Figura 21 Recubrimiento de desgaste, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.....                 | 37 |
| Figura 22 Ejes con elementos de mezclado, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.....            | 37 |
| Figura 23 Sistema de accionamiento, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.....                  | 38 |
| Figura 24 Sellos y sistema de lubricación para puntas de ejes pre mezclador CIFA.....                         | 38 |
| Figura 25 Puerta de descarga, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R. ....                       | 39 |
| Figura 26 Indicador de criticidad para componentes del pre mezclador CIFA, fuente propia. ....                | 41 |
| Figura 27 Hoja de análisis RCM para motor de 30Kw del pre mezclador CIFA, fuente propia. ....                 | 44 |
| Figura 28 Hoja de Resultados RCM para Motor 30 Kw, fuente propia. ....  | 46 |
| Figura 29 Tareas de mantenimiento para pre mezclador CIFA DNA 1,5.....  | 48 |

**LISTA DE TABLAS**

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabla 1 Listado de componentes y subsistemas.....</i>                                    | <i>40</i> |
| <i>Tabla 2 Funciones de los componentes críticos del pre mezclador, fuente propia. ....</i> | <i>42</i> |

## 1. RESUMEN

**PALABRAS CLAVE:** RCM, Mantenimiento, MCC, máquinas, empresa, proceso, requerimientos.

En la presente monografía se evidencia el modelo de RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) en la planta de concreto CIFA de Bello – Antioquia. Esto se realiza gracias al análisis de criticidad de los equipos de la planta en mención, los cuales, a pesar de que cuentan con un plan de mantenimiento medible, presenta niveles criticidad, afectando el proceso productivo de la planta pre mezcladora.

El desenvolvimiento del modelo en mención debe ser aplicado por el equipo de mantenimiento a cargo de la planta, teniendo en cuenta que la revisión e intervención (incluyendo la toma de datos) debe realizarse desde el inicio, y no solo cuando se encuentran en funcionamiento dentro de esta. Específicamente, la unidad pre mezcladora de doble eje horizontal, con capacidad de mezclado igual a 1,5 metros cúbicos por bache, la cual se encuentra en un alto estado de criticidad (280 puntos) lo cual indica un requerimiento de intervención.

Se toman como base, datos arrojados por el Sistema de Gestión de Mantenimiento (SAP) de la planta CIFA, en los cuales se incluyen registros de averías de mantenimiento predictivo, correctivo, preventivo; incluyendo el análisis de criticidad de los equipos registrados en la planta,

El resultado se enfoca en la mejora y optimización del funcionamiento del sistema de mezcla del cemento, impactando así de manera positiva la operatividad general de la planta y su capital humano.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La compañía CEMEX S.A. es una compañía multinacional fundada en el año 1906 con la apertura de una de sus primeras plantas en México. Actualmente, en Colombia cuenta con 55 plantas de fabricación de concreto, incluyendo la planta CIFA, ubicada en Bello – Antioquia a partir del año 2012, lo cual logró a través del paso del tiempo, radicándose como una de las empresas líderes en solución integral en soluciones al constructor.

Según los parámetros brindados por el fabricante del equipo, las labores de mantenimiento no alcanzan a garantizar la disponibilidad esperada del equipo, lo que se ve reflejado en el indicador de intervenciones de mantenimiento correctivo, disminuyendo los niveles de producción de la planta.

En el presente trabajo se implementará el modelo de RCM como coadyuvante a la gestión de mantenimiento para la unidad pre mezcladora de doble eje horizontal de la planta CIFA, garantizando la disponibilidad de los recursos de maquinaria y producción en la planta.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM para la planta pre-mezcladora CIFA - Bello, estableciendo una propuesta que permita disminuir los paros no programados del equipo y de la planta.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar, mediante un estudio de criticidad, cuál es el activo de mayor impacto en el proceso productivo para la planta pre mezcladora CIFA, ubicada en Bello – Antioquia.
- Describir el contexto operativo del equipo de mayor criticidad y los subsistemas que lo componen.
- Definir la función del equipo de mayor criticidad en el proceso y las funciones de los componentes críticos que lo conforman.
- Desarrollar las hojas de análisis RCM para el equipo de mayor criticidad de la planta.
- Establecer el plan de mantenimiento basado en RCM para la entrega a la compañía CEMEX.

#### 4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Para Pistarelli (2010) el mantenimiento es un proceso de gestión integral que comienza desde el principio de ciclo de vida de los equipos. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) o ReliabilityCentredMaintenance) es un método estructurado y holístico que define la estrategia de mantenimiento más apropiada para cada equipo en relación al contexto operativo real en el cual se desenvuelve, sirviendo para diseñar el plan de mantenimiento de una máquina nueva o para mejorar el de una ya existente.

Concibiendo que la idea del mantenimiento se está modificando y actualizando a las nuevas perspectivas y necesidades a nivel organizacional en cuanto a dicha área, se está brindando mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, reconociendo la conexión que existe entre el mantenimiento y la calidad del producto con el aumento de la presión exigida en cuanto a la consecución de optimización de la maquinaria y una alta disponibilidad para dar respuesta a las necesidades expuestas por la compañía, ya que el costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado se comenzaron a implantar sistemas de control y planeación del mantenimiento. Estos han ayudado a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo (John, 1997).

Dicho esto, el objeto de estudio se encuentra en el giro de soluciones al constructor a través de la planta fabricadora de concreto con estándares de calidad con el debido cumplimiento de la norma colombiana. Para una mayor definición, el concreto es el producto de la mezcla de cemento, arena, grava, aditivo y agua con un producto de material perecedero debido al limitado tiempo con el que se cuenta para su uso antes de secarse.

Existen dos tipos de plantas y se diferencian en el método que usan para homogenizar la mezcla. Planta dosificadora y planta pre-mezcladora.

La planta de CEMEX ubicada en Bello - Antioquia es una planta pre mezcladora de referencia CIFAMOOVE 60,4 R. con una capacidad de producción de 60 metros cúbicos por hora, y su conjunto está diseñado para moverse en carretera en un solo modulo, fácil de instalar y capaz de ponerse en funcionamiento rápidamente. Cabe decir que las plantas de concreto CIFA, objeto de desarrollo de la presente monografía, fueron desarrolladas a partir del año 1956 y la primera unidad operativa instalada de este tipo estuvo situada en la construcción de una represa de agua en Italia.

La metodología RCM surge como un modelo de adaptación a la industria por medio del contexto aeronáutico durante la década de 1960. Sin embargo, sus primeros datos oficiales datan de un documento publicado en el año 1978 por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Pistarelli, 2010).

Para que el impacto del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad sea evidente, se debe salir de la mentalidad tradicional que se enfoca en que el mejor modo de mejorar la planta y su disponibilidad a nivel de equipos es realizar mantenimientos de forma rutinaria, proponiendo que la acción preventiva debe consistir en una reparación del equipo o cambio de componentes a intervalos fijos (Hung, 2009).

De manera afortunada, el mantenimiento está reaccionando ante nuevos retos a nivel organizacional dando una mayor importancia a los aspectos ambientales y de seguridad, siendo conscientes de la correlación entre el mantenimiento y la calidad del producto a ofrecer, y un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que se optimizan. Frente a esta avalancha de cambios, el personal que dirige el mantenimiento está buscando un nuevo camino, y es justo para esto que aparece el RCM.

Dicho proceso, consta de siete (7) fases o pasos fundamentales, descritos de la siguiente manera:

**Paso 1:** Selección del sistema y recolección de la información.

**Paso 2:** Definición de fronteras del sistema.

**Paso 3:** Descripción del sistema y diagrama de flujo.

**Paso 4:** Función del sistema y fallas funcionales.

**Paso 5:** Análisis de modo de fallas y defectos.

**Paso 6:** Análisis del árbol lógico (diagrama de decisión).

**Paso 7:** Selección de tareas.

Todo con la intención de realizar RCM y brindar soluciones eficientes a la compañía y el objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Los objetivos secundarios tienen la tarea de aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir, y disminuir al mismo tiempo los costes de mantenimiento. El análisis de los fallos potenciales de una instalación industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

- Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos.
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Para VerdeciaFusté (2010) éste se desarrolló inicialmente para la industria de aviación civil hace más de treinta años, ya que éste proceso permite determinar las tareas de mantenimiento indicadas para cualquier activo físico (maquinaria) y

actualmente es utilizado por las empresas de todo el mundo como método de innovación en el área en la cual se desenvuelve.

Su existencia se generó un cambio a nivel cultural que se tiene en cuenta en las compañías actuales respecto a lo que el mantenimiento hace referencia.

Moubray (2004) el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años, obteniendo la mayoría de beneficios enfocados en la mayor seguridad y protección del entorno, mejores rendimientos a nivel operativo, se obtiene un control de los costos del mantenimiento, y a su vez impacta en el recurso humano de la organización brindándoles mayor motivación a la hora de intervenir en el proceso de revisión, la cual inicia en la definición de las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Los principales beneficios de la metodología en mención se basan en el establecimiento de rutinas más efectivas en cuanto a mantenimiento se refiere, haciendo estrictamente lo necesario para cada proceso operativo. Por otra parte, reduce el riesgo de accidentes y aumenta la disponibilidad y confiabilidad de las máquinas, evitando así que la planta sufra paros innecesarios y termine afectando incluso en términos de capital humano.

Dicho lo anterior, al hablar de capital humano se hace referencia al grupo de análisis de RCM, el cual se encuentra conformado por las personas que más conocen la máquina y han tenido oportunidades tanto de intervenirla como de usarla para su fin comercial. Entre este equipo pueden encontrarse desde operadores hasta supervisores de producción y mantenimiento que tengan un criterio de pensamiento amplio y nunca debe superar las 7 personas lideradas por un facilitador (Pistarelli, 2010).

Éstas personas, deben diseñar el denominado “Master Plan de Implementación” que incluye todas las máquinas sobre las cuales se aplicará la metodología RCM (áreas de oportunidad), teniendo en cuenta que para esto el historial de

mantenimiento de los equipos debidamente documentado en la planta no requiere pertenecer a un sólido sistema informático. En síntesis, con esto se propende a evitar equivocarse cuando se toma alguna acción de mejora. Trata de encontrar un marco de trabajo estratégico que sintetice los nuevos avances en un modelo coherente, de forma que puedan evaluarlos racionalmente y aplicar aquellos que sean de mayor valía para ellos y sus compañías.

Por otra parte, es necesario decir que los análisis RCM deben ser revisados de forma regular listando los posibles cambios de contexto a nivel operativo, verificando que no exista alteración alguna de estos.

Una de las partes más importantes del RCM es el análisis o la descripción de los modos de falla, los cuales, para Pistarelli (2010) es un evento o causa raíz que puede ocurrir en el componente y provocar la falla funcional del equipo al cual pertenece.

Metodológicamente hablando, el RCM se centra en el contexto operacional de la compañía en la cual se desenvolverá fundamentado en la norma SAE-JA 1012 del año 2012, la cual plantea que se debe realizar una descripción del uso del activo dentro de la compañía. Para Pistarelli (2010) “La descripción del contexto permite conocer todas las circunstancias reales bajo las cuales funciona el equipo” (Pág. 371).

En sí, las funciones se catalogan como funciones primarias y secundarias. En primera instancia, las funciones primarias son la razón de su adquisición. En segunda instancia, las funciones secundarias se refieren a temas menos evidentes como control, seguridad, protección, y eficiencia, claramente estos ejemplos pese a ser menos evidentes, acarrearán una importancia bastante significativa, dicho de otra forma una falla de una función secundaria puede traer consecuencias inclusive mayores a las consecuencias de la falla de una función primaria.

En cuanto a los modos de falla descritos en el proceso, afirma Pistarelli (2010) “la Norma ISO 14001 de 2004” establece que un sistema es un conjunto de equipos. Las funciones en los equipos hacen posible que el sistema satisfaga los

requerimientos del proceso productivo. Las fallas funcionales (debidas a cualquier modo de falla) ocurridas en los equipos, pueden afectar directamente la funcionalidad de todo el sistema.”

En cuanto a normatividad, la norma SAE-JA 1012 de 200 establece los criterios fundamentales que deben ser aplicados por el RCM, sirviendo de guía para su aplicación, estableciendo, en primera instancia, que el proceso de RCM debe asegurar que se dé respuesta a las siete preguntas sobre los equipos analizados en el debido orden. Las primeras cinco preguntas, hacen énfasis en las funciones que cumplen los equipos dentro de la planta, las maneras en las cuales pueden presentar fallas, así como los motivos, efectos y consecuencias, y las últimas dos hacen referencia a la forma de determinar la estrategia de mantenimiento basándose en la influencia y relevancia de dichas fallas (SAE, 2002).

Para la norma SAE-JA 1012 de 2002 las consecuencias de falla deben ser formalmente categorizadas para evaluar posteriormente las consecuencias de cada modo de falla, con sus respectivas descripciones (SAE, 2002).

En última instancia, las tareas de mantenimiento dependen del tipo de equipo al cual se le realizará la debida intervención, así como las recomendaciones brindadas por el fabricante, la experiencia del personal de mantenimiento, registro de la hoja de vida del equipo, y el uso de las diversas metodologías como en este caso el RCM, con el objetivo de preservar el equipo y reducir o erradicar las fallas que han venido afectándolo.

Para Moubray (2004) una gran ventaja del RCM al ser aplicado en éste tipo de plantas es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir qué tarea sistemática es técnicamente posible en cualquier contexto, y si fuera así para decidir la frecuencia en que se hace y quien debe de hacerlo. Estos criterios forman la mayor parte de los programas de entrenamiento del RCM, ya que éste también ordena las tareas en un orden descendiente de prioridad y si las tareas no son técnicamente factibles, entonces se debe tomar una acción apropiada.

Para finalizar, si el RCM se usa correctamente para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los equipos existentes, transformará ambos requisitos y la forma en que se percibe la función del mantenimiento como operación total. El resultado es un mantenimiento menos costoso, más armonioso y más eficaz (Moubray. 2004).

## 5. METODOLOGÍA

Gracias a la demanda y a las múltiples definiciones sobre RCM, se ha establecido el uso de la norma SAE-JA 1012 para regir las metodologías que se establecen a partir de dicho plan de mejoramiento.

Dicho esto, se aplicara la metodología definida por Pistarelli en el Manual de Mantenimiento, para implementar el modelo de RCM al equipo de mayor criticidad de la plante CIFA bello, buscando aumentar la disponibilidad y confiabilidad del equipo, resultado que a su vez favorece los indicadores globales de toda la operación.

El objetivo principal de esta monografía implica definir el quipo de mayor criticidad para la operación, por lo cual el desarrollo de la metodología inicia con la realización de un análisis de criticidad para todos los equipos de la planta, como resultado del análisis se establecerá el equipo objeto de estudio, se continua realizando la descripción del medio en donde se encuentra el equipo, sus subsistemas y su contexto operativo. Por la complejidad de los equipos de la planta y siendo este un ejercicio académico, se realizara un segundo análisis de criticidad sobre el equipo ya definido, para establecer los componentes críticos, a partir de estos se comienza a desarrollar el análisis RCM que arrojará como resultado las tareas de mantenimiento que serán sugeridas a Cemex para que el equipo de mayor criticidad disminuya su tasa de averías.

### 5.1. Análisis de criticidad para equipos de planta

Como guía para el análisis de criticidad se tomó lo establecido por Pistarelli (2010) en el Manual de Mantenimiento: ingeniería, gestión y organización (Pg. 681) el cual determina en su apartado denominado Guía Práctica para estimar

criticidades, que se deben establecer niveles de criticidad en unidades funcionales, como en éste caso, los equipos ubicados en la planta CEMEX ubicada en Bello – Antioquia. Éste Grado de Criticidad (GC) se usa entonces para medir el impacto en el negocio que produce la detención por averías.

Se debe tener claridad de los equipos que serán objeto del estudio de la criticidad, posterior a esto se deben cuantificar cada uno de los factores según los detalla la figura 1, esta cuantificación debe hacerse con base al histórico de averías presentadas por los diferentes equipos y acompañados de un equipo conformado por personas que conozcan toda la operación desde diferentes puntos de vista (producción, seguridad y mantenimiento). Finalmente el indicador de criticidad lo definirá la suma de los productos (Peso X Impacto), el cual se clasificará en 3 niveles como lo muestra la figura 1 parte inferior

| MATRIZ DE CRITICIDAD                          |               |   |       |
|---|---------------|---|-------|
| Factores                                      | Peso relativo | Impacto   | P X I |
| Seguridad y medio ambiente                    | 10            | Si hay riesgo=10; si no hay riesgo=0  |       |
| Produccion                                    | 7             | Para proceso productivo=10; disminuye capacidad operativa=5; No hay afectacion=0                  |       |
| Calidad                                       | 7             | Afecta la calidad irreversible=10; afecta la calidad pero es reversible=5; No afecta la calidad=0 |       |
| Perdidas/daños                                | 5             | superiores a 10 mill=10; entre 2 y 10 mill=5; inferiores a 2 mill=0                               |       |
| Equipos redundantes                           | 4             | Si existe=0; No existe=10   |       |
| Regimen de marcha                             | 3             | Tiempo de operación mayor a 75% de todo el proceso=10; inferior al 75%=0                          |       |
| Frecuencia de fallas                          | 3             | >6 fallas/año=10; >2 fallas/año=5; <2 fallas/año=0  |       |
| Equipos de reserva                            | 2             | Existen repuestos=0; No existen repuestos=10  |       |
| MTTR  | 2             | mayor a 8 horas=10; 4 a 8 horas=7; 2 a 4 horas=4; menor a 2 horas=1                               |       |
| <b>CRITICIDAD= Sumatoria (peso x Impacto)</b> |               | <b>sumatoria</b>  |       |
| Mayor o igual a 160= A                        |               | Equipo critico para el proceso  |       |
| De 100 a 159= B                               |               | Equipo de mediana criticidad  |       |
| Hasta 99 = C                                  |               | Equipo no critico   |       |

*Figura 1 Guía práctica para análisis de criticidad, tomada Manual de mantenimiento (Pistarelli)*

La figura 2, muestra el modelo de la tabla para la consolidación del cálculo del indicador de criticidad para todos los equipos. Se debe tener en cuenta el significado de las siguientes siglas:

- SMA- Seguridad y medio ambiente: Se genera alguna consecuencia que afecte la integridad de las personas o el medio ambiente.
- PRD- Producción: La avería produce una disminución total o parcial de la capacidad operativa. (sin tener en cuenta equipos Stan-by).
- CAL- Calidad: Una avería produce afectación a la calidad del producto.
- P&D- Perdidas/daños: Las averías ocasionan daños de alto costo de reparación, pero no afecta la producción.
- STB- Equipos redundantes (stan-by): Existencia de equipos instalados, operativos y fuera de servicio, que soporte la avería de otro.
- RGM- Régimen de marcha: El equipo trabaja más del 70% del ciclo operativo.
- FRF- Frecuencia fallas: Frecuencia de las detenciones por averías.
- EQR: Equipo d reserva: Se cuenta con repuestos que permitan reparar una avería rápidamente.
- MTTR: Tiempo medio de reparación.

| SISTEMA | EQUIPO | PESO RELATIVO    |     |     |     |     |     |     |     |      |   | INDICADOR DE CRITICIDAD SUMATORIA (PESO X IMPACTO) |
|---------|--------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|---|--|
|         |        | 10               | 7   | 7   | 5   | 4   | 3   | 3   | 2   | 2    | 2 |  |
|         |        | IMPACTO FACTORES |     |     |     |     |     |     |     |      |   |  |
|         |        | SMA              | PRD | CAL | P&D | STB | RGM | FRF | EQR | MTTR |   |  |
|         |        | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0 | ● 0  |
|         |        | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0 | ● 0  |
|         |        | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0 | ● 0  |
|         |        | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0 | ● 0  |
|         |        | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0 | ● 0  |
|         |        | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0 | ● 0  |
|         |        | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0 | ● 0  |
|         |        | 0                | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0    | 0 | ● 0  |

Figura 2 Modelo tabla indicador de criticidad, fuente propia.

## 5.2. Contexto operativo

Al tener definido lo que se analizará, debe hacerse un enfoque al contexto en el cual se desenvolverá el activo dentro de la compañía. Éste debe ser documentado con el fin de conocer el entorno en el cual el equipo desarrolla su función y a su

vez, debe ser explicado de tal manera que pueda ser comprendido por el personal perteneciente al ámbito industrial.

Primero se detallara sobre la planta en general, localización, antigüedad, capacidad, mercado afectado con las indisponibilidades, sistemas que la conforman y sus funciones. Luego se debe profundizar en el equipo objeto de estudio, su descripción, como funciona, subsistemas y componentes.

Su respectivo desarrollo debe contener toda la información respectiva sobre la instalación, ya que todos los equipos actúan en diferentes contextos operativos, demandando planes de mantenimiento que difieren en este sentido el uno del otro, lo cual, según la norma SAE-JA 1012 de 2012, debe describirse brevemente cómo es usado el activo dentro de la compañía y los criterios de desempeño que requiere como tal para su debido funcionamiento (SAE, 2012).

### **5.3. Análisis de criticidad para componentes del equipo seleccionado.**

Por la complejidad de los equipos de la planta y siendo este un ejercicio académico, se realizara un segundo análisis de criticidad sobre el equipo de mayor criticidad, para establecer los componentes principales del equipo. Se aplicará la misma metodología descrita en anteriormente en la sección “5.1. *Análisis de criticidad para equipos de planta*”

### **5.4. Funciones**

En esta etapa, teniendo en cuenta que el contexto operacional ya se encuentra definido, deben especificarse las funciones básicas de los componentes principales del equipo de mayor criticidad, teniendo en cuenta que las funciones pueden ser primarias o secundarias.

Según lo establecido por la norma SAE-JA 1012 de 2012 las funciones primarias se dan cuando la compañía requiere el activo para determinada función y lo

adquiere (razón de adquisición). Las funciones secundarias son las que deben identificarse claramente una vez el activo se encuentre en funcionamiento dentro del contexto operacional, ya que su falla puede afectar mucho más aún de lo que lo haría una función primaria (SAE, 2012).

Esta instancia define las bases para el éxito del análisis y es cuando se debe responder la primera pregunta del RCM: “**¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?**”

### **5.5. Fallas funcionales**

Una vez definidas las funciones, se deben establecer los estados a partir de los cuales los componentes o equipos son incapaces de cumplir, total o parcialmente los parámetros de funcionamiento. Dicho esto se debe tener en cuenta que una función puede tener varias fallas funcionales

En esta instancia se da la segunda pregunta del RCM: “**¿Cómo falla cada equipo?**”

### **5.6. Modos de Fallo**

Este apartado es la parte más importante del RCM, ya que se describen las causas por las cuales el activo puede presentar fallas dentro de su operación. Es importante saber que cada falla funcional puede tener más de un modo de falla y cada modo de falla está asociado a la falla funcional identificada en el RCM.

Es primordial tener en cuenta que no deben identificarse sólo las causas físicas como mecanismos de falla, sino que deben identificarse los errores humanos, de diseño, producción y administrativos. En algunas circunstancias la identificación de los modos de falla debe apoyarse en herramientas auxiliares debido a la complejidad, diversidad o ausencia de causas, algunos de estos sistemas son:

- Técnica del por qué – por qué.
- Diagrama causa efecto.
- Análisis causa raíz de la falla.

En esta instancia se da la tercera pregunta del RCM: “**¿Cuál es la causa de cada fallo?**”

En éste apartado también se distinguen los cinco conceptos claves relacionados a los modos de falla ubicados según la norma SAE – JA 1012 de 2012, sección 5.3, los cuales son los siguientes: identificar los modos de falla, establecer qué se entiende por probable, niveles de causalidad, fuentes de información, tipos de modos de falla.

### **5.7. Efecto de los fallos**

En esta etapa de la metodología se debe describir brevemente lo que pasa cuando el modo de falla ocurre. Esta descripción define el efecto de los fallos y debe contener información clara, precisa y suficiente que detallen la importancia que tendría la falla en caso de que esta se presente, lo que a su vez facilita la posterior evaluación de las consecuencias.

En esta instancia se da la cuarta pregunta del RCM: “**¿Qué sucede cuando ocurre cada fallo?**”

Según la norma SAE-JA 1012 de 2012, los efectos de falla se distinguen por dos conceptos clave: suposiciones básicas e información necesaria (SAE, 2012).

Las suposiciones básicas deben describir lo que puede suceder si no se realizan las tareas específicas que permiten anticipar, prevenir o detectar la falla en sí misma y la información necesaria permite sustentar la evaluación de las consecuencias de la falla.

- Los efectos de falla cuentan con pautas para describirlos, y son los siguientes:

- Cuál es la evidencia de que ha ocurrido el fallo.
- Cómo y de qué forma impacta el fallo en la seguridad de las personas o el medio ambiente.
- Cómo y de qué forma impacta el fallo en las ventas, producción, calidad o servicio al cliente.
- Cómo y de qué forma impacta el fallo en la integridad de los activos físicos, en caso de que impacten.
- Cuál es el gasto y el tiempo invertido para revertir el daño.

La información procesada en cada una de las etapas mencionadas desde la sección 5.3. a la 5.7. Permite la consolidación de la hoja de análisis RCM por componente. La figura 3 muestra el modelo de Hoja de análisis RCM que se seguirá para consolidar la información del análisis de todos los equipo.

| Hoja de análisis RCM               |                    |                |                   |                      |  |
|------------------------------------|--------------------|----------------|-------------------|----------------------|--|
| Equipo: Pre mezclador CIFA DNA 1,5 |                    |                | Código SAP: 84426 |                      |  |
| Componente:                        |                    |                | Subsistema:       |                      |  |
| Funciones                          | Fallas funcionales | Modos de falla |                   | Efecto de los fallos |  |
| 1                                  | A                  | 1              |                   |                      |  |
|                                    |                    | 2              |                   |                      |  |
|                                    |                    | 3              |                   |                      |  |
| 2                                  | B                  | 1              |                   |                      |  |
|                                    |                    | 2              |                   |                      |  |
|                                    |                    | 3              |                   |                      |  |

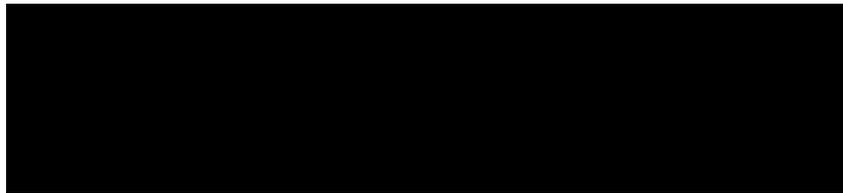
*Figura 3 Modelo hoja de análisis RCM, tomada de Manual de mantenimiento (Pistarelli)*

## 5.8. Consecuencias de falla

Con la suficiente información del efecto de falla detallada en la anterior etapa de esta metodología, resta por determinar si el modo de falla es oculto o evidente para completar la evaluación de la importancia que tiene cada modo de falla o dicho en otras palabras el impacto que tiene en todo el proceso productivo.

Las fallas ocultas no generan afectación inmediata a la producción o a la función principal del equipo, en el ciclo productivo el operador no detecta un síntoma que le permita conocer si la falla ya sucedió o está sucediendo. También está el tipo de falla oculta en el cual el equipo entra a operar solo en determinadas situaciones, en el momento de ser requerido el equipo se acciona y es cuando el operador advierte la falla en la función. Las demás fallas son catalogadas como evidentes.

Luego de establecer si el modo de fallo es oculto o evidente, se determina si la falla de la función afecta la seguridad o el medio ambiente, la producción o solo representa a la empresa gastos de reparación. Dicho esto los fallos se deben clasificar en seis tipos de consecuencia, como muestra la figura 4.



*Figura 4 Categorías de las consecuencias de los fallos, tomada de Manual de mantenimiento (Pistarelli)*

### **5.9. Diagrama de decisión**

Definida la categorización del impacto de los fallos se procederá a evaluar mediante el diagrama de decisión los modos de falla y definir las tareas de mantenimiento a recomendar. La figura 5 muestra el diagrama de decisión RCM que satisface las normas SAE.

La evaluación debe realizarse dependiendo de la categoría de clasificación de cada modo de fallo, esta categoría nos definirá la columna por la cual se desarrollara el diagrama de decisión, en RCM prevalecen las tareas de mantenimiento basado en condición, de ahí su ubicación como primera variable a evaluar en el diagrama, luego continua las tareas de reacondicionamiento programado y finalmente la sustitución programada.

Los mantenimientos para efectos de resultados del RCM pueden ser:

- MC: Mantenimiento a condición
- RP: Reacondicionamiento programado
- SP: Sustitución programada
- NAP: Ninguna acción proactiva de mantenimiento programado
- Rediseño

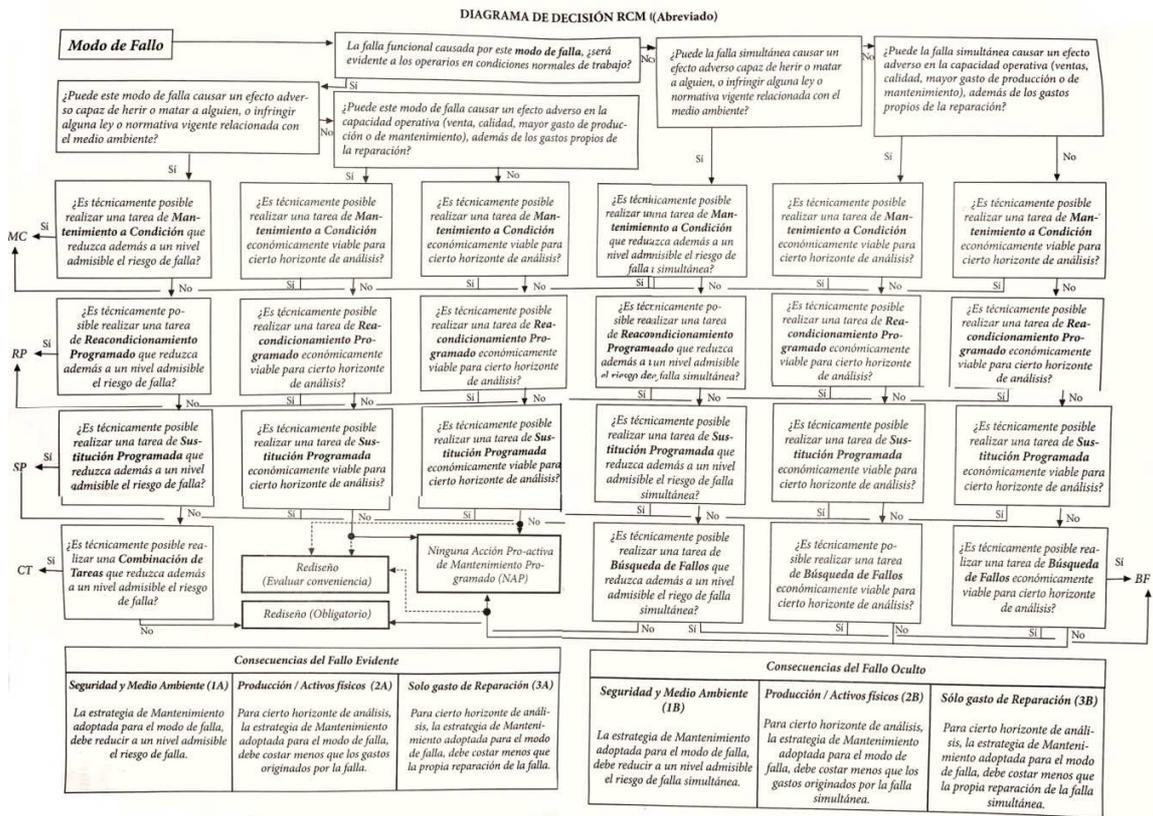


Figura 5 Diagrama de decisión RCM, tomado Manual de mantenimiento (Pistarelli)

### 5.10. Tareas de mantenimiento

Luego de aplicar el diagrama de decisión se consolidara la información resultante en la Hoja de resultados RMC por componente. La figura 6 presenta el modelo de la Hoja de Resultados RCM tomada del Manual de mantenimiento de Pistarelli, con la excepción de la inclusión de dos columnas, el modo de falla y la duración de la intervención para cada tarea sugerida. Es acá donde se responde la última

pregunta de la metodología RCM “¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?”.

| Hoja de Resultados RCM             |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |
|------------------------------------|----|----|----------------|----|---|-------------------|--------------------|-------------|--------------|-----------------------|---------------------|
| Equipo: Pre mezclador CIFA DNA 1,5 |    |    |                |    |   | Código SAP: 84426 |                    |             |              |                       |                     |
| Componente:                        |    |    |                |    |   | Subsistema:       |                    |             |              |                       |                     |
| F                                  | FF | MF | Modos de falla | TC | E | Tarea sugerida    | Frecuencia inicial | Responsable | Especialidad | Duracion intervencion | Costo anual (pesos) |
|                                    |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |
|                                    |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |
|                                    |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |
|                                    |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |
|                                    |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |
|                                    |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |
|                                    |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |
|                                    |    |    |                |    |   |                   |                    |             |              |                       |                     |

Figura 6 Modelo Hoja de Resultados RCM, adaptada de Manual de mantenimiento (Pistarelli)

En la hoja de resultados las tres primeras columnas hacen referencia a la función, falla funcional y modo de fallo con las siglas F, FF y MF, en la siguiente columna se describe el modo de fallo, TC indica el tipo de consecuencia y E el tipo o estrategia de mantenimiento.

Una tarea sugerida puede ser la herramienta para tratar uno o varios modos de falla, el plan de mantenimiento presentado como resultado final de esta metodología deberá estar filtrado de duplicidades y suficientemente claro para que Cemex lo analice y defina la viabilidad de su aplicación. La figura 7 muestra el modelo de plan de mantenimiento del resultado final.

| COMPONENTE | CANTIDAD COMPONENTES | MODO DE FALLA | TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS | FRECUENCIA | RESPONSABLE | ESPECIALIDAD | TIEMPO INTERVENCION | COSTO ANUAL |
|------------|----------------------|---------------|------------------------------------|------------|-------------|--------------|---------------------|-------------|
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |
|            |                      |               |                                    |            |             |              |                     |             |

Figura 7 Modelo plan de mantenimiento, fuente propia.

## 6. RESULTADOS Y ANALISIS

### 6.1. Análisis de criticidad equipos planta pre mezcladora CIFA

El cumplimiento del objetivo principal de esta monografía demanda conocer el equipo de mayor criticidad en la planta pre mezcladora CIFA, la totalidad de equipos se deben someter a un estudio de criticidad para establecer el nivel de importancia de cada uno en el proceso en general. La figura 8 muestra una toma parcial del listado de equipos y el sistema al que pertenecen en la planta pre mezcladora CIFA Bello, los datos fueron tomados del módulo PM SAP.

| <b>Listado de equipos</b>               |                                   |
|---|-----------------------------------|
| <b>Planta pre mezcladora CIFA Bello</b> |                                   |
| <b>Sistema</b>                          | <b>Equipo</b>                     |
| Equipos De Apoyo                        | Transformador De 150 KvaRymel     |
| Equipos De Apoyo                        | Transformador De 30 Kva El Wattio |
| Equipos De Apoyo                        | Soplador Betico Sb2c525           |
| Equipos De Apoyo                        | Compresor Fusheng Hta-120 De 15hp |
| Equipos De Apoyo                        | Bascula Camionera                 |
| Equipos De Apoyo                        | Compresor Abac 4116091105         |
| Equipos De Apoyo                        | Pasarela De Descarpe              |
| Equipos De Apoyo                        | Pasarela De Lavado                |
| Equipos De Apoyo                        | Herramientas Y Equipos Mtto       |
| Locativos                               | Edificios                         |
| Locativos                               | Materias Primas                   |
| Pre Mezcladora CifaDna 1,5              | Pre Mezcladora CifaDna 1,5        |

*Figura 8 Toma parcial del listado de equipo, fuente propia*

En el Anexo 1, se puede visualizar el listado completo de equipos de la planta y el sistema al cual pertenecen.

Para cada equipo se cuantifican factores, estos factores se evalúan con un equipo de CEMEX compuesto por: jefe de planta, coordinador de producción, jefe de mantenimiento, electromecánico y SISO encargado. Una de las principales fuentes de información para el análisis es el historial de fallas de CEMEX concretos SIM

(Sistema de Información de Mantenimiento), la figura 9 muestra la portada del SIM desarrollado para llevar la trazabilidad de los indicadores de disponibilidad de las plantas de concreto. Para el caso de estudio se tomaron como referencia todas las plantas pre mezcladoras CIFA instaladas en el país, debido a que la planta pre mezcladora CIFA de Bello – Antioquia sólo cuenta a la actualidad con tres (3) años de operación. La figura 10 es una toma parcial del historial de fallos evidenciado en el SIM.



*Figura 9 Portada SIM, fuente Cemex.*

| Planta          | Fecha<br>dd-mmm-aa | Comentario                               | Clasificación          | Hrs de<br>Paro | año + mes | Cluster   |
|-----------------|--------------------|--|------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Planta Bello L2 | 23/04/2016         | Reventó corras del mezclador             | Pre mezclador          | 1,45           | 2016 Abr  | CLUSTER 5 |
| Planta Bello L2 | 3/05/2016          | Se rompe una de las guaya del skip plan  | Dosificación agregados | 0,62           | 2016 May  | CLUSTER 5 |
| Planta Bello L2 | 6/05/2016          | desgrajo manguera de la salida del compr | Neumático              | 1,64           | 2016 May  | CLUSTER 5 |
| Planta Bello L2 | 24/05/2016         | Problemas compuerta de agregados         | Dosificación agregados | 2,58           | 2016 May  | CLUSTER 5 |
| Planta Bello L2 | 3/06/2016          | Caida del Skip                           | Dosificación agregados | 4,00           | 2016 Jun  | CLUSTER 5 |
| Planta Bello L2 | 4/06/2016          | compuertas del mezclador                 | Pre mezclador          | 1,83           | 2016 Jun  | CLUSTER 5 |

*Figura 10 Historial de varadas plantas CIFA, fuente Cemex.*

En el Anexo 4. Se muestra el historial completo de averías para las plantas CIFA del país a partir del año 2015.

El resultado parcial del análisis de criticidad se observa en la figura 11, en resumen el 15 % (9 equipos) son críticos para el proceso, el 49% (30 equipos) son de mediana criticidad para el proceso y finalmente el 36% (22 equipos) no son críticos. En conclusión el equipo de mayor criticidad en la planta pre mezcladora CIFA es el PRE MEZCLADOR CIFA DNA 1,5.

| SISTEMA                        | EQUIPO                            | PESO RELATIVO |     |     |     |     |     |     |     |      |                  | INDICADOR DE CRITICIDAD SUMATORIA (PESO X IMPACTO) |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------------------|--|
|                                |                                   | 10            | 7   | 7   | 5   | 4   | 3   | 3   | 2   | 2    | IMPACTO FACTORES |  |
|                                |                                   | SMA           | PRD | CAL | P&D | STB | RGM | FRF | EQR | MTTR |                  |  |
| EQUIPOS DE APOYO               | TRANSFORMADOR DE 150 KVA RYMEL    | 0             | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 10  | 10   | 10               | 180  |
| EQUIPOS DE APOYO               | TRANSFORMADOR DE 30 KVA EL WATTIO | 0             | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 0   | 7    | 154              |  |
| EQUIPOS DE APOYO               | SOPLADOR BETICO SB2C525           | 0             | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 5   | 10  | 7    | 139              |  |
| EQUIPOS DE APOYO               | COMPRESOR FUSHENG HTA-120 DE 15HP | 0             | 10  | 0   | 0   | 10  | 0   | 0   | 10  | 4    | 138              |  |
| EQUIPOS DE APOYO               | BASCULA CAMIONERA                 | 0             | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 0   | 10  | 7    | 124              |  |
| PRE MEZCLADORA CIFA DNA 1.5    | PRE MEZCLADORA CIFA DNA 1.5       | 0             | 10  | 10  | 0   | 10  | 10  | 10  | 10  | 10   | 280              |  |
| SISTEMA DISTRIBUCION DE AGUA   | BOMBA SUMERGIBLE TSURUMI 4 HP     | 0             | 0   | 0   | 5   | 10  | 0   | 0   | 10  | 1    | 87               |  |
| SISTEMA DISTRIBUCION DE AGUA   | DUCTOS DISTRIBUCIÓN DE AGUA       | 0             | 5   | 0   | 0   | 10  | 0   | 0   | 0   | 4    | 83               |  |
| SISTEMA DOSIFICACION AGREGADOS | TOLVA DE AGREGADOS (CIFA 60,4 R)  | 0             | 5   | 5   | 0   | 10  | 10  | 5   | 10  | 10   | 195              |  |
| SISTEMA DOSIFICACION AGREGADOS | SKIP CIFA (3000 Kg)               | 0             | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 10  | 0   | 7    | 184              |  |
| SISTEMA DOSIFICACION AGREGADOS | BANDA B1 (30"x21,5 m x18°)        | 0             | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 5   | 0   | 4    | 163              |  |
| SISTEMA DOSIFICACION AGREGADOS | TORNAMESA                         | 0             | 5   | 5   | 0   | 10  | 0   | 5   | 10  | 7    | 159              |  |
| SISTEMA DOSIFICACION AGREGADOS | TOLVA ALIMENTADORA (6m³)          | 0             | 10  | 0   | 0   | 10  | 0   | 0   | 10  | 4    | 138              |  |
| SISTEMA DOSIFICACION CEMENTO   | BASCULA DE CEMENTO (700 Kg)       | 0             | 10  | 10  | 0   | 10  | 10  | 5   | 0   | 7    | 239              |  |
| SISTEMA DOSIFICACION CEMENTO   | BASCULA DE AGUA (350 Kg)          | 0             | 10  | 10  | 0   | 10  | 10  | 5   | 0   | 7    | 239              |  |

Figura 11 Indicador de criticidad para equipos de planta pre mezcladora CIFA, fuente propia.

En el Anexo 2, puede observarse el indicador de criticidad para todos los equipos de la planta.

## 6.2. Contexto operativo

### 6.2.1. Ubicación geografía y capacidad instalada.

CEMEX planta Bello es una unidad operativa perteneciente a la vicepresidencia o giro de negocio de soluciones al constructor. Esta operación se encarga de la producción y distribución de concreto para el mercado del norte de la zona metropolitana. La unidad operativa inició su proceso productivo en el año 2012, con una planta pre mezcladora de concreto ALTRON AMD50 (ilustración XXXXX)

de capacidad de producción de 50 metros cúbicos por hora; en el año 2012. CEMEX Colombia decide aumentar la capacidad operativa y confiabilidad del equipo, por lo que la planta se reemplaza por el modelo CIFAMOOVE 60,4 R (ilustración XXXX) de capacidad 60 metros cúbicos por hora.



**Figura 12** Planta pre mezcladora ALTRON, fuente Cemex.



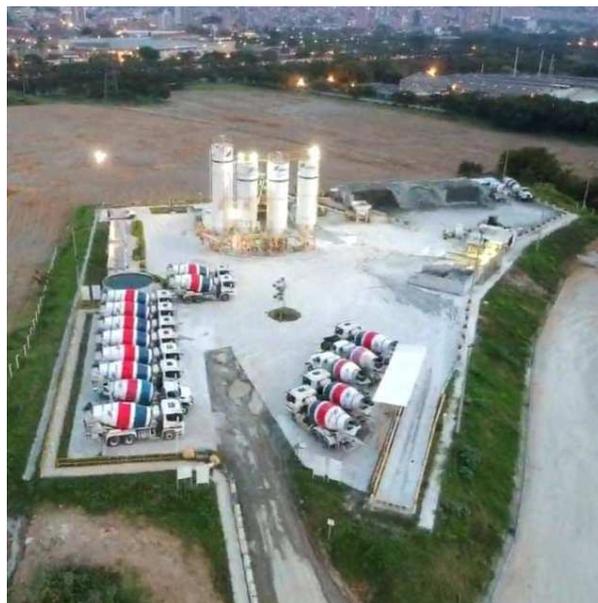
**Figura 13** Planta pre mezcladora CIFA Bello, fuente propia.

CEMEX planta Bello - Antioquia, se encuentra ubicada en el barrio la Gabriela; en la dirección Carrera 45 No 32B 25 (figura 14).

Actualmente la unidad operativa tiene instalada una planta CIFAMOOVE 60,4 R para la producción de concreto y la distribución se realiza por medio de 21 camiones revolvedores asignados; la figura 15 muestra la capacidad operativa actualmente instalada.



**Figura 14 Ubicación planta Bello, fuente Maps.**

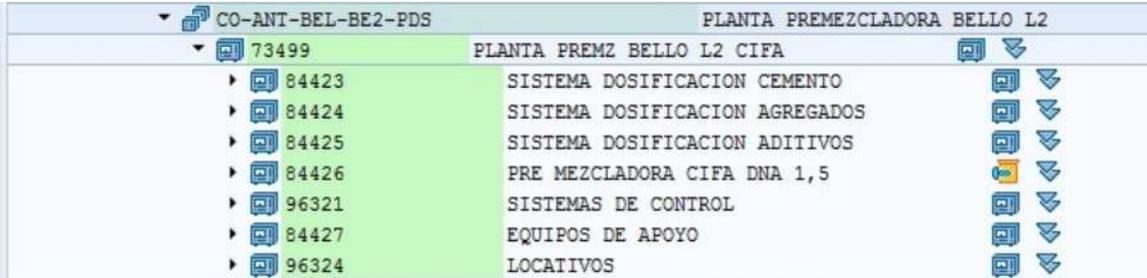


**Figura 15 Toma aérea planta Bello, fuente propia.**

### **6.2.2. Sistemas de la planta de concreto:**

La ubicación señalada anteriormente tiene una representación en el ERP de CEMEX a nivel mundial SAP. Esta unidad la componen cuatro sistemas

principales y tres sistemas auxiliares. En el módulo de mantenimiento de SAP se representan los siete sistemas tal como se ve en la figura 16.



| Objeto | Descripción                    |
|--------|--------------------------------|
| 73499  | PLANTA PREMZ BELLO L2 CIFA     |
| 84423  | SISTEMA DOSIFICACION CEMENTO   |
| 84424  | SISTEMA DOSIFICACION AGREGADOS |
| 84425  | SISTEMA DOSIFICACION ADITIVOS  |
| 84426  | PRE MEZCLADORA CIFA DNA 1,5    |
| 96321  | SISTEMAS DE CONTROL            |
| 84427  | EQUIPOS DE APOYO               |
| 96324  | LOCATIVOS                      |

*Figura 16 División en sistemas de planta pre mezcladora CIFA, fuente modulo PM SAP Cemex.*

**Sistema de dosificación de cemento:** Es el conjunto de equipos cuya función principal es dosificar la materia prima cementante al pre mezclador, la materia prima será cemento o la mezcla entre cemento y ceniza. El cemento llega a la planta en cisternas y es almacenado en 3 silos, la ceniza se almacena en el silo restante. Cuando es requerido el material cementante se transporta de los silos a la báscula por transportadores de gusano o tornillos sin fin. Finalmente la báscula se encarga de pesar y dosificar el cemento al pre mezclador.

**Sistema de dosificación de agregados:** Es el conjunto cuya función principal es dosificar las materias primas arena y grava al pre mezclador. Los agregados llegan a la planta en camiones volco y son almacenados en compartimientos. Cuando son requeridos los agregados se cargan a la tolva patio mediante un cargador frontal, esta tolva patio canaliza el material a una banda. La banda eleva el material y lo entrega al tornamesa. El tornamesa gira sobre su eje y descarga los agregados al barco dependiendo del tipo. El barco dosifica los agregados al skip a través de compuertas. El skip pesa la cantidad de cada agregado dependiendo del tipo de mezcla y lo transporta al pre mezclador.

**Sistema de dosificación de aditivos:** Es el conjunto cuya función principal es dosificar las materias primas aditivos al pre mezclador, Los aditivos son sustancias químicas que cambian las propiedades del concreto, ejemplos de estos cambios

son: aceleración de fraguado, retardar el fraguado, plasticidad. Los aditivos llegan a planta en isotanques de capacidad 1000lt, los isotanques se conectan a estaciones de bombeo y dosificación con flujómetros. Las estaciones de bombeo dosifican al mezclador a través de ductos y mangueras.

**Pre mezclador CIFA DNA 1,5:** Es el equipo cuya función principal es homogenizar la mezcla de todas las materias primas y descargar el producto final a los camiones revolvedores de una manera controlada.

**Sistemas de control:** s el conjunto de toda la interfaz que permite la operación autónoma de toda la planta. Forman parte de este conjunto los tableros de control, PLC, hardware y software.

**Equipos de apoyo:** Es el conjunto de equipos que no forman parte directa del proceso, pero sus funciones lo afectan. Forman parte de este conjunto equipos como, compresor para redes neumáticas, soplador para descargue de cemento, bascula camionera para control de materias primas, bombas de agua para dosificar la materia prima restante, transformadores de energía.

**Locativos:** Es el conjunto de toda la infraestructura física de la planta.

Por otra parte, en la figura 17 se observa una toma del sistema SAP, donde se muestran dos ejemplos de sistemas principales y los equipos que los componen para la planta pre mezcladora CIFA. Como he mostrado la taxonomía de la unidad operativa esta ya constituida. No se presentara una nueva propuesta, el resultado de esta monografía debe ser compatible con el proceso y la forma actual.

|        |                                  |
|--------|----------------------------------|
| 73499  | PLANTA PREMZ BELLO L2 CIFA       |
| 84423  | SISTEMA DOSIFICACION CEMENTO     |
| 118620 | SINFIN S4 (Ø8" x 11,75 m)        |
| 84428  | SILO No1 (120 ton)               |
| 84432  | COLECTOR S1 SILOTOP              |
| 84430  | SINFIN S1 (Ø8" x 11,70 m)        |
| 84429  | SILO No2 (120 ton)               |
| 84433  | COLECTOR S2 SILOTOP              |
| 84431  | SINFIN S2 (Ø10" x 11,78 m)       |
| 96317  | SILO No3 (120 ton)               |
| 84434  | COLECTOR S3 SILOTOP              |
| 96516  | SINFIN S3 (Ø6" x 11,75 m)        |
| 109705 | SILO No4 (90 ton)                |
| 109723 | COLECTOR S4 SILOTOP              |
| 84435  | BASCULA DE CEMENTO (700 Kg)      |
| 96320  | COLECTOR DE POLVO MEZCLADOR      |
| 84436  | BASCULA DE AGUA (350 Kg)         |
| 84424  | SISTEMA DOSIFICACION AGREGADOS   |
| 84437  | TOLVA ALIMENTADORA (6m³)         |
| 84440  | BANDA B1 (30"x21,5 m x18°)       |
| 84439  | TORNAMESA                        |
| 84438  | TOLVA DE AGREGADOS (CIFA 60,4 R) |
| 84441  | SKIP CIFA (3000 Kg)              |

Figura 17 Estructura de sistemas y equipos, fuente modulo PM SAP Cemex.

### 6.2.3. Descripción del equipo de mayor criticidad pre mezclador CIFA DNA 1,5

En las mezcladoras de la serie DNA (Figura 18) el movimiento de la mezcla es generado tanto por palas helicoidales especiales como por palas que actúan perpendicularmente al eje de rotación; gracias al preciso diseño fluido dinámico del efecto mezclador, el grado deseado de homogeneidad de la mezcla se alcanza en tiempos más cortos, de modo relativamente silencioso y con vibraciones mínimas. Esto se refleja positivamente, tanto en la eficiencia productiva como en la eficiencia energética de la instalación.



Figura 18 Pre mezclador CIFA DNA 1,5, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.

La figura 19, detallan datos técnicos del pre mezclador CIFA DNA 1,5.

| Modelo de Mezcladora              | DNA 3.0 | DNA 2.25 | DNA 2.0 | DNA 1.5 | DNA 1.0 |
|-----------------------------------|---------|----------|---------|---------|---------|
| Capacidad de carga (m3)           | 4.5     | 3.37     | 3.0     | 2.25    | 1.5     |
| Rendimiento por ciclo (m3)        | 3.0     | 2.25     | 2.0     | 1.5     | 1.0     |
| Granulometría inertes (mm)        | 0 - 80  | 0 - 80   | 0 - 80  | 0 - 80  | 0 - 80  |
| <b>Potencias</b>                  |         |          |         |         |         |
| Motores de mezclado (kW)          | 2x55    | 2x45     | 2x37    | 2x30    | 2x22    |
| Motor centralita hidráulica (Kw.) | 2.2     | 2.2      | 1.5     | 1.5     | 1.5     |
| Motor bomba de engranajes (Kw.)   | 0.06    | 0.06     | 0.06    | 0.06    | 0.06    |
| <b>Dimensiones</b>                |         |          |         |         |         |
| A - Anchura (mm)                  | 2524    | 2524     | 2524    | 2120    | 2120    |
| B - Longitud (mm)                 | 4200    | 3350     | 3060    | 3120    | 2550    |
| C - Altura (mm)                   | 1760    | 1760     | 1760    | 1600    | 1600    |
| Peso total * (kg)                 | 11000   | 8700     | 8600    | 6560    | 5320    |

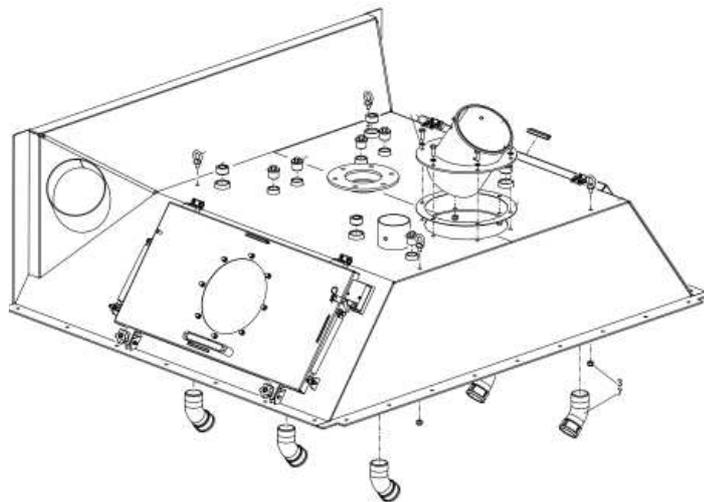
Figura 19 Datos técnicos pre mezclador, fuente Manual de uso y mantenimiento-CIFA mezclador de doble eje

#### 6.2.4. Descripción del funcionamiento del pre mezclador CIFA DNA

Esta sección proporciona una síntesis técnica del equipo y de su funcionamiento clasificado por subsistemas principales. Detalles que todo el personal encargado de las operaciones de uso y mantenimiento debe conocer para entender cómo trabaja la máquina y para identificar rápidamente posibles anomalías y mal funcionamientos

**Tanque de mezclado:** El tanque de mezclado es una estructura de acero totalmente cubierta que sirve de sostén al resto de los componentes. En su interior hay dos ejes de mezclado que giran en direcciones opuestas sobre los cuales están montadas dos palas para mezclar la masa. El tanque dispone de:

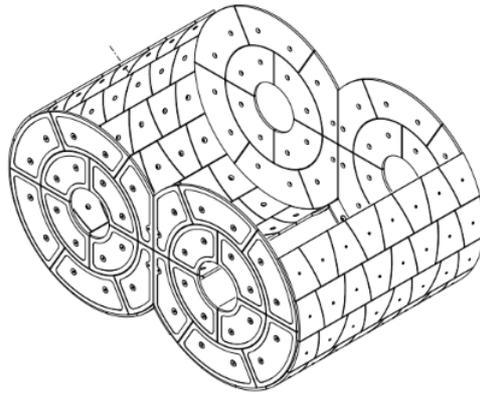
- a) Cubierta superior: están presentes las bocas de carga del material, las tapas de inspección dotados de sistemas de seguridad para impedir su apertura durante el funcionamiento de la máquina.



*Figura 20 Cubierta superior, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.*

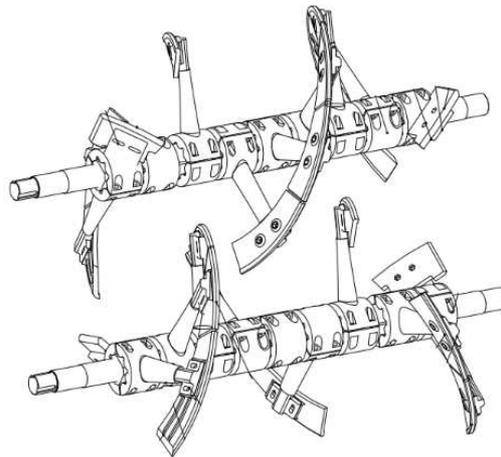
- b) Plataformas de inspección Las plataformas de inspección están compuestas por redes de acero, montadas alrededor del tanque para facilitar los trabajos de mantenimiento, verificación de la masa durante el funcionamiento y la limpieza.

**Sistema de mezclado:** Los elementos principales del sistema de mezclado son: los ejes de mezclado, los brazos de mezclado, las palas de mezclado, los recubrimientos de desgaste (figura 21) que recubren el fondo del tanque de mezclado.



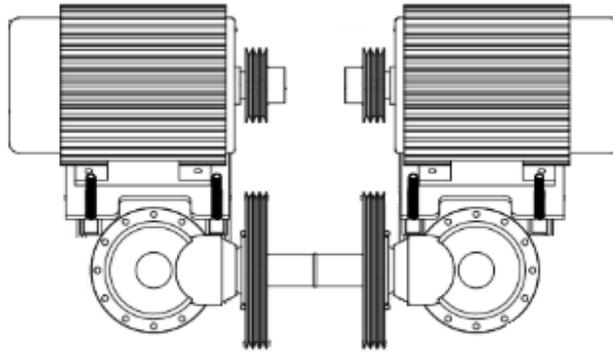
**Figura 21** Recubrimiento de desgaste, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.

El sistema de mezclado se basa en la rotación paralela de dos ejes mezcladores. Los ejes mezcladores están sincronizados y giran en direcciones opuestas. En los ejes están instalados los elementos de mezclado brazos y palas. Las palas de mezclado forman un diseño complejo de tornillo, su superficie helicoidal permite reducir al máximo el roce entre los diferentes materiales manteniendo una elevada velocidad de flujo y garantizando una homogeneidad de la masa, tanto en sentido horizontal como vertical, ideal con tiempos de mezclado mínimos.



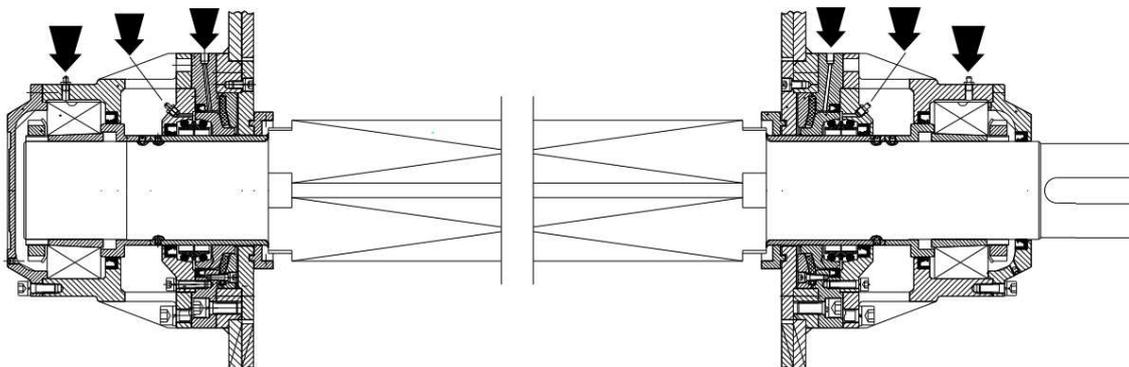
**Figura 22** Ejes con elementos de mezclado, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.

**Sistema de accionamiento:** El sistema de accionamiento está compuesto por dos motores, correas trapezoidales y reductoras. Un eje cardánico sincroniza los dos ejes de mezclado. Las características de potencia y tensión de los motores eléctricos dependen del tipo de máquina y de sus características.



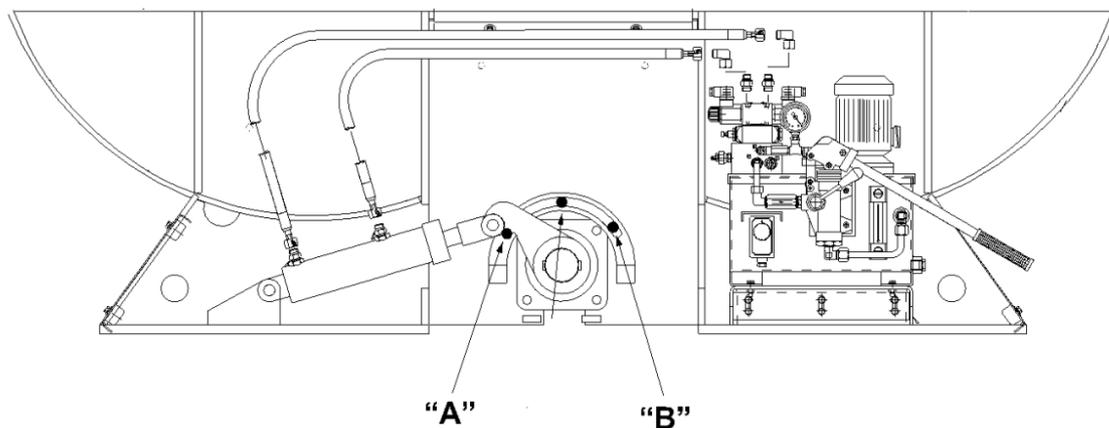
*Figura 23 Sistema de accionamiento, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.*

**Sellos y sistema de lubricación:** Los cojinetes de los ejes de mezclado están aislados de las juntas de los ejes para garantizar una protección ideal, también en caso de fallo de los prensaestopas de los ejes. Su posición garantiza una fácil accesibilidad y un fácil mantenimiento. Los cojinetes y las juntas de los ejes de mezclado se lubrican manualmente mediante un sistema de lubricación centralizado.



*Figura 24 Sellos y sistema de lubricación para puntas de ejes pre mezclador CIFA*

**Puerta de descarga:** El material mezclado se descarga desde el tanque de mezclado a través de la puerta de descarga que tiene una anchura de apertura variable que, girando de modo excéntrico, asegura una óptima sujeción de la mezcla. La puerta de descarga, se acciona mediante la respectiva válvula de accionamiento. La apertura y el cierre se accionan mediante un actuador hidráulico, conectado a una unidad hidráulica. La compuerta de descarga tiene dos estados de apertura: totalmente abierto y totalmente cerrado. La unidad hidráulica contiene una bomba manual que permite la descarga en caso de una emergencia.



*Figura 25 Puerta de descarga, fuente Lista de piezas de repuesto- cifamoove 60.4R.*

Nota: El sensor de proximidad "A" controla el estado de lleno en los alrededores de la puerta de descarga y el Sensor de proximidad "B" controla cuando la puerta de descarga está totalmente abierta.

### **6.2.5. Subsistemas y componentes principales del pre mezclador CIFA DNA**

De acuerdo a la descripción del funcionamiento descrito en la sección anterior, en la tabla 1 se enlistan los componentes principales y los subsistemas en que se clasifican.

*Tabla 1 Listado de componentes y subsistemas*

| <b>SUBSISTEMA</b>               | <b>COMPONENTE</b>         | <b>CANTIDAD</b> |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Puerta de descarga              | Unidad hidráulica 1,5 KW  | 1               |
| Puerta de descarga              | cilindro hidráulico       | 1               |
| Puerta de descarga              | Compuerta                 | 1               |
| Puerta de descarga              | Válvula de accionamiento  | 1               |
| Puerta de descarga              | Sensor proximidad         | 2               |
| Sistema de accionamiento        | Motor 30 KW               | 2               |
| Sistema de accionamiento        | Reductor Bonfiglioli 309L | 2               |
| Sistema de accionamiento        | Correa en V-83            | 6               |
| Sistema de accionamiento        | Junta cardanica           | 1               |
| Sistema de accionamiento        | Conjunto poleas           | 2               |
| Sellos y sistema de lubricación | Punta lado reductor       | 2               |
| Sellos y sistema de lubricación | Punta lado skip           | 2               |
| Sistema de mezclado             | Fusible mecánico          | 2               |
| Sistema de mezclado             | Eje mezclador             | 2               |
| Sistema de mezclado             | acople eje-fusible        | 2               |
| Sistema de mezclado             | Paleta Izquierda          | 7               |
| Sistema de mezclado             | Paleta derecha            | 14              |
| Sistema de mezclado             | Brazo izquierdo           | 7               |
| Sistema de mezclado             | Brazo derecho             | 14              |
| Sistema de mezclado             | Paleta raspadora          | 2               |
| Tanque de mezclado              | Interlog                  | 2               |
| Tanque de mezclado              | Cubierta superior         | 1               |
| Tanque de mezclado              | Cuerpo tambor             | 1               |
| Tanque de mezclado              | Placa curva               | 96              |
| Tanque de mezclado              | Placa recta               | 44              |
| Tanque de mezclado              | Tapa inspección           | 2               |

#### **6.2.6. Secuencia de las fases de mezclado**

Las fases del proceso de mezclado realizado por el pre mezclador CIFA DNA se enlistan a continuación.

- Arranque del motor de mezclado
- Cierre de la compuerta de descarga
- Introducción de los componentes agregados (arena y grava)
- Mezcla en seco
- Introducción de agua, aditivos y cemento

- Mezclado final (30 segundos)
- Descarga del concreto
- Durante esta fase se usa el sistema de lavado.

### 6.3. Selección de componentes del pre mezclador CIFA DNA 1,5 para análisis RCM

Para el caso de estudio se realizara un segundo estudio de criticidad a los componentes para determinar cuáles son los de mayor importancia en el equipo y centrar el análisis RCM en ellos. Se tomara nuevamente como guía el análisis de criticidad establecido por Pistarelli y el criterio de la figura 1.

El resultado del análisis se observa en la figura 26, en resumen el 31 % equivalente a 8 componentes que son críticos para el proceso, el 46 % equivalente a 12 componentes son de mediana criticidad para el proceso y finalmente el 23 % equivalente a 6 componentes no son críticos.

| SUBSISTEMA                      | COMPONENTE                | CANT | IMPACTO FACTORES |     |     |     |     |     |     |     |     |       | INDICADOR DE CRITICIDAD SUMATORIA (PESO X IMPACTO) |
|---------------------------------|---------------------------|------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|--|
|                                 |                           |      | PESO RELATIVO    | 10  | 7   | 7   | 5   | 4   | 3   | 3   | 2   | 2     |  |
|                                 |                           |      | SMA              | PRD | CAL | P&D | STB | RGM | FRF | EQR | MTR |       |  |
| Puerta de descarga              | Unidad hidráulica 1,5 KW  | 1    | 0                | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 5   | 10  | 7   | ● 189 |  |
| Puerta de descarga              | cilindro hidráulico       | 1    | 0                | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 10  | 0   | 4   | ● 178 |  |
| Puerta de descarga              | Compuerta                 | 1    | 0                | 5   | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 10  | 4   | ● 133 |  |
| Puerta de descarga              | Válvula de accionamiento  | 1    | 0                | 5   | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 10  | 4   | ● 133 |  |
| Puerta de descarga              | Sensor proximidad         | 2    | 0                | 5   | 0   | 0   | 10  | 10  | 5   | 0   | 1   | ● 122 |  |
| Sellos y sistema de lubricación | Punta lado reductor       | 2    | 0                | 10  | 0   | 10  | 10  | 10  | 0   | 10  | 10  | ● 230 |  |
| Sellos y sistema de lubricación | Punta lado skip           | 2    | 0                | 10  | 0   | 10  | 10  | 10  | 0   | 10  | 10  | ● 230 |  |
| Sistema de accionamiento        | Motor 30 KW               | 2    | 0                | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 10  | 10  | ● 180 |  |
| Sistema de accionamiento        | Reductor Bonfiglioli 309L | 2    | 0                | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 10  | 10  | ● 180 |  |
| Sistema de accionamiento        | Correa en V-83            | 6    | 0                | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 5   | 0   | 4   | ● 163 |  |
| Sistema de accionamiento        | Junta cardanica           | 1    | 0                | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 0   | 4   | ● 148 |  |
| Sistema de accionamiento        | Conjunto poleas           | 2    | 0                | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 0   | 0   | 4   | ● 148 |  |
| Sistema de mezclado             | Fusible mecánico          | 2    | 0                | 10  | 0   | 0   | 10  | 10  | 5   | 0   | 7   | ● 169 |  |

Figura 26 Indicador de criticidad para componentes del pre mezclador CIFA, fuente propia.

En el Anexo 3 puede observarse el indicador de criticidad para los componentes del pre mezclador:

En conclusión, los componentes del pre mezclador en los que se centrará el análisis RCM para el desarrollo de esta monografía se encuentran enlistados a continuación,

- Punta lado reductor
- Punta lado skip
- Unidad hidráulica 1,5 KW
- Motor 30 KW
- Reductor Bonfiglioli 309L
- cilindro hidráulico
- Fusible mecánico
- Correa en V-83

#### 6.4. Funciones de los componentes de mayor criticidad en el pre mezclador CIFA DNA 1,5

Determinados los componentes críticos del pre mezclador se procede a la definición de las funciones de cada componente, en la tabla 2 se detallan las funciones de cada componente critico.

*Tabla 2 Funciones de los componentes críticos del pre mezclador, fuente propia.*

| COMPONENTE                | F | FUNCIÓN   |
|---------------------------|---|---|
| Motor 30 KW               | 1 | Transformar la energía eléctrica en movimiento de rotación a una velocidad angular de 1800 RPM para hacer girar el sistema mezclador. |
| Motor 30 KW               | 2 | Transmitir potencia al sistema mezclador sin sobrepasar un consumo de corriente de 55 A a 440 V                                       |
| Correa en V-83            | 1 | Entregar movimiento de rotación desde la polea del motor a la polea del reductor a una velocidad lineal de 9,43 m/s                   |
| Reductor Bonfiglioli 309L | 1 | Reducir la velocidad angular entregada al sistema de mezclado con respecto a la de entrada del reductor en una relación 17.98 a 1     |

|                           |   |   |
|---------------------------|---|---|
| Reductor Bonfiglioli 309L | 2 | Transmitir la potencia necesaria sin exceder una temperatura de trabajo de 50°C                         |
| Punta lado reductor       | 1 | Permitir giro del eje de mezclado sobre su propio eje a una velocidad de 50 RPM                         |
| Punta lado reductor       | 2 | Bloquear el paso del producto de mezclado al exterior del mezclador.                                    |
| Punta lado reductor       | 3 | Bloquear el paso del producto de mezclado al rodamiento   |
| Punta lado skip           | 1 | Permitir giro del eje de mezclado sobre su propio eje a una velocidad de 50 RPM                         |
| Punta lado skip           | 2 | Bloquear el paso del producto de mezclado al exterior del mezclador.                                    |
| Punta lado skip           | 3 | Bloquear el paso del producto de mezclado al rodamiento   |
| Fusible mecánico          | 1 | Fracturar su integridad si el torque ejercido por el reductor es superior a 24000 Nm                    |
| Fusible mecánico          | 2 | Trasmitir velocidad angular del reductor al eje de mezclado a razón de 50 RPM                           |
| Unidad hidráulica 1,5 KW  | 1 | Generar presión de accionamiento del cilindro hidráulico de la compuerta igual a 1500 psi               |
| cilindro hidráulico       | 1 | Transmitir el movimiento lineal al eje de la compuerta, garantizando un giro de 90° en los dos sentidos |

Es de acotar que la pérdida de una función en un componente crítico afecta directamente la función principal del equipo pre mezclador, la cual es mezclar las materias primas del concreto a una tasa de 60 m<sup>3</sup>/hrs.

### 6.5. Fallos funcionales, modos de falla y efectos de los fallos

Con el equipo interdisciplinario mencionado anteriormente se evalúan las fallas funcionales, modos de falla y los efectos de los fallos. Este análisis se efectúa con base a la experiencia del equipo, el historial de fallos presentados para los pre mezcladores CIFA a nivel nacional (para consultar el historial de fallos ver Anexo 4) y los manuales de operación y mantenimiento. La figura 27, presenta una toma parcial de la hoja de análisis RCM para el motor de 30Kw, componente crítico para el equipo Pre mezclador CIFA.

| Hoja de análisis RCM  |   |                                      |  |  |
|---|---|--------------------------------------|--|--|
| Equipo: Pre mezclador CIFA DNA 1,5  |   | Código SAP: 84426                    |  |  |
| Componente: Motor ABB de 30 Kw  |   | Subsistema: Sistema de accionamiento |  |  |
| Funciones   | Fallas funcionales  | Modos de falla                       | Efecto de los fallos                       |  |
| Transformar la energía eléctrica en movimiento de rotación a una velocidad angular de 1800 RPM para hacer girar el sistema mezclador. | No transmite movimiento para hacer girar el sistema mezclador | 1                                    | Falla motor, fases de motor aterrizadas    | Paro pre mezclador, Indisponibilidad de motor, si afecta la producción, Requiere cambio de motor, costo aproximado \$4000000, MTTR 8 horas, MTBF 25000 horas de trabajo  |
|   |   | 2                                    | Falla motor, fases motor aisladas entre si | Paro pre mezclador, Indisponibilidad de motor, si afecta la producción, Requiere cambio de motor, costo aproximado \$4000000, MTTR 8 horas, MTBF 25000 horas de trabajo  |
|   |   | 3                                    | Falla motor, rotura en rodamientos         | Paro pre mezclador, Indisponibilidad de motor, si afecta la producción, Requiere cambio de motor, costo aproximado \$4000000, MTTR 8 horas, MTBF 25000 horas de trabajo  |
|   |   | 4                                    | Protección motor accionada                 | Paro pre mezclador, El consumo de corriente es superior al nominal, si afecta la producción, Se deben validar sobredosificación de pre mezclador y conexiones, costo aproximado \$0, MTTR 2 horas, MTBF 400 horas de trabajo                     |
|   |   | 5                                    | Circuito estrella triangulo averiado       | Paro pre mezclador, Uno o mas contactos del arranque estrella triangulo se funden, si afecta la producción, Se deben cambiar los elementos de control o potencia averiados, costo aproximado \$1500000, MTTR 2 horas, MTBF 4000 horas de trabajo |
|   |   | 6                                    | Paro de emergencia activo                  | Paro de emergencia de la planta enclavado, si afecta la producción, Validar todos los paros de emergencia, costo aproximado \$0, MTTR 0.5 horas, MTBF 100 horas de   |
| Transmitir potencia al sistema mezclador sin sobrepasar un consumo de corriente de 55 A 440 V   | El consumo de corriente es superior a 55 A                    | 1                                    | Vibración excesiva superior a 2.8 mm/s     | Motor operando en falla, no afecta la producción, Verificar alineación del motor, costo aproximado \$300000, MTTR 3 horas, MTBF 4000 horas de trabajo  |
|   |   | 2                                    | Ruido extraño en rodamientos               | Motor operando en falla, rodamientos en mal estado, no afecta la producción, Se requiere cambio de rodamientos, costo aproximado \$1500000, MTTR 10 horas, MTBF 12000 horas de trabajo   |

Figura 27 Hoja de análisis RCM para motor de 30Kw del pre mezclador CIFA, fuente propia.

En el Anexo 5. Se puede visualizar las hojas de análisis RCM para todos los componentes críticos del pre mezclador CIFA DNA 1,5.

## **6.6. Hoja de resultados RCM**

Para continuar es importante definir la importancia que tiene cada modo de falla en todo el proceso productivo, para el caso de estudio y dando continuidad a la metodología basada en Pistarelli (2010) en el manual de mantenimiento, en donde prima la seguridad y medio ambiente sobre la producción y los gastos de reparación se establece una categoría para cada modo de falla.

Definida la categorización del impacto de los fallos se procede a evaluar mediante el diagrama de decisión los modos de falla y definir la tarea de mantenimiento a recomendar.

Luego de aplicar el diagrama de decisión se consolida la información resultante en la Hoja de resultados RCM por componente. La ilustra figura 28 presenta una toma parcial de la Hoja de Resultados RCM para el Motor de 30 Kw, los costos están definidos para la cantidad total de equipos del mismo tipo, de manera que en el ejemplo de la figura 28 los costos anuales definidos por tarea están calculados para dos motores.

De las hojas de resultados consolidadas, se obtiene la fuente principal para establecer el plan de mantenimiento que se pondrá a disposición de Cemex para evaluar su implementación.

| Hoja de Resultados RCM             |    |   |   |    |    |   |                    |             |                     |                       |                     |
|------------------------------------|----|---|---|----|----|---|--------------------|-------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| Equipo: Pre mezclador CIFA DNA 1,5 |    |   |   |    |    | Código SAP: 84426   |                    |             |                     |                       |                     |
| Componente: Motor ABB de 30 Kw     |    |   |   |    |    | Subsistema: Sistema de accionamiento  |                    |             |                     |                       |                     |
| F                                  | FF | M | F | TC | E  | Tarea sugerida  | Frecuencia inicial | Responsable | Especialidad        | Duración intervención | Costo anual (pesos) |
| 1                                  | A  | 1 |   | 2A | MC | Controlar la medida de aislamiento para las fases del motor, el voltaje inducido para la prueba debe ser 500V, ninguna fase debe estar por debajo de 100 Mega ohmios. En caso de presentarse una lectura inferior programar barnizada y secada de bobinados | 6 meses            | Proveedor   | Electricidad        | 2 horas               | \$ 400.000          |
| 1                                  | A  | 2 |   | 2A | MC | Controlar la medida de aislamiento para las fases del motor, el voltaje inducido para la prueba debe ser 500V, ninguna fase debe estar por debajo de 100 Mega ohmios. En caso de presentarse una lectura inferior programar barnizada y secada de bobinados | 6 meses            | Proveedor   | Electricidad        | 2 horas               | \$ 400.000          |
| 1                                  | A  | 3 |   | 2A | MC | Controlar vibraciones en los rodamientos del motor. La medida no debe superar los 2,8 mm/s y el parámetro de aceleración RMS debe ser inferior a 1,5. En caso de presentarse parámetros fuera de lo establecido programar cambio de rodamientos             | 4 meses            | Proveedor   | Vibraciones         | 1 horas               | \$ 600.000          |
| 1                                  | A  | 4 |   | 2B | RP | Retorquear bornes en motor y tablero de potencia, adicional ajustar las borneras del circuito de control  | 2 meses            | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas               | \$ 84.000           |
| 1                                  | A  | 5 |   | 2A | RP | Desmontar tapa superior de contactores, inspeccionar contactos, limpiar y eventual remplazo en caso de deterioros   | 4 meses            | Técnico     | Electromecánica     | 3 horas               | \$ 42.000           |
| 1                                  | A  | 6 |   | 2A | RP | Desmontar, limpiar y validar libre enclavamiento y des enclavamiento de los paros de emergencia   | 2 meses            | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas               | \$ 84.000           |
| 2                                  | A  | 1 |   | 3A | RP | Validar alineación entre eje de alta de motor y eje alta del reductor con ayuda de un comparador de caratulas, si excede la desviación de 3 mm, se debe alinear el sistema  | 2 meses            | Técnico     | Electromecánica     | 2 horas               | \$ 84.000           |
| 2                                  | A  | 2 |   | 3A | MC | Controlar vibraciones en los rodamientos del motor. La medida no debe superar los 2,8 mm/s y el parámetro de aceleración RMS debe ser inferior a 1,5. En caso de presentarse parámetros fuera de lo establecido programar cambio de rodamientos             | 4 meses            | Proveedor   | Vibraciones         | 1 horas               | \$ 600.000          |
| 2                                  | A  | 3 |   | 3A | MC | Controlar temperatura de los rodamientos, la temperatura máxima permisible son 55°C, En caso de presentarse una lectura superior programar cambio de rodamientos  | 4 meses            | Proveedor   | Termografía         | 1 horas               | \$ 600.000          |
| 2                                  | A  | 4 |   | 3A | MC | Controlar temperatura de los rodamientos, la temperatura máxima permisible son 55°C, En caso de presentarse una lectura superior programar barnizada y secada de bobinados  | 4 meses            | Proveedor   | Termografía         | 1 horas               | \$ 600.000          |
| 2                                  | A  | 5 |   | 3A | MC | Controlar la medida de aislamiento para las fases del motor, el voltaje inducido para la prueba debe ser 500V, ninguna fase debe estar por debajo de 100 Mega Ohms. En caso de presentarse una lectura inferior programar barnizada y secada de bobinados   | 6 meses            | Proveedor   | Electricidad        | 2 horas               | \$ 400.000          |
| 2                                  | A  | 6 |   | 3A | RP | Despegue de mezclador con equipo de impacto roto martillo   | Semanal            | Proveedor   | Espacios confinados | 4 horas               | \$ 15.600.000       |

Figura 28 Hoja de Resultados RCM para Motor 30 Kw, fuente propia.

En el Anexo 6. Se puede visualizar las hojas de Resultados RCM para todos los componentes críticos del pre mezclador CIFA DNA 1,5.

## 6.7. Tareas de mantenimiento

Las tareas sugeridas en la Hoja de resultados RCM se toman como base y estructuran el listado de tareas de mantenimiento que se deben ejecutar en los componentes críticos del pre mezclador CIFA para que estos no pierdan la capacidad de ejecutar sus funciones y a su vez aporten para que el equipo pre mezclador CIFA pueda cumplir su función principal de Mezclar las materias primas del concreto a una tasa de 60 m<sup>3</sup>/hrs con alto nivel de disponibilidad y confiabilidad.

De las hojas de resultados RCM se filtraron las tareas similares en equipos iguales y se consolidaron los costos anuales asociados. La frecuencia establece la periodicidad con que se debe ejecutar la tarea, el responsable determina si la actividad se ejecutara con mano de obra externa o interna, para los casos de ejecución externa se define la especialidad, en el costo anual se contemplo para los trabajos ejecutados con técnico un precio base de hora igual a 14000 pesos.

Tomando como referencia el año 2017, planta Bello tuvo 18,85 horas de paro por fallas en el pre mezclador. A una tasa de producción de 60 m<sup>3</sup>/h, se dejaron de producir 1131 metros cúbicos de concreto, esto implica que se perdieron ventas por 373 millones de pesos y se dejaron de obtener ganancias cercanas a los 44 millones, esto sin contar el impacto en la imagen, pérdida de clientes, indemnizaciones por incumplimientos y costos de reparación. El plan de mantenimiento propuesto tiene un costo anual de 44,6 millones (ver anexo 7), lo que significa que económicamente la implementación es viable.

| COMPONENTE                  | CANTIDAD | MODO DE FALLA   | TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS  | FRECUENCIA | RESPONSABLE | ESPECIALIDAD        | TIEMPO INTERVENCIÓN | COSTO ANUAL   |
|-----------------------------|----------|---|---|------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------|
| Puntas lado reductor y skip | 4        | Ruido extraño en rodamientos  | Lubricar con grasa MOBIL XHP 222<br>Cada bocelán 30 gr por hora de trabajo<br>Cada rodamiento 20 gr por semana<br>Cada chumacera 20 gr por semana<br>Cada junta flotante 15 gr por semana | diario     | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas             | \$ 5.110.000  |
| cilindro hidráulico         | 1        | Compuerta pegada o atascada   | Despegue compuerta de mezclador con equipo de impacto roto martillo   | Semanal    | Proveedor   | Espacios confinados | 3 horas             | \$ 5.200.000  |
| cilindro hidráulico         | 1        | Empaquetadura actuador en mal estado  | Inspeccionar en búsqueda de fugas de aceite hidráulico, de presentar fugas programar cambio de empaquetadura  | Semanal    | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas             | \$ 728.000    |
| cilindro hidráulico         | 1        | Vástago del actuador torcido  | Realizar limpieza a los pivotes y horquillas del actuador, luego lubricar con grasa MOBIL XHP 222, aplicando 40 gr a cada punto   | Semanal    | Técnico     | Electromecánica     | 2 horas             | \$ 728.000    |
| cilindro hidráulico         | 1        | Sensores de posición averiados  | Realizar limpieza a los sensores, garantizar que nada los este golpeando, revisar la integridad del cableado y que los sensores estén enviando la señal y esta se reciba en el PLC        | Semanal    | Técnico     | Electromecánica     | 2 horas             | \$ 728.000    |
| Motor 30 KW                 | 2        | Mezclador con exceso de pega  | Despegue de mezclador con equipo de impacto roto martillo   | Semanal    | Proveedor   | Espacios confinados | 4 horas             | \$ 15.600.000 |
| Reductor Bonfiglioli 309L   | 2        | Nivel de aceite bajo  | Medir nivel de aceite en reductor, ajustar de ser necesario con aceite MOBIL 600XP 220.   | Semanal    | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas             | \$ 728.000    |
| Unidad hidráulica 1,5 KW    | 1        | Paso entre cámaras del actuador hidráulico  | Inspeccionar en búsqueda de fugas de aceite hidráulico, de presentar fugas programar cambio de empaquetadura  | Semanal    | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas             | \$ 728.000    |
| Unidad hidráulica 1,5 KW    | 1        | Bajo nivel de aceite hidráulico   | Medir nivel de aceite en tanque de unidad hidráulica, ajustar de ser necesario con aceite DTE 26  | Semanal    | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas             | \$ 728.000    |
| Unidad hidráulica 1,5 KW    | 1        | Bloqueo en válvula de alivio, afecta sellos y retenedores de todo el sistema hidráulico | Validar que el sistema este aliviando a tanque a las 1500 psi, de ser necesario calibre la presión de apertura  | Semanal    | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas             | \$ 728.000    |
| cilindro hidráulico         | 1        | Cilindro suelto en pivotes  | Medir con una galga la holgura en los pasadores de los pivotes, no debe superar 1 mm, si se supera este parámetro se debe programar cambio de bujes y pasador                             | 2 meses    | Técnico     | Electromecánica     | 1 horas             | \$ 84.000     |

**Figura 29 Tareas de mantenimiento para pre mezclador CIFA DNA 1,5**

En el Anexo 7. Contiene el resumen de las tareas de mantenimiento recomendadas de acuerdo al resultado del análisis RCM.

## 7. CONCLUSIONES

- Este trabajo surgió de la necesidad de aumentar la disponibilidad de la planta pre mezcladora CIFA Bello, se requiere realizar este tipo de análisis RCM a todos los equipos de la planta que no son eficientes. El análisis de criticidad es un método que ayuda a identificar los equipos críticos y donde se debe realizar mayor concentración de esfuerzos. Durante el estudio se identificaron 9 equipos críticos que requieren la aplicación de la metodología RCM.
- La definición del contexto operacional nos ayudó a encaminar el análisis RCM, también a entender las funciones, componentes y el impacto en el proceso, recordemos que equipos iguales en contextos diferentes pueden tener diferentes comportamientos o funciones.
- Al momento de realizar el análisis de criticidad de los componentes del pre mezclador se logra identificar que los elementos de mayor incidencia son las puntas lado reductor y skip. Este es un claro ejemplo de falla oculta ya que cuando se detecta, el componente ya está en falla. Además este resultado es acorde a la revisión realizada al SIM en donde se puede identificar que paradas de gran impacto obedecen a estos elementos.
- Se evidencia que existen fallas funcionales asociadas a componentes que afectan de manera directa la función principal del pre mezclador CIFA, de manera que se considera asertivo hacer un segundo análisis de criticidad para establecer los componentes de mayor relevancia en los equipo.
- Se hizo necesario rediseñar el acople de salida del reductor, debido a que fallaba únicamente cuando el fusible mecánico era fabricado en un material de mayor dureza que el material del acople hembra. La dureza rockwell del estriado del fusible no puede ser superior a 56 HRC.

- Se estructuró un plan de mantenimiento basado en RCM para el premezclador CIFA DNA 1,5, su aplicación es económicamente viable y la mayoría de actividades obedecen a mantenimientos por condición.

## 8. RECOMENDACIONES

- Al realizar la respectiva devolución del presente proyecto a la compañía CEMEX, se recomienda dar inicio a las debidas tareas de mantenimiento asignadas para cada a cada componente.
- Inicialmente se debe diseñar un plan de mantenimiento basado en RCM para los 8 equipos restantes, los cuales también son críticos para el proceso, según el análisis de criticidad realizado.
- Las tareas de mantenimiento definidas según el diagrama de decisión, no condicionan el mantenimiento, las actividades de tipo limpieza, lubricación y ajustes menores deben continuar ejecutándose paralelamente al plan definido.
- Se recomienda a la compañía CEMEX realizar el seguimiento a la ejecución del plan de mantenimiento y los ajustes pertinentes al plan obedeciendo al ciclo de mejora continua PHVA.
- No obviar las necesidades que vaya presentando cada activo dentro de la planta, realizando la debida intervención ante la más mínima falla presentada o previamente identificada.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Hung, A. J. (2009). Mantenimiento centrado en confiabilidad como estrategia para apoyar los indicadores de disponibilidad y paradas forzadas en la Planta Oscar A. Machado EDC; ReliabilityCenteredMaintenance as a Strategytosupportavailability and forcedoutagesindicator. Ingeniería energética, 30(2), 13-18.

Moubray, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM). Asheville, North Carolina USA: Aladon LLC.

Pistarelli, A. J. (2010). Manual de mantenimiento: Ingeniería, gestión y organización. Pistarelli.

SAE, J. (2002). JA 1012-2002. A Guide totheReliability-CenteredMaintenance (RCM) Standard, 2.

Sánchez, M. F. (2007). Cómo implantar un sistema de gestión ambiental según la norma ISO 14001: 2004. FC Editorial.

Cifa,(2011). Instrucciones para uso y mantenimiento Mezclador de doble eje.

Cifa,(2011) Manual de partes recambio CIFAMOOVE 60.4R código 500499

