

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA
LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 DE LA
EMPRESA PRETECOR LTDA.**

JAIME JEANPIERRE BERNAL OLARTE

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

**PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA
LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 DE LA
EMPRESA PRETECOR LTDA.**

JAIME JEANPIERRE BERNAL OLARTE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Mecánico.

Director:

CARLOS BORRAS PINILLA

Ing. Mecánico; Ph. D, M.sc

Coodirector:

LUIS CARLOS ROYS PARCHECO

Ing. Mecánico Esp.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA.

A mis padres Nancy Mirella Olarte Mendoza y Jaime Bernal Cuadros, por regalarme todo su amor y apoyo incondicional durante todo mi caminar, por luchar hasta el cansancio para brindarles un porvenir a sus hijos y por siempre querer darme lo que nunca ellos pudieron tener; esté triunfo es nuestro papitos los amo con todo mi ser.

A Eisenhower Bernal Olarte y Lisdery Yiseth Bernal Olarte, por cobijarme como hermanos mayores, por enseñarme la importancia de la hermandad y de la familia y por darme su amor y amistad.

A todos mis amigos de infancia y universidad que fueron dando a mi vida grandes momentos.

AGRADECIMIENTOS

A mi negrita Marilyn Duran por llenarme de alegría, te amo siempre.

Agradezco a todas las personas que tuvieron que ver en alguna forma con la realización de este trabajo, es especial agradecer a mi director de proyecto el profesor Carlos Borrás Pinilla, a Luis Carlos Roys Pacheco codirector del proyecto y gerente del departamento de mantenimiento de PRETECOR Ltda.

A todos los profesores de la escuela de ingeniería mecánica de la UIS que me orientaron en mi formación académica.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido

INTRODUCCIÓN	14
CAPITULO 1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.....	16
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE.....	16
1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.3. MISIÓN.....	22
1.4. VISIÓN.....	22
1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO.....	22
1.6.1. Objetivo general.....	22
1.6.2. Objetivos específicos:	23
CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL.....	24
2.1 PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE “PRETECOR LTDA..”	24
2.1.1. Organigrama de la empresa	24
2.1.3. Número de empleados y descripción de cargos.	24
2.1.4. Ubicación geográfica	25
2.1.5. Procesos desarrollados en la empresa: Para conocer acerca de la tecnología de fabricación del concreto pretensado remitirse al ANEXO A.	26
CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO.	27
3.1. NORMATIVIDAD ASOCIADA AL PROYECTO.....	27

3.1.1. Normas sae j-1011 y sae j-1012:	27
3.1.2. Norma sae j 1739 (chrysler corporation, ford motor company, general motors corporation, 1995).....	28
3.1.3. Norma iso 14224.....	29
3.2.1. Tipos de mantenimiento:.....	35
3.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II).	38
3.3.1. Las siete preguntas del proceso RCM II:	39
3.3.2. La metodología en la que se basa RCM IIs.	40
CAPÍTULO 4. LAY-OUT, LISTADO Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS DE PRETECOR LTDA.....	63
4.1. EQUIPOS DE LA EMPRESA PRETECOR LTDA.....	63
4.2. LAY-OUT DE PRETECOR LTDA.	65
4.3. CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	66
CAPÍTULO 5. AUDITORIA DE MANTENIMIENTO EN PRETECOR LTDA.....	68
5.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN PRETECOR LTDA.....	70
5.1.1. Criterios de evaluación:.....	71
5.1.2. Metodología empleada:.....	73
5.2. RESULTADOS DE LA AUDITORIA DE MANTENIMIENTO EN PRETECOR LTDA. 74	
CAPITULO 6. CRITICIDAD DE EQUIPOS.	76
6.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	76
6.2. DEFINICIÓN DE RIESGO	77

6.3. MODELO DE CRITICIDAD BASADO EN LA METODOLOGÍA DE FACTORES PONDERADOS	77
6.4. MATRIZ GENERAL DE CRITICIDAD	80
6.4. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.....	83
CAPÍTULO 7. PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 (ZME-MEZ 01)	84
7.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DENTRO DEL CONTEXTO OPERACIONAL.	84
3.3. SECUENCIA DE OPERACIONES PARA CICLO DE MEZCLADO.	88
3.4. SUBSISTEMAS DE LA MEZCLADORA ALTRON AM-25	88
3.4.1. Chasis principal.....	88
3.4.2. Sistema dosificador de agua.....	89
3.4.3. Sistema neumático	89
3.4.4. Cabina de operación.....	90
3.4.6. Bascula para agregados.	91
3.4.7. Báscula para cemento	93
3.4.8. Banda transportadora	94
3.4.9. Silos y tolva pulmón de cemento:	96
3.4.10. Transportadores sinfín	96
3.4.11. Mezclador	97
3.5. SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE LA MEZCLADORA A ALTRON M-25.....	99
CAPÍTULO 8. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS (RCM II) A LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 DE LA EMPRESA PRETECOR LTDA.....	101
8.1. GRADO DE DETALLE.....	101

8.2. HOJA DE INFORMACIÓN RCM II DEL ACTIVO ZME MEZ 01.....	101
8.3. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) A LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25.....	104
8.3.1. Número prioritario de riesgo (NPR).....	104
8.4. HOJA DE DECISIÓN RCM II.....	110
8.5. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II PARA LA PLANTA MEZCLADORA ALTRON AM-25.....	114
CAPÍTULO 9: ANÁLISIS DE COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RCM II IMPLEMENTADO.....	118
9.1. TASA INTERNA DE RETORNO O RENTABILIDAD.....	118
9.2. CÁLCULO DE LA TIR.....	118
9.3. COSTOS PREVISTOS POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO RCM II DE LA PLANTA MEZCLADORA ALTRON AM-25.....	120
CAPÍTULO 10: SOCIALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RCM II IMPLEMENTADO EN PRETECOR LTDA.....	122
10.1. MANUAL DE MANTENIMIENTO RCM II EN FORMATO WEB HTM PARA LA MEZCLADORA ALTRON AM-25.....	122
10.2. SOCIALIZACIÓN Y CAPACITACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO RCM II PARA LA MEZCLADORA ALTRON AM-25.....	123
BIBLIOGRAFÍA.....	127
ANEXOS.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación OREDA _____	29
Tabla 2 Comparativo RCM / ISO 14224 _____	30
Tabla 3 Taxonomía y deefiniciones jerárquicas ISO 14224 _____	32
Tabla 4 Listado y ubicación de quipos PRETECOR Ltda. _____	63
Tabla 5 Codificación de equipos PRETECOR Ltda. _____	66
Tabla 6 Metodología diagnóstica de mantenimiento. _____	73
Tabla 7 Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad. _____	78
Tabla 8 Resultados del análisis de criticidad. _____	81
Tabla 9 Especificaciones básicas de la Mezcladora ALTRON AM-25. _____	87
Tabla 10 Sistemas y subsistemas de la Mezcladora ALTRON AM-25. _____	99
Tabla 11 HOJA DE INFORMACIÓN RCM II DEL ACTIVO ZME MEZ 01. _____	102
Tabla 12 Factor Ponderado de Severidad. _____	105
Tabla 13 Factor Ponderado de Ocurrencia _____	106
Tabla 14 Factor Ponderado de Detección _____	106
Tabla 15 POR PONERLE TÍTULO. _____	108
Tabla 16 Hoja de decisión RCM II _____	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 18 P.O.E a realizar como recomendaciones generales diarias. _____	115
Tabla 19 P.O.E a realizar en el mezclador. _____	116
Tabla 20 Costos de mantenimiento correctivo de la planta mezcladora ALTRON AM-25. _____	119
Tabla 21 Descripción de los costos de implementación del proyecto. _____	120
Tabla 22 Costos del plan de mantenimiento RCM II implementado. _____	120
Tabla 23 resultados del cálculo del TIR en Excel. _____	121

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Logo de la empresa.....	16
FIGURA 2. Vista panoramica PRETECOR LTDA.....	16
FIGURA 3 Instalaciones PRETECOR Ltda.....	17
FIGURA 4 Organigrama de la empresa.....	24
FIGURA 5 Fachada de la empresa.....	25
FIGURA 6 Diseños.	132
FIGURA 7 Refuerzo de Acero.....	133
FIGURA 8 Producción de postes de concreto.	134
FIGURA 9 Llenado de las formaletas con la materia prima.	135
FIGURA 10 Caldera para la producción de vapor.....	135
FIGURA 11 Transporte para la entrega a los clientes.	136
FIGURA 12 Almacén de postes.	137
FIGURA 13 Patrones de falla.....	54
FIGURA 14 Curva P-F	56
FIGURA 15 Grupo de decisión RCM II	61
FIGURA 16 Diagrama de decisión RCM II.....	62
FIGURA 17 LAY-OUT DE PRETECOR LTDA.....	65
FIGURA 18 Nomenclatura de los Equipos.....	66
FIGURA 19 Resultados de la auditoria de mantenimiento en base a las encuestas Anexo 1.....	69
FIGURA 20 Matriz de criticidad.....	80
FIGURA 21 Matriz de criticidad de equipos PRETECOR LTDA.	82
FIGURA 22 Planta mezcladora Altron AM-25 de PRETECOR LTDA.	85
FIGURA 23 Planta mezcladora ALTRON AM-25 PRETECOR Ltda.	86
FIGURA 24 Motobomba de dosificación para el mezclador y sensor de flujo Signet.	89
FIGURA 25 Compresor y su unidad de mantenimiento.	90

FIGURA 26	Cabina de operación y mando. Fuente: Autor del proyecto.....	90
FIGURA 27	Sistema eléctrico.	91
FIGURA 28	Báscula para agregados.....	91
FIGURA 29	Celda de carga tipo barra.	92
FIGURA 30	Cilindros apertura de accionamiento neumático para bascula de agregados y cementos.	92
FIGURA 31	Motovibrador para báscula de agregados y de cemento ITALVIBRAS MVS1 3/300.	93
FIGURA 32	Válvula mariposa.	93
FIGURA 33	Báscula para cemento.....	94
FIGURA 34	Banda transportadora y sistema de transmisión de potencia.	95
FIGURA 35	Chumacera tensora.....	95
FIGURA 36	Silos y pulmón de cemento..	96
FIGURA 37	Transportadores de cemento sinfín.....	96
FIGURA 38	Mezclador.....	98
FIGURA 39.	MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II, MEZCLADORA ALTRON AM-25.....	123

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. TECNOLOGÍA DE CONCRETO PRE-ESFORZADO.	130
ANEXO B. PRODUCTOS OFRECIDOS POR PRETECOR LTDA.	132
ANEXO C. AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO.	146
ANEXO D. AMEF A LA PLANTA MEZCLADORA ALTRON AM-25	158
ANEXO E. HOJA DE DECISIÓN RCM PARA LA PLANTA MEZCLADORA ALTRON AM-25	173
ANEXO F. P.O.E PROCEDIMIENTO OPERATIVOS ESTÁNDAR.....	181
ANEXO G. MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II, EN FORMATO WEB HTM.....	190
ANEXO H. HOJA DE ASISTENCIA A CAPACITACIÓN	192

RESUMEN

TÍTULO:

PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 DE LA EMPRESA PRETECOR LTDA.¹

AUTOR:

Jaime Jeanpierre Berna Olarte ²

PALABRAS CLAVES:

ISO 14224, SAE J-1011, SAE J-1012.

DESCRIPCIÓN:

Con el desarrollo de este trabajo de grado se pudo aportar desde la academia a la empresa santandereana productora de postes de concreto PRETECOR Ltda. mediante un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad RCM para su equipo crítico de producción la planta mezcladora Altron AM-25 de operación automática; el proceso RCM comprendió una serie de pasos basados en la metodología planteada por Jhon Moubray y soportado en la norma ISO 14224, SAE J-1011 Y SAE J-1012.

La metodología RCM II comprendió la codificación de los equipos, la auditoria de mantenimiento, en análisis de criticidad, en análisis de modos y efectos de fallos A.M.E.F (soportado en la norma SAE J 1739) y dio como resultado hojas de decisión RCM II y procedimientos operativos estándar P.O.T para cada uno de los sistemas y subsistemas que componen la mezcladora que luego de ser implementados redundaron en beneficios económicos y mejoraron el manejo de las fallas por parte del departamento de mantenimiento de la empresa.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: Carlos Borrás Pinilla Ph.D, M.sc.

ABSTRACT

TITLE:

PLAN OF RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM II) FOR CONCRETE MIXER ALTRON AM-25 ENTERPRISE PRETECOR LTDA.³

AUTHOR:

Jaime Jeanpierre Berna Olarte⁴

keywords:

ISO 14224, SAE J-1011, SAE J-1012.

DESCRIPTION:

Whit the development of this work degree could contribute from academia to santandereana producer of concrete posts PRETECOR Ltda. Through a plan of preventive reliability centered maintenance RCM for critical production equipment the mixing plant Altron AM-25 automatic operation; the RCM process included a series based on the methodology proposed by John Moubray and supported in the ISO 14224 standard, SAE J-1011 and SAE J-1012 steps.

The RCM II methodology included coding equipment, maintenance audit in criticality analysis, analysis of modes and effects of failures FMEA (supported in SAE J-1739) and resulted leaves decision RCM II and procedures standard operating POT for each of the systems and subsystems that make up the mixer after being implemented resulted in economic benefits and improved management failures by the maintenance department of the company

³ Graduation project

⁴ Faculty of Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Directed: Carlos Borrás Pinilla Ph.D, M.Sc.

INTRODUCCIÓN

Los exitosos resultados obtenidos hasta el momento en empresas de grandes producciones con la implementación de planes de mantenimiento de tipo proactivo ha dejado como consecuencia, entre otras, la focalización de la atención empresarial en sus departamentos mantenimiento con el fin de obtener mayor disponibilidad en sus equipos de producción bajo patrones de rendimiento y funcionamiento esperados para los mismos, y así poder alcanzar altos estándares de productividad, rendimiento, seguridad para sus trabajadores y para el medio ambiente.

En búsqueda del éxito empresarial de la compañía y con el fin de satisfacer la demanda de la industria de postes de concreto a nivel nacional, la empresa Pretensados de Concreto del Oriente "PRETECOR Ltda." ha mejorado sus procesos de producción, invirtiendo grandes recursos dirigidos hacia la compra de máquinas y equipos de última tecnología para el mezclado de concreto, como es el caso de la Mezcladora automática ALTRON AM-25.

Las políticas actuales de manteniendo que se tienen para la mezcladora ALTRON AM-25 se basan principalmente en actividades de tipo preventivo y correctivo apoyadas en un sistema básico de información, pero no son las políticas correctas para el manejo adecuado del gran número de fallas que la misma posee. Éste equipo es fundamental en el proceso de producción y por tanto la empresa busca un alto grado de confiabilidad en cuanto cumplimiento de sus estándares de funcionamiento, de productividad y de seguridad.

Este proyecto surge como solución a la necesidad de la empresa PRETECOR Ltda. de garantizar la alta confiabilidad y disponibilidad en su equipo crítico de producción,

y cuyo objetivo es aportar una metodología como solución para el mantenimiento del mismo mediante la creación de un PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance) RCM II es un proceso metodológico que se fundamenta en la filosofía del mantenimiento proactivo, ésta técnica se basa en la identificación de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, implementando soluciones mediante el desarrollo de *tareas proactivas* para el manejo de cada modo de falla y la reducción de sus consecuencias, justificadas en los costos directos e indirectos de realizarlas. Este proceso abarca lo que comúnmente conocemos como mantenimiento predictivo y preventivo, aunque para efectos del RCM II se utilizan los términos, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición.

CAPITULO 1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

FIGURA 1. Logo de la empresa



PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE

Hace más de treinta años la Federación Nacional de Cafeteros lideró programas de electrificación rural en diversas zonas cafeteras del país, entre ellas, el departamento de Santander⁵. Con el fin de dar solución a la demanda de postes para la distribución de redes eléctricas se constituye en Bucaramanga la empresa Pretensados de Concreto del Oriente Ltda. “PRETECOR Ltda.” en 1982; empresa encargada de producir postes de concreto para distribución de redes eléctricas fabricados con tecnología de pretensado.

FIGURA 2. Vista panorámica PRETECOR Ltda.



⁵ Federación Nacional de Cafeteros, (s.f). Recuperado el 3 de abril de 2015, de http://santander.federaciondecafeteros.org/fnc/nuestros_informes/category/118

La principal actividad de la empresa PRETECOR Ltda. a lo largo de sus años de existencia ha sido el diseño y fabricación de estructuras a base de postes de concreto con alturas entre 8 y 30 metros, y con resistencias que oscilan entre los 510 y 8000 kilogramos, contribuyendo al desarrollo del país en los sectores eléctrico, de telecomunicaciones y de la construcción; utilizando la tecnología más avanzada en Colombia en prefabricados de concreto⁶.

Actualmente PRETECOR Ltda., cuentan con un plan de mantenimiento preventivo para el funcionamiento de las máquinas encargadas de la fabricación de postes para la distribución de redes eléctricas, dicho modelo de mantenimiento fue realizado hace 4 años con su respectivo software para la gestión de información, y consta de unas paradas reiteradas especificadas por el fabricante para el cambio de sus componentes críticos y mantenimiento. Los ingenieros Luis Carlos Roys y Vladimir Rey con su proyecto de grado⁷, aportaron desde la academia un sistema básico de información para la gestión de mantenimiento y el control de inventarios.

FIGURA 3. Instalaciones PRETECOR Ltda. Fuente: Autor del proyecto.



⁶ Ibíd.

⁷ Roys, L. y Rey, V. Implementación de un sistema de información en la empresa PRETECOR Ltda. para la gestión del mantenimiento. Tesis (pregrado en Ingeniería Mecánica). Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías fisicomecánicas, 2011.

Según estudios realizados por la división de mantenimiento en PRETECOR Ltda., a los componentes de cambio preventivo, se observó que estas piezas cuentan aún con un prolongado tiempo de vida útil por cumplir para llegar a su total deterioro, esto se debe a que hay lapsos de tiempo donde las maquinas no son operadas al mismo ritmo, pues depende de la demanda exigida a las mismas.

PRETECOR Ltda.. buscando el continuo crecimiento en el área de mantenimiento, ha realizado cambios de manera experimental en el ciclo de mantenimiento que se efectuaba normalmente, aumentando el periodo de trabajo de cada máquina, lo que representa un gran ahorro para la empresa. Sin embargo, la implementación de estas innovaciones en sus procesos de mantenimiento se hizo de forma experimental, sin una política de mantenimiento clara y definida que le brinde a la empresa confiabilidad en el proceso de producción y sobretodo en sus equipos más importantes, garantizando a lo largo del tiempo que los activos van a continuar haciendo lo que la empresa necesita que haga.

La mezcladora de concreto Altron AM-25 de operación automática, es el activo más importante y valioso de la empresa, pues sobre ella recae todo el peso de la producción de concreto bajo los estándares de calidad y especificaciones técnicas requeridas por PRETECOR Ltda.. para la elaboración de los postes, esta planta de mezclado es parte fundamental de la empresa ya que es el eje operacional de la misma.

La cantidad actual de fallas en la mezcladora, y la posibilidad de muchas más a futuro hacen necesario tomar una medida de mantenimiento que vaya más allá del mantenimiento preventivo actual y le brinde a la empresa un alto grado de confiabilidad en cuanto cumplimiento de sus estándares de funcionamiento, de productividad, de seguridad y medioambientales. Para cumplir con tal fin es necesario considerar la creación e implementación de un plan de mantenimiento

basado en la confiabilidad RCM II, que permita a la empresa y a los operarios de la mezcladora Altron AM-25, predecir y prevenir de forma proactiva las posibles fallas en su funcionamiento y funciones, trazando con tal necesidad el objetivo principal del presente trabajo de grado.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance) se define como un proceso usado para determinar sistemática y científicamente qué se debe hacer para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que hagan en el contexto operacional actual⁸.

La necesidad de una alta disponibilidad de los equipos de producción, ha generado la organización de actividades de mantenimiento en PRETECOR Ltda., incorporando programas de mantenimiento como el preventivo y el correctivo. La empresa en búsqueda de su crecimiento y mejora continua, se ha dado cuenta que lo primordial es minimizar costos y desperdicios en todos sus departamentos y el departamento de mantenimiento no es la excepción. La mejora en los procedimientos de mantenimiento le permitirá a la empresa alcanzar unos estándares altos en productividad y competitividad dentro de la industria.

PRETECOR Ltda. es una empresa competitiva a nivel nacional e internacional, y su producción de postes de concreto se da de manera continua con turnos dobles de trabajo las 24 horas del día durante 6 días de la semana y el domingo se designa a labores de mantenimiento. Así pues, hasta en épocas de bajas ventas se trabaja a

⁸ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance). Traducido por Ellman Sueiro Gran Bretaña. Editorial Americana Aladon Ltda., 2004, p. 7

ritmo regular ya que para la empresa resulta más económico hacer stock de postes en inventario debido a la gran inversión que se tiene en maquinaria y mano de obra.

PRETECOR Ltda. quiere hacer esfuerzos para lograr una mayor disponibilidad de su equipo principal de producción la Mezcladora ALTRON AM-25, lo cual redundará en beneficios económicos para la empresa mayormente obtenidos por la reducción de las paradas no deseadas que afectan la producción.

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en confiabilidad RCM II en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costos de mantenimiento, esto se logra con su aplicación cuidadosa a los equipos críticos que afectan a la empresa ya que provee un completo marco estratégico de trabajo para el majo de las posibles fallas que puedan afectar a los activos críticos, la manera en que suceden dichas fallas, los efectos y las consecuencias de cada modo de falla, y las tareas proactivas que deberían realizarse para solucionar la falla.

Según lo plantea Moubray⁹, si el RCM es correctamente aplicado a una planta industrial y a sus sistemas de mantenimiento ya existentes; se reduce el trabajo de rutina o trabajo de mantenimiento cíclico entre un 40 y 70%. Además de otros logros como:

- ✚ Mejorar la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas.
- ✚ Aumentar la seguridad e integridad ambiental.
- ✚ Alargar la vida útil de los componentes costosos.

⁹ Ibíd., p. 19-20

- ✚ Analizar 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.
- ✚ Motivar al personal y mejora el trabajo en equipo.
- ✚ Determinar una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

El Mantenimiento Centrado en la confiabilidad es entonces toda una metodología que se puede aplicar a la empresa, específicamente a su equipo crítico, en búsqueda del beneficio productivo de la misma, mejorando en todos los sentidos su capacidad producción, disminuyendo sus costos operacionales y garantizando el cumplimiento de los estándares mínimos de funcionamiento y rendimiento deseados por la compañía.

Según Santiago García Garrido en su libro *Organización y gestión integral del manteniendo*¹⁰, la confiabilidad hacia los equipos se basa en el modelo de alta disponibilidad el cual se aplica a quipos que bajo ningún concepto pueden sufrir paradas y que necesiten estar en funcionamiento la mayor parte del tiempo (más del 90%), esto debido al alto costo para la producción.

El mantenimiento del resto de los equipos se elabora atendiendo a las recomendaciones de los fabricantes y a la experiencia de los técnicos responsables de mantenimiento. En el mejor de los casos, sólo se estudian sus fallos y sus formas de prevenirlos después de que éstos se produzcan, cuando se analizan las averías sufridas en la instalación.

¹⁰ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento: manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial. Madrid. Ediciones Díaz de Santos S.A., 2003, p. 21

1.3. MISIÓN

Brindar soluciones prefabricadas en concreto para el desarrollo de los sectores eléctrico, energético, de telecomunicaciones y de la construcción, fundamentadas en un personal competitivo, comprometido y con oportunidades de desarrollo personal y laboral, buscando un rendimiento atractivo para los accionistas¹¹.

1.4. VISIÓN

Ser reconocidos como una empresa sólida y con autonomía en la rama civil respondiendo debidamente a los cambios del mercado a través de una estructura apta de acuerdo a altos estándares de calidad. Mantener su liderazgo en el suministro de soluciones prefabricadas, en los sectores Eléctrico, Energético y de Telecomunicaciones en Colombia, y formar parte de los mercados de Venezuela, Centro América y el Caribe¹².

1.6 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO

1.6.1. Objetivo general: Con el propósito de contribuir con el alcance de los objetivos trazados en la misión de la Universidad Industrial de Santander éste proyecto busca la consolidación de las relaciones entre universidad – empresa, la formación de estudiantes integrales en el ámbito académico e investigativo con proyección industrial, por medio de la creación de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II) para la planta mezcladora de concreto Altron AM-25 de la empresa PRETECOR Ltda.

¹¹ PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE (PRETECOR) Ltda. Manual de postes de concreto [Citado el 10 de diciembre de 2015] Disponible en <http://www.ie.com.co/pdf/MANUAL_DE_USO_DE_POSTES_DE_CONCRETO.pdf>, p. 5

¹² *Ibíd.*, p. 5

1.6.2. Objetivos específicos:

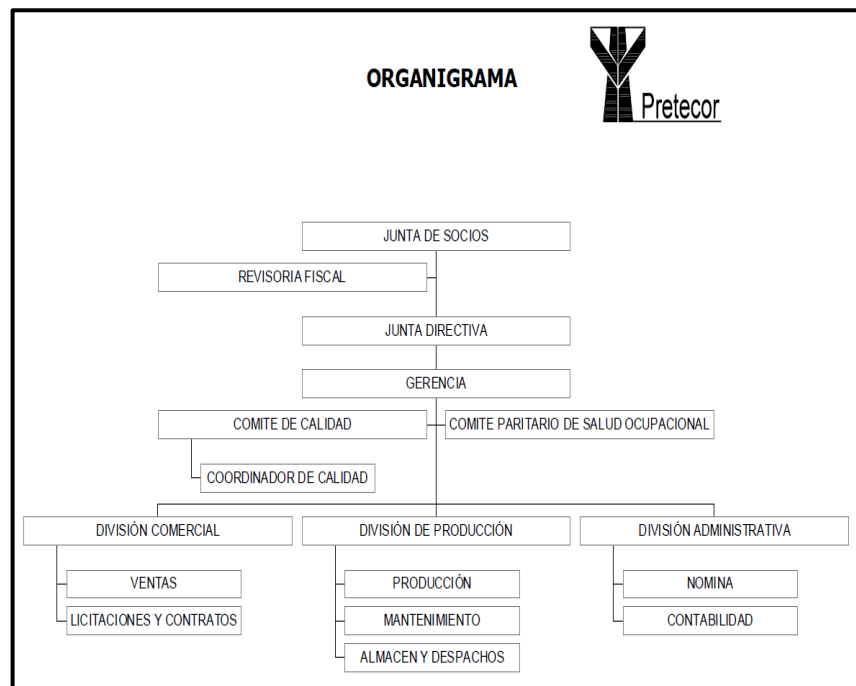
1. Diagnosticar el estado actual de los procesos de mantenimiento implementados actualmente por la empresa PRETECOR Ltda.
2. Inventariar y codificar los activos industriales existentes en la empresa, resaltando sus usos dentro del proceso de producción y las necesidades de mantenimiento de cada una de ellos con el fin de realizar un análisis de criticidad basados en la metodología de factores ponderados.
3. Realizar un AMEF (Análisis de Modos y Efectos de fallas potenciales) a los sistemas principales y a los subsistemas que componen la mezcladora Altron AM-25 basados en la aplicación de las normas SAE J 1739; cumpliendo con los estándares de confiabilidad en el análisis de la información apoyados en la norma ISO 14224.
4. Elaborar un plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad (RCM II) a la mezcladora Altron AM-25 y los subsistemas que la componen, siguiendo los parámetros de las normas SAE JA 1011, SAE JA 1012 e ISO 14224.
5. Capacitar al personal de la empresa involucrado en el manejo y funcionamiento de la planta mezcladora Altron AM-25 mediante la realización de charlas y talleres de socialización, que posibiliten la comprensión, el aprendizaje y la posible aplicación del plan de mantenimiento producto de este proyecto de grado.
6. Elaborar el manual de RCM II una vez concluido el proceso, con el fin que éste pueda servir de guía para la implementación y la optimización del mantenimiento en la empresa PRETECOR Ltda.
7. Realizar un análisis de costo del sistema de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad (RCM II) implementado.

CAPÍTULO 2. MARCO REFERENCIAL.

2.1 PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE “PRETECOR LTDA..”.

2.1.1. Organigrama de la empresa

FIGURA 4 Organigrama de la empresa¹³



2.1.3. Número de empleados y descripción de cargos: La empresa PRETECOR Ltda. actualmente realiza dos turnos de 12 horas y tiene 86 empleados, dentro de los cuales hay más de 60 operarios de producción.

¹³ Ibid, p. 8

2.1.4. Ubicación geográfica

FIGURA 5 Fachada de la empresa. Fuente: Autor del proyecto.



2.1.4.1 Ubicación de las sedes de pretecor ltda.

✚ Oficinas administrativas

Centro Empresarial Chicamocha Of. 219

Telefax (57) (7) 6346363

Contacto: info@pretecor.com

Bucaramanga, Santander, Colombia

✚ Planta de producción

Km. 10 vía Bucaramanga - Piedecuesta

Teléfonos (57) (7) 6550612 - 6553069

pretecor@pretecor.com

Bucaramanga, Santander, Colombia

2.1.5. Procesos desarrollados en la empresa: Para conocer acerca de la tecnología de fabricación del concreto pretensado remitirse al **ANEXO A.**

Para mayor claridad acerca de los procesos de fabricación y el portafolio de productos ofrecidos y políticas de calidad de la empresa PRETECOR Ltda. remitirse al **ANEXO B.**

CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO.

3.1. NORMATIVIDAD ASOCIADA AL PROYECTO.

3.1.1. Normas sae j-1011 y sae j-1012: La SAE invitó formalmente a un grupo de representantes de la aviación, de la armada y comunidades áreas para que le ayudaran a desarrollar una norma para programas de mantenimiento. A fines de 1997, a éste grupo se le unió un número de representantes principales del RCM provenientes de la industria comercial. Pero no fue sino hasta febrero 1999 que el subcomité SAE RCM terminó su trabajo sobre la norma ese mismo año la norma fue aprobada por la Junta de Normas Técnicas de la SAE y el Consejo Aeroespacial de la SAE.

Las Normas **SAE J-1011**¹⁴ y **SAE J-1012**¹⁵, son las dos normas que hacen referencia al RCM; la Norma SAE JA1011 es una norma dirigida a las empresas que quieran administrar de manera responsable sus activos y no presenta propiamente un proceso RCM estándar. Su título es: *“Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”*. Este documento tiene como objetivo ser una herramienta que sirva para evaluar procesos que pretendan ser RCM, apoyando dicha evaluación, por medio de la especificación de las características y criterios mínimos comparativos que un proceso debe cumplir para ser considerado como RCM.

¹⁴ THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND, SEA, AIR AND SPACE INTERNATIONAL, (SAE). Norma para vehículos aeroespaciales. Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad. SAE JA 1011. Estados Unidos de América: 1999.

¹⁵ SAE. Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. Una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MMC). SAE JA1012. Estados Unidos de América: 2002.

La norma SAE J-1012, establece una guía estándar para el mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, dando claros aportes a lo establecido la norma SAE JA 1011 (1999)¹⁶, ampliando y profundizando acerca de los criterios y conceptos que en ella se explican, sin intentar ser un manual o una guía de procedimientos para realizar el RCM. Ésta norma proporciona políticas que deben ser implementadas para manejar los modos de falla que puedan causar fallas funcionales de cualquier activo físico dentro de su propio contexto operacional¹⁷

3.1.2. Norma sae j 1739 (chrysler corporation, ford motor company, general motors corporation, 1995): Esta es una herramienta para la determinación de las funciones, fallas funcionales, causas y efectos de un fallo de un elemento en su contexto operativo, la norma describe el AMEF (Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales) y da una orientación general en la aplicación de la técnica, proporcionando algunas claves para su diseño y aplicación ayudando con la terminología, requisitos, tablas de información, clasificación y hojas de trabajo. También nos aporta las obligaciones y las recomendaciones que se deben seguir con el fin de llevar a cabo el análisis y su posterior implementación.

La norma SAE J 1739 describe y aclara tres grandes grupos de actividades que deben realizarse en el análisis AMEF:

- ✚ Reorganizar y evaluar las fallas potenciales de la maquina critica.
- ✚ Identificar las acciones para eliminar o reducir la posibilidad de que la falla potencial ocurra.
- ✚ Documentar el proceso.

¹⁶ Ibíd., p.

¹⁷ SAE, Op. Cit., 2002, p.

3.1.3. Norma iso 14224 (international organization for standardization, 1999):

Esta norma está fundamenta en el proceso RCM y se convierte es un pilar fundamental para el desarrollo de este proyecto, pues su aplicación al equipo en estudio permitirá jerarquizar, clasificar, y estandarizar de manera segura el manejo de datos de confiabilidad y mantenimiento de la máquina.

Esta norma está encaminada a evitar los problemas originados por el mal manejo de la información y presenta la forma que bajo estándares de confiabilidad debe ser recolectada y registrada dicha información relacionada con el mantenimiento de los activos de la empresa, se conoce como la norma de la gestión de los datos del mantenimiento.

La norma ISO 14224 presenta sus datos en una gran fuente de información llamada manual de datos Offshore Reability Data (OREDA), ésta base de datos se empieza conformar desde principios de los años ochenta gracias a un número de compañías petroleras que operaban en el mar Adriático y del Norte. Hasta hoy lleva más de treinta años recolectando datos de confiabilidad a partir de 265 instalaciones, 16000 equipos con 38000 fallas y 68000 records de mantenimiento¹⁸. El manual de confiabilidad OREDA 2009 organiza los equipos en cuatro sistemas principales y cada uno de estos sistemas se divide a su vez por clase:

Tabla 1 Clasificación OREDA¹⁹

SISTEMA	CLASE	UNIDADES DE EQUIPOS.
1. Maquinaria	1.1 Compresores,	131
	1.2 Turbinas de gas.	88

¹⁸ OFFSHORE REABILITY DATA (OREDA). Manual de datos Offshore Reability Data. 2009, [Citado el 10 de septiembre de 2015] Disponible en < <https://www.oreda.com/product/oreda-2009-handbook/> >

¹⁹ Ibid.

	1.4 Motores de combustión.	212
	1.3 Bombas.	98
	1.5 Turboexpansores	10
2. Equipos eléctricos	2.1 Generadores eléctricos	32
	2.2 Motores eléctricos.	143
3. Equipos eléctricos.	3.1 Intercambiadores	21
	3.2 Vessels.	198
	3.3 Calentadores y calderas.	12

3.1.3.1. Relación entre el proceso rcm ii y la norma iso 14224

La norma ISO 14224 se fundamenta en la resolución de las siete preguntas que se formula el proceso RCM y establece acciones que están alineadas con las mismas.

Tabla 2 Comparativo RCM / ISO 14224²⁰

RCM	Norma ISO 14224 y método de detección.
¿Será evidente a los operadores este modo de falla actuado por si solo en circunstancias normales?	Observación: Controles rutinarios o casuales del operado por medio de los sentidos (ruidos, olores, humos, apariencia.) Monitoreo continuo: Fallas reveladas durante un monitoreo continuo de condición de equipos para un predefinido modo de falla, ya sea manual o automáticamente (termografías, análisis de vibraciones y aceites, muestreo.)
¿Es técnicamente factible y merece la pena una tarea a condición?	Monitoreo periódico: Monitoreo continuo: Fallas reveladas durante un monitoreo programado de condición de equipos para un predefinido modo de falla, ya sea manual o automáticamente (termografías, análisis de vibraciones y aceites, muestreo.) Inspección: Falla descubierta durante una inspección planificada (inspección visual, ensayos no destructivos)

²⁰ TROFFÉ, Mario. Análisis ISO 14224 /OREDA y su relación con RCM-FMEA. [Citado el 9 de septiembre de 2015] Disponible en <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffelISO14224.pdf>>. Pp. 7 - 8

¿Es técnicamente factible y merece la pena una tarea de reacondicionamiento cíclico?	Mantenimiento preventivo: Falla descubierta durante el mantenimiento preventivo, reemplazo o reparación mayor de equipos, mientras se ejecutaba el programa mantenimiento preventivo
¿Es técnicamente factible y merece la pena una tarea de sustitución cíclica?	Mantenimiento preventivo: Falla descubierta durante el mantenimiento preventivo, reemplazo o reparación mayor de equipos, mientras se ejecutaba el programa mantenimiento preventivo
¿Es técnicamente factible y merece la pena una tarea de búsqueda de fallos?	Ensayo en funcionamiento: Falla descubierta durante la activación de una función y comparando la respuesta con un estándar predefinido.
No hacer mantenimiento si no tiene consecuencias.	Mantenimiento correctivo: Falla observable durante el mantenimiento correctivo
Realizar rediseño	Otros: Otros métodos de observación.

3.1.3.2. Taxonomía y jerarquización de equipos: La taxonomía en general es la clasificación de elementos en grupos genéricos basados factores comunes a varios de ellos (como pueden ser localización, utilización, subdivisiones de equipos, etc.).

Según la ISO 14224 la taxonomía de equipos es una clasificación sistemática de ítems en grupos genéricos, basándose en factores posiblemente comunes a varios de los elementos (ubicación, uso, sistema, sub-sistema...etc.). Comúnmente también son llamados arboles de equipos.

La ISO 14224 plantea que lo primero que debe hacerse es definir y describir claramente los límites de la taxonomía con el fin de recopilar, compartir y analizar datos de fiabilidad además de facilitar la comunicación entre operadores, personal de mantenimiento y fabricantes de maquinaria.

Los cinco primeros niveles de este sistema de taxonomía representan la categorización de alto nivel, que están relacionados con las instalaciones en las que los equipos están operando, esto es porque un mismo equipo puede ser utilizado en diferentes industrias, así puede establecer el contexto operacional del equipo y obtener datos confiables

Los cuatro niveles siguientes están relacionados con los equipos con sus subdivisiones en niveles inferiores en una relación jerárquica. El número de subdivisiones para la recopilación de datos depende de la complejidad del equipo y de la utilización de los datos.

Tabla 3 Taxonomía y definiciones jerárquicas ISO 14224²¹

	Nivel	Descripción.	Definición.	Ejemplos.
Datos de uso /Localización.	1	Industria	Tipo de industria	Petroquímica, minera, alimentos.
	2	Categoría del negocio	Tipo de negocio o proceso	Extracción, producción, refinación.
	3	Categoría instalación	tipo de facilidad	Producción, transporte, perforación.
	4	Planta / Unidad.	Tipo de planta o unidad.	Plataforma, planta de concreto.
	5	Sección / Sistema	Sección principal / sistemas de la planta	Compresión, licuefacción, oxidación.
Subdivisión de equipos	6	Clase de equipo / unidad	Clase de quipos similares.	Intercambiador, compresor, bomba.

²¹ ISO 14224:2006. Petroleum, petrochemical and gas industries; Collection and Exchange of Reliability and Maintenance data for Equipment. p. 23.

	7	Sub sistema	Subsistemas funcionales del equipo	Lubricación, enfriamiento, control.
	8	Componente / Ítem mantenible	Grupo de partes mantenidas (rapadas o restauradas)	Enfriador, bomba aceite, reductor.
	9	Parte o elemento.	Pieza o repuesto del equipo	Sello, tubo, carcaza, impeller.

3.2. GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen, o se restablece a un estado en el que puede realizar las funciones designadas

La norma ISO 14224²² define el mantenimiento como combinación de acciones técnicas y administrativas, incluyendo la supervisión, cuyo fin es mantener o reparar el aparato para que opere en un estado que le permita realizar las funciones requeridas.

Para la Asociación Francesa de Normalización mediante su norma ANFOR NF X60-010, el mantenimiento se define como el conjunto de acciones tendientes a mantener o reestablecer un bien a un estado específico que le permita asegurar el servicio determinado.

²² ISO 14224:2006; Petroleum, petrochemical and gas industries; Collection and Exchange of Reliability and Maintenance data for Equipment. P. 6.

Según el ingeniero Gustavo Rueda Gómez²³, en su libro *Administración del mantenimiento*, existen tres reglas de oro del mantenimiento:

1. Simplificar al máximo:

- ✚ Jerarquizar las acciones y los equipos.
- ✚ Evitar lo superfluo.
- ✚ Estandarizar lo igualable.
- ✚ Sintetizar lo repetitivo.
- ✚ Normalizar lo genérico.

2. Reducir los costos:

- ✚ Optimizar los recursos disponibles.
- ✚ Buscar la máxima eficiencia.
- ✚ Dar a cada hombre una tarea específica, para que sea desarrollada de una manera específica y en un tiempo determinado.
- ✚ Maximizar la disponibilidad de la maquinaria y equipo necesario para la actividad productiva.

3. Minimizar el papeleo:

- ✚ Diseñar y definir la información adecuada y necesaria.
- ✚ Evitar la burocratización del mantenimiento.

²³ RUEDA GÓMEZ, Gustavo. *Administración del mantenimiento*. Tomo 1. p. 55

3.2.1. Tipos de mantenimiento: Existen varios tipos de mantenimiento, los cuales se diferencian por su filosofía en el momento de tomar acciones y decisiones en la organización, basadas en un marco económico, productivo y confiable.

3.2.1.1. Mantenimiento correctivo: El mantenimiento correctivo es el más básico y antiguo de los tipos de mantenimientos y puede ser programado e imprevisto. El mantenimiento correctivo como su nombre lo indica consiste en corregir los daños después de haber ocurrido una falla o avería. Los sistemas correctivos no aseguran una buena marcha de los bienes e instalaciones y por ello se consideran poco confiables, sin embargo, es imposible prescindir de él.

Este tipo de mantenimiento busca que el equipo funcione hasta el punto en que no pueda desempeñar normalmente sus funciones y para ello se requiere de un alto conocimiento del equipo y de su funcionamiento.

3.2.1.2. Mantenimiento preventivo: El mantenimiento preventivo se basa en un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos con el fin de detectar condiciones y estados inadecuados de esos elementos que puedan ocasionar paros en la producción o deterioro grave de máquinas, y realizar en forma permanente el cuidado de mantenimiento adecuado de la planta para evitar tales condiciones, mediante la ejecución de ajustes o reparaciones, mientras las fallas potenciales están en estado inicial de desarrollo.

3.2.1.3. Mantenimiento predictivo: El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

Éste tipo de mantenimiento se realiza mediante la utilización de aparatos de control instalados en los equipos para detectar su funcionamiento mediante indicadores que pueden medir parámetros de funcionamiento de las máquinas. También se le denomina mantenimiento basado en condición, porque se supone que el sistema, aun presentado un estado de falla continúa funcionando.

3.2.1.4. Mantenimiento productivo total: El mantenimiento productivo se basa en el principio fundamental de que toda persona cuyo trabajo tenga algo que ver con un equipo, debe estar involucrada en su mantenimiento y administración con el fin de mantener a los equipos en un punto de máxima efectividad operativa.

El mantenimiento productivo o mantenimiento planificado es la etapa anterior, al mantenimiento productivo total (TPM) y es la evolución del mantenimiento correctivo. Esta etapa se caracteriza por la progresiva mentalización por la calidad y el consiguiente desarrollo de técnicas para el control y aseguramiento de la calidad. En esta etapa, se produce un gran desarrollo tecnológico en los medios de producción, impulsado por la necesidad de diseñar equipos que puedan producir bienes de la calidad exigida por el mercado.

El concepto de mantenimiento productivo (PM) hace referencia a que el objetivo del Mantenimiento no es solo mantener los equipos sino mejorar la calidad mediante modificaciones de diseño que mejoren la fiabilidad y la mantenibilidad de los equipos.

De esta manera el PM engloba el Mantenimiento Correctivo, Preventivo y la gestión de la calidad. Mantenimiento productivo total se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros, calidad y costes en los procesos de producción industrial.

3.2.1.5. Mantenimiento proactivo: Es una técnica enfocada en la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales; esta técnica implementa soluciones que atacan las causas de los problemas no los efectos. La implementación de prácticas de mantenimiento proactivo, se enfocan en la identificación de la causa raíz de falla de casos recurrentes y en la detección de oportunidades de mejora que incrementen la vida de los activos.

Funciona bajo los siguientes principios: mejorar los procedimientos antes de que se causen fallas, evitar las paradas para mantenimiento correctivo, aumentar las frecuencias del mantenimiento preventivo.

3.2.1.6. Mantenimiento basado en confiabilidad (RCM): El mantenimiento centrado en confiabilidad RCM es una metodología de análisis sistemática, documentada que puede se puede utilizar a cualquier proceso industrial que quiera desarrollar un plan eficiente de mantenimiento. Revisa cada sistema y su posible falla funcional dirigiendo sus esfuerzos a mantener la función de los equipos más que los equipos mismos.

Por tal motivo RCM es un proceso utilizado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su actual contexto operacional.²⁴

Ésta filosofía de mantenimiento será la implementada para el desarrollo de este proyecto por lo que es importante conocerla en detalle.

²⁴ PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. RCM Casos de éxito y sus factores claves. [Citado el 2 de octubre de 2015] Disponible en < <http://www.soporteycia.com/component/flippingbook/book/7> >. p.7.

3.2. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II).

El proceso RCM II provee un metodología aplicable a los quipos críticos de una empresa con el fin de mejorar el manejo de las *fallas*²⁵, éste consiste en identificar los lineamientos que deben aplicarse a la gestión de los modos de fallo que podrían causar el fracaso funcional de todos los elementos físicos que los afectan, también busca clasificar todas las fallas del activo en estudio basándose en la forma en que suceden, sus *efectos*²⁶, y sus *consecuencias*²⁷; separando además las fallas ocultas de las evidentes y jerarquizando la importancia que tiene cada *modo de falla*²⁸, a fin de establecer las tareas proactivas que deberían realizarse para solucionarlos.

El proceso RCM II se fundamenta en la filosofía del mantenimiento proactivo, ésta técnica se basa en la identificación de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, implementando soluciones mediante el desarrollo de *tareas proactivas*²⁹ para el manejo de cada modo de falla y la reducción de sus consecuencias, justificadas en los costos directos e indirectos de realizarlas.

El proceso RCM describe las acciones que se deben tomar para manejar la falla de la siguiente manera³⁰:

- ✚ **Tareas proactivas:** Estas se llevan a cabo antes de que ocurra la falla, con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un *estado de falla*, estas

²⁵ Falla: La incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.

²⁶ Efecto de falla: Describe que pasa cuando ocurre un modo de falla.

²⁷ Consecuencia de falla: Describe como y cuanto importa cada efecto de falla.

²⁸ Modo de falla: Cualquier evento que causa una falla funciona.

²⁹ Tarea proactiva: Descripción del procedimiento a realizar para solucionar el modo de falla.

³⁰ MOUBRAY, J. Op. Cit, p. 133

tareas abarcan lo que comúnmente se denomina mantenimiento predictivo y preventivo; aunque para efectos del proceso RCM II se utilizan los términos de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición. Cada tarea proactiva es diseñada para prevenir un modo de falla específico, teniendo en cuenta la factibilidad económica de realizarla o no.

✚ **Acciones a falta de:** Esta trata con el estado de falla, y son elegidas cuando nos es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de, incluyen las búsquedas de las fallas, el rediseño, y mantenimiento a rotura.

3.3.1. Las siete preguntas del proceso RCM II: Según el ingeniero mecánico John Moubray en su libro *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*, el proceso RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar³¹:

- I. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- II. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
- III. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
- IV. ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?
- V. ¿En qué sentido es importante la falla?
- VI. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
- VII. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Dichas preguntas serán la base metodológica de este proyecto de grado.

³¹ *Ibíd.*, p. 7

3.3.2. La metodología en la que se basa RCM II: El fundamento metodológico del proceso RCM II se basa en la resolución de las siete (7) preguntas mencionadas anteriormente, con el fin de lograr este objetivo se implementarán las siguientes etapas.

3.3.2.1. Etapa 1: Etapa previa a la aplicación del RCM II: Ésta etapa no responde a ninguna de las siete preguntas que se formulan acerca del proceso RCM pero es de vital importancia para el desarrollo del mismo, ya que sientan las bases para entender el contexto operacional del equipo crítico y conocer más de cerca el activo al que se le quiere hacer el estudio RCM, sus funciones, su capacidad, sus parámetros de funcionamiento y de rendimiento.

Ésta fase también trata de especificar de manera precisa cual es el desempeño esperado de la planta mezcladora Altron AM-25, y los estándares de desempeño y de funcionamiento que el usuario ve a futuro apoyado por el departamento de mantenimiento. “Una definición funcional escrita adecuadamente y cuantificada, define con precisión los objetivos de desempeño de la máquina”³².

3.3.2.2. Etapa 2: Funciones y parámetros de funcionamiento: La segunda fase metodológica trata de dar respuesta a la primera pregunta que formula el proceso RCM acerca del activo crítico, y consiste en esclarecer cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo dentro de su actual contexto operacional. Esto es de vital importancia pues al definir las funciones y los parámetros de funcionamiento deseados estamos también fijando los objetivos que el departamento de mantenimiento debería trazarse para cumplir con dichos estándares de funcionamiento y rendimiento de la planta mezcladora de concreto Altron AM-25. De forma más específica debemos conocer el régimen de operación

³² *Ibíd.*, p. 46

del equipo, la disponibilidad de la mano de obra, los repuestos que el equipo requiere, las consecuencias de la indisponibilidad de éste en cuanto a la pérdida o reducción de su producción, la recuperación de producción durante horas extras y la tercerización; los objetivos de la calidad, su seguridad y lo concerniente el medio ambiente.

Esta fase comienza con la codificación y listado de los sistemas primarios y demás subsistemas y elementos que componen el activo. El objetivo aquí es identificar, clasificar y definir las funciones primarias y secundarias de la máquina crítica, ajustados a su contexto operacional, y bajo sus parámetros de funcionamiento y rendimiento mediante la recopilación de esquemas, diagramas funcionales y diagramas lógicos. Para identificar las funciones secundarias se debe utilizar la metodología de categorías E.S.C.A.P.E (Ecología, Seguridad, Control, Apariencia, Protección, Eficiencia) para su evaluación.

Al finalizar esta etapa debemos obtener una hoja de información de funcionamiento RCM II de la mezcladora Altron AM-25, donde se listen y se describan sus funciones tanto primarias como secundarias.

3.3.2.3. Etapa 3: Fallas funcionales: Cuando la máquina no puede rendir de la manera en que nosotros como usuarios quisiéramos podemos considerar que ha fallado, el proceso RCM utiliza el término *falla funcional o estado de falla* -para describir estados de falla y no la falla en general-, también llama a los eventos que causaron el estado de falla como “*modos de falla*” esto permite ser específicos, pues es más preciso definir la falla como la pérdida de una función en lugar de decir que ha fallado el activo completamente, todo esto permite entender el estado de falla del activo, la manera en que se da, brindándonos la posibilidad de tomar medidas de mantenimiento sobre la misma.

Los estados de falla junto con sus modos de falla, sólo pueden ser identificadas luego de haber sido definidas las funciones y parámetros de funcionamiento del activo. La definición de fallas funcionales por cada función es de carácter intrínseco en este proceso, pues una función puede tener varias fallas y éstas deben a su vez, estar consignadas en sus registros.

Lo que se debe hacer es registrar todas las fallas funcionales asociadas a cada función de la maquina crítica, según Moubray “una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”³³.

Es necesario establecer en conjunto con todas las dependencias de la empresa los parámetros de funcionamiento deseados de la máquina, es una tarea conjunta pues se debe tener en cuenta la opinión de todos los departamentos que están involucrados de una u otra manera con el funcionamiento de la misma. Estos parámetros de funcionamiento nos dictaminan si la maquina está cumpliendo con su objetivo de rendimiento o si por el contrario ha fallado.

³³ *Ibíd.*, p. 50

Al finalizar esta etapa deben ser registradas todas las fallas codificadas alfabéticamente y organizadas en una hoja de información RCM II de funciones y fallas funcionales.

3.3.2.4. Etapa 4. Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF): Con el desarrollo de esta etapa se quiere dar respuesta al segundo y tercer cuestionamiento establecido por la metodología del proceso RCM, ellas se preguntan ¿de qué manera falla el activo en satisfacer sus funciones? y ¿cuál es la causa de la falla funcional? respectivamente. Ésta fase podría considerarse una de las más importantes, si no la más importante, ya que de ella depende que se lleve a cabo el RCM II de manera correcta, además de generar un acercamiento con las personas que día a día operan y mantienen el equipo, convirtiéndose éstos en la mejor fuente de información acerca del funcionamiento del activo crítico, lo que puede estar andando mal con éste, la importancia de cada falla y lo que debería hacerse para repararla.

¿Qué es AMEF? : El Análisis de modos y efectos de fallas potenciales AMEF, es un proceso analítico y sistemático para la identificación de las fallas, estandarizado por la norma SAE J1739, y se realiza con el propósito de buscar e identificar los posibles modos de falla causantes de cada falla funcional, y determinar los efectos de falla asociados con cada modo de falla.

¿Qué es un modo de falla?³⁴: Un *modo de falla* es la manera en que los eventos desencadenados generan la falla del activo, es la manera específica y precisa de la forma en que el activo falló, es por eso que se hace necesario la identificación de estos *modos de falla*, registrando toda la información en una hoja RCM II en donde

³⁴ La descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo y debe de ser descrito de manera específica y concisa. Se debe de evitar el uso de expresiones como falla, rotura o mal funcionamiento.

se debe especificar el listado de *fallas funcionales* junto con los posibles *modos de falla* que pudieron causar cada falla funcional.

Entendidos los modos de falla se ejecutan las tareas de mantenimiento necesarias para solucionarlos, de manera que se establezcan las formas en la que debería ser manejado el modo de falla en búsqueda de su reparación. Estos modos de falla deben ser encasillados en los seis diferentes patrones de falla, que muestran la probabilidad condicional de la falla con relación a la edad operacional del elemento de la máquina. Identificar los modos de falla es la base del mantenimiento proactivo.

Según Moubray, los modos de falla pueden ser clasificados de la siguiente manera³⁵:

- ✚ *Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado:* En esta categoría de modos de falla se hace referencia a que la capacidad inicial del activo ha disminuido debido al deterioro por tiempo y uso, las fallas de lubricación, las fallas por polvo o suciedad, y las fallas por errores humanos que reducen la capacidad.
- ✚ *Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial:* Este tipo de modo de falla es acarreado por un error humano, y deben ser tenido en cuenta en el análisis AMEF como un posible modo de falla que pueda sobrecargar la capacidad de funcionamiento del activo.
- ✚ *Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere:* esta situación surge cuando el funcionamiento deseado esta fuera de rango de la capacidad inicial desde el comienzo de la puesta en marcha de la máquina.

³⁵ MOUBRAY. J. Óp. Cit., pp. 61 - 67

Para establecer el manejo que se le debe dar a los modos de falla con el fin de solucionarlos, es necesario ahondar en su descripción con detalle, hasta el punto que permita abordar una estrategia para el manejo de los mismos. Para esto es necesario tener en cuenta aspectos centrales como son *la causa raíz*, que básicamente es establecer el origen de la falla; *la probabilidad de falla*, que significa tener en cuenta la posibilidad de que ocurra un evento basándose en el historial de fallos y descartando las poco probables; por último, *el error humano*, que debe tenerse en cuenta si es una razón creíble por la cual pueda ocurrir un modo de falla o de manera general una falla funcional. Aclarando que, si la consecuencia de una falla poco probable es grave, entonces es importante tenerlo en cuenta.

¿Qué es un efecto de falla? : El *efecto de falla* describe lo que pasa cuando ocurre un modo de falla, en base a evidencias de la falla, daños físicos, y un análisis para establecer si la falla podría afectar las operaciones, la seguridad y el medio ambiente. Es necesario describir los efectos de falla de forma clara, como, por ejemplo, indicando si la falla va acompañada de efectos físicos, si genera algún riesgo para la salud del operario, y su tiempo de reparación estimado para mantenerlo. Además de describir el efecto ocasionado por la falla, los efectos de falla deben referir los procedimientos necesarios para reparar la falla.

Los modos y efectos de falla potenciales deben documentarse, en este proyecto, se empezará desde arriba en la jerarquía de los subsistemas de la planta mezcladora Altron AM-25 hasta llegar a sus niveles más bajos. Todo esto conlleva la obtención de una hoja de información RCM II en donde se especifican la función, la falla funcional, los modos de falla y sus consecuentes efectos de falla.

3.3.2.5. Etapa 5. Consecuencias de falla: Esta etapa trata de dar respuesta a la quinta pregunta formulada por el proceso RCM II, ¿en qué sentido es importante la falla? Para tratar de dar respuesta a este cuestionamiento se debe analizar todas las funciones asociadas a los modos de falla y sus efectos, estableciendo de qué manera afecta cada falla el desarrollo normal de la empresa, en otras palabras, se debe establecer las consecuencias que tienen las fallas en la producción, la calidad, el servicio, los costos y la seguridad tanto de operarios, así como del medio ambiente.

Las consecuencias de falla determinan los esfuerzos que deben hacerse desde el departamento de mantenimiento para eliminar, evitar o por lo menos reducir las fallas ocasionadas por la mezcladora Altron AM-25, que puedan ser consideradas serias para la empresa. Dentro de éstas se encuentra en primer lugar la seguridad de los operadores, o la contaminación ambiental, pues el proceso RCM II sitúa la vida y la seguridad de los operadores y el bienestar de todas las personas como pilar de todo el proceso.

El producto del análisis de las consecuencias de falla nos aclara las tareas proactivas necesarias que deben ejecutarse para solucionar el modo de falla, en base a la factibilidad técnica de realizarla. Además de esto dicho análisis, determina las tareas proactivas necesarias para solucionarla en el contexto de su viabilidad técnica, dejando como resultado la determinación de si merece la pena ser realizada una tarea proactiva, según Moubray (2004: 95) “Una tarea proactiva merece la pena si reduce las consecuencias del modo de falla asociado a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de hacerla”, si después del análisis de las consecuencia no es posible encontrar una tarea proactiva adecuada, se debe indicar qué la acción “a falta de” debería realizarse.

El primer paso por dar según el proceso RCM II para el análisis de las consecuencias, consiste en separar las funciones ocultas de las funciones evidentes, con el fin de dar un trato especial a las funciones ocultas, las cuales están relacionadas a dispositivos de seguridad sin seguridad inherente. Una función oculta es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola; mientras que las fallas evidentes son aquellas que tarde o temprano se harán visibles por sí solas a los operadores en circunstancias de operación normales.

Consecuencias de fallas evidentes: El proceso RCM II clasifica las consecuencias de las fallas en tres grupos de análisis, en importancia decreciente (Moubray, 2004: 97): Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales.

Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad, si puede afectar físicamente a alguien; tiene consecuencias sobre el medio ambiente, si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el éste. El RCM II considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento pues prioriza a las personas sobre de la problemática de la producción empresarial.

La seguridad de los operarios está fuertemente influenciada por el riesgo que ellos mismos esperan tolerar, para ello se debe establecer la tolerabilidad al riesgo que tienen los empleados de la empresa, esto se puede proyectar mediante un cuadro de riesgo de la planta, que sirva para definir las metas del mantenimiento en el contexto de la tolerabilidad de las fallas de máquina y el riesgo para con la seguridad de sus operarios.

Lo que debe hacerse de manera proactiva para el análisis de las consecuencias de falla sobre la seguridad de los operarios y la afectación del medio ambiente, es identificar y establecer los modos de falla que los afectan junto con sus consecuencias directas e indirectas.

Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (volumen de producción, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales además del costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto es necesario gastar en la labor de tratar de prevenirlas, es por eso que el objetivo de esta parte del proceso RCM II para las consecuencias operacionales es reducirlas en cuanto a probabilidad o la frecuencia a un nivel económicamente tolerable para la empresa.

De manera general, estas consecuencias son fundadas en la falta de funcionamiento del equipo, o cuando éste trabaja demasiado lento afectando el volumen de producción; el incumplimiento con estándares de tolerancia que afectan la calidad, y el servicio al cliente; y el aumento en los costos de producción. Estas consecuencias son evaluadas generalmente en términos económicos ya que por su naturaleza representan algún costo, que depende de dos factores: el costo económico, que tiene en cuenta el costo operacional y de reparación; y la frecuencia con que ocurre el modo de falla. Tal como lo plantea Moubray, “para modos de falla con consecuencias operacionales, merece la pena realizar una tarea proactiva si a lo largo del tiempo, cuesta menos que el costo de las consecuencias operacionales más el costo de reparar la falla que se pretende evitar”³⁶.

³⁶ *Ibíd.*, p. 110.

Consecuencias no operacionales: Estas son las consecuencias de una falla evidente que no tiene efectos en la seguridad de los operarios, el medio ambiente y la capacidad operacional, solamente generar un costo directo que es el de reparación. Si merecen la pena o no realizarse tareas proactivas para solucionarlas depende del ahorro económico que represente.

Consecuencias de las fallas ocultas: Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM II es la forma en que trata los fallas que no son evidentes, primero reconociéndolas como tales, en segundo lugar, otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente en relación con su mantenimiento.

Para intentar eliminar o por lo menos reducir estas consecuencias, se utilizan dispositivos de protección que le brindan a los usuarios nociones de las fallas ocultas y la manera en que se está comportando el equipo, alertándolos en condiciones anormales, deteniendo el equipo en estado de falla, mitigando la falla o asumiendo el control de la función en falla.

Los dispositivos de protección pueden tener una seguridad inherente, cuya falla se vuelve evidente por si misma al personal que opera el equipo en circunstancias normales, es necesario tener en cuenta el análisis de los modos de fallas de estos dispositivos ya que pueden fallar de varias formas y su fallos junto con el de la función protegida podría conllevar a una falla múltiple; que precisamente sucede cuando la función protegida falla mientras que el dispositivo de protección se encuentra en estado de falla, esta es la situación que se quiere evitar o por lo menos reducir en cuanto posibilidades que esta ocurra.

El proceso RCM II nos brinda ayudas para calcular la probabilidad de una falla múltiple estableciendo que la probabilidad de una falla múltiple está dada por la probabilidad de que la función protegida falle cuando el dispositivo de seguridad se encuentra fallando. Para dispositivos de seguridad sin seguridad inherente, la probabilidad de una falla múltiple puede ser reducida disminuyendo la frecuencia de falla de la función protegida e incrementando la disponibilidad del dispositivo de protección; Moubray, afirma que, “para fallas ocultas, merece la pena realizar una tarea proactiva si asegura la disponibilidad necesaria para reducir la probabilidad de una falla múltiple”³⁷.

Finalmente, para concluir esta etapa del proyecto debe tenerse en cuenta que una falla tiene consecuencias significativas, y es de vital importancia tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por esta razón en este punto del proceso del RCM II, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático, sí por el contrario fuese así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas proactivas se deben de realizar. Sin embargo, el proceso de selección de las tareas proactivas no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla, sus efectos y sus consecuencias. En la siguiente etapa se ahondará en la forma en la que el mantenimiento proactivo puede contribuir a la solución de los modos de falla basados en la evaluación de la consecuencia, seleccionando y dictaminando tareas proactivas y “acciones a falta de”.

³⁷ *Ibíd.*, p. 126

3.3.2.6. Etapa 6. Mantenimiento proactivo: Esta es la última y más importante de las etapas que se ha definido metodológicamente para el desarrollo del proceso RCM II su importancia radica en que es en esta etapa donde se toman las decisiones que basadas en el mantenimiento proactivo van ayudar a mejorar los estados de falla, su manejo, comprensión y prevención. Esta etapa hace referencia a las acciones proactivas que pueden y deben ser realizadas para tratar las fallas y sus consecuencias.

El proceso RCM II divide las acciones que deben tomarse como media de mantenimiento frente al manejo de fallas en dos categorías³⁸. La primera establece cuales son las tareas proactivas necesarias para prevenir o predecir la falla, esta busca responder al sexto cuestionamiento del proceso RCM II que se pregunta **¿qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?**, dentro de esta categoría se abarcan los tipos de mantenimiento llamados preventivo y predictivo; aunque para los efectos de este proceso RCM II se establecen términos como reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica, y mantenimiento a condición.

La segunda categoría que define las acciones para el manejo de falla intenta dar respuesta al séptimo cuestionamiento planteado por el proceso RCM II que se cuestiona, **¿qué sucede si no puede encontrarse una tarea proactiva adecuada?**, para ellos establece las “acciones a falta de” que tratan de la mejor manera el estado de falla y son necesarias cuando no se encuentra una tarea proactiva adecuada para solucionarlo. Estas acciones incluyen la búsqueda de falla, rediseño y mantenimiento a rotura.

³⁸ Ibíd., p. 133

Tareas proactivas: En el Diccionario de la Real Academia Española el concepto de proactividad aún no aparece ya que se trata de un término moderno que no está totalmente establecido en la jerga de nuestra lengua. Pero eso no lo hace menos importante ya que la proactividad cada vez adquiere mayor importancia en nuestro entorno.

La proactividad hace referencia a la actitud que asume la empresa, para mantener el control sobre sus activos de manera confiable, tomando iniciativas sobre su propio contexto operacional y trabajando en función de aquello que creen puede ayudarlos a confiar en si como organización. En nuestro contexto la proactividad se enfoca en establecer *¿qué puede hacerse para predecir o prevenir la falla?*

Una tarea proactiva debe realizarse si logra reducir las consecuencias de falla lo suficiente como para justificar los costos directos e indirectos necesarios para su ejecución, pero se basa en la factibilidad técnica de realizarla, “una tarea es técnicamente factible si físicamente permite reducir o realizar una acción que reduzca las consecuencias del modo de falla asociado, a un nivel que sea aceptable al dueño o usuario del activo”³⁹

Fallas asociadas a la edad y deterioro: El uso de los activos que cumplen una función lleva consigo un deterioro relacionado a la edad de sus componentes y su *vida útil*⁴⁰, todo esto hace que su resistencia al esfuerzo disminuya a tal punto que no son capaces de hacer lo que el usuario quiere que haga.

Las fallas ocasionadas por la edad se comportan siguiendo alguno de los seis patrones de falla, el análisis se encamina a establecer el patrón de falla relacionado a la edad

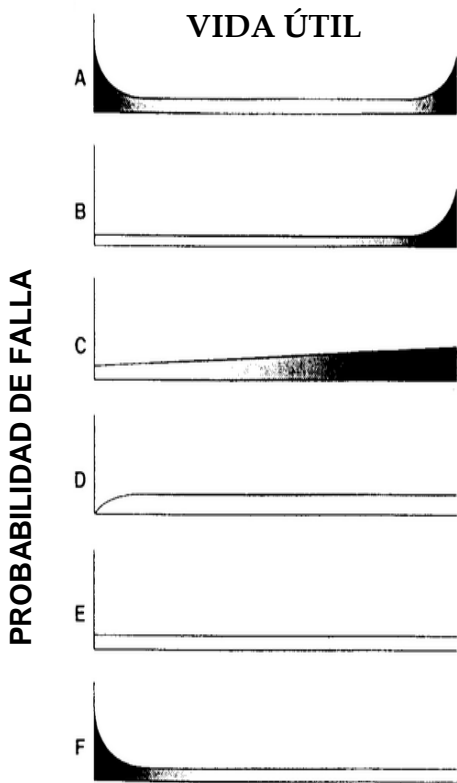
³⁹ *Ibíd.*, p. 130

⁴⁰ Vida útil: Define la edad en la que hay un rápido incremento en la probabilidad condicional de falla.

de cada componente del activo. Estas fallas son por lo general ocasionadas por desgaste entre el producto y la máquina, además de la corrosión y la fatiga.

En nuestro caso las fallas asociadas al deterioro de los componentes de la planta Mezcladora Altron AM-25 deben ser analizadas cuidadosamente, debido a que la mayoría de sus componentes (como la mezcladora, la banda transportadora, el transportador sinfín, y las básculas para agregados y cemento), se encuentran continuamente expuestos al contacto con el producto, lo que con el transcurrir del tiempo termina desgastándolos. Los patrones de falla asociados a la edad son el A, B y C en los cuales la probabilidad de falla se incrementa al final de su vida útil.

Se debe aclarar que el hacer un análisis estadístico del historial de los modos de falla resulta complejo y confuso, por lo que el estudio de las acciones y la toma de decisiones para el mantenimiento preventivo no pueden estar basados en el análisis histórico de las fallas.



Patrón A: “La curva de bañera”: Alta mortalidad infantil seguida de un bajo nivel de fallas aleatorias, terminando en una zona de desgaste debido a la edad y al deterioro.

Patrón B: “El punto de vista tradicional”: Pocas fallas aleatorias terminando en una zona de desgaste debido a la edad y al deterioro.

Patrón C: Un constante incremento en la probabilidad de falla infantil seguida de un comportamiento aleatorio de la probabilidad de fallas.

Patrón D: Un rápido incremento de la probabilidad de falla seguido de un comportamiento aleatorio.

Patrón E: Fallas aleatorias: Ninguna relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de que fallen.

Patrón F: Alta mortalidad infantil seguida de un comportamiento aleatorio de la probabilidad de fallas

FIGURA 6 Patrones de falla. Fuente: Moubray (2004: 239)

El proceso RCM II tiene como objetivo establecer y prevenir fallas funcionales y sus futuras consecuencias, en cuanto a políticas de mantenimiento proactivas fundamenta sus decisiones en base a datos cuantitativos de interés, poniendo en segundo plano el historial de fallas, “el mantenimiento preventivo exitoso implica evitar la recolección de datos históricos que creamos necesitar para decidir que mantenimiento preventivo hacer”⁴¹.

⁴¹ MOUBRAY, J. Óp. Cit., p. 257

Tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica: Estas tareas proactivas preventivas van dirigidas a los componentes o piezas que cumplen sus funciones hasta el fin de su vida útil, y busca reacondicionarlos o reemplazarlos antes de que ocurra la falla reduciendo sus consecuencias. Las tareas son definidas en base a la factibilidad de realizarlas, si quiere reacondicionar o mantener el componente, se puede pensar en un reacondicionamiento cíclico, pero si por el contrario resulta mejor sustituir directamente el componente en lugar de mantenerlo estamos hablando de sustitución cíclica.

“El reacondicionamiento cíclico consiste en reacondicionar la capacidad de un elemento o componente antes o en el límite de edad definido, independientemente de su condición en ese momento”⁴².

“Las tareas de sustitución cíclica consisten en descartar un elemento o componente antes, o en el límite de la edad definida, independientemente de su condición en ese momento”⁴³.

Tareas predictivas: El mantenimiento predictivo o mantenimiento a condición consiste en la búsqueda de indicios o síntomas que permitan identificar los modos de falla antes de que ocurran, el punto en donde se observa y se exterioriza la falla se denomina fallo potencial, los cuales al ser detectados pueden permitir actuar de manera proactiva para prevenir que una falla funcional y/o evitar sus posibles consecuencias.

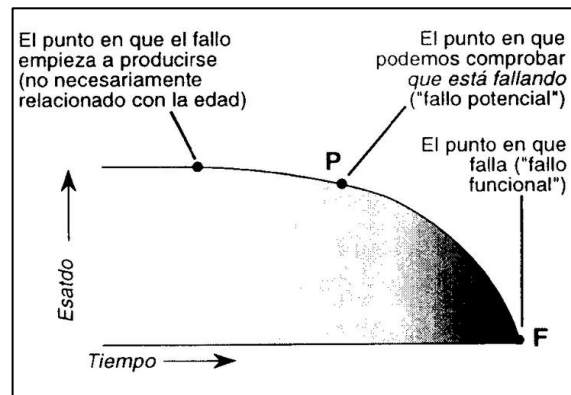
La curva P-F muestra los puntos en donde la condición del componente empieza a decaer pasando por el punto de detección de la falla y terminando en el punto de

⁴² *Ibíd.*, p. 138

⁴³ *Ibíd.*, p. 139

falla funcional; el intervalo P-F nos da la frecuencia con que deben realizarse las *tareas a condición*⁴⁴, también es conocido como el periodo de alerta o de desarrollo de la falla.

FIGURA 7 Curva P-F. Fuente: Moubray⁴⁵ (2004: 248)



Una falla potencial es un evento visible que le permite al encargado del equipo identificar problemas a punto o en proceso de ocurrir, posibilitando la toma de acciones proactivas llamadas *tareas a condición* para prevenir o evitar las consecuencias de la falla funcional.

Monitoreo a condición: El monitoreo a condición es una de las técnicas a condición que se basa en la detección de fallos potenciales en el equipo, mediante el uso de dispositivos especializados para su monitoreo, existen cientos de técnicas específicas para el monitoreo a condición según el campo de aplicación de cada una, como por ejemplo el análisis de vibraciones, de frecuencias, de viscosidad, ultrasónico, de impulsos de choque, acústico y de espectroscopia entre muchos otros.

⁴⁴ Tarea a condición: Chequeo rutinario de fallas potenciales, dejando en servicio los componentes "a condición" de que continúen funcionando.

⁴⁵ MOUBRAY, J. Óp. Cit., p. 248

Para el desarrollo del proceso RCM II se debe hacer un estudio riguroso acerca de las técnicas de monitoreo a condición aplicables a la Mezcladora Altron AM-25, basados en el análisis de la factibilidad de su aplicación y en el análisis de beneficio-costo.

Tareas a condición: Son las primeras tareas a ser tenidas en cuenta ya que pueden ser realizadas de manera inmediata el lugar del activo y pueden definir la acción para corregir y prevenir las posibles fallas potenciales.

Acciones “A FALTA DE”: Son las acciones que se deben tomar cuando durante en análisis de los modos de falla no se encuentra una tarea proactiva que sea factible y responden a la última pregunta que se formula el proceso RCM II *¿qué sucede si no puede encontrarse una tarea proactiva adecuada?*

Este tipo de acciones surgen cuando no vale la pena invertir tiempo y recursos en realizar un mantenimiento proactivo al componente físico, cuando para este no se reduce el riesgo de una falla y/o fallas múltiples a un nivel tolerable.

Búsqueda de fallas: Las tareas de búsqueda de fallas son medidas de chequeo periódico aplicadas a los equipos con el fin de corroborar su funcionalidad y proveer al usuario de confiabilidad, estas tareas son también conocidas como chequeos funcionales. La búsqueda de fallas se encamina a las fallas ocultas y no hacia las evidentes, aclarando que las fallas ocultas solo afectan a los dispositivos de protección y a sus funciones ocultas.

La periodicidad de los chequeos de búsqueda de fallas debe ser establecida de manera rigurosa, pero teniendo en cuenta la factibilidad técnica de realizarla.

Otras acciones “A FALTA DE”:

- ✚ **Ningún mantenimiento programado:** Esta acción se ejecuta cuando no se merece la pena hacer una tarea proactiva en base a la relación beneficio – costo, nada para solucionar la falla, ya que el proceso de búsqueda resulta más costoso que dejarlo fallar
- ✚ **Rediseño:** Es la acción de cambiar algún componente cuando no se puede hacer algún tipo de mantenimiento proactivo para mejorar las fallas, en el caso de las fallas con consecuencia para la seguridad y el medio ambiente se ha dicho antes que el rediseño es obligatorio.
- ✚ **Fallas ocultas:** Las acciones “a falta de” para fallas ocultas se basan en reducir el riesgo en el equipo de cuatro posibles maneras: haciendo evidente la función oculta con otro dispositivo, sustituyendo la función oculta por una evidente, sustituyendo la función oculta por un dispositivo más confiable y por ultimo duplicando la función oculta.

3.3.2.3. Etapa final del proceso RCM II: Con esta última etapa se concluye el proceso RCM II convirtiéndose en un pilar para la formulación de estrategias para el manejo de fallas y la administración de los activos de la empresa.

El diagrama de decisión del proceso RCM II: Este diagrama busca integrar todos los procesos de decisión para el manejo de todos y cada uno de los modos de falla registrados durante el proceso en la hoja de información RCM II, detallando y determinando las tareas de rutina y la acciones “a falta de” hechas a intervalos regulares con el fin de asegurar la mantenibilidad del equipo.

La hoja de decisión para este proyecto será el resultado de todo el proceso RCM II como una forma de correlacionar las hojas de decisión y las hojas de información obtenidas del análisis de la Mezcladora Altron AM-25 mostrando no solamente la acción establecida para solucionar la falla, sino también mostrando el porqué de esa selección.

Beneficios del RCM II: La aplicación del proceso RCM II a una planta industrial, conduce a una comprensión precisa de sus funciones y la forma en que se debe enfrentar el mantenimiento para asegurar que estas preserven su funcionalidad a lo largo de tiempo. La implementación del RCM debe hacer a los equipos más seguros y confiables, reducir de costos (directos e indirectos), mejorar en la calidad del producto, y cumplir con el mayor cumplimiento posible de las normas de seguridad y medio ambiente. También está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones.

Cuando se aplica correctamente RCM II se producen los siguientes beneficios tangibles⁴⁶:

⁴⁶ *Ibíd.*, p. 296

- ✚ Programas de mantenimiento a ser realizados por el departamento de mantenimiento
- ✚ Procedimientos de operación revisados para los operadores de los activos
- ✚ Una lista de áreas donde cambios de una sola vez deben ser hechos

IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO RCM II: El proceso de implementación RCM II tiene como objetivo final establecer formalmente las recomendaciones rutinarias (previamente aprobadas por el personal de la planta) que se deben llevar a cabo para asegurar de manera confiable que el activo va a continuar haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, describiendo de forma clara y concisa las tareas proactivas a realizarse

EL GRUPO DE REVISIÓN RCM II: Es un equipo de trabajo conformado por distintos miembros de la empresa, cuya experiencia y conocimientos fundamentan el éxito del proceso RCM II. En la práctica el personal de mantenimiento no puede contestar a las siete preguntas por sí solos, esto es porque muchas de las respuestas sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción. Por esta razón la revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería de hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan al menos una persona de mantenimiento y otra de la función de producción. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en RCM.

El objetivo de este grupo de trabajo es: “determinar los requisitos de mantenimiento de un activo específico o una parte del proceso en particular”⁴⁷, pero además permite a los directivos obtener acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

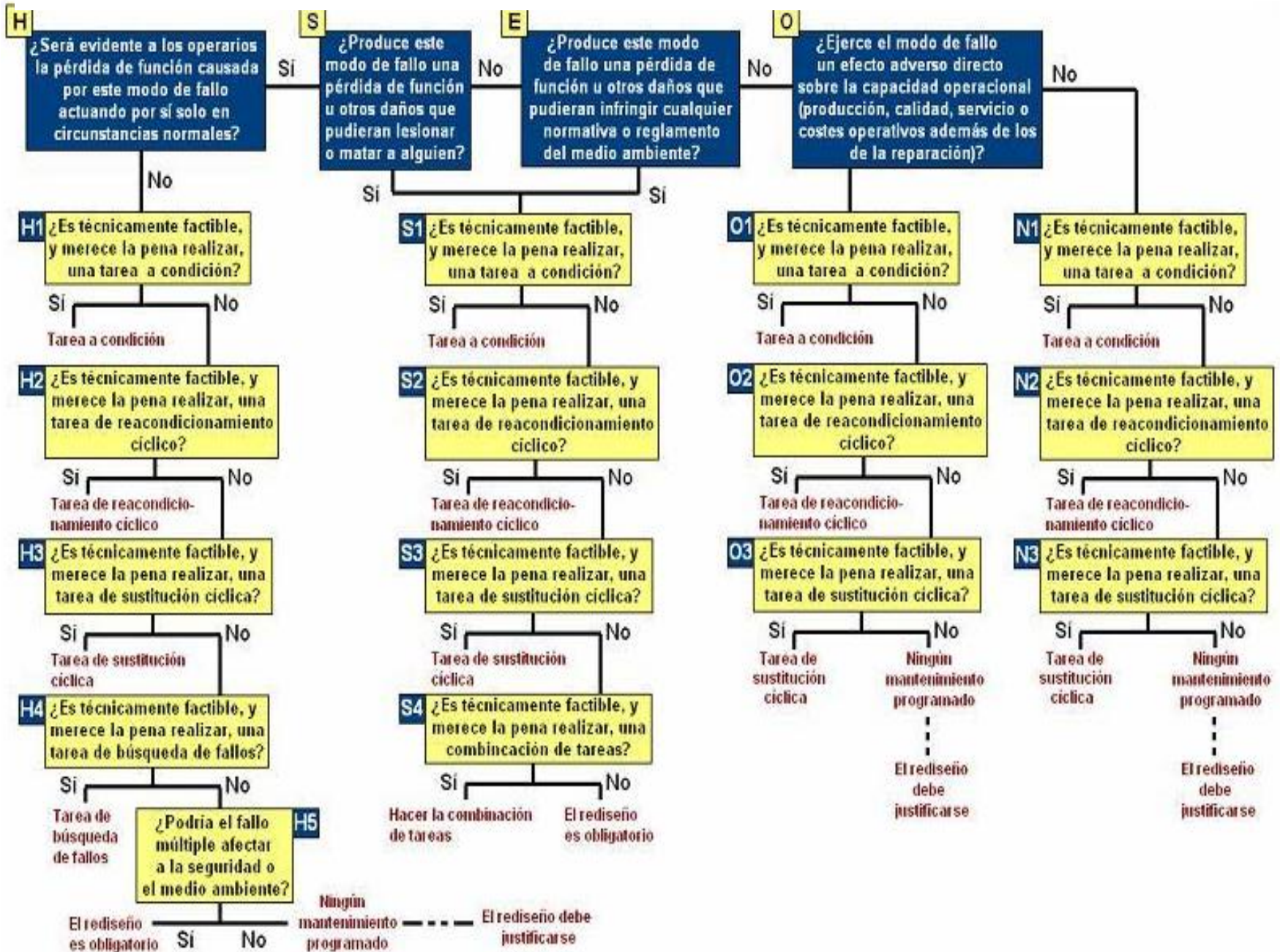
⁴⁷ *Ibíd.*, p. 271

FIGURA 8 Grupo de decisión RCM II ⁴⁸



⁴⁸ *Ibíd.*, p. 270.

FIGURA 9 Diagrama de decisión RCM II Fuente: Moubray (2004: 204-205)



4. CAPÍTULO 4. LAY-OUT, LISTADO Y CODIFICACIÓN DE EQUIPOS DE PRETECOR LTDA.

4.1. EQUIPOS DE LA EMPRESA PRETECOR LTDA.

En la siguiente tabla se listan los equipos usados en planta de fabricación de postes de concreto PRETECOR Ltda., así mismo se establece su ubicación dentro de las diferentes zonas de la empresa haciendo uso de abreviaturas que servirán a la posterior codificación de los activos.

Tabla 4 Listado y ubicación de equipos PRETECOR Ltda. Fuente: Autor del proyecto

UBICACIÓN	NOMBRE	ABREVIATURA Y CONSECUTIVO	MARCA
Zona de silos. (ZSI)	Silo N°1, Silo N° 2 Silo N°3	SIL 01 SIL 02 SIL 03	FAMAG FAMAG FAMAG
Zona compresores. (ZCO)	Compresor Betico Soplador kaeser Bomba hidráulica	COM 01 SOP 01 BOM 01	BETICO KAESER ALTRON
Zona mezcladora (ZME)	Mezcladora Altron AM-25 Minicargador N°1 Hidrolavadora Mezcladora Argentina	MEZ 01 MIN 01 HID 01 MEZ 02	ALTRON INGENIERÍA GECOLSA KARCHER FAMAG
Zona central de mezcla (ZCM)	Tronzadora N°1 Pulidora N°5	TRO 01 PUL 05	DEWALT DEWALT
Zona calderas (ZCA)	Caldera 150 BHP Caldera ACPM 30 BHP Caldera ACPM 15 BHP Minicargador CASE N°2	CAL 01 CAL 02 CAL 03 MIN 02	TERMOVAPOR TERMOVAPOR TERMOVAPOR CASE
Línea de producción 1	Diferencial Esmeril N°1	DIF 01 ESM 01	YALE INDUSTRIAL YALE INDUSTRIAL

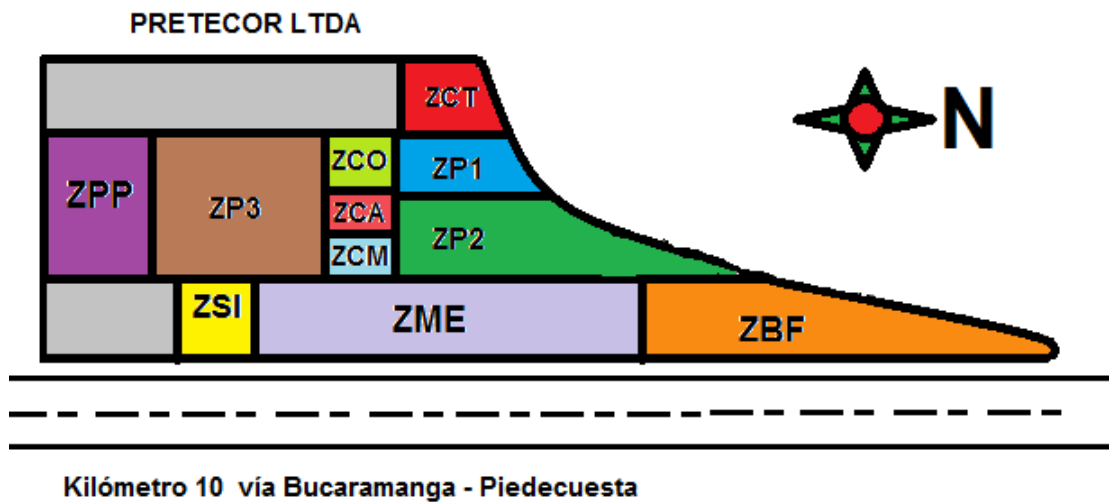
(ZP1)	Esmeril N°2 Puente grúa N°1 Puente grúa N°2 Gato hidráulico N°1	ESM 02 PUE 01 PUE 02 GAT 01	YALE INDUSTRIAL YALE HOISTS YALE HOISTS POWER TEAM
Zona corte de acero (ZCT)	Tronzadora N°2 Tronzadora N°3	TRO 02 TRO 03	YALE YALE
Línea de producción 2 (ZP2)	Gato hidráulico N°2 Gato hidráulico N°3 Puente grúa N°3	GAT 02 GAT 03 PUE 03	ENERPAC ENERPAC YALE HOISTS
Línea de producción 3 (ZP3)	Formaletas de lastrado Gato hidráulico N°4 Planta CUMMINS N°1 Planta CUMMINS N°2 Puente grúa N°4 Puente grúa N°5 Tronzadora N°4.	FOR 01 GAT 04 PLA 01 PLA 02 PUED 0 PUE 05 TRO 04	PRETECOR ENERPAC CUMMINS CUMMINS YALE HOISTS YALE HOISTS NEX-TOOLS
Zona planta de producción. (ZPP)	Bascula digital Garrucha N°1 Garrucha N°2 Garrucha N°3 Moto bomba Barnes Pulidora N°1 Pulidora N°2 Pulidora N°3 Pulidora N°4	BAS 01 GAR 01 GAR 02 GAR 03 MOT 01 PUL 01 PUL 02 PUL 03 PUL 04	METTLER TOLERO FUJI PULLER YALE BRANO BARNES BOSCH MILWAUKEE DEWALT BOSCH
Zona de bodega de formaletas (ZBF)	Formaletas (N°2- N°45) Planta eléctrica Kohler. Motobomba ACPM Prensa hidráulica	FOR 02 PLA 03 MOT 02 PRE 01	PRETECOR KOHLER KATSU POWER POWER TEAM

4.2. LAY-OUT DE PRETECOR LTDA.

El Lay-Out o distribución de planta hace referencia a la distribución física de los activos y puestos de trabajo existentes en la empresa, pudiendo identificar esquemáticamente la ubicación dentro de las zonas descritas, y posibilitando la codificación de los activos de manera precisa e informativa.

La siguiente figura ilustra la forma en que se distribuyen las zonas de trabajo dentro de la empresa.

FIGURA 10 LAY-OUT DE PRETECOR LTDA. Fuente: Autor del proyecto



- Zona de silos. (ZSI)
- Zona compresores. (ZCO)
- Zona mezcladora. (ZME)
- Zona central de mezcla. (ZCM)
- Zona calderas. (ZCA)
- Línea de producción 1. (ZP1)
- Línea de producción 2. (ZP2)
- Línea de producción 3. (ZP3)
- Zona corte de acero. (ZCT)
- Zona planta de producción. (ZPP)
- Zona de bodega de formaletas (ZBF)

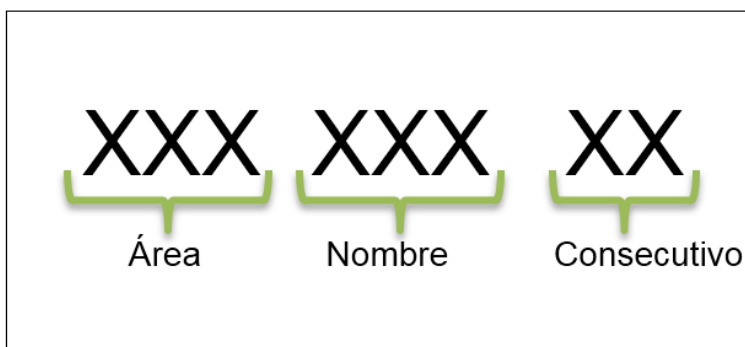
4.3. CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

La codificación de los equipos en la empresa PRETECOR LTDA., busca dar a las máquinas una dirección donde ubicarlas en base a su zona de trabajo, y un nombre con el cual identificarlas, lo cual facilita las labores de mantenimiento ya que mejora la organización de información.

Para ello se crea un monocódigo basados en la taxonomía que ofrece la norma ISO 14224 con caracteres alfanuméricos de 8 dígitos, descritos de la siguiente manera:

- ✚ Las tres primeras siglas: Zona de trabajo del equipo.
- ✚ Sigüentes tres siglas: Nombre del equipo abreviado.
- ✚ Últimos dos dígitos: Consecutivo del equipo.

FIGURA 11 Nomenclatura de los Equipos. Fuente: Autor del proyecto



En la siguiente tabla se muestra la codificación realizada a los equipos PRETECOR LTDA., agrupándolos en sus zonas de trabajo para facilitar su identificación.

Tabla 5 Codificación de equipos PRETECOR Ltda. Fuente: Autor del proyecto.

NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO
--------	--------	--------	--------

Silo N°1,	ZSI SIL 01	Mezcladora Altron AM-25.	ZME MEZ 01
Silo N° 2.	ZSI SIL 02	Minicargador N°1.	ZME MIN 01
Silo N°3.	ZSI SIL 03	Hidrolavadora.	ZME HID 01
		Mezcladora Argentina.	ZME MEZ 02
Compresor Bético.	ZCO COM 01	Tronzadora N°1.	ZCM TRO 01
Soplador kaeser.	ZCO SOP 01	Pulidora N°5.	ZCM PUL 05
Bomba hidráulica.	ZCO BOM 01		
Caldera 150 BHP	ZCA CAL 01	Diferencial	ZP1 DIF 01
Caldera ACPM 30 BHP	ZCA CAL 02	Esmeril N°1	ZP1 ESM 01
Caldera ACPM 15 BHP	ZCA CAL 03	Esmeril N°2	ZP1 ESM 02
Minicargador CASE	ZCA MIN 02	Puente grúa N°1	ZP1 PUE 01
N°2		Puente grúa N°2	ZP1 PUE 02
		Gato hidráulico N°1	ZP1 GAT 01
Formaletas (N°2- N°45)	ZBF FOR 02	Gato hidráulico N°2	ZP2 GAT 02
Planta eléctrica	ZBF PLA 03	Gato hidráulico N°3	ZP2 GAT 03
Kohler.	ZBF MOT 02	Puente grúa N°3	ZP2 PUE 03
Motobomba ACPM	ZBF PRE 01		
Prensa hidráulica			
Formaletas de	ZP3 FOR 01	Bascula digital	ZPP BAS 01
lastrado	ZP3 GAT 04	Garrucha N°1	ZPP GAR 01
Gato hidráulico N°4	ZP3 PLA 01	Garrucha N°2	ZPP GAR 02
Planta CUMMINS N°1	ZP3 PLA 02	Garrucha N°3	ZPP GAR 03
Planta CUMMINS N°2	ZP3 PUE 04	Moto bomba Barnes	ZPP MOT 01
Puente grúa N°4	ZP3 PUE 05	Pulidora N°1	ZPP PUL 01
Puente grúa N°5	ZP3 TRO 04	Pulidora N°2	ZPP PUL 02
Tronzadora N°4.		Pulidora N°3	ZPP PUL 03
		Pulidora N°4	ZPP PUL 04
Tronzadora N°2	ZCT TRO 02		
Tronzadora N°3	ZCT TRO 03		

5. CAPÍTULO 5. AUDITORIA DE MANTENIMIENTO EN PRETECOR LTDA.

Según lo plantea Francisco Javier Gonzales Fernández en su libro Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión⁴⁹; se puede autoanalizar la situación actual del mantenimiento en la empresa aplicando un cuestionario de 128 preguntas claves distribuidas en doce bloques de autoanálisis que permitirán diagnosticar con certeza la situación del departamento de manteniendo en PRETECOR Ltda.

Éste análisis se realizó con la colaboración del personal de mantenimiento, producción y administración de la fábrica, quienes aportaron su experiencia y conocimientos para dar las ponderaciones a cada apartado encuestado.

Cada pregunta tiene valoraciones diferentes que están ente los 0 y 40 puntos dependiendo de la trascendencia de la misma sobre el tema analizado; si bien este cuestionario es solo la fase previa para el diagnóstico general del estado del mantenimiento en PRETECOR Ltda., es muy importante pues sirve para sentar las bases del autoanálisis y encaminar el diagnóstico de la auditoria.

En el Anexo 1, se encuentran los cuestionarios presentados por el libro aplicados al departamento de mantenimiento de la empresa PRETECOR Ltda., junto con los resultados obtenidos para cada uno de los siguientes doce bloques analizados:

- A. ORGANIZACIÓN GENERAL.**
- B. MÉTODOS Y SISTEMAS DE TRABAJO.**
- C. CONTROL TÉCNICO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS.**
- D. GESTIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO.**

⁴⁹ GONZÁLES FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Auditoria mantenimiento e indicadores de gestión. España, Artegraf S.A., 2004. Pp. 103-115.

- E. COMPRA Y LOGÍSTICA DE REPUESTOS Y EQUIPOS.
- F. SISTEMAS INFORMÁTICOS.
- G. ORGANIZACIÓN DEL TALLER DE MANTENIMIENTO.
- H. HERRAMIENTAS Y MEDIOS DE PRUEBA.
- I. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA.
- J. PERSONAL Y FORMACIÓN.
- K. CONTRATACIÓN.
- L. CONTROL DE LA ACTIVIDAD.

Los resultados obtenidos de los cuestionarios aplicados al departamento de mantenimiento de PRETECOR Ltda. y documentados en el ANEXO C, se representan gráficamente para facilitar la comprensión y exposición de los resultados, esto se lleva a cabo mediante un mallado de ejes separados 30° en donde se indica en cada malla las puntuaciones a escala obtenidas por cada uno de los anteriores bloques de análisis,

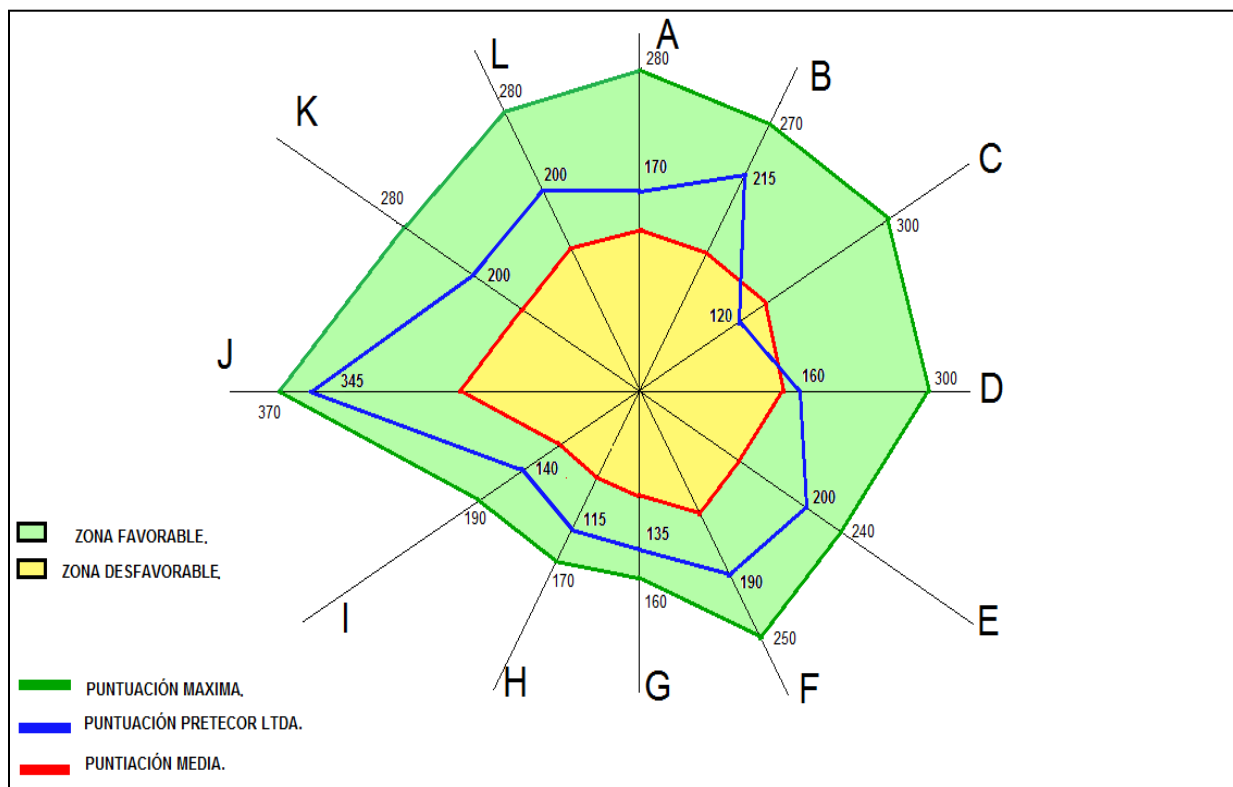


FIGURA 12 Resultados de la auditoria de mantenimiento en base a las encuestas Anexo 1. Fuente: Autor del proyecto.

además se estipulan los valores máximos que se podrían obtener y de forma concéntrica el 50% de dicho valor; obteniendo zonas de favorable y desfavorable⁵⁰.

Aunque éste análisis es solo la fase preliminar para dictaminar el diagnóstico de los procesos de mantenimiento llevados a cabo por la empresa PRETECOR Ltda., puede tomarse como una base para identificar los bloques más representativos para la organización

Luego de graficar los resultados obtenidos por la auditoria previa para el diagnóstico del mantenimiento en la empresa, puede observarse que de manera general los procesos de mantenimiento llevados a cabo por PRETECOR Ltda., son correctos y se encuentran dentro de los parámetros aceptables excepto por un módulo que hace referencia a la confiabilidad de los equipos, más exactamente al control técnico de los mismos y sus instalaciones. Éste bloque crítico es el bloque C, el cual hace referencia al control técnico de las instalación y equipos, y en donde se tiene en cuenta por ejemplo la existencia de análisis de criticad y RCM para los equipos de la empresa.

5.1. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN PRETECOR LTDA.

Apoyados en la auditoria anteriormente realizada y con la asesoría del ingeniero mecánico y especialista en mantenimiento Luis Carlos Roys, director del departamento de mantenimiento de PRETECOR Ltda., quien a su vez es codirector de este proyecto; fue posible establecer diez criterios de evaluación para diagnosticar el estado actual del mantenimiento en la empresa; este proceso se llevó a cabo mediante cuestionarios y procedimientos normalizados de autoanálisis dirigidos hacia el equipo técnico y de operarios de la empresa.

⁵⁰ Ibíd., p. 173.

5.1.1. Criterios de evaluación:

- 1. Planeación Estratégica del Proceso de Mantenimiento:** Es la razón de ser del proceso de mantenimiento. En ella se establecen los objetivos, políticas, misión, visión, organización general dentro de la empresa (posición dentro del organigrama) y específica del proceso de mantenimiento. Determinación de las funciones y responsabilidades del proceso de mantenimiento.
- 2. Planeación y Programación del Mantenimiento:** Se identifican los planes y programación del mantenimiento, se definen las actividades a realizar preventivamente a equipos e instalaciones, se definen sus frecuencias de ejecución, y se asignan recursos a dichas actividades; se establecen actividades y herramientas del planeador de mantenimiento, se documenta la ruta de la orden de trabajo en mantenimiento y se analiza el índice de criticidad de los equipos.
- 3. Ejecución del Mantenimiento:** Se identifican las relaciones entre producción y mantenimiento, las herramientas de trabajo, la gestión de adquisición de materiales y/o repuestos, protocolos de seguridad implantados. En resumen, las herramientas necesarias para cumplir con la ejecución de las actividades de mantenimiento.
- 4. Análisis del Mantenimiento:** Se identifican las herramientas que al desarrollarlas facilitan la evaluación técnico económica de las actividades del mantenimiento, las cuales permiten tomar decisiones y establecer metas mediante informes específicos formados por tablas y gráficos.
- 5. Sistema de Información de Mantenimiento:** Se definen e identifican las fichas técnicas de los equipos, sus hojas de vida, identificación de costos, las solicitudes de mantenimiento, las ordenes de trabajo y se identifica la documentación técnica faltante en cada una de las empresas. En resumen, se establecen las

herramientas necesarias para el cumplimiento de funciones administrativas de análisis y manejo de actividades del mantenimiento.

- 6. Gestión de mantenimiento:** Es la manera como se administran aquellas variables técnicas y administrativas resultantes de la planeación, ejecución, análisis y control de las actividades del mantenimiento. Se describe la gestión de repuestos implantada, la organización del almacén de repuestos, los conceptos de seguridad industrial que se manejan, la gestión del recurso humano de mantenimiento, la gestión de contratistas - outsourcing.

- 7. Lubricación Efectiva:** Se describe la manera como se está gestionando la lubricación de los equipos de la empresa, el almacenamiento de lubricantes, los métodos de lubricación, sus frecuencias, los lubricantes utilizados, los análisis de aceites.

- 8. Instalaciones físicas:** El estado de las instalaciones es uno de los principales componentes que determinan el comportamiento de la organización y específicamente del proceso de mantenimiento.

- 9. Estado de los equipos:** El estado de los equipos es el principal componente que determina el accionar de mantenimiento. Fugas, aislamientos térmicos, señalización por colores, alineación, balanceo, transmisiones de potencia, programas de orden y aseo, acometidas y tableros eléctricos, protecciones, instrumentos de medida, plan de mantenimiento eléctrico, listado maestro de equipos.

- 10. Fiabilidad y disponibilidad de los equipos:** Este es uno de los principales criterios a tener en cuenta en nuestro análisis pues determina la fiabilidad de los equipos representada por su disponibilidad para realizar las funciones requeridas durante el tiempo establecido.

Para Francisco J. González, la fiabilidad de los equipos puede verse como la media de los tiempos de buen funcionamiento o en otras palabras la medida de tiempo para revisar o reparar; además plantea que la confiabilidad es el porcentaje de tiempo que el sistema está útil o disponible para la producción⁵¹.

5.1.2. Metodología empleada: Para la realización del diagnóstico de gestión del mantenimiento se necesitó de un proceso de identificación y clasificación de los elementos internos y externos que intervienen en el proceso de mantenimiento de la empresa, se diseñó la planeación de su aplicación, la metodología de evaluación, el análisis del impacto de cada uno de ellos (cualitativo y/o cuantitativo) y finalmente un juicio valorativo que indique el estado de esta actividad en la empresa.

Tabla 6 Metodología diagnóstica de mantenimiento. Fuente: Autor del proyecto.

Actividad	Medio	Producto
Formulación de la evaluación de la gestión de mantenimiento en la empresa: <ul style="list-style-type: none"> - Listado de aspectos / parámetros - Agrupación - Revisión 	Lluvia de ideas Revisión de documentos	Formato: Evaluación Modelo de gestión de mantenimiento
Aplicación del formato de evaluación para el diagnóstico inicial de la gestión de mantenimiento en a la empresa: <ul style="list-style-type: none"> - Planeación de la actividad. - Realización de la visita de asistencia técnica. - Aplicación de la evaluación para el diagnóstico inicial. 	Visita de asistencia técnica (explicación de la metodología)	Acta de visita de asistencia técnica para la aplicación del modelo de gestión de mantenimiento: Formato de evaluación de gestión de mantenimiento diligenciado,

⁵¹ *Ibíd.*, pp. 50 - 51

<p>Procesamiento de la información suministrada por la empresa para el diagnóstico de la gestión de mantenimiento</p> <p>A. Análisis de la información suministrada (ítems incluidos en cada uno de los aspectos)</p> <p>B. Documentación de los resultados obtenidos en la aplicación de la evaluación del modelo aplicado actualmente en la empresa (Diagnóstico de la gestión de mantenimiento)</p>	<p>A. Revisión cualitativa y cuantitativa de los aspectos y elementos de la evaluación del modelo aplicado actualmente en la empresa.</p> <p>B. Elaboración de informe diagnóstico de gestión de mantenimiento de la empresa.</p>	<p>A. Resumen del análisis cualitativo y cuantitativo de los elementos y aspectos evaluados.</p> <p>B. Diagnóstico de la gestión de mantenimiento de la empresa.</p>
---	---	--

5.2. RESULTADOS DE LA AUDITORIA DE MANTENIMIENTO EN PRETECOR LTDA.

Al analizar el funcionamiento general de los procesos de mantenimiento en empresa y su relación con las demás dependencias de la compañía; se puede concluir que de manera general PRETECOR Ltda. está encaminada a tener unas buenas políticas de mantenimiento, pues tiene formalmente constituido un departamento de mantenimiento serio e importancia para la empresa, que tiene políticas claras de calidad.

La misión del departamento de mantenimiento está encaminada a cumplir con los objetivos generales que se traza la empresa en su sistema de gestión de calidad. Mantener y velar por el buen estado de los equipos de la planta de producción de la empresa para garantizar su funcionalidad es la misión que tiene el departamento de mantenimiento en la empresa. En la empresa se encuentran definidas y socializadas la política de calidad, la política de mantenimiento y la política de seguridad industrial.

Las responsabilidades y funciones de mantenimiento a nivel operativo y a nivel de gestión están definidas, socializadas y adjudicadas al personal tanto de gestión como de operación del mantenimiento de la empresa. Estas responsabilidades y funciones están totalmente definidas y formalizadas en el manual de funciones implantado en la empresa. Actualmente PRETECOR Ltda. cuenta con un sistema de información y apoyo para las tareas programas de mantenimiento preventivo a cada uno de los quipos.

Pero también existen muchas falencias en cuanto a la forma de hacer el mantenimiento a algunos equipos; pues el mantenimiento ejecutado en la planta de producción corresponde a la ejecución de actividades de mantenimiento preventivo (25%) y corrección de fallas (75%). Muchas de estas fallas correctivas recaen sobre uno de los equipos más importantes de la empresa, la planta mezcladora ALTRON AM-25 la cual opera de manera ininterrumpida de lunes a sábado durante las 24 horas del día y el día domingo es destinado para su mantenimiento. Las fallas presentes y la posibilidad de fallas futuras generan incertidumbre dentro del contexto operacional de la planta mezcladora, pues ésta requiere de una máxima disponibilidad y confiabilidad en sus procesos ya que es el eje operacional de la producción de postes de concreto.

Otra gran debilidad es la baja confiabilidad en la disponibilidad de los equipos, especialmente en los principales activos de producción en los cuales se presenta un gran número de fallas correctivas y escasas fallas preventivas; todo esto aunado a que no se tienen claras las frecuencias de intervención y sobre todo no se tiene una política clara y definida para el manejo de fallas, faltando documentación de los posibles modos de fallo que puedan afectar a los equipos y la manera en que debería solucionarse en un futuro.

En conclusión es necesario establecer una política de mantenimiento basada en confiabilidad que propenda por el aumento de la disponibilidad de los equipos, la mejora de la comunicación y la disminución de costos de mantenimiento, para ellos se debe realizar un proceso RCM II en donde se definan labores claras que garanticen la operatividad y el estándar de funcionamiento requeridos por PRETECOR Ltda., de tal modo que se pueda aumentar la vida útil de los elementos de recambio y tener un protocolo de acciones a realizar en caso de un posible evento de falla. Es por tanto imperioso establecer un programa de mantenimiento piloto basado en la filosofía de la confiabilidad y dirigido hacia los activos principales de la empresa.

6. CAPITULO 6. CRITICIDAD DE EQUIPOS.

6.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una herramienta metodológica que nos permite determinar cuáles son los equipos que en un momento dado afectan al proceso de forma severa si tienen un fallo que los incapacite ya sea parcial o totalmente, posibilitando dirigir los esfuerzos de mantenimiento hacia los equipos que para la empresa resultan críticos.

Para este análisis se utilizó un método semicuantitativo, que permite establecer la jerarquía e importancia de los equipos de la empresa, encaminada a facilitar la toma de decisiones, en nuestro caso este análisis busca determinar cuál es la máquina crítica de la empresa PRETECOR Ltda.

El análisis de criticidad es una técnica de fácil manejo y comprensión en el cual se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en una matriz de riesgo, diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo, que como resultado esclarece el activo crítico de la compañía.

Tal como lo mencionamos de forma breve en el punto de identificación del problema, el análisis de criticidad para los quipos de PRETECOR Ltda. se realizó basados en la evaluación de factores ponderados de frecuencia y consecuencias de falla establecidos de manera conjunta por todo el personal de la planta. La recolección de información para aplicar apropiadamente el análisis de criticidad, se realizó bajo la dirección del encargado de mantenimiento de la empresa.

6.2. DEFINICIÓN DE RIESGO

El análisis de riesgos es una técnica para identificar, caracterizar, cuantificar y evaluar de la pérdida de un evento en donde se integra la probabilidad y análisis de consecuencias; su importancia radica en que puede ser tomado como una herramienta para dirigir los esfuerzos de mantenimiento de la empresa. De manera general el riesgo puede verse como la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado o falla.

6.3. MODELO DE CRITICIDAD BASADO EN LA METODOLOGÍA DE FACTORES PONDERADOS

Este método sencillo y práctico fue desarrollado por un grupo de consultoría inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited (Woodhouse, 1994), está soportado en el concepto de riesgo explicado anteriormente.

CRITICIDAD TOTAL = Frecuencia de fallas x Consecuencia de fallas

Frecuencia de fallas: Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas / años)

Consecuencia de fallas: [Impacto sobre la producción x (Tiempo promedio para reparar + Tiempo promedio entre fallas) + Costos de mantenimiento + Impacto medio ambiental + Impacto en la salud y la seguridad.]

$$\text{Criticidad} = \text{FF} * \left[(\text{IP} * \text{MTTR}) + \text{CM} + \text{IMA} + \text{ISG} \right]$$

En donde:

- ✚ FF: Frecuencia de falla.
- ✚ IP: Impacto sobre la producción.
- ✚ MTTR: (Mean Time To Repair) / Tiempo promedio para reparar.
- ✚ CM: Costos de mantenimiento.
- ✚ IMA: Impacto medio ambiental.
- ✚ ISG: Impacto en la salud y la seguridad.

La ponderación de los anteriores factores se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7 Ponderaciones de los parámetros del análisis de criticidad. Fuente: Autor del proyecto.

CRITERIO PONDERADO	DESCRIPCIÓN	PONDERADO
FF: Frecuencia de falla.	Menos de 2 fallas por año.	1
	Entre 3 y 10 fallas por año.	4
	Entre 11 y 25 fallas por año.	7
	Entre 26 y 39 fallas por año.	10
	Más de 40 fallas por año	15
IP: Impacto sobre la producción	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones o producción.	1
	Genera un impacto sobre operaciones o producción del 30%.	3
	Impacta en niveles de inventario o calidad del 50%.	5
	Parada en el sistema o sub-sistema con repercusión en otros sistemas con 75% de impacto.	7
	Pérdida total de la producción.	10
	Menor a 30 minutos.	1
	Promedio de 30 minutos y 1 hora.	2

MTTR: Tiempo promedio para reparar.	Promedio de 1-2 horas.	3
	Promedio entre 2-5 horas.	4
	Más de 5 horas.	5
CM: Costo de mantenimiento.	Menos de \$ 50.000	1
	Entre \$50.000 y \$100.000	2
	Entre \$100.000 y \$ 250.000	4
	Entre \$250.000 y \$ 1.000.000	7
	Más de \$ 1.000.000	10
IMA: Impacto medio ambiental.	No provoca ningún tipo de daño al medio ambiente.	1
	Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta.	3
	Contaminación ambiental moderada, el impacto ambiental no rebasa los límites de la empresa.	7
	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas ambientales y procesos sancionatorios.	20
ISG: Impacto en la salud y la seguridad.	No provoca heridas o lesiones a las personas.	1
	Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	4
	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días.	7
	Puede ocasionar lesiones con una incapacidad mayo a 30 días.	10

	Puede ocasionar incapacidad permanente o la muerte.	20
--	---	----

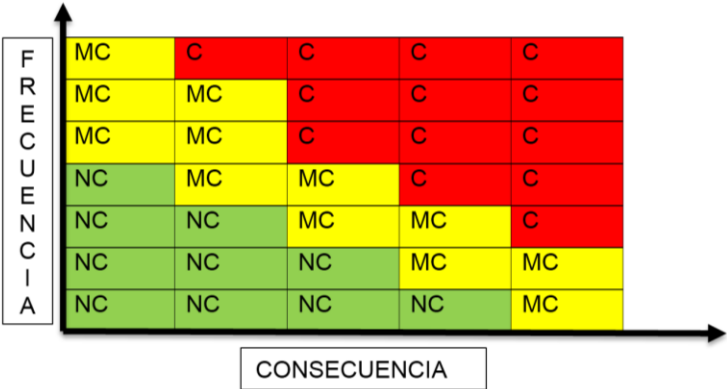
6.4. MATRIZ GENERAL DE CRITICIDAD

Para elaborar la matriz de criticidad de cada equipo, es necesario evaluar los anteriores factores ponderados establecidos en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional de la empresa (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente).

Es muy importante lograr un consenso con toda la planta que acepta en todos los niveles aplicar la estructura de criticidad y unificar criterios para su interpretación, dejando en claro el activo que para la empresa es el más crítico. Una vez que se evalúan en consenso cada uno de los factores ponderados presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de criticidad total y se obtiene el valor global de criticidad.

Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se toman los valores totales individuales de cada uno de los factores principales, frecuencia y consecuencia para luego ser ubicados en la matriz de criticidad en el eje Y y en el eje X respectivamente.

FIGURA 13 Matriz de criticidad. Fuente: Autor del proyecto.



En donde:







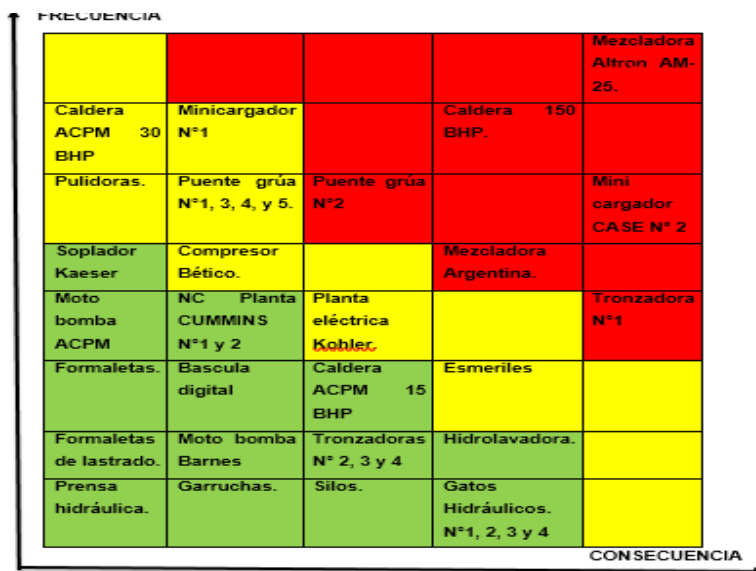
 Área de sistemas No críticos (NC)		Criticidad < 30
 Área de sistemas demedia criticidad (MC)		30 < Criticidad < 80
 Área de sistemas críticos (C)		Criticidad > 80

Tabla 8 Resultados del análisis de criticidad. Fuente: Autor del proyecto.

EQUIPO	CÓDIGO	FF	IP	MTTR	CM	IMA	ISG	CRITICIDAD
Mezcladora Altron AM-25	ZME MEZ 01	10	7	2	7	7	7	350
Caldera 150 BHP	ZCA CAL 01	7	5	3	7	7	7	252
Mini cargador CASE N° 2	ZCA MIN 02	7	5	3	4	3	4	182
Tronzadora N°1	ZCM TRO 01	7	5	2	4	3	4	147
Puente grúa N°2	ZP1 PUE 02	7	3	3	4	1	4	126
Mezcladora Argentina	ZME MEZ 02	4	3	3	4	3	4	80
Puente grúa N°4	ZP3 PUE 04	4	3	3	4	1	4	72
Minicargador N°1	ZME MIN 01	4	3	3	4	1	4	72
Compresor Bético.	ZCO COM 01	4	3	3	4	3	1	68
Puente grúa N°1	ZP1 PUE 01	4	3	2	4	1	4	60
Planta eléctrica Kohler.	ZBF PLA 03	4	3	2	4	3	1	56
Puente grúa N°3	ZP2 PUE 03	4	3	2	2	1	4	52
Caldera ACPM 30 BHP	ZCA CAL 02	4	1	3	2	3	4	48
Puente grúa N°5	ZP3 PUE 05	4	1	2	4	1	4	44
Esmeriles	ZP1 ESM 01	4	1	1	2	3	4	40
Pulidoras	ZPP PUL 01	4	1	1	2	3	4	40
Soplador Kaeser	ZCO SOP 01	4	1	1	1	1	4	28
Planta CUMMINS N°1	ZP3 PLA 01	4	1	2	2	1	1	24
Bascula digital	ZPP BAS 01	1	3	3	2	1	1	13
Moto bomba ACPM	ZBF MOT 02	1	1	2	2	3	4	11
Caldera ACPM 15 BHP	ZCA CAL 03	1	1	2	2	3	4	11
Gato Hidráulico N°1	ZP1 GAT 01	1	3	2	2	1	1	10

Tronzadora N°2	ZCT TRO 02	1	1	2	2	1	4	9
Tronzadora N°3	ZCT TRO 03	1	1	2	2	1	4	9
Moto bomba Barnes.	ZPP MOT 01	1	1	2	2	3	1	8
Formaletas de lastrado.	ZP3 FOR 01	1	3	1	2	1	1	7
Silos.	ZSI SIL 01	1	1	3	2	1	1	7
Hidrolavadora.	ZME HID 01	1	1	2	1	3	1	7
Gato hidráulico N°4.	ZP3 GAT 04	1	1	2	1	3	1	7
Prensa Hidráulica.	ZBF PRE 01	1	1	2	2	1	1	6
Planta CUMMINS N°2	ZP3 PLA 02	1	1	2	2	1	1	6
Gato hidráulico N°3	ZP2 GAT 03	1	1	2	2	1	1	6
Garruchas.	ZPP GAR 01	1	1	2	2	1	1	6
Formaletas.	ZBF FOR 02	1	1	2	1	1	1	5
Tronzadora N°4.	ZP3 TRO 04	1	1	2	1	1	1	5
Gato hidráulico N°2	ZP2 GAT 02	1	1	2	1	1	1	5

FIGURA 14 Matriz de criticidad de equipos PRETECOR LTDA. Fuente: Autor del proyecto.



6.4. CONCLUSIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

Luego de realizado el análisis de criticidad se puede decir que los resultados obtenidos son acordes a los esperados, pues se pudo establecer que el equipo crítico de la empresa PRETECOR LTDA. es la Planta Mezcladora de concreto Altron AM-25, éste equipo por su importancia en la zona de producción y por su elevado número de fallas por año debe ser el foco de atención del departamento de mantenimiento de la empresa, pues la mejora en sus procesos de mantenimiento puede llegar grandes beneficios económicos y organizacionales para la empresa.

También pudieron establecerse las criticidades para los demás equipos de la empresa, sentando las bases de una jerarquización basada en el riesgo y facilitando la toma de decisiones; otros equipos de alta criticidad son la caldera de 150 BHP, el mini cargador CASE N° 2, la tronadora N°1, el puente grúa N°2 entre otros.

Finalmente se establece que es necesario aumentar la confiabilidad en los equipos críticos de producción en búsqueda de la máxima disponibilidad y un mejor manejo de las fallas; por tanto, se decide implementar un programa piloto de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad RCM II empezando por el equipo más crítico de la empresa, la mezcladora de concreto automática Altron AM-25.

7. CAPÍTULO 7. PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 (ZME-MEZ 01)

7.1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DENTRO DEL CONTEXTO OPERACIONAL.

La mezcladora automática ALTRON AM-25 es el equipo principal de producción pues es el encargado de suplir la demanda de concreto requerida para la elaboración de postes según la fórmula de mezcla preestablecida en el software de control, el cual cuantifica las cantidades de peso y volumen para cada componente de la mezcla (agregados, cemento, agua y aditivos) a fin de producir el concreto con la calidad requerida por la empresa⁵².

En PRETECOR Ltda., se trabaja a doble turno durante 6 días a la semana destinando el domingo para labores de mantenimiento; la empresa diariamente fabrica en promedio 70 postes de concreto requiriéndose una alta disponibilidad de la mezcladora.

⁵²PRETECOR Ltda., Realiza pruebas de rotura a probetas cilíndricas del concreto producido a fin de verificar la calidad del producto.

FIGURA 15 Planta mezcladora Altron AM-25 de PRETECOR LTDA. Fuente: Autor del proyecto.



El activo ZME MEZ 01 de operación automática es el encargado de cumplir con la producción de concreto necesario en metros cúbicos para la elaboración de postes, su función principal es proveer dicho concreto de manera estándar bajo las especificaciones técnicas requeridas por PRETECOR Ltda.

La planta mezcladora Altron AM-25 para fabricación de concreto cuenta con una capacidad de producción de concreto de 25 m^3 por hora, haciendo baches de 0.5 m^3 , el proceso es posible ya que cuenta con un preciso sistema de dosificación electrónico digital que garantiza la producción de concreto certificado, y su desempeño es vigilado desde una cabina de control de operaciones en donde se encuentran la instrumentación, los elementos de accionamiento y los sistemas de control requeridos para supervisar y monitorear los procesos realizados por la planta, apoyados en un software de interfaz sencilla.

FIGURA 16 Planta mezcladora ALTRON AM-25 PRETECOR Ltda. Fuente: Autor



La planta AM-25 está dotada con arrancadores electrónicos suaves que minimizan el esfuerzo de los motores al inicio de las operaciones, además la maquina cumple con las normas internacionales de seguridad industrial, pues cuenta con los dispositivos y elementos requeridos para garantizar la seguridad del personal operativo y el buen funcionamiento del equipo.

El proceso de funcionamiento del activo ZME MEZ 01 comprende una serie de pasos que inician con el llenado de la báscula para agregados en donde se depositan la arena y la grava, primero una y luego la otra; la tolva tiene una capacidad de $3.5 m^3$ y está sopórtada por cuatro celdas de carga, por lo que cuenta con un sistema de pesaje digital por resta, así como un sistema de descarga por medio de compuertas tipo almeja, con accionamiento neumático,

La grava y la arena son dosificadas sobre una banda transportadora de 24 pulgadas de ancho y 4 metros de largo con un sistema de transmisión a través de un moto reductor de 7,5 Hp, trayecto en el cual no existe pre mezcla de los materiales

Simultáneamente a la descarga de los agregados en la banda, desde el silo o la tolva rompesacos es enviado el material a la báscula para cemento a través de un transportador tubular tipo sinfín de 6 pulgadas de diámetro y 6 metros de largo con un moto reductor de 5 Hp. En la báscula es depositada la cantidad de cemento requerida de acuerdo a la formulación preestablecida.

Una vez se encuentran la arena, la grava y el cemento, el sistema de mezclado horizontal dotado con paletas recambiables en acero anti desgaste realiza el mezclado de los materiales para después ser descargado a través de una compuerta de accionamiento neumática y finalmente ser vertida en los moldes

La bascula para cemento está equipada con cuatro celdas de carga y un vibrador eléctrico el cual evita que el cemento se obstruya en el cono de la báscula, el sistema de dosificación de agua es regulado por medio de un sensor digital tipo turbina que aporta la hidratación necesaria a la mezcla y además carga los aditivos programados según la formulación preestablecida para el concreto.

Finalmente se generan reportes en la cabina de control y se inicia el proceso nuevamente.

Tabla 9 Especificaciones básicas de la Mezcladora ALTRON AM-25. Fuente: Autor del proyecto

Capacidad de producción por hora para concretos normales de 3000 psi, con 50% de grava y 50% de arena	25 m ³
Dimensiones (Largo x ancho x alto)	7,30 x 2,20 x 3,30
Peso nominal	4 TON aprox.
Potencia nominal requerida	50 KW
Capacidad mezcladora de doble eje horizontal	0,50 m ³

Tiempo de mezclado para un concreto normal de 3000 psi	45-90s
Capacidad báscula de agregados	3,5 m ³
Banda transportadora (Ancho/ Potencia)	24" / 7,5 Hp
Capacidad báscula para cemento	300 kilos
Tornillo transportador sinfín (Diámetro/Potencia)	6" / 5 Hp
Compresor (Potencia/Capacidad tanque)	3 Hp / 40 gl
Motor del mezclador (Potencia)	25 Hp

3.3. SECUENCIA DE OPERACIONES PARA CICLO DE MEZCLADO.

La planta mezcladora ALTRON AM-25 de manera general opera en el siguiente ciclo:

1. Puesta en marcha del motor de mezclado
2. Cierre de la compuerta de descarga
3. Introducción de los agregados o materias primas
4. Mezclado en seco.
5. Introducción de agua y aditivos químicos.
6. Mezclado final.
7. Descarga de la mezcla
8. Lavado del tambor y de los dispositivos de mezclado con el equipo de lavado manual.

3.4. SUBSISTEMAS DE LA MEZCLADORA ALTRON AM-25

La máquina está constituida por los siguientes subsistemas:

3.4.1. Chasis principal: El chasis principal de la planta mezcladora de concreto es la estructura general del equipo, en este chasis reposan todos los elementos que la constituyen.

3.4.2. Sistema dosificador de agua: La planta Mezclador ALTRON AM-25 posee dos motobombas autocebantes eléctricas, una para la dosificación del agua al mezclador con una potencia de 2 Hp y la segunda para lavado del mixer con una potencia de 0,75 Hp; éstas bombean altos caudales a bajas presiones; y poseen sensores de flujo GF Signet de rueda de paletas, rotor-X los cuales son fundamentales para el control del caudal circundante para el sistema dosificador de agua.

FIGURA 17 Motobomba de dosificación para el mezclador y sensor de flujo Signet. Fuente: Autor del proyecto



3.4.3. Sistema neumático: Constituido por un compresor de aire el cual suministra el fluido necesario para el abastecimiento de todo el sistema neumático, el cual se distribuye por medio de una línea neumática acompañado de una unidad de mantenimiento la cual proporciona información técnica del flujo neumático en el equipo.

El compresor de la Planta Mezcladora ALTRON AM-25 tiene una capacidad de tanque de 40 galones y una potencia de 3 Hp y su unidad de mantenimiento ayuda con la remoción de agua y partículas sólidas mayores de 40 micrones, además utiliza un regulador con bloqueo de seguridad para un mayor control del sistema neumático y un lubricador micro-niebla que aumenta la vida útil de herramientas y demás aplicaciones neumáticas.

El sistema neumático tiene diversas aplicaciones en la planta mezcladora, como mover los cilindros que abren y cierran las compuertas de las tolvas de almacenamiento, de los silos de cemento y en básculas para agregados.



FIGURA 18 Compresor y su unidad de mantenimiento. Fuente: Autor de proyecto

3.4.4. Cabina de operación: Dentro de la cabina de control se encuentran los visualizadores, la consola para la operación manual, el sistema para la operación automática y el control del sistema eléctrico de toda la planta.

FIGURA 19 Cabina de operación y mando. Fuente: Autor del proyecto. Fuente: Autor del proyecto.



3.4.5. Sistema eléctrico-electrónico de control: El sistema eléctrico provee un tablero eléctrico de potencia y de control para el comando general de los mecanismos de la planta mezcladora de concreto, además de contar con un sistema electrónico por medio de dispositivos para el control del sistema de pesaje e indicadores digitales que garantizan una dosificación controlada y precisa de los materiales.

FIGURA 20 Sistema eléctrico. Fuente: Autor del proyecto.



3.4.6. Báscula para agregados.

FIGURA 21 Báscula para agregados. Fuente: Autor del proyecto.



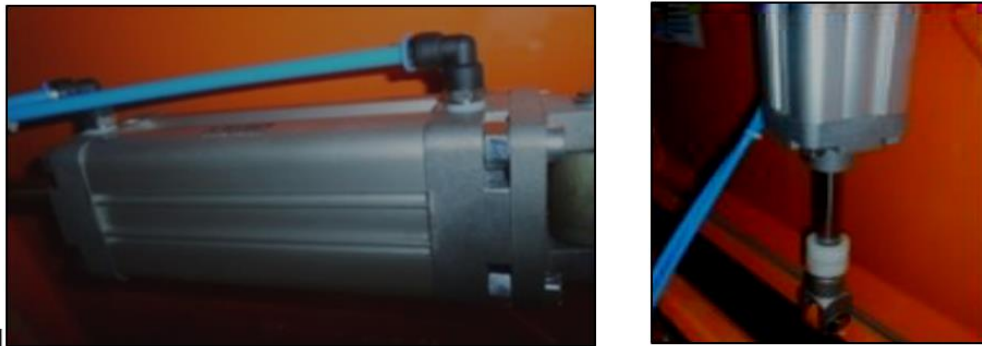
La planta mezcladora para la producción de concreto cuenta una báscula para agregados de 3,5 m³ de capacidad en su tolva y está soportada por 4 celdas de carga tipo barra encargadas de la medición precisa de la cantidad de de agregados.

FIGURA 22 Celda de carga tipo barra. Fuente: Autor.



La alimentación de la báscula de agregados es realizada por medio de mini cargadores y la dosificación para la mezcla se hace por medio de compuertas regulables de accionamiento neumático.

FIGURA 23 Cilindros apertura de accionamiento neumático para bascula de agregados y cementos. Fuente: Autor.



Además, se utilizan motovibradores de marca ITALVIBRAS MVSI 3/300 para evitar el estancamiento de materiales y facilitar el flujo de los mismos trabajando a 3600 rpm.

FIGURA 24 Motovibrador para báscula de agregados y de cemento ITALVIBRAS MVSI 3/300.
Fuente: Autor.



3.4.7. Báscula para cemento: Tiene una capacidad de 300 Kg en donde el material es obtenido a través de un transportador sinfín que recibe el material de los silos para cemento; la báscula esta soportada sobre 4 celdas de carga tipo barra para controlar el peso del cemento durante el proceso, para después ser descargado en el mixer del mezclador por medio de una válvula tipo mariposa de accionamiento neumático de 8" marca WAM.

FIGURA 25 Válvula mariposa. Fuente: Autor del proyecto



Además, al igual que la báscula para agregados, la báscula para cemento posee un motovibrador de marca ITALVIBRAS MVSI 3/300 para evitar el estancamiento de materiales y facilitar el flujo de los mismos trabajando a 3600 rpm.

FIGURA 26 Báscula para cemento. Fuente: Autor del proyecto.



3.4.8. Banda transportadora: La banda transportadora de la planta mezcladora Altron AM-25, ayuda al transporte de las materias primas de forma eficaz, dando así un manejo confiable y continuo de los materiales necesarios para la producción de concreto; tiene un ancho de 24" y un motoreductor para la transmisión de potencia de 7,5 Hp.

La banda transportadora está ubicada debajo de la báscula para agregados y tiene como función la recepción de los agregados de la báscula y el direccionamiento de los mismos al mezclador para comenzar así el ciclo de mezclado, esta banda transportadora tiene una inclinación de 28° grados respecto a la horizontal. Además, cuenta con chumaceras tensoras desmontables para el sistema tensor de la banda que ajustan los tambores de cola y cabeza de la banda transportadora.

Las bandas transportadoras cuentan con estaciones de carga que facilitan el movimiento rotacional del caucho de las bandas, estaciones con rodillos de retorno los cuales

terminan el ciclo de transporte del material y rodillos alineadores los cuales son la guía del caucho para la ubicación del caucho durante su recorrido en la banda transportadora.

FIGURA 27 Banda transportadora y sistema de transmisión de potencia. Fuente: Autor del proyecto.



El subsistema de la banda transportadora posee 2 chumaceras tensoras desmontables para el sistema tensor de la banda.

FIGURA 28 Chumacera tensora. Fuente: Autor del proyecto.



La banda transportadora posee un tambor de cola y otro de cabeza, ambos iguales de 8" 5/8" de diámetro con eje de 55 mm soportadas por las chumaceras tensoras

mencionadas anteriormente, las cuales utilizan rodamientos marca SKF y referencia TUJ55TF.

3.4.9. Silos y tolva pulmón de cemento: El cemento es llevado por medio de un transportador tipo sinfín ubicado longitudinalmente debajo de las compuertas de descarga de los silos, dicho cemento se pre almacena en una tolva pulmón que alimentara a los tornillos sinfín y seguido a la báscula para cemento.

FIGURA 29 Silos y pulmón de cemento. Fuente: Autor.



3.4.10. Transportadores sinfín: La planta mezcladora posee dos transportadores tipo sinfín de 6" de diámetro con un motorreductores de 5 Hp de potencia que sirve para facilitar el transporte del cemento desde la tolva pulmón hacia la báscula para cemento.

FIGURA 30 Transportadores de cemento sinfín. Fuente: Autor del proyecto.



3.4.11. Mezclador: El mezclador es el subsistema que está más expuesto a la abrasión y está compuesto básicamente un tambor en chapa de acero de gran espesor en forma de Ω “Omega” que se sostiene gracias a una estructura tubular y está protegido por una estructura de coraza metálica.

Su funcionamiento se basa en dos ejes internos que poseen varias paletas de mezclado ubicados a lo largo de los ejes, lo cual permite transportar el concreto de un extremo al otro mientras lo revuelve para lograr así una mezcla homogénea, su capacidad es de $0,5 m^3$ de concreto por minuto.

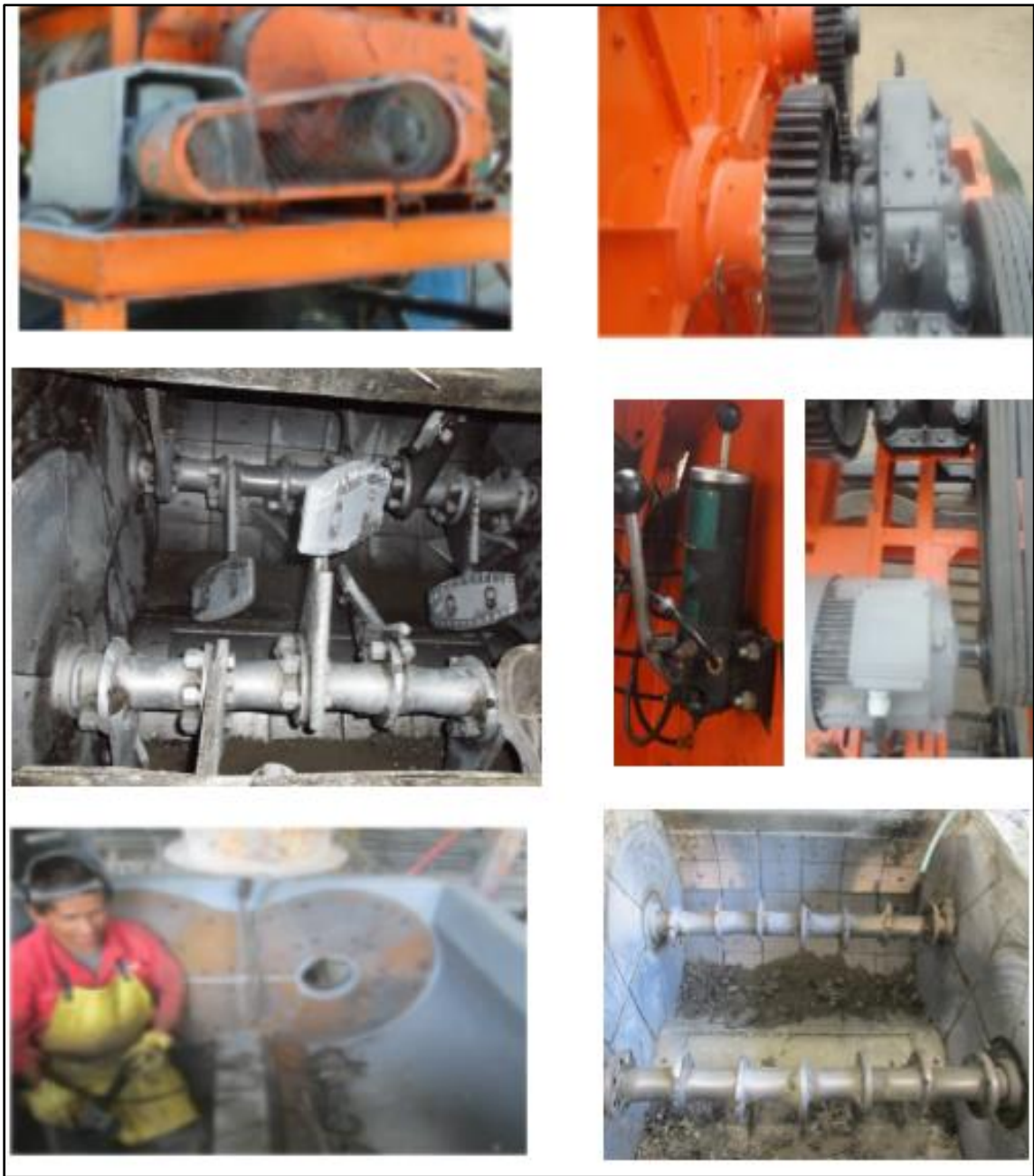
La mezcla se lleva a cabo gracias a la potencia transmitida por el motor de 25 Hp que posee el mezclador, dicha potencia es transmitida mediante correas y engranajes. El mezclado se efectúa mediante dos ejes horizontales que giran contracorriente, y sobre los que se soportan paletas para mezclado que tienen placas intercambiables hechas de fundición especial NY-HARD de gran resistencia a la abrasión.

El mezclador se acciona mediante un cilindro neumático con un tope que tiene dos posiciones de cierre y apertura, en donde el cilindro recibe la señal de una electroválvula controlada por el operario desde la cabina.

Dentro del tambor del mezclador existe un revestimiento intercambiable de baldosas resistentes a la abrasión, estas baldosas son de fundición especial NY-HARD con una dureza media de 500 HB y están sujetadas con pernos. La descarga se realiza mediante un cilindro neumático con un tope que tiene dos posiciones de cierre y la apertura el cual recibe la señal de una electroválvula la cual es controlada por el operador de la máquina; además el mezclador cuenta con un reductor de tipo helicoidal.

El mezclador se acciona mediante un cilindro neumáticos con un tope que tiene dos posiciones de cierre y apertura, el cilindro recibe la señal de una electroválvula controlada por el operario.

FIGURA 31 Mezclador. Fuente: Autor del proyecto.



3.5. SISTEMAS Y SUBSISTEMAS DE LA MEZCLADORA A ALTRON M-25

Para poder realizar la metodología RCM II es necesario generar información acerca de los sistemas y subsistemas funcionales de la planta mezcladora, así como su codificación en número de componente.

Tabla 10 Sistemas y subsistemas de la Mezcladora ALTRON AM-25. Fuente: Autor del proyecto.

SISTEMAS Y SUBSISTEMAS	COMPONENTE
Sistema dosificador de agua.	1
Motobomba de dosificación para mezcla.	1.1
Motobomba de lavado del mixer.	1.2
Válvulas	1.3
Tubería y accesorios.	1.4
Sensor digital de flujo tipo turbina.	1.5
Sistema neumático.	2
Compresor.	2.1
Unidad de mantenimiento.	2.2
Cilindros neumáticos bascula de agregados.	2.3
Línea de distribución neumática de la planta.	2.4
Cilindros neumáticos mezclador.	2.5
Cabina de operaciones	3
Sistema eléctrico- electrónico de control.	3.1
Consola de operación manual.	3.2
Aire acondicionado.	3.3
Báscula para agregados.	4
Sistema de pesaje para agregados	4.1
Motovibrador para bascula de agregados	4.2
Sistema dosificador de agregados.	4.3
Bascula para cemento	5

Sistema de pesaje para cemento.	5.1
Válvula mariposa con actuador neumático	5.2
Motovibrador para bascula de cemento	5.3
Sistema dosificador de cemento.	5.4
Banda transportadora.	6
Estación de carga	6.1
Estación de retorno	6.2
Sistema tensor	6.3
Motoreductor banda transportadora 7.5 Hp	6.4
Tambor de cola.	6.5
Tambor de cabeza.	6.6
Rodillos alineadores.	6.7
Chumacera pedestal.	6.8
Transportador sinfín.	7
Motoreductores sinfín 5 Hp.	7.1
Mezclador.	8
Motor del mezclador.	8.1
Transmisión de potencia al mezclador.	8.2
Ejes de mezclado.	8.3
Lozas de protección del casco interior intercambiables.	8.4
Paletas de mezclado intercambiables.	8.5
Sistema de lubricación.	8.6
Silos y pulmón de cemento.	9
Silos de cemento.	9.1
Pulmón de cemento.	9.2

8. CAPÍTULO 8. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS (RCM II) A LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 DE LA EMPRESA PRETECOR LTDA.

8.1. GRADO DE DETALLE.

Basados en la taxonomía y jerarquización ofrecida por la ISO 14224 se busca definir el grado de detalle al que se quiere llegar con la aplicación de la metodología RCM II a la mezcladora ATRON AM-25, es decir el nivel de estudio al que se será llevado dicho proceso.

Buscando el completo análisis RCM II, se establece el grado de detalle en dicho proceso, aplicado en este caso a la mezcladora AM-25, en donde se deja en claro que se llegará al nivel más bajo de taxonomía, es decir se buscará un máximo nivel de detalle analizando los sistemas y subsistemas que integran la máquina, los componentes o ítems mantenibles de los mismos y las partes o elementos propios de cada uno de ellos.

8.2. HOJA DE INFORMACIÓN RCM II DEL ACTIVO ZME MEZ 01.

La descripción de las funciones y los parámetros de funcionamiento dentro del contexto operacional del activo ZME MEZ 01; es decir, la planta mezcladora de concreto ALTRON AM-25 se explicaron en el capítulo anterior.

El fundamento de esta primera etapa para el desarrollo de la metodología RCM II se basa en conocer detalladamente el activo, estableciendo sus funciones principales y secundarias y conociendo sus especificaciones básicas y operacionales; buscando generar una hoja de información de funcionamiento RCM II presentada a continuación:

Tabla 11 HOJA DE INFORMACIÓN RCM II DEL ACTIVO ZME MEZ 01. Fuente: Autor del proyecto.

 <p>PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE</p>		<p>PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25</p>	<p>HOJA DE INFORMACION RCM II</p> <p>FECHA: 19/01/2016</p>
<p>CÓDIGO: ZME MEZ 01</p>	<p>APROBADO POR: LUIS CARLOS ROYS</p>	<p>ELABORADO POR: JAIME JEANPIERRE BERNAL</p>	
<p>ILUSTRACIÓN:</p>			
<p>DESCRIPCIÓN:</p>	<p>La planta de mezclado AM-25 se encarga de la producción continua de concreto certificado para la fabricación de postes de concreto en la empresa PRETECOR Ltda.; sus procesos comprenden una serie de pasos que son controlados y monitoreados desde la cabina de operación de manera automática.</p> <p>Los materiales son transportados por medio de tornillo sinfín y una banda transportadora, hasta el mixer del mezclador de doble eje horizontal, que está dotado con paletas de mezclado y placas recambiables antidesgaste.</p> <p>La planta cuenta con diversos sistemas de control digital para cada uno de sus procesos además de sistemas de pesaje, sistemas de descarga y sensores.</p>		

<p>ESPECIFICACIONES BÁSICAS:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de producción por hora = 25 m³ de concreto. • Dimensiones (largo x ancho x alto) = 7.30 x 2.20 x 3.30 • Peso nominal = 6 Toneladas. • Potencia nominal requerida = 50 KW • Capacidad mezcladora doble eje horizontal = 0.50 m³ • Tiempo de mezclado= 45-90 segundos. • Capacidad tolva báscula para agregados= 3.5 m³ • Capacidad báscula para cemento=300 kilos • Bandas transportadoras (Ancho/ Potencia) = 24"/ 7.5 hp • Tornillo transportador sinfín (Diámetro/Potencia) = 6" / 5 Hp • Compresor (potencia/capacidad tanque) = 5 hp / 60 gls • Potencia motor mezclador = 25 Hp.
<p>CONDICIONES DE TRABAJO:</p>	<p>Trabaja bajo techo a una temperatura promedio de 30°C con ventilación natural y su trabajo gira en torno a ambientes altamente abrasivos.</p>
<p>FUNCIÓN PRINCIPAL:</p>	<p>1. Mezclar agregados, agua, cemento y aditivos para producir entre 5 y 25 de concreto certificado por hora</p>
<p>FUNCIONES SECUNDARIAS:</p>	<p>2. Proporcionar seguridad a los operarios involucrados en los procesos realizados por la planta mezcladora</p> <p>3. Transmitir una señal de alarma si las celdas de carga o las bombas fallas.</p> <p>4. Controlar los procesos realizador por la mezcladora desde la cabina de mando</p> <p>5. Transportar los agregados para la mezcla por medio de la banda transportadora</p> <p>6. Transportar y contener el cemento desde el silo hasta la báscula de cemento por medio del transportador sinfín.</p> <p>7. Suministrar flujo de aire a la presión necesaria de los sistemas neumáticos de la mezcladora.</p> <p>8. Controlar los sistemas de descarga para cemento y agregados.</p> <p>9. Suministrar el agua para el lavado del mixer de mezclado.</p> <p>10. Proteger el casco interior y las paletas de mezclado contra el impacto y la abrasión por medio de tejas y placas anti desgaste.</p>

8.3. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) A LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25.

Para iniciar el AMEF es necesario identificar y registrar las funciones principales y secundarias de la planta mezcladora de concreto ALTRON AM-24, para luego determinar el tipo de fallas funcionales que ocasiona la pérdida de cada función específica

Con la realización del AMEF para la planta mezcladora ALTRON AM-25 cuyo procedimiento se explicó en capítulos anteriores, se busca determinar los posibles modos y efectos de fallas potenciales que se puedan presentar en la máquina. También se pretende determinar el grado de importancia de cada uno de los posibles modos y efectos de fallos, teniendo en cuenta el grado de severidad, la ocurrencia y la forma de detección de los mismos.

Para determinar el grado de importancia de cada modo y efecto de fallo, es necesario ponderar criterios de severidad, ocurrencia y detección; a fin de poder calcular el NPR (número prioritario de riesgo) el cual dará información acerca de los modos y efectos de falla de la planta mezcladora ALTRON AM-25 a los cuales PRETECOR Ltda. debería dar prioridad en el momento del mantenimiento.

8.3.1. Número prioritario de riesgo (NPR).

Es una herramienta que permite jerarquizar los modos y efectos de falla de una máquina, cuyo resultado es el producto de cada uno de los ítems anteriormente mencionados evaluados en factores ponderados de severidad, ocurrencia y detección.

$$\mathbf{NPR = (S) \times (O) \times (D)}$$

El NPR cae en un rango del 1 a 1 000 y proporciona un indicador relativo de todas las causas de falla. Al os más altos números de NPR se les deberá dar prioridad para acciones correctivas, Y sea para prevenir la cusa o por lo menos para emplear.

A continuación, se definen y se ponderan los conceptos de severidad, ocurrencia y detección a fin de poder calcular el número prioritario de riesgo de cada modo y efecto de falla de la planta mezcladora ALTRON AM-25.

Severidad (S): Se analizan únicamente los efectos potenciales de falla y se evalúan en una escala del 1 al 10, representando la gravedad de la falla para el cliente o para una operación posterior.

Tabla 12 Factor Ponderado de Severidad. Fuente: Mantenimiento preventivo, Carlos Borrás, Especialización en gerencia de mantenimiento, UIS, 2015.

Efecto	Rango	Criterio
No	1	Sin efecto.
Muy poco	2	Cliente no molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Poco	3	Cliente algo molesto. Poco efecto en el desempeño del artículo o sistema.
Menor	4-5	El cliente se siente algo insatisfecho. Efecto moderado en el desempeño del artículo o sistema.
Significativo	6	El cliente se siente algo inconforme. El desempeño del artículo se ve afectado, pero es operable y está a salvo. Falla parcial, pero operable
Mayor	7	El cliente está insatisfecho. El desempeño del artículo se ve seriamente afectado, pero es funcional y está a salvo. Sistema afectado.
Extremo	8	El cliente muy insatisfecho. Artículo inoperable, pero a salvo. Sistema inoperable.
Serio	9	Efecto de peligro potencial. Capaz de discontinuar el uso sin perder tiempo, dependiendo de la falla. Se cumple con el reglamento del gobierno en materia de riesgo.
Peligro	10	Efecto peligroso. Seguridad relacionada, falla repentina y/o incumplimiento de las normas gubernamentales.

Ocurrencia (O): Estimar la frecuencia es la probabilidad de que una causa específica, resulte en un modo de falla, ésta ponderación también se da de 1 a 10 e indica la remota posibilidad de ocurrencia de un modo y efecto de falla.

Tabla 13 Factor Ponderado de Ocurrencia. Fuente: Mantenimiento preventivo, Carlos Borrás, Especialización en gerencia de mantenimiento, UIS, 2015.

Ocurrencia	Rango	Criterio	Probabilidad de falla
Remota	1	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico.	< 1 en 1.500
Muy poca	2	Solo fallas aisladas asociadas con este proceso o con proceso casi idéntico	1 en 500
Poca	3	Fallas aisladas asociadas con procesos similares.	1 en 150
Moderada	4 5 6	Este proceso o uno similar a tenido fallas ocasionales.	1 en 100 1 en 80 1 en 50
Alta	7 8	Este proceso o uno similar a fallado a menudo.	1 en 30 1 en 15
Muy alta	9 10	La falla es casi inevitable	1 en 6 >1 en 3

Detección (D): Del mismo modo para ponderar la detección del modo de falla potencia se usa una escala del 1al 10, que indican la probabilidad de que el modo de fallo sea detectado antes de que este llegue al cliente.


Tabla 14 Factor Ponderado de Detección. Fuente: Mantenimiento preventivo, Carlos Borrás, Especialización en gerencia de mantenimiento, UIS, 2015.

Probabilidad	Rango	Criterio	Probabilidad de detección
Alta	1	El defecto es una característica funcionalmente obvia	99.99%
Medianamente alta	2-5	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia.	99.7%
Baja	6-8	El defecto es una característica fácilmente detectable	98%
Muy baja	9	No es fácil detectar la falla por métodos usuales o pruebas manuales. El defecto	90%

		es una característica oculta o intermitente.	
Improbable	10	La característica no se puede checar fácilmente en el proceso.	Menor a 90%




En la siguiente tabla (Tabla 15), se muestra parte del AMEF realizado a la mezcladora ALTRON AM-25, para ver el análisis AMEF completo ir al **ANEXO D**.

Tabla 15 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA. Fuente: Autor del proyecto

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA		PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25		APROBADO POR: LUIS CARLOS ROYS		 PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE					
		CÓDIGO: ZME MEZ 01		ELABORADO POR: JAIME JEANPIERRE BERNAL							
				FECHA: 19/01/2016							
F	FUNCIÓN	F F	FALLA FUNCIONAL	M F	MODO DE FALLO	E F	EFECTOS DE FALLO	S	O	D	N R P
1	Mezclar agregados, agua, cemento y aditivos para producir entre 5 y 25 m ³ de concreto certificado por hora.	A	Es imposible realizar el proceso de mezclado.	1	Ejes de mezclado incapaz de moverse.	1	Se observa que las paletas de mezclado permanecen inmóviles e incapaces de realizar el proceso de mezclado; debería revisarse como primera medida el sistema de transmisión potencia y la alimentación eléctrica de los motoreductores.	6	4	2	48
				2	Falla del sistema de descarga.	1	Se observa que el que las compuertas de descarga no se accionan o están bloqueadas; como primera medida debería revisarse el sistema de descarga, y el sistema de control neumático de las compuertas.	4	4	2	32

		B	Consumo anormal de potencia de la bomba de dosificación.	1	Medición de valores incorrectos de voltaje y el amperaje de la bomba.	1	Se registran datos diferentes a los esperados para el mezclador, por lo que debería revisarse las conexiones y la red de distribución eléctrica como primera medida.	4	4	3	48
10	Proteger el casco interior y las paletas de mezclado contra el impacto y la abrasión por medio de tejas y placas anti desgaste.	A	El casco interior del mezclador se ve expuesto directamente a la abrasión.	1	Las tejas o placas de protección del casco interior se caen o se desgastan a su punto crítico.	1	El mezclador es el lugar más abrasivo de la planta y es una función muy importante mantener protegido el casco con las losas de encamisa interior, al presentarse pérdida o desgaste crítico de las losas debe pararse la máquina y cambiar las tejas necesarias.	6	8	2	96
		B	Las paletas del mezclador se parten, se caen o se desgastan críticamente.	1	Las paletas de mezclado que se encuentra a lo largo de los dos ejes de mezclado fallan.	1	La pérdida de paletas o el desgaste crítico de las mismas se evidencia directamente en la calidad el mezclado de la planta, por tanto, es imperioso atender este modo de falla pues, además se busca proteger las paletas con losas especiales para la abrasión.	7	9	2	126

Luego de realizado el AMEF que puede verse por completo en el ANEXO D se buscan clasificar e identificar los modos de fallo de acuerdo a su NPR (número prioritario de riesgo) con el fin de esclarecer los modos de fallo más importantes de acuerdo a sus repercusiones hacia la empresa de la siguiente manera:

Modos de falla críticamente prioritarios.	NPR > 45	
Modos de falla altamente prioritarios:	15 < NPR < 45	
Modos de falla prioritarios:	NPR < 14	

De este análisis puede concluirse que existen cuatro modos de falla con sus respectivos efectos de falla que resultan ser críticamente prioritarios, basados en el análisis del NPR, estos análisis se realizaron con la colaboración del personal del departamento de mantenimiento de PRETECOR Ltda.

Los modos de falla con mayor número de NPR están relacionados con la protección del casco del mezclador y las paletas de mezclado, lo cual se debe a que estos elementos se encuentran en un continuo desgaste acelerado, por lo que deben ser cambiados regularmente y afectando en gran medida la producción de la planta. También son críticos los modos de falla relacionados con la seguridad del personal, la calibración de los sistemas de pesaje, la lubricación del compresor recíprocante y el fallo de los ejes de mezclado, así mismo debe tenerse en cuenta que cada modo de fallo tiene un alto porcentaje de que suceda por error humano.

8.4. HOJA DE DECISIÓN RCM II.

Recapitulando lo expuesto al inicio del libro en el capítulo conceptual acerca del proceso RCM, y como conclusión del mismo es necesario realizar una hoja de decisión que contendrá de manera concisa el modo en que debe tratarse cada modo y efecto de falla analizado en el apartado anterior.

La hoja de decisión resume todo el proceso RCM pues incluye de manera abreviada los modos y efectos de falla de la planta mezcladora ALTRON AM-25, además evalúa las

consecuencias de los mismos designando tareas para reparar, el responsable y tiempo de duración. Ésta hoja de decisión se basa en el diagrama de decisión RCM II de Jhon Moubray⁵³ mostrado en el capítulo del marco teórico.

La hoja de decisión RCM II para la planta mezcladora ALTRON AM-25, está dividida en dieciséis columnas, en donde se inicia con las columnas de referencia de información F, FF y MF que identifican cada falla, falla funcional y modo de fallo respectivamente. Contiguas a las columnas anteriores aparecen cuatro columnas (H.S.E.O.) en donde respectivamente se evalúan las consecuencias de cada modo falla en base a si el modo de fallo será evidente a los ojos de los operarios, si el modo de fallo produce lesiones a los operarios o al medio ambiente o si afecta a la producción y calidad de la empresa.

Las tres siguientes columnas están compuestas por bloques (H1,S1,O1.N1), (H2,S2,O2.N2) y (H3.S3,O3.N3) las cuales corresponden a la identificación del tipo de tarea proactiva necesaria para solución de cada modo de falla. También aparecen tres columnas más (H4,H5,S4) que identifican de ser necesario la acción “a falta de” necesaria en caso de que no exista un acción proactiva para evitar el modo de falla. Por último, se registran la información de las tres columnas finales que corresponden al registro de la tarea propuesta seleccionada, la frecuencia con que debe realizarse y el encargado de realizarla.

A continuación, en la Tabla 16, se muestra la hoja de información RCM II para la planta automática productora de concreto ALTRON AM-25 de la empresa PRETECOR Ltda.; al igual que en caso anterior del AMEF se presenta un extracto de la hoja de decisión, la cual se encuentra de manera completa y detallada en el Anexo E.

⁵³ Moubray, J. Óp. Cit., pp. 204 – 205.

HOJA DE DECISIÓN RCM II			PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25				APROBADO POR: LUIS CARLOS ROYS						 PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE		
							ELABORADO POR: JAIME JEANPIERRE BERNAL								
CÓDIGO: ZME MEZ 01						FECHA 19/01/2016									
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN "A FALTA DE"			TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA.	INTERVALO INICIAL.	A REALIZAR POR.
F	F	M	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3			
F	F	M	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisión y cambio de la unidad afectada	A condición	-Mecánico -Auxiliar mecánico -Jefe de mantenimiento
1	A	2	S	N	N	S	S						Verificación visual de no atascamiento y correcto funcionamiento de los cilindros de accionamiento neumático.	Diario	-Operario.
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Inspección visual y auditiva de los motorreductores, desmontando para mantenimiento programado en "Motores & Motores"	Semestral	-Auxiliar mecánico -Jefe de mantenimiento
1	A	4	N	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado de la transmisión potencia de los motoreductores	Trimestral	-Auxiliar mecánico

9	B	3	S	N	N	S	S						Revisar y cambiar de ser necesario la voluta y del rotor de la bomba, además debería verificarse el estado de los empaques y los sellos mecánicos.	A condición	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
9	B	4	S	N	N	S		S					Ajustar tornillería de sujeción.	Mensual	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
10	A	1	S	N	N	S		S					Realizar mantenimiento de las tejas o placas de protección interior del mezclador cambiando las que presenten daños.	Semanal.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
10	B	1	S	N	N	S		S					Realizar mantenimiento en primera semana de desgaste de las paletas del mezclador aplicando DUROWELD 650 para alargar vida útil de las mismas, luego de la segunda semana de uso continuo cambiar	Semanal	-Operarios -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento

8.5. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II PARA LA PLANTA MEZCLADORA ALTRON AM-25

Una vez finalizado el proceso de elaboración de las hojas de decisión, que en sí mismas pueden ser tomadas como un plan de mantenimiento y como continuación del proceso RCM II desarrollado durante el proyecto, se tienen las bases para crear unas rutas de mantenimiento preventivo específicas para cada subsistema que compone la planta mezcladora ALTRON AM-25 fin de mejorar la disponibilidad de la misma.

Según Jhon Moubray ⁵⁴, un plan de mantenimiento preventivo RCM II es un documento que debe listar un grupo de tareas de mantenimiento que de realizar una persona con un nivel de conocimientos específicos en un activo específico y con una frecuencia específica.

Con el desarrollo de este plan se quieren crear Procedimientos Operativos Estándar (POE) que deberán ser llevados a cabo para garantizar el funcionamiento de la planta mezcladora ALTRON AM-25 del PRETECOR Ltda.

El plan de mantenimiento preventivo iniciará con unas recomendaciones generales diarias para el uso de la máquina y luego se centrará en el mantenimiento de los subsistemas de la mezcladora y las tareas de mantenimiento preventivo pertinentes a ser realizar en intervalos diarias, mensuales y anuales.

Continuado con la metodología expuesta se mostrarán algunos procedimientos operativos estándar a realizar en cada uno de los subsistemas de la planta mezcladora, para ver el análisis completo de las tareas de mantenimiento P.O.T para los subsistemas de la planta mezcladora ALTRON AM-25, ir al ANEXO F.


⁵⁴ *Ibíd.*, p. 226

P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.

Tabla 16 P.O.E a realizar como recomendaciones generales diarias. Fuente: Autor del proyecto

P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.	PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25	 PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE	
RECOMENDACIONES GENERALES DIARIAS	CÓDIGO: ZME MEZ 01		
Revisó: Luis C. Roys	Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal	Fecha: 19/01/2016	
TAREA PROPUESTA	RESPONSABLES	INTERVALO	
Lubricación de tornillos alineadores transportador sinfín con grasa Klueber tipo15.	-Operario. -Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
Limpieza general planta.	-Operarios (3). -Auxiliar mecánico.	Al inicio y final de cada turno	
Revisar niveles de grasa en chumaceras y rodamientos bandas transportadoras.	-Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
Revisión visual del compresor.	-Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
Revisar rotación adecuada de rodillos en sus respectivas estaciones de carga y estaciones de retorno (cambiar si es necesario)	-Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
Revisar posibles oxidaciones en la estructura de la planta por condiciones climáticas, aplicar Sikaflex en estos puntos de oxidación.	-Operario.	Al iniciar el turno.	
Vaciar en su totalidad el material existente tanto en la mezcladora como en los transportadores sinfín y en básculas de cemento cuando estos elementos vayan a estar sin su debida utilización por periodos superiores a 30 MINUTOS, esto para evitar cualquier condensación y posterior obstrucción del material en los mecanismos.	-Operarios (4). -Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
En los cañones de disparo limpiar internamente los conductos de transporte del aire para evitar obstrucciones y pérdidas de potencia dentro del mecanismo.	-Operario. -Auxiliar mecánico.	Cada 5 horas.	5

Tabla 17 P.O.E a realizar en el mezclador. Fuente: Autor del proyecto.

P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.		PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 CÓDIGO: ZME MEZ 01		
MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN EL MEZCLADOR			PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE	
Revisó: Luis C. Roys	Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal	Fecha: 19/01/2016		
TAREA PROPUESTA		RESPONSABLES	INTERVAL O	
Revisar que el mezclador que este vacío en las mañanas antes de comenzar con la producción.		-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
Revisar los niveles de aceite en reductor de mezclador (Aceite ISO 220), aplicar aceite si es necesario		-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
- Lubricar con grasa EP0 y grasa EP2 los rodamientos del mezclador por medio del sistema centralizado de lubricación. Además, engrasar los piñones y catalinas del reductor y mezclador.		-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
Lavar con alta presión el mezclador al final de la operación diaria o después de una parada de máquina.		-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento. -Operario.	Diario	
Comprobar que la compuerta de descarga del mezclador esté limpia y libre de cualquier objeto, concreto o partículas extrañas.		-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
Girar manualmente para comprobar la holgura en todas las paletas al piso y las paredes antes de arrancar la máquina.		-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
Revisar el nivel de aceite hidráulico en el depósito de batería utilizando el visor		-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.	Semanal	

Comprobar la tensión de la correa de transmisión y la condición del sistema neumático y ajustar si es necesario.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	Semanal
Revisar la condición del piso y de las paredes de algún daño o imperfección.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.	Semanal.
Revisar el nivel de aceite del reductor del mezclador por medio de la mirilla	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	Diario
Cambio de aceite de la caja de cambios del motoreductor del mezclador	-Jefe de mantenimiento	Anual o cada 4.000 horas
Luego de la primera semana de uso aplicar soldadura DUROWELD 650 a las paletas ya los raspadores para alargar su vida útil; pasadas dos semanas cambiar las paletas.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.	Semanal
Cambio completo del encamisado de protección del casco interior del mezclador, rodamientos, correas, empaques, retenedores y aceite.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	Anual
Mantenimiento general anual de todos los motores de la planta mezcladora en Motores & Motores	-Jefe de mantenimiento	Anual

CAPÍTULO 9: ANÁLISIS DE COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RCM II IMPLEMENTADO.

9.1. TASA INTERNA DE RETORNO O RENTABILIDAD.

Para calcular los beneficios económicos que ofrece implementar el plan de mantenimiento descrito en capítulos anteriores, es necesario, calcular la tasa interna de retorno o de rentabilidad (TIR), que es un método de valorización de inversiones y mide la rentabilidad de los cobros y los pagos actualizados, generados por una inversión, en términos relativos, es decir, en porcentaje.

9.2. CÁLCULO DE LA TIR.

Analíticamente se calcula despejando el tipo de descuento (r) que se iguala a cero.

$$-A + \frac{Q_1}{(1+r)} + \frac{Q_1}{(1+r)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+r)^n} = 0$$

Siendo:

R= la tasa de retorno o TIR que en este caso es la incógnita.

A= desembolso inicial.

Q_1, Q_2, \dots, Q_n = flujos netos de caja da cada periodo.

La TIR permite determinar si una inversión es efectuable así como realizar la jerarquización entre varios proyectos. De manera práctica se pueden utilizar calculadoras financieras o de programas informáticos, como Excel, que incluyen funciones que calculan la TIR con tan solo introducir el valor del desembolso inicial y de los flujos de caja.

Utilizando la herramienta Excel para el cálculo del TIR durante dos años en periodos de seis meses.

La siguiente tabla muestra el flujo de costos del área de mantenimiento de la empresa PRETECOR Ltda. durante los dos años anteriores a la iniciación de este proyecto.

Tabla 18 Costos de mantenimiento correctivo de la planta mezcladora ALTRON AM-25. Fuente: Autor del proyecto.

PERIODO	DESCRIPCIÓN	COSTOS
1 SEMESTRE 2013	Costo de mantenimiento correctivo:	\$ 14'500.000
	Costo de parada de máquina:	\$ 18'230.000
	Costo total:	\$ 32'730.000
2 SEMESTRE 2013	Costo de mantenimiento correctivo.	\$ 17'780.000
	Costo de parada de máquina.	\$ 14'560.000
	Costo total:	\$ 32'290.000
1 SEMESTRE 2014	Costo de mantenimiento correctivo.	\$ 18'080.000
	Costo de parada de máquina.	\$ 17'700.000
	Costo total:	\$ 35'780.000
2 SEMESTRE 2014	Costo de mantenimiento correctivo.	\$ 16'025.000
	Costo de parada de máquina.	\$ 19'750.000
	Costo total:	\$ 35'775.000

La siguiente tabla muestra la estimación del costo de implementar el plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad para la planta mezcladora ALTRON AM-25 en PRETECOR Ltda.

Tabla 19 Descripción de los costos de implementación del proyecto. Fuente: Autor del proyecto.

DESCRIPCIÓN	COSTOS
Asesoría RCM II	\$ 3'500.000
Tiempo de ayuda de operarios y parada de máquina para análisis RCM II	\$ 1'500.000
Facilitador y revisor RCM II	\$ 2'350.000
Papelería.	\$ 250.000
Equipo para funcionamiento del plan de mantenimiento RCM II	\$ 1'280.000
Otros costos	\$ 860.000
Costo total:	\$ 9'740.000

9.3. COSTOS PREVISTOS POR MANTENIMIENTO PREVENTIVO RCM II DE LA PLANTA MEZCLADORA ALTRON AM-25

Para finalizar el análisis de costos del plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad RCM II implementado para la planta mezcladora de concreto ALTRON AM-25 se analizaron los costos de mantenimiento a partir del momento de implementado el plan descrito, es decir en noviembre del año pasado hasta mayo del presente 2016, cuyos costos de mantenimiento bajo las políticas de las nuevas políticas implementadas ofreció gratos resultados en los primeros seis meses de implementación.

Tabla 20 Costos del plan de mantenimiento RCM II implementado. Fuente: Autor del proyecto.

PERIODO	DESCRIPCIÓN	COSTOS
1 SEMESTRE Nov 2015- May 2016	Costo de mantenimiento preventivo RCM II:	\$ 18'600.000
	Costo de parada de máquina:	\$ 7'230.000
	Costo total:	\$ 25'830.000

Lo cual nos brinda bases sólidas para terminar el análisis económico sabiendo que los costos de mantenimiento se incrementarían de manera lineal alrededor de entre un 5% y 10% por año.

Tabla 21 resultados del cálculo del TIR en Excel. Fuente: Autor del proyecto.

COSTOS INICIALES DE IMPLEMENTACIÓN				
		\$ -9'740.000		
COSTOS DE MANTENIMIENTO ANTERIOR	COSTO PREVISTO POR PREVENTIVO RCM II	ESTIMACIÓN DE FLUJO DE CAJA QUE GENERA EL PROYECTO	PERIODOS DE IMPLEMENTACIÓN	TIR
\$ 32'730.000	\$ 25' 830.000	\$ 6'900.000	1 SEMESTRE	-29.16%
\$ 32'290.000	\$ 26' 950.000	\$ 5' 340.000	2 SEMESTRE	17.5%
\$ 35'780.000	\$ 27'120.000	\$ 8'660.000	3 SEMESTRE	48.27%
\$ 35'775.000	\$ 26' 780.000	\$ 8'995.000	4 SEMESTRE	61.6%

CAPÍTULO 10: SOCIALIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RCM II IMPLEMENTADO EN PRETECOR LTDA.

Este es el capítulo final del libro producto del proyecto de grado desarrollado y busca dar respuesta a los dos últimos objetivos trazados al inicio del mismo por medio de la realización dos actividades específicas para lograrlo.

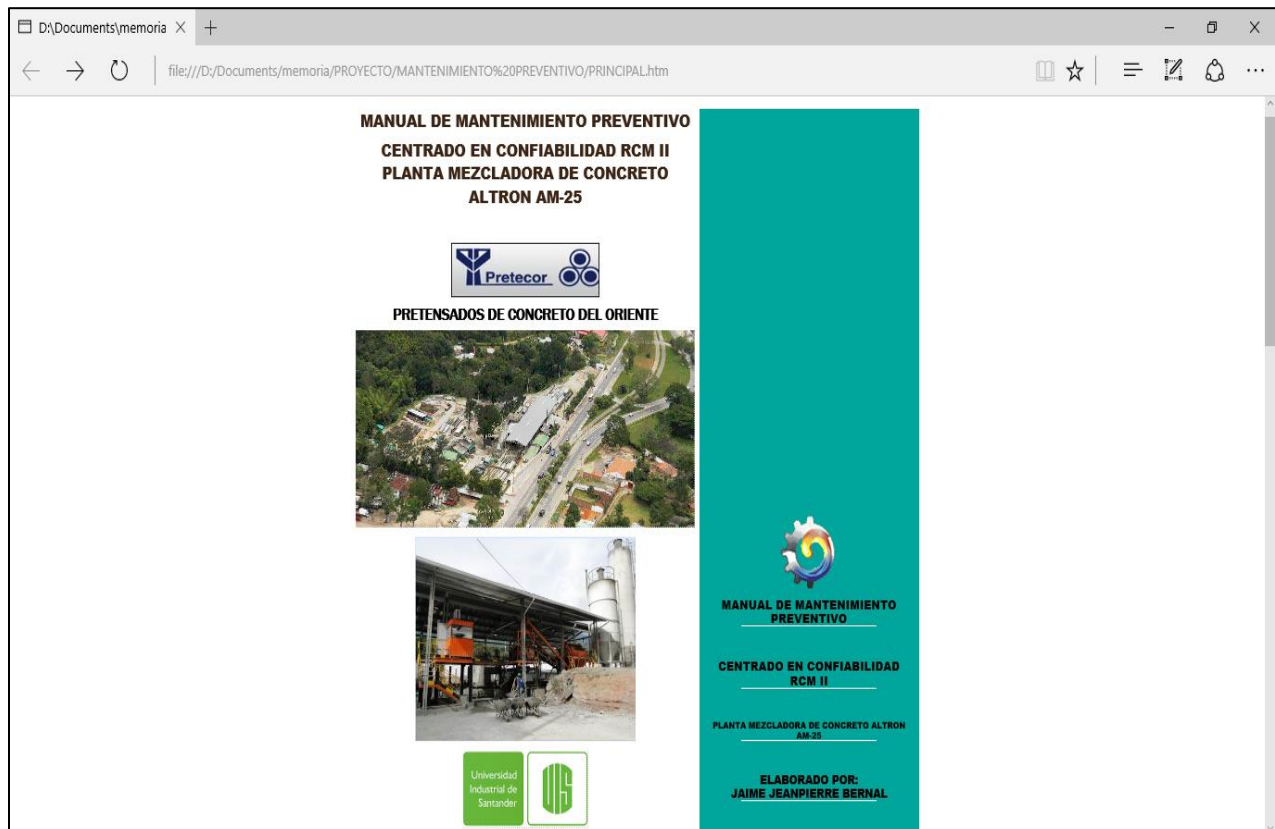
La primera, busca elaborar un manual de mantenimiento didáctico y práctico formato web HTM, accesible desde el Explorador de Windows, que contenga el proceso RCM II desarrollado, junto con los planes de mantenimiento generales y específicos, para la mezcladora ALTRON AM-25; la segunda actividad específica busca capacitar al personal de la empresa en especial al involucrado en el manejo y funcionamiento de la planta mezcladora ALTRON AM-25 mediante la realización de charlas y talleres de socialización, que posibiliten la comprensión, el aprendizaje y la aplicación del trabajo realizado y viabilice futuras implementaciones para otras máquinas de la empresa.

10.1. MANUAL DE MANTENIMIENTO RCM II EN FORMATO WEB HTM PARA LA MEZCLADORA ALTRON AM-25.

La realización del Manual de Mantenimiento RCM II, integra lo desarrollado a lo largo de este proyecto de grado; mostrando, de una manera práctica, los procedimientos de mantenimientos que deben llevarse a cabo para mantener el estado funcional de la planta mezcladora de concreto ALTRON AM-25. Dicho manual fue elaborado en formato Web HTM, accesible desde el Explorador de Windows, con el objetivo de hacer el manual más didáctico y práctico para quienes lo usan.

A continuación, se muestra la pantalla de inicio del manual en el explorador de Windows; el manual lo encontramos completo en el ANEXO G.

FIGURA 32. MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II, MEZCLADORA ALTRON AM-25.



10.2. SOCIALIZACIÓN Y CAPACITACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO RCM II PARA LA MEZCLADORA ALTRON AM-25.

Luego de concluido el proceso RCM II y elaborado el manual práctico de mantenimiento producto del proyecto de grado, se quiso capacitar al personal de la empresa que tiene contacto directo con la planta mezcladora de concreto ALTRON AM-25; ésta capacitación se llevó a cabo. en las instalaciones de la empresa y contó con un total de 13 empleados capacitados cuya hoja de asistencia se muestra en la tabla ANEXO F.

CONCLUSIONES

Se realizó el diagnóstico del estado actual de los procesos de mantenimiento llevados en la empresa, haciendo análisis específicos de cada máquina en base a la experiencia del departamento de mantenimiento de PRETECOR Ltda. y aplicando las 128 preguntas de auditoria del libro de Francisco J. Gozales; cuyo resultado reflejó que de manera general la compañía tiene un departamento de mantenimiento serio, cuyas políticas de calidad, mantenimiento y seguridad son buenas pero presenta falencia en uno de los doce ítems analizados referente a la confiabilidad y el control técnico de instalaciones y equipos. Además, se pudo establecer que la empresa si bien está encaminada hacia las buenas políticas de mantenimiento presentaba un 75% de mantenimiento correctivo o no programado, y la tasa de confiabilidad de sus activos más importantes estaba por debajo de la deseado, por lo que era necesario implementar un plan de mantenimiento RCM II que aumentara la disponibilidad y la vida útil de los elementos de recambio del equipo crítico de producción la mezcladora ALTRON AM-25.

Se realizó el inventario y codificación de 47 equipos bajo la taxonomía ofrecida por la norma ISO 14224, resaltando sus usos dentro del proceso de producción. Para ello previamente se hizo un Lay-out para poder identificar la zona o área de trabajo del equipo utilizando un monocódigo, lo cual sirvió como base para la realización del análisis de criticidad basado en la metodología de factores ponderados, por medio del cual se determinó que el equipo crítico de PRETECOR Ltda. es la planta mezcladora de concreto ALTRON AM-25.

Se desarrolló y se elaboró un análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF), a los sistemas principales y a los subsistemas que componen la mezcladora ALTRON AM-25 basados en la aplicación de las normas ISO 14224 y SAE J 1739; permitiendo identificar y entender cada una de la funciones de los subsistemas de la planta y los posibles modos y efectos de fallos que pueden tener durante su proceso de operación, jerarquizándolos mediante un numero de riesgo prioritario NPR que indica la importancia de cada modo y efecto de falla para la empresa.

Se elaboró un plan completo de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad RCM II para la planta Mezcladora Altron AM-25 y sus subsistemas con base los parámetros dictados por las normas ISO 14224 SAE JA 1011-1012; en donde como primera medida, se creó una hoja de decisión RCM II que contempla todos los modos y efectos de fallo encontrados en el AMEF, generando tareas propuestas, encargados e intervalos para atenderla, también brinda información acerca de la consecuencia de fallo específicas de cada modo de fallo para la empresa. De igual manera, se crearon planes rutinarios de mantenimiento preventivo RCM II para los subsistemas de la planta Mezcladora ALTRON AM-25 en forma de procedimientos operativos estándar (POT), para ser realizados de manera diaria, semanal y anualmente, además de recomendaciones de uso general.

Se elaboró un manual de Mantenimiento RCM II, práctico e interactivo para la mezcladora ALTRON AM-25, el cual fue elaborado en formato WEB HTM, que permitió la implementación del plan descrito y la optimización del mantenimiento en la empresa PRETECOR Ltda. Con el fin de optimizar los resultados de este trabajo de grado, y llevar a la praxis la contribución academia-empresa; se capacitó al personal de PRETECOR Ltda. involucrado en el manejo y funcionamiento de la planta mezcladora ALTRON AM-25, para entender mejor el funcionamiento del proceso, y facilitar futuras implementaciones a otros equipos.

Se capacitó a 13 empleados involucrados en el manejo y funcionamiento de la planta mezcladora ALTRON AM-25 mediante la realización de charlas y talleres de socialización, que posibilitaron la comprensión, el aprendizaje y la aplicación del trabajo realizado y facilitan futuras implementaciones para otras máquinas de la empresa.; el proyecto se implementó mediante el programa propio de mantenimiento de la empresa llamado Eco-Mant.

Por último, se realizó un análisis de costos del plan de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad (RCM II) implementado en la empresa, para lo cual se hicieron cálculos de los costos de implementación y la tasa interna de retorno TIR que generaría el proyecto a futuro, obteniendo como resultado una TIR del 60% en un periodo de dos años después de la implementación por lo que es un proyecto económicamente viable.

BIBLIOGRAFÍA

- ✚ CARDOZO ORTIZ, D. Localización y distribución de la planta de la empresa PRETECOR Ltda., Bucaramanga, Trabajo de grado de Ingeniería Industrial. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías fisicomecánicas, 2006.
- ✚ CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. Potential failure mode and effects analysis (FMEA). Reference Manual. England, 1995
- ✚ Federación Nacional de Cafeteros, (s.f). Recuperado el 3 de abril de 2015, de http://santander.federaciondecafeteros.org/fnc/nuestros_informes/category/118
- ✚ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento: manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial. Madrid. Ediciones Díaz de Santos S.A., 2003.
- ✚ GONZÁLES FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Auditoria mantenimiento e indicadores de gestión. España, Artegraf S.A., 2004.
- ✚ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARIZATION. Norma Internacional ISO 14224 Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos. 1999
- ✚ ISO 14224:2006; Petroleum, petrochemical and gas industries; Collection and |Exchange of Reaaliability and Maintance data for Equipement.
- ✚ MORERA ARDILA, Víctor Hugo, y VALENCIA QUINTERO, Carlos Antonio. Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo basado en confiabilidad para la productora de concreto Hormigón Colombia S.A. Trabajo de grado de Ingeniero Mecánico. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, 2013.
- ✚ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (Realiability Centred Maintance). Traducido por Ellman Sueiro Gran Bretaña. Editorial Americana Aladon Ltda., 2004.

- ✚ OFFSHORE REABIABILITY DATA (OREDA). Manual de datos Offshore Reability Data. 2009, [Citado el 10 de septiembre de 2015] Disponible en < <https://www.oreda.com/product/oreda-2009-handbook/> >
- ✚ PÉREZ JARAMILLO, Carlos Mario. RCM Casos de éxito y sus factores claves. [Citado el 2 de octubre de 2015] Disponible en < <http://www.soporteycia.com/component/flippingbook/book/7> >.
- ✚ PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE (PRETECOR) Ltda. Manual de postes de concreto [Citado el 10 de diciembre de 2015] Disponible en <http://www.ie.com.co/pdf/MANUAL_DE_USO_DE_POSTES_DE_CONCRETO.pdf>
- ✚ ROYS, L. y REY, V. Implementación de un sistema de información en la empresa PRETECOR Ltda. para la gestión del mantenimiento. Tesis (pregrado en Ingeniería Mecánica). Bucaramanga, Colombia, Universidad Industrial de Santander, Facultad de ingenierías fisicomecánicas, 2011.
- ✚ RUEDA GÓMEZ, Gustavo. Administración del mantenimiento. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana. Escuela de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Mecánica, 1992.
- ✚ SAE. Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie. Una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MMC). SAE JA1012. Estados Unidos de América: 2002.
- ✚ THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND, SEA, AIR AND SPACE INTERNATIONAL. Norma para vehículos aeroespaciales: Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad. SAE JA 1011. Estados Unidos de América, 1999.
- ✚ THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND, SEA, AIR AND SPACE INTERNATIONAL. Prácticas recomendadas para vehículos aeroespaciales y de superficie: Una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MMC). SAE JA1012. Estados Unidos de América, 2002.
- ✚ THE ENGINEERING SOCIETY FOR ADVANCING MOBILITY LAND, SEA, AIR AND SPACE INTERNATIONAL, (SAE). Norma para vehículos aeroespaciales.

Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad. SAE JA 1011. Estados Unidos de América: 1999.

- ✚ TROFFÉ, Mario. Análisis ISO 14224 /OREDA y su relación con RCM-FMEA. [Citado el 9 de septiembre de 2015] Disponible en <<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/0605MarioTroffeISO14224.pdf>>.
- ✚ URIBE ARDILA, Mayra Andreina. Programa maestro de mantenimiento preventivo y predictivo basado en confiabilidad RCM II para los molinos de cemento 1 y 2 de la planta CEMEX S.A Bucaramanga. Trabajo de grado de Ingeniera Mecánica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, 2014.
- ✚ Woodhouse, J. Criticality Analysis Revisited, Newbury, England: The Woodhouse Partnership Limited, 1994.

ANEXO A. TECNOLOGÍA DE CONCRETO PRE-ESFORZADO.

A-1. CONCRETO PRE-ESFORZADO

El concreto pre-esforzado puede definirse en términos generales como el pre-comprimido de un elemento estructural, antes que comience su vida útil, hecho en forma tal que mejore su comportamiento general.

En esencia, el concreto es un material que trabaja a compresión. Su resistencia a la tensión es mucho más baja que la resistencia a compresión, y en muchos casos, dependiendo del elemento, al diseñar se evita que se presenten esfuerzos a tensión, debido a que estos fisuran la sección y ocasionan problemas de corrosión en el acero de refuerzo. Por tanto, el pre-esforzado del concreto implica la aplicación de una carga compresiva, previa a la aplicación de las cargas de diseño, en forma tal que se reduzcan o eliminen los esfuerzos de tensión que de otra forma ocurrirían.

Según el instante en que se impone el esfuerzo inicial, el pre-esfuerzo se divide en dos tipos fundamentales:

A-1.1. PRETENSADO

El acero es tensado previamente al colado del concreto en el molde. Para ello los extremos del acero se fijan en extremos de un banco de colado, mediante elementos de anclaje. Cuando el hormigón ha alcanzado una resistencia suficiente los esfuerzos de tensión del refuerzo activo se transmiten al hormigón por adherencia.

A-1.2. POSTENSADO

El acero es tensado luego del endurecimiento del concreto. Los cables son colocados en su posición teórica en vainas o huecos dentro de los cuales pueden ser tensados, apoyándose contra las vigas fraguadas. Este método se presta a trazados curvos de los cables, que permiten la optimización del comportamiento de los elementos.

A-2. CONCRETO PRETENSADO.

Está muy vinculado con la prefabricación, pues puede usarse para producir elementos iguales, consecutivos a lo largo de bancos de tensado de gran longitud.

El método de banco longitudinal para prefabricación en serie de elementos iguales es muy efectivo. En bancos de gran longitud pueden disponerse anclajes intermedios cuando se debe producir en poca cantidad para evitar el desperdicio de acero tensado.

Se utilizan como tensores alambres, cables o trenzas de pequeño diámetro y alta resistencia. El tensado se puede hacer en conjunto desplazando todos los cables o por cable individual.

Debido a la libertad de desplazamiento de los cables, interesa fundamentalmente medir la fuerza aplicada, sin control de elongaciones. Cuando se han tensado todos los cables se completa el resto de la armadura, se disponen de los moldes y se procede al vaciado de las unidades sucesivas a producir, con un molde total o desplazando sectores de él.

El vibrado es imprescindible para obtener hormigones de alta resistencia con el empleo de la menor cantidad de agua posible. Los vibradores pueden ser de inmersión o aplicados exteriormente a los moldes. Los de inmersión exigen un correcto manejo pues pueden producir vacíos alrededor de los cables, pero los exteriores requieren moldes más rígidos y pesados.

El curado debe, en lo posible, acelerarse para aumentar la velocidad de rotación en el empleo de moldes y banco de tensado, para ello el empleo de vapor es uno de los procedimientos más comunes, creando un recinto con el uso de cubiertas apropiadas.

La implantación del esfuerzo de compresión al concreto puede hacerse por corte brusco de los cables, o recurriendo a gatos que transfieran la carga en forma gradual y lenta. Cuando las circunstancias lo exigen, también el pretensado puede realizarse con un molde autoportante de longitud igual al elemento.

ANEXO B. PRODUCTOS Y PROCESOS Y POLÍTICAS DE CALIDAD EN LA FABRICACIÓN DE POSTES EN PRETECOR LTDA.

Pretecor Ltda. cuenta con seis procesos principales supervisados bajo sus políticas de calidad, con el fin de cumplir con los estándares requeridos para el producto. Estos procesos son desarrollados por personal altamente capacitado y especializado en dichas áreas.

- ✚ Diseño
- ✚ Materias primas
- ✚ Refuerzo de acero
- ✚ Mezcla de concreto
- ✚ Curado acelerado
- ✚ Transporte

B-1. DISEÑO

El diseño de cualquier poste o estructura creada por PRETECOR Ltda., está bajo el direccionamiento del departamento de diseño, que está conformado por un grupo de ingenieros quienes se encargan de esta primera etapa del proceso, en donde se especifican y detallan todas las características necesarias para dar inicio a la producción en serie.

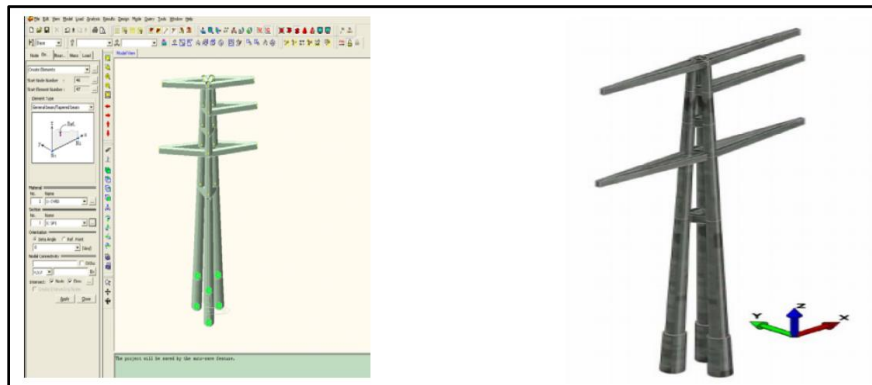


FIGURA 33 Diseños.

B-2- MATERIAS PRIMAS

PRETECOR Ltda. ofrece los mejores postes de concreto del país, fabricados con materias primas de excelente calidad, seleccionadas de acuerdo a su origen, características fisicoquímicas y comportamiento en el concreto; ensayadas y analizadas en los más prestigiosos laboratorios del país. Las principales materias primas utilizadas son:

- + Cemento.
- + Arena.
- + Triturado.
- + Agua.
- + Torones y alambres de acero de alta resistencia.
- + Refuerzo de acero.

B.3. REFUERZO DE ACERO

Con el fin de dar resistencia y aglutinamiento en caso de fractura del concreto, se instalan longitudinalmente torones de acero grado 250 o 270, con diámetros entre 5/16 y 3/8 de pulgada, y un refuerzo transversal de alambre con calibres 13 u 8 colocado en forma de espiral, con un paso de 10 a 15 centímetros.



FIGURA 34 Refuerzo de Acero. Fuente: Autor del proyecto

Instalada la armadura en la formaleta se les aplica una tensión a los torones longitudinales de acuerdo a cada necesidad. Este proceso proporciona al concreto un

pre-esfuerzo con el que se obtienen ventajas, ya que, mejora las condiciones de servicio permitiendo el control del agrietamiento y la deflexión bajo estas cargas, y hace posible emplear el económico y eficaz refuerzo de acero y concreto de alta resistencia.

B.4. MEZCLA DE CONCRETO

El concreto utilizado es el resultado de una mezcla de alta resistencia, obtenida con el uso de materias primas de primera calidad, técnicamente dosificadas por peso, y por medio de una mezcladora planetaria de donde se obtiene un concreto homogéneo. Bandas transportadoras se utilizan para el manejo de la mezcla ya lista; de lo cual se encarga la mezcladora automática de producción de concreto ALTRON AM-25.



FIGURA 35 Producción de postes de concreto. Fuente: Autor del proyecto

La formaleta rígida, especialmente diseñada para la fabricación de postes de concreto pretensado, cuenta con dispositivos de vibración mecánica de alta frecuencia, que obligan al concreto ya mezclado a distribuirse homogéneamente a lo largo de toda la formaleta, convirtiéndose así en un adecuado método para el acomodamiento del concreto y la eliminación de bolsas de aire.



FIGURA 36 Llenado de las formaletas con la materia prima. Fuente: Autor del proyecto

B.5. CURADO ACELERADO

Al concreto fundido en la formaleta, se le aplica vapor de agua a 90 °c, para que por medio de intercambio de calor fragüe rápidamente.

Este método permite en forma rápida y eficaz, obtención de alta resistencia del concreto a las pocas horas de fundido, ofreciendo elevados rendimientos en la fabricación de postes, característica que redunda en beneficios económicos para los clientes. Los postes de concreto en sus diferentes longitudes y cargas, obtenidos por este proceso son de excelente calidad, alcanzando resistencias del concreto hasta de 7000 psi.



FIGURA 37 Caldera para la producción de vapor. Fuente: Autor del proyecto

B.6. Transporte

Con los equipos, puentes grúas y aparejos especialmente diseñados para el manejo de los postes de concreto, se acomodan en los vehículos que los transportan a los lugares requeridos.

El manejo y almacenaje de los postes se hace con el cumplimiento de las normas pertinentes garantizando su perfecto estado hasta el lugar de instalación. La red de distribución de los productos cubre todo el país, desde el Putumayo hasta San Andrés y con planes de expansión hacia Centroamérica, Venezuela y Ecuador.



FIGURA 38 Transporte para la entrega a los clientes. Fuente: Autor del proyecto.

B.7. MÉTODO DE FABRICACIÓN DE POSTES DE CONCRETO PRETENSADO.

Un elemento de concreto estructural pretensado que ha sido ampliamente fabricado en el país es el poste de concreto pretensado. El método básicamente consiste en prefabricar los postes con ayuda de formaleta metálica autoportante que resiste las cargas de los cables tensores hasta que el concreto se endurece.

La mezcla de concreto es fabricada en planta y es dosificada por peso, según estadísticas fácilmente se alcanzan resistencias alrededor de los 455 kg/cm². La tensión se hace por medio de torones o trenzas con resistencia a la fluencia de 13500 kg/cm². Se usa el método de curado acelerado con vapor para aumentar el rendimiento de la formaleta. Con este método se desencofra un molde cada tres horas.

La tecnología usada para la fabricación de postes en PRETECOR Ltda. es la del concreto pre- esforzado específicamente el concreto pretensado. el concreto pre esforzado puede

ser como se mencionó pretensado y pos tensado, para entender mejor estos procesos se muestran detalladamente en el ANEXO A.

B.8. PORTAFOLIO DE PRODUCTOS



FIGURA 39 Almacén de postes. Fuente: Autor.

Pretecor Ltda. ha desarrollado una amplia gama de productos de altísima calidad para satisfacer la demanda de nuestros clientes actuales y potenciales. Estos productos son rigurosamente diseñados y sometidos a arduas pruebas de calidad para certificar su duración, dentro de los productos que hemos desarrollado se pueden encontrar:

- ✚ Postes normales
- ✚ Postes especiales
- ✚ Lastrado de tubería.
- ✚ Tubería de concreto

B-9. POSTES NORMALES Y ESPECIALES.

Ilustración A-1. Postes normales y especiales.



Fuente: www.pretecor.com

Los postes **PRETECOR** son usados para el tendido de líneas aéreas eléctricas de media y baja tensión, y líneas telefónicas, con alturas entre 8 y 16m, fabricados por el sistema de concreto pretensado. La nomenclatura de los postes es la siguiente:

L - R donde;

✚ L= longitud (m).

✚ R=Resistencia a la rotura en kg.

Así, un poste con ref. 8-510 tiene 8m de longitud y una resistencia a la rotura de 510 kg.

Las referencias de los postes normales son las siguientes:

Tabla B- 1: Listado de las referencias de los Postes

8-510	8-750	8-1050	9-510	10-510
10-750	10-1050	11-510	11-750	12-510
12-750	12-1050	14-750	14-1050	15-750
15-1050	16,5-750	76,5-1050		

Fuente: www.pretecor.com

B-10. LASTRADO DE TUBERÍA

Ilustración A-2: Lastrado de Tubería



Fuente: www.pretecor.com

PRETECOR Ltda. creó un sistema de recubrimiento en concreto pretensado para tubería de oleoductos y gasoductos más conocido como lastrado de tubería. Este es utilizado con el fin de dar protección y peso a la tubería para cruces marinos, fluviales y de zonas pantanosas. El sistema PRETECOR Ltda. da como resultado una mayor economía

obtenida gracias a los altos índices de producción en planta y una calidad excelente gracias al control de los procesos realizados en fábrica.

B-11. TUBERÍA DE CONCRETO

Ilustración A-3: Tubería en Concreto



Fuente: www.pretecor.com

PRETECOR Ltda. introduce su línea de fabricación de tubos de concreto para alcantarillado en diámetros entre 60 cm y 150 cm, basados en la norma NTC 401.

B-12. FABRICACIÓN DE POSTES EN CONCRETO.

En el sector de los postes de concreto el grupo PRETECOR LTDA. ha llegado a convertirse en el mayor fabricante de este tipo de productos a nivel nacional con presencia lo largo y ancho de todo el territorio colombiano. Dichos logros gracias a acciones como: la utilización de la tecnología del pretensado, la optimización de sus procesos productivos, la reconocida calidad de sus productos, la presencia de plantas en Bogotá y Bucaramanga y un excelente mercadeo orientado hacia las electrificadoras del país, entre otros.

La tecnología del pretensado y los eficientes procesos productivos le han permitido a PRETECOR ofrecer precios competitivos. La calidad de sus productos, más allá de su certificación ISO 9001:2000 y aquellas otorgadas por el CIDET (Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico), le han permitido a PRETECOR ser reconocida

como una empresa que ofrece productos confiables para las exigencias a las que son sometidos y son producto a imitar por las demás fábricas del territorio nacional.

B-13. EQUIPOS USADOS

FORMALETA

Son moldes metálicos, de la forma y dimensiones del poste, en las cuales se coloca la canasta y se vierte el concreto fresco para moldear el poste. El eje de la formaleta debe tener una pequeña inclinación entre un rango de 0,2% a 0,5%; esto con el fin de permitir el adecuado escurrimiento del agua de condensación durante el curado con vapor, del poste.

CILINDRO HIDRÁULICO

El gato hidráulico es el encargado de aplicar la carga de tensión requerida a cada una de las cuerdas que conforman el refuerzo principal, en forma gradual, segura y eficiente. Debe tener un martillo hidráulico correctamente adaptado para presionar las cuñas contra el alambro, de tal forma, que se reduzcan, al máximo, las pérdidas de tensión en el momento de liberar cada cuerda.

CENTRAL DE MEZCLAS

Para la fabricación del concreto se cuenta con una central de mezclas que garantiza el suministro constante y oportuno del concreto bajo especificaciones técnicas, para evitar el despilfarro de tiempo y garantizar el cumplimiento de los estándares e producción.

La tarea del mezclado en PRETECOR Ltda. está a cargo de **LA PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTON AM-25** la cual se considera como el equipo más importante de la producción y es el fundamento para la aplicación del proceso RCM II en este proyecto de grado, más adelante se ahonda en las especificaciones detalladas de la mezcladora.

CALDERA

La caldera suministra el vapor de agua necesario para el curado inicial, acelerado, del concreto dándole una temperatura aproximada de 75°C, permitiendo lograr el 40% de la resistencia potencial de la mezcla luego de 4 horas de fragüe.

B-14. PROCESO DE FABRICACIÓN

PREPARACIÓN DE LA ARMADURA

Lo primero que se hace es limpiar completamente el Noyo dejándolo libre de todo tipo de residuos de concreto o material extraño. Luego se impregna con desmoldante para evitar la adherencia del concreto en este elemento móvil.

La base y la cima metálica se fijan a los extremos del Noyo luego se coloca el refuerzo activo de acuerdo al diseño del poste, anclándose a la Cima y la base mediante cuñas y tambores. A este refuerzo activo se amarra el acero de refuerzo pasivo y finalmente se coloca el espiral en alambre y la canasta, en los postes que de acuerdo con el diseño la requieran, a lo largo de todo el Noyo.

PREPARACIÓN DE LA FORMAleta

Se pone el Noyo con la armadura dentro de la formaleta, la cual ha sido previamente limpiada e impregnada con desmoldante. Luego se colocan las crucetas de nivelación del Noyo, repartiendo en partes iguales las cuerdas activas por encima y por debajo de las crucetas para que en ningún momento las cuerdas queden cruzadas.

Se cierra la formaleta anclándola con los tornillos de corona para asegurar la conformación de la sección cónica durante el vaciado y el vibrado; posteriormente, se coloca el bastidor de protección contra accidentes en la cima del molde; a continuación, se instalan los rases, para poder formar las perforaciones en la parte superior del poste. Salvo especificación en contrario, los postes PRETECOR se fabrican con 10 agujeros cilíndricos de 1.9 cm de diámetro, pasantes y perpendiculares al eje longitudinal. El primer agujero se ubica a 10 cms de la cima del poste y los siguientes cada 20 cms. Ninguna de las cuerdas, que constituyen el refuerzo del poste, debe ser visible por estas perforaciones.

TENSIONAMIENTO

El refuerzo principal del poste se tensiona, empleando un gato hidráulico correctamente adaptado, de acuerdo con su carga de diseño. El procedimiento a seguir en este paso es el siguiente:

- a) Observar que las cuerdas activas estén completamente alineadas con el eje longitudinal.
- b) Ajustar manualmente las cuñas hasta tener las cuerdas lo más tensionadas posible.
- c) Se selecciona la presión de trabajo en el regulador del panel de control del gato. Al iniciar labores se deben accionar en vacío los mandos del gato para proporcionar una temperatura de trabajo adecuada y evitar variaciones bruscas en su presión de trabajo.
- d) Se comienza a tensionar las cuerdas activas una por una y en cruz. Debe verificarse frecuentemente la presión registrada en los manómetros de control y corregir las variaciones cuando estas se presenten. Se debe martillar cada par de cuñas, dos veces, antes de desplazar el pistón del gato para liberar la cuerda.

PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

El concreto utilizado para la fabricación de postes PRETECOR es de alta resistencia (350-560 Kg/cm²), su asentamiento máximo debe ser de 2.5 cm y debe ser preparado mediante una dosificación en peso.

Cuando se requiera, se pueden utilizar aditivos reductores de agua, adicionándolos directamente al agua de mezclado. Para el empleo de estos aditivos es necesario que previamente se haya hecho el diseño de la mezcla correspondiente. Por ningún motivo se usarán aditivos que contengan ion cloruro.

El agua utilizada en la mezcla debe ser potable y libre de sustancias perjudiciales tales como aceites, ácidos, sales, materias orgánicas, álcalis o cualquier otra que pueda afectar el acero de pre esfuerzo o el concreto.

VACIADO Y VIBRADO DEL CONCRETO

El concreto debe colocarse como máximo 20 minutos después de su preparación y debe vaciarse simultáneamente con la operación de vibrado, vertiéndolo a lo largo de la formaleta en capas sucesivas desde la cima y hacia la base a través de la abertura longitudinal del molde. Terminada la operación se realiza el acabado final en esta zona descubierta hasta darle un aspecto similar al del resto de la superficie del poste y

colocando, posteriormente, las marcas y logotipos, en bajo relieve, que permiten la identificación del poste.

Los rases y crucetas se extraen cinco minutos después de iniciado el curado con vapor, para evitar que se incrusten y permitir, posteriormente, la extracción del noyo.

CURADO INICIAL ACELERADO

Una vez fundido el poste en la formaleta se debe colocar la boquilla que suministra el vapor en la cima, dejando que este circule sin obstáculos a lo largo de todo el Noyo. Pasados un mínimo de diez minutos, o el tiempo necesario para que el concreto haya adquirido la consistencia necesaria para sostenerse, el noyo debe ser extraído lentamente empleando para ello tirfors con una capacidad de tiro superior a 1.6 toneladas.

Retirado el noyo el hueco central del poste debe ser tapado con una bolsa de cemento, o cualquier otro dispositivo adecuado, para obstaculizar la fuga del vapor de agua y así crear las condiciones para que el intercambio térmico con el concreto sea el máximo posible.

DESENCOFRADO

Cuando el concreto haya obtenido una resistencia adecuada se realiza la operación de desencofrado, soltando los tornillos de corona. En este momento se realiza la transferencia de fuerzas al concreto. El poste debe retirarse del molde a la zona de acabado final con una pinza que asegure por lo menos tres puntos de sustentación a lo largo de su eje longitudinal.

Los rases deben permanecer suspendidos en sus respectivos tubos guías con el fin de taponar la salida del vapor por estos orificios, con la misma finalidad, los tubos guía de las crucetas deben ser obstruidos con un tapón de concreto. El curado con vapor debe durar un mínimo de tres horas y puede prolongarse tanto como el ingeniero lo considere

conveniente dependiendo del tamaño del poste, la temperatura ambiente y cualesquier otras condiciones particulares.

ACABADO FINAL Y RESANES

El poste terminado debe presentar una superficie lisa sin hormigueros ni desprendimientos del concreto. Y debe cumplir con algunas especificaciones como por ejemplo que no se permiten resanes por defectos de vibrado del concreto que dejen a la vista la armadura en cualquier lugar del poste, ni tampoco enrasados deficientes.

Luego de 24 horas de fabricado el poste, se retiran la cima y la base transitorias y se verifica la no presencia de grietas o fisuras transversales o longitudinales, ni destrucción parcial o total de la sección en la cima o la base.

MARCAS Y SEÑALIZACIONES

Todos los postes deberán llevar, en forma clara y a una altura de 2 metros sobre la sección de empotramiento, una leyenda en bajo relieve o placa embebida en el concreto que indique:

- Nombre ó razón social del fabricante.
- Longitud del poste en metro por carga de diseño en kg.
- Fecha de fabricación.

Si el comprador lo exige, la leyenda puede ir encabezada por el nombre o sigla comercial de la empresa que adquiere el poste. Cualquiera otra leyenda, debe pactarse en el contrato de suministro. Además, se señala el centro de gravedad mediante una franja de 3 cm pintada en color rojo que cubre por lo menos el 50% del perímetro del cono en el lugar correspondiente. También el límite mínimo de empotramiento se señala mediante una franja similar a la anterior, pero en color verde.

CURADO FINAL

Los postes debidamente rotulados y marcados se llevan al patio de almacenamiento para su curado final, manteniéndolos húmedos por medio de un rocío directo de agua durante siete días continuos.

B-15. POLÍTICA DE CALIDAD

PRETECOR Ltda. ha definido como políticas de calidad la mejora continua en la eficiencia, eficacia y calidad de los procesos, productos, servicios y talento humano; de este modo se logrará cumplir con todas las expectativas del cliente, sus requisitos y alcanzar un mejor desempeño en la empresa⁵⁵.

B-16. POLÍTICAS DE CALIDAD

- ✚ Mejorar la rentabilidad de la Organización
- ✚ Mejorar el desempeño operacional de la Organización
- ✚ Aumentar la satisfacción del cliente
- ✚ Ofrecer precios competitivos
- ✚ Mejorar la confiabilidad de los tiempos de entrega
- ✚ Mejorar la calidad de los productos
- ✚ Mejorar la eficiencia de los procesos
- ✚ Disminuir el tiempo de ciclo de efectivo
- ✚ Aumentar la productividad del empleado
- ✚ Desarrollar las habilidades estratégicas de los empleados
- ✚ Mejorar la disponibilidad de información
- ✚ Aumentar la satisfacción del empleado.

- ✚ Velar por el mejoramiento continuo de las áreas, que intervienen en la calidad de los bienes y servicios prestados de la empresa.

⁵⁵ Ibid., p. 9

- ✚ Garantizar la integridad física, moral y psicológica de las personas vinculadas a la empresa.

ANEXO C. AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO.

A. ORGANIZACIÓN GENERAL	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿Está definida por escrito y aprobada, la organización y responsabilidades del departamento de mantenimiento?	0	-	-	-	30 ✘
2. ¿Se comprueban las responsabilidades y las tareas definidas en la organización de forma periódica para su adaptación?	0	-	✘	-	10
3. ¿Están las responsabilidades y las tareas de los capataces o encargados y	0	-	-	-	20

✘

de los contraмаestres claramente definidas?					
4. ¿Está suficientemente dimensionada la estructura de la dirección de mantenimiento y su equipo técnico para abordar nuevos procesos de mejora?	0	10	-	20	30
5. ¿Tiene cada sección y/o actividad un presupuesto de funcionamiento y hay seguimientos periódicos de su adecuación a la realidad?	0	-	-	-	10
6. ¿Existe un área para la planificación y coordinación de trabajos para realizar estudios de mejora y formación?	0	5	-	15	20
7. ¿Existen descripciones de las funciones para cada uno de los puestos de ejecución?	0	5	10	15	20
8. ¿El personal de operación tiene instrucciones para llevar a cabo operaciones de mantenimiento de primer nivel y las ejecutan?	0	10	-	20	30
9. ¿Todas las operaciones preventivas se ejecutan con órdenes de trabajo y se imputan adecuadamente las actividades y repuestos?	0	-	-	-	20
10. ¿Tienen objetivos claros e indicadores de funcionamiento que sirvan de pauta como resultados del servicio prestado?	0	5	-	20	30
11. ¿Los departamentos de Ingeniería y Compras tienen en cuenta de forma activa a Mantenimiento en nuevos estudios o instalaciones?	0	10	-	20	30
12. ¿Hay reuniones periódicas y se realizan seguimientos de niveles de calidad de servicio percibidos por nuevos clientes?	0	10	-	20	30
A- 280 Puntos posibles.	Total:				170

B. MÉTODOS Y SISTEMAS DE TRABAJO	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿Disponen de sistema de planificación y preparación de trabajo para intervenciones importantes?	0	10	-	20	30

2. ¿Tienen procedimientos para preparar trabajos, establecer presupuestos y justificar nuevas adquisiciones o proponer nuevas actividades?	0	-	10	-	20	✗
3. ¿Disponen de métodos operativos escritos para los trabajos complejos o delicados?	0	-	10	-	20	✗
4. ¿Tienen un procedimiento por escrito que defina las autorizaciones de trabajo para trabajos riesgosos?	0	-	-	-	25	✗
5. ¿Se archivan en los expedientes o historiales de equipos y sistemas, los trabajos de preparación y planificación de grandes intervenciones?	0	5	-	10	15	✗
6. ¿Hay acciones que llevan a normalizar los órganos y las unidades?	0	5	-	20	30	✗
7. ¿Tienen métodos para estimación de tiempos de trabajos?	0	-	5	-	10	✗
8. ¿Tienen métodos de gestión para la preparación de trabajos largos, importantes?	0	5	-	10	20	✗
9. ¿Tienen métodos formalizados para hacer las reparaciones y protocolos de pruebas?	0	10	-	20	30	✗
10. ¿Guardan las unidades en almacén, hacen repara kits antes de sus intervenciones?	0	10	-	20	30	✗
11. ¿Está el conjunto de la documentación debidamente clasificada y fácilmente accesible?	0	5	-	10	20	✗
12. ¿Tienen sistemas de priorización de actividades, con base en su criticidad, repercusiones secundarias, etc.?	0	-	-	-	20	✗
B- 270 Puntos posibles					Total:	215

C. CONTROL TÉCNICO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí	
1. ¿Disponen de una lista recapitulativa o inventario de ubicación de los equipamientos de su unidad?	0	10	-	20	30	✗

2. ¿Tiene cada equipamiento un número de identificación único diferente del número cronológico de inmovilización?	0	5	-	10	20
3. ¿En su emplazamiento, tiene todo el equipamiento un número de identificación claramente señalado?	0	-	10	-	20
4. ¿Se registran sistemáticamente las modificaciones, instalaciones nuevas o la supresión de equipamientos?	0	5	-	10	15
5. ¿Hay un archivo informático o en papel de cada equipo o instalación, y de sus subgrupos funcionales, con reseñas históricas de todos los trabajos llevados a cabo en cada uno de ellos y su coste?	0	10	-	20	30
6. ¿Tienen efectuados análisis de criticidad de los equipos y estudios de averías y fallos AMEF y RCM?	0	10	-	20	30
7. ¿Disponen de información sobre las horas pasadas, piezas consumidas y costes, equipamiento por equipos?	0	10	-	25	40
8. ¿Existen responsables del cuidado de las reseñas históricas de los trabajos?	0	5	-	15	20
9. ¿Está asegurado el seguimiento y control formal de las operaciones reglamentarias y de seguridad llevadas a cabo?	0	-	15	-	30
10. ¿Se audita periódicamente la situación de inventario y su documentación?	0	5	-	15	20
11. ¿Tiene constancia formal de la adecuación de su parque de maquinaria y equipos a la directiva de máquinas?	0	-	-	-	20
12. ¿Tiene posibilidad de analizar, sistema a sistema, el coste real de sus ciclos de vida?	0	10	-	20	30
C- 300 Puntos posibles	Total:				120

D. GESTIÓN DE LA CARGA DE TRABAJO	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿Tienen un programa establecido de mantenimiento preventivo?	0	10	-	25	40
2. ¿Disponen de fichas escritas de mantenimiento preventivo?	0	5	-	10	20

3. ¿Existe algún responsable del conjunto de las acciones de mantenimiento preventivo?	0	-	-	-	10 ✗
4. ¿Tienen los operarios responsabilidades de ajuste y mantenimiento de rutina?	0	5	-	15 ✗	20
5. ¿Tienen un sistema de registro de las solicitudes de trabajo?	0	10	-	25 ✗	30
6. ¿Hay una persona responsable de los trabajos específicamente?	0	5	- ✗	10	20
7. ¿Tienen reglas definidas que permitan asignar los trabajos según las prioridades?	0	10 ✗	-	15	30
8. ¿Conocen la carga de trabajo en cartera y tiene un balance de capacidad?	0	5	- ✗	15	20
9. ¿Existe algún documento que permita informa y seguir sistemáticamente las intervenciones de trabajo?	0	5	-	15 ✗	30
10. ¿Se reúnen periódicamente los contra maestres para debatir prioridades y planeación?	0	10	-	20 ✗	30
11. ¿Disponen de planeación semanal de distribución de trabajos?	0	-	15	- ✗	30
12. ¿Cuándo un trabajo no puede ser abordado con la celeridad necesaria, se tiene un procedimiento para informar y tomar acción sobre ello?	0	-	-	- ✗	20
D- 300 Puntos posibles				Total:	160

E. COMPRA Y LOGÍSTICA DE REPUESTOS Y EQUIPOS	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿Tienen almacén específico para mantenimiento y sistema de seguimiento de pedidos?	0	-	-	-	20 ✗
2. ¿Disponen de un sistema de “libre servicio” para artículos y piezas de consumo habitual?	0	-	5 ✗	-	10
3. ¿El stock de repuestos está al día, accesible y disponible al personal?	0	10	-	20 ✗	30
4. ¿Están todas las piezas de repuesto identificadas y codificadas?	0	-	-	-	10 ✗

5. ¿Están definidos los sistemas de aprovisionamiento y compras por demanda?	0	-	5	-	10	✗
6. ¿Hay un procedimiento de solicitud de ofertas y adjudicación de pedidos?	0	-	-	-	20	✗
7. ¿Los procedimientos de aprovisionamiento son rápidos y flexibles?	0	-	-	-	20	✗
8. ¿Tienen proveedores concertados y repuestos de suministro?	0	-	-	-	20	✗
9. ¿Tienen facilidad de proveedores distintos al fabricante de los quipos o instalaciones?	0	5	10	15	30	✗
10. ¿Tienen un sistema rápido y eficaz de reparación de equipos y sistemas de inventario?	0	8	-	20	30	✗
11. ¿Hay cohesión entre el servicio de compras y mantenimiento para las decisiones de compra de suministros?	0	10	-	20	30	✗
12. ¿Los procedimientos administrativos y operativos para solicitar un repuesto son ágiles y efectivos?	0	5	-	15	20	✗
E- 240 Puntos posibles					Total:	200

F. SISTEMAS INFORMÁTICOS	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí	
1. ¿Ha participado activamente el departamento de mantenimiento en la especificación técnica y definición de requisitos de su sistema informático?	0	10	-	15	20	✗
2. ¿El sistema es amigable al ahora de lanzar ordenes, planificar actividades y emitir informes?	0	5	10	15	20	✗
3. ¿Se ha ajustado la aplicación informática implementada a los procedimientos organizativos eficaces ya implantados?	0	-	-	-	30	✗
4. ¿Los operarios interactúan con el sistema recogiendo ordenes de servicio?	0	10	15	20	30	✗

5. ¿Su sistema informático dialoga adecuadamente con otras aplicaciones corporativa?	0	10	-	20 ✗	30
6. ¿Desde la implantación de la aplicación informática ha reducido significativamente la carga administrativa del departamento?	0	-	-	-	30 ✗
7. ¿La información del sistema ayuda realmente a una más fácil y rigurosa toma de decisiones?	0	5	-	10 ✗	20
8. ¿Ha optimizado recursos luego de tener el sistema informático?	0	5	-	10 ✗	20
9. ¿El Hardware de que dispone el departamento está suficientemente dimensionado en cuanto a capacidad, memoria y periféricos?	0	10	-	20	30 ✗
10. ¿La red de comunicaciones de la empresa funciona con fiabilidad, disponibilidad y prestaciones adecuadas?	0	5 ✗	-	10	20
F- 250 Puntos posibles	Total:				190

G. ORGANIZACIÓN DEL TALLER DE MANTENIMIENTO	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿El espacio que tiene asignado para actividades de almacén, banco, oficina de planeación e ingeniería es suficiente?	0	10	-	15	30 ✗
2. ¿Dispone a pie de obra de las instrucciones operativas y protocolos para ser consultados por sus mandos y operarios directamente?	0	10	-	30	40 ✗
3. ¿Las oficinas de los mandos intermedios y supervisores se encuentran a pie de obra?	0	-	10	-	10 ✗
4. ¿Se encuentra bien ubicado el almacén de herramientas y repuestos?	0	-	5	-	10
5. ¿Disponme de suficiente utillaje y medios de manutención y transporte	0	5	-	15 ✗	20 ✗

adecuados a sus trabajos preventivos y correctivos?					
6. ¿Las ordenes de trabajo se abren y cierran a pie de obra, con terminales ubicados en la planta o portátiles?	0	-	5 ✗	-	10
7. ¿Las zonas destinadas a materiales útiles, averiados y de envío están correctamente identificados y delimitados?	0	-	10	-	20 ✗
8. ¿Hay un responsable de logística, de la custodia de herramientas y útiles y de la verificación y calibración de los mismos?	0	-	10 ✗	-	20
G- 160 Puntos posibles	Total:				135

H. HERRAMIENTAS Y MEDIOS DE PRUEBA	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿Dispone de un inventario documentado y actualizado de herramientas y equipos de pruebas?	0	5 ✗	-	10	20
2. ¿Disponen de las herramientas especiales y equipamientos que se precisan?	0	5	-	10	15 ✗
3. ¿Está correctamente definido el procedimiento de verificación y calibración de herramienta especiales y útiles?	0	10	-	20 ✗	30
4. ¿Dispone de proceso de puesta a disposición de herramientas para el caso de que estas se utilicen por contratistas?	0	5	-	15 ✗	25
5. ¿Cada operario dispone de una caja de herramientas personal?	0	5	-	15 ✗	25
6. ¿Existen verificaciones periódicas de puesta en conformidad de máquinas y herramientas?	0	-	5	-	15 ✗
7. ¿Cuándo necesitan un medio extraordinario de mantenimiento o transporte, lo disponen con las características y celeridad requeridas?	0	--	5	-	10 ✗

8. ¿La logística, contratación y gestión de nuevas herramientas y medios, es realizada directamente?	0	5	15	20 ✗	30
H- 170 Puntos posibles	Total:				115

I. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿Disponen de documentación técnica general suficiente?	0	5	-	15	20 ✗
2. ¿Disponen de planos de conjunto y los esquemas necesarios?	0	15	-	30	40 ✗
3. ¿Están disponibles las instrucciones técnicas de utilización y mantenimiento, así como las listas de las piezas sueltas para equipamiento de mayor envergadura?	0	5	-	15 ✗	20
4. ¿Son fácilmente obtenibles y utilizables los planos de las instalaciones?	0	10	-	20 ✗	30
5. ¿Se ponen al día los planos y los esquemas a medida que se aportan las modificaciones?	0	10	-	20 ✗	30
6. ¿Son fácilmente obtenibles los contratos de mantenimiento?	0	5	-	15 ✗	20
7. ¿Son suficientes los medios de reprografía?	0	--	5 ✗	-	10
8. ¿Se registran los trabajos de modificación de los equipamientos y se archivan los expedientes de preparación correspondientes?	0	-	5	15 ✗	20
I- 190 Puntos posibles	Total:				140

J. PERSONAL Y FORMACIÓN	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿El ambiente de trabajo en general es positivo?	0	10	-	25	40 ✗
2. ¿Dirigen y supervisan correctamente los mandos intermedios los trabajos efectuados por los operarios?	0	10	-	20	30 ✗

3. ¿Se examinan en grupo los problemas a menudo, incluyendo también a los operarios?	0	10	-	20	30	
4. ¿Se llevan a cabo encuentros periódicos de apreciación entre el personal directivo y el operativo?	0	5	-	15	20	
5. ¿Los mandos intermedios y los operarios están lo suficientemente disponibles?	0	10	-	20	30	
6. ¿La formación técnica del personal es satisfactoria?	0	15	-	35	50	
7. ¿En el trabajo diario el personal tiene la iniciativa necesaria?	0	10	-	20	30	
8. ¿Sus mandos intermedios aseguran de forma regular el perfeccionamiento del personal en materias técnicas?	0	-	15	0	30	
9. ¿Reciben sus mandos intermedios formación en nuevas tecnologías?	0	-	15	-	30	
10. ¿Recibe su personal formación en seguridad y prevención de accidentes en forma regular?	0	5	-	20	30	
11. ¿Programa y domina la formación del personal el servicio de mantenimiento?	0	5	-	15	20	
12. ¿Se sigue rigurosamente la cualificación y la habilitación del personal?	0	5	-	15	20	
13. ¿Tienen pérdidas importantes de tiempo productivo debido a retrasos o ausencias?	0	20	-	10	-	
14. ¿Son buenas las relaciones del personal con los agentes de producción?	0	-	5	-	10	
J- 370 Puntos posibles					Total:	345


K. CONTRATACIÓN	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí
1. ¿Tienen un proceso de evaluación formal de los contratistas?	0	-	-	-	10
2. ¿Se elaboran cuidadosamente los documentos descriptivos de los trabajos y los pliegos de condiciones?	0	15	-	30	40

3. ¿La selección de los contratistas se lleva a cabo según criterios de técnica y de competencia?	0	5	-	15	20	✗
4. ¿Desde el punto de vista de ubicación, se tienen cerca empresas de interés comercial?	0	5	-	15	20	✗
5. ¿Contratan las tareas para las que consideran no se disponen de suficientes técnicos?	0	10	-	20	30	✗
6. ¿Incluyen en sus contratos con los contratistas cláusulas de resultados?	0	5	-	15	20	✗
7. ¿Desarrollan una garantía de calidad y la colaboración con los contratistas?	0	10	-	20	30	✗
8. ¿Crean expedientes por asunto según procedimientos determinados?	0	5	-	15	20	✗
9. ¿El control del trabajo de los contratistas, lo hace una persona designada y según procedimientos rigurosos?	0	10	-	20	30	✗
10. ¿Disponen de documentación específica para que empresas externas lleven a cabo el mantenimiento de sus equipamientos?	0	10	-	20	30	✗
K- 280 Puntos posibles				Total:	200	
L. CONTROL DE LA ACTIVIDAD	No	Más bien no	Ni sí ni no	Más bien sí	Sí	
1. ¿Disponen de un cuadro de mando integral que permita decidir qué acciones acometer?	0	-	-	-	20	✗
2. ¿Se dan informes regulares del control de las horas, los costes de mano de obra y repuestos?	0	15	-	20	30	✗
3. ¿Se siguen las especificaciones técnicas del servicio?	0	15	-	30	40	✗
4. ¿Se controla la eficacia, grado de saturación y tiempos muertos de potencial de mantenimiento?	0	15	-	30	40	✗
5. ¿Dominan las cargas de trabajo?	0	10	-	20	30	✗

6. ¿Disponen de los costes de mantenimiento?	0	5	-	20 X	30
7. ¿Tienen posibilidad de cruzar costes por tipo de mantenimiento, equipamiento y por secciones?	0	5	15	20 X	30
8. ¿Disponen de informes de síntesis en un plazo suficientemente corto?	0	10 X	-	15	20
9. ¿Emiten de forma regular un informe de la actividad?	0	10	-	15	20 X
10. ¿Tienen autonomía a la hora de negociar nuevas actividades, mejorar rendimientos y periodicidades?	0	-	-	-	20 X
L- 280 Puntos posibles	Total:				200

Fuente: Autor del proyecto.

ANEXO D. AMEF A LA PLANTA MEZCLADORA ALTRON AM-25

ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA		PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25		APROBADO POR: LUIS CARLOS ROYS			 PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE				
				ELABORADO POR: JAIME JEANPIERRE BERNAL							
		CÓDIGO: ZME MEZ 01		FECHA: 19/01/2016			S	O	D	N R P	
F	FUNCIÓN	F F	FALLA FUNCIONAL	M F	MODO DE FALLO	E F	EFECTOS DE FALLO	S	O	D	N R P
		A	Es imposible realizar el proceso de mezclado.	1	Ejes de mezclado incapaz de moverse.	1	Se observa que las paletas de mezclado permanecen inmóviles e incapaces de realizar el proceso de mezclado; debería revisarse como primera medida el sistema de transmisión de potencia y la alimentación eléctrica de los motoreductores.	6	4	2	48
				2	Falla del sistema de descarga.	1	Se observa que el que las compuertas de descarga no se accionan o están bloqueadas; como primera medida debería revisarse el sistema de descarga, y el sistema de control neumático de las compuertas.	4	4	2	32

				3	Ruptura por fatiga en la base de los dientes del motoreductor de la banda transportadora y/o transportador sinfín.	1	Se producen ruidos y vibraciones ocasionando el paro del motoreductor para realizar el cambio de engranajes.	2	3	3	18
				4	Perdida de material del flanco de los dientes debido al picado del reductor de la banda transportadora y/o transportador sinfín.	1	Se evidencian juegos, funcionamiento impreciso y calentamiento excesivo del motoreductor.	3	3	2	18
				5	Obstrucción de las rejillas de ventilación del motoreductor de la banda transportadora y/o del tonillo sinfín.	1	Se produce un calentamiento excesivo del motoreductor, ocasionando detención y fallo del mismo.	3	4	3	36

1	Mezclar agregados, agua, cemento y aditivos para producir entre 5 y 25 m ³ de concreto certificado por hora.										
		B	Consumo anormal de potencia de la bomba de dosificación.	1	Medición de valores incorrectos de voltaje y el amperaje de la bomba.	1	Se registran datos diferentes a los esperados para el mezclador, por lo que debería revisarse las conexiones y la red de distribución eléctrica como primera medida.	4	4	3	48
				2		2	Además, debería revisarse el rotor verificando que no esté atascado, que el eje del motor no esté pandeado y que no se presente fricción entre los elementos mecánicos de la bomba.	4	3	2	24
		2	El motor del mezclador arranca, pero se apaga de repente	1	El motor se apaga de repente luego de encendido, probablemente porque existe un excesivo consumo de corriente de alimentación, un mal contacto en el circuito de control o porque el guarda motor se dispara; lo que debería hacerse es revisar el circuito eléctrico y las sobrecargas en los motores.	5	2	2	20		
C	La bomba no ceba o pierde el cebado	1	Intermitencia en el flujo y/o ruidos extraños.	1	Puede presentarse entrada de aire u obstrucción en la tubería de succión de la bomba o el fallo del sello mecánico; por tanto, como primera medida debería limpiarse las líneas de succión y verificar el estado del sello mecánico.	3	3	2	18		

		D	La bomba de dosificación de agua no descarga	1	Bomba incapaz de descargar.	1	Se producen ruidos extraños y no se observa la descarga de flujo, por lo que debería revisarse como primera mediad los ductos de descarga verificando que no estén obstruidos y el sentido de giro del motor de la bomba; también debería verse la velocidad de giro del motor.	4	2	2	16
		E	La bomba de dosificación no entrega el caudal requerido.	1	La cantidad de flujo suministrado no es la deseada.	1	Pueden existir altas fugas y desgastes internos en la bomba por lo que debería revisarse el estado de la voluta y del rotor de la bomba, además debería verificarse el estado de los empaques y los sellos mecánicos.	5	2	1	10
		F	Excesivo nivel de ruido y vibración ocasionados por la bomba de dosificación.	1	La bomba presenta ruidos y vibraciones fuertes.	1	La bomba funciona, pero emite ruidos y vibraciones no deseadas, por lo que debería revisarse el estado de los rodamientos y del rotor, además debería ajustarse la tornillería de sujeción.	1	2	2	4
2	Proporcionar seguridad a los operarios involucrados en los procesos realizados por la planta mezcladora.	A	Operario lesionado	1	El operario resulta lesionado debido a un accidente o el posible error humano	1	El operario resulta lesionado debido al incumplimiento de las normas de seguridad o al posible error humano que está latente en el día a día, por ende, es necesario estar preparados para atender emergencias y sobre todo capacitados para respetar las normas de seguridad de la planta mezcladora de concreto.	9	1	2	18

3	Transmitir una señal de alarma si las celdas de carga o las bombas fallas.	A	No trasmite señal de alarma para bomba y celdas de carga en falla	1	No se emiten señales visuales en los dispositivos de control para el fallo de las celdas de carga y las bombas.	1	No se emiten señales de advertencia de los dispositivos de seguridad, o se emiten señales equivocadas lo cual es muy grave pues son fallas ocultas, lo que debería hacerse es revisar el sistema eléctrico los dispositivos de alarmas, seguridad y control.	4	2	1	8
		A	No se accionan los elementos de maniobra.	1	Los dispositivos de control y maniobra no funcionan,	1	Los elementos de maniobra presentes en la cabina de mando pueden fallar por diversas fallas eléctricas y de error humano; lo que debería hacerse es revisar los seccionadores de circuitos en el tablero principal y en la consola de control, también debe verificarse el encendido, el stop de emergencia principal y el stop auxiliar.	3	2	2	12
		B	Daños en el sistema de actuadores hidráulicos.	1	Turbina de sensor obstruida.	1	El sensor de flujo puede estar obstruido y por tanto censando mal, debería entonces, desmontarse el sensor y limpiar la turbina y filtros que lo componen.	4	3	3	36

4	Controlar los procesos realizador por la mezcladora desde la cabina de mando	C	Lectura errónea de los sistemas de pesaje	1	Visualizador de sistemas de control dañado.	1	Se tienen datos de pasaje erróneos por lo que se estaría produciendo una mezcla incorrecta, pudiendo existir una mala conexión del visualizador o daños en el cableado del sistema, por lo que debería revisarse el cableado y/o cambiar el visualizador.	4	4	2	32
				2	Mala calibración de sistema de pesaje	1	El sistema de puede esta puede estar mal calibrado por diversos motivos, entre otros por obstrucción mecánica en la estructura de las tolva, por obstrucción o falla de las celdas de carga o por material viejo que no ha sido removido, debería verificarse el estado de las celdas de carga, realizar la inspección de calibración y verificar que la estructura este libre.	5	3	4	60
				3	Obstrucción mecánica en las tolvas y celdas de carga	1	El material circundante puede obstruir las tolvas y las celdas de carga, lo que debería hacerse es limpiar de material de obstrucción,	4	3	2	24
				4	Malas conexiones de los sistemas de control	1	Siempre está la posibilidad de que existan malas conexiones eléctricas en la caja de juntas y en el visualizador.	3	4	2	24
				5	Celda de carga dañada	1	La celda de carga tipo barra puede averiarse sin descartar posibles daños en el sistema de cableado, por tanto, debería verificar el buen estado en las conexiones eléctricas y cambiar la celda de carga de ser necesario.	2	2	2	8

		D	Fallo en el sistema eléctrico.	1	Corto circuito y/o fallo en la red de distribución de la planta.	1	El sistema eléctrico es fundamental y sus modos de fallo son múltiples debido a que está presente en todos los subsistemas de la mezcladora, lo que debe hacerse en caso de un fallo en el sistema eléctrico es revisar breakers de seguridad, los conectores, los pulsadores, caja de seguridad y también debe tenerse una detallada revisión del sistema de distribución teniendo en cuenta que cualquier cosa puede hacer que un cable se corte, como por ejemplo un operario por error	4	2	2	16
5	Transportar los agregados para la mezcla por medio de la banda transportadora	A	Banda transportadora desalineada.	1	Falla en el sistema tensor de la banda.	1	Al observarse una desalineación de la banda transportadora debería graduar correctamente el sistema tensor y revisar los rodillos de carga y retorno también debería revisarse los rodamientos las chumaceras y cambiar de ser necesario.	5	2	2	20
		B	Banda transportadora dañada	1	Se observa una ruptura por desgaste de la banda transportadora	1	Este modo de falla incapacita el sistema de transporte y requiere de solución inmediata cambiando la banda por una nueva	6	2	1	12
		C	Consumo anormal de potencia del motoreductor de	1	Se evidencia por medio de la pinza amperimétrica un consumo anormal	1	Pueden ser diversos los efectos de falla producidos en este modo de falla; por lo que debería revisarse el estado del aceite específicamente de su temperatura (<40°C).	4	1	3	12

			la banda transportadora	de potencia del motoreductor de la banda transportadora	2	Podría estar obstruido el motoreductor o con paso de aire obstruido, por lo que se debía retirar el material que obstruye y de ser necesario crear ventilación forzada a fin de reducir la temperatura. Siempre es recomendable engrasar con grasa tipo KLUEBER tipo 15 a través de los engrasadores externos del motoreductor.	4	1	2	8		
					3	Podría existir exceso de carga en la banda por lo que debería revisarse y descargar la banda hasta eliminar la sobrecarga.	3	2	2	12		
					4	Puede que el consumo anómalo suceda debido al desgaste o desajuste de las correas del sistema de transmisión de potencia de la banda transportadora.	2	1	2	4		
					2	Existen ruidos anómalos en el motoreductor de la banda transportadora	1	Se evidencia ruido extraño en los motoreducotres síntoma de averías en uno o más dientes de la transmisión de potencia desportillado, rodamientos y/o rodillos mal lubricados o dañados, por lo cual de ser necesario deberían cambiarse.	3	2	2	12
					3	Perdida de lubricante a través de retenes de estanqueidad	1	Se observa perdida de lubricante lo que podría ser producto del deterioro del anillo de estanqueidad o de la pista giratoria, para lo cual debería chequearse u cambiar de ser necesario; además deberían revisarse	5	3	2	30

						los tapones de carga detectando posibles fugas.					
		D	Velocidad de banda incorrecta.	1	Eje del motoreductor lento o no gira	1	Se evidencia que la velocidad de giro del eje no es la deseada, por lo que debería revisarse una posible rotura de la chaveta o el engranaje de transmisión completamente desgastado.	6	2	2	24
6	Transportar y contener el cemento desde el silo hasta la báscula de cemento por medio del transportador sinfín.	A	Admisión de cemento desde el silo obstruida o con fugas	1	Se evidencia el atasco o la pérdida de cemento desde la admisión al tornillo transportador sinfín.	1	El atascamiento por material es frecuente y sucede debido a la solidificación del cemento a causa de presencia de humedad en cuyo caso debería pararse y realizar limpieza manual del material no deseado.	3	2	2	12
						2	La abrasión también puede romper el casco del transportador sinfín, por lo cual de ocurrir debería pararse para reforzar con platina.	4	2	2	16
		B	Consumo anormal de potencia del motoreductor del transportador sinfín.	1	Se evidencia por medio de la pinza amperimétrica un consumo anormal de potencia del motoreductor del transportador sinfín	1	Podría existir sobrecarga de cemento en el transportador, por lo que debería revisarse las compuertas de entrada verificando que su correcto estado.	3	2	1	6
						2	Podría estar obstruido el moto reductor o con paso de aire obstruido, por lo que se debía retirar el material que obstruye y de ser necesario crear ventilación forzada a fin de reducir la temperatura.	4	2	2	16
						3	Otro posible efecto de falla es que puedan estar en contacto las paletas del transportador sinfín con el casco del mismo generando fricción y consumo de potencia adicional.	5	2	2	20

						Siempre se recomienda como primera medida engrasar con grasa tipo KLUEBER tipo 15 a través de los engrasadores externos del motoreductor.					
		C	Velocidad de transporte de cemento incorrecta.	1	Eje del motoreductor del transportador sinfín lento o no gira	1	Se evidencia que la velocidad de giro del eje no es la deseada, por lo que debería revisarse una posible rotura de la chaveta o el engranaje de transmisión completamente desgastado.	5	3	2	30
7	Suministrar flujo de aire a la presión necesaria de los sistemas neumáticos de la mezcladora.	A	Baja presión en las líneas de aire.	1	Mala lubricación del compresor.	1	Se evidencia una mala lubricación del compresor, existiendo ruidos y vibraciones excesivas producto de una mala calidad del aceite o partes desgastadas; lo que debería hacerse es revisar la calidad del aceite, revisar el estado de los anillos, cilindros y pistones verificando que no estén desgastados, con rebabas o haciendo juego.	5	3	3	45
				2	Baja entrega de aire.	1	No se logra la presión de aire necesaria para operar los dispositivos de accionamiento neumático, por lo que debería revisarse el filtro de aire asegurándose de que esté limpio, también debería cerciorarse de que no existan fugas y el estado de los anillos, cilindros y pistones del compresor.	3	3	2	18

		B	Unidad de mantenimiento del sistema neumático dañado.	1	Se evidencia el daño del sistema de mantenimiento del sistema neumático de la planta mezcladora.	1	La unidad de mantenimiento puede dañarse por diversos motivos, lo primero que debe hacerse es verificar el nivel de aceite en la mirilla, también debería verificarse el medidor de presión y sustituir el filtro del sistema cuando sea necesario.	2	2	2	8
		C	Consumo anormal de potencia del compresor.	1	Medición de valores incorrectos de voltaje y el amperaje de la bomba.	1	Se registran datos diferentes a los esperados para el compresor, por lo que debería revisarse las conexiones y la red de distribución eléctrica como primera medida. También debería revisarse la ventilación del lugar donde está el compresor además del estado del cheque de retención y el nivel de aceite.	3	2	2	12
						2	También debería tenerse en cuenta la posibilidad de que el consumo anormal de potencia debido al fallo de la transmisión de potencia del compresor por correas desajustadas o desgastadas.	4	1	2	8

		D	Falla en los cilindros neumáticos del mezclador.	1	Se presenta pérdida de potencia y velocidad de accionamiento.	1	Se evidencia una pérdida de potencia en los cilindros y por tanto de la velocidad de accionamiento, además del aumento de consumo de aceite; lo que se debe hacer es verificar fugas y cambiar el kit de sellos del cilindro además de verificar el estado del cilindro y del vástago.	3	1	2	
				2	Electroválvulas obstruidas o sin señal	1	Este modo de fallo impide la apertura y cierre de las compuertas por lo que ocurre de manera evidente, lo que debería hacerse es o de la unidad de mantenimiento, además revisar la lubricación y estado de la unidad de mantenimiento, además de limpiar obstrucciones de material. También debería verse le estado de la electroválvula y de ser necesario cambiarla.	3	2	2	12
		E	Falla en el sistema neumático de la válvula mariposa para la	1	No hay flujo o no hay flujo suficiente para el correcto accionamiento de la válvula tipo mariposa.	1	Se evidencia poco o nada de flujo debido probablemente a la válvula cerrada o parcialmente cerrada, o algún tipo de obstrucción en la tubería; por lo que debería revisarse y limpiar las tuberías.	4	2	2	16


			báscula de cemento.			2	Además, debería revisarse fuga debida a anillos desgastados o la válvula deteriorada para limpiar y cambiar si es necesario.	4	2	1	8
						3	Podría también existir fugas en las uniones con bridas, por falta de apriete o por desalineación de la válvula, lo que se debería hacer es limpiar y apretar todas las sujeciones mecánicas, desmontada alinear y centrar correctamente.	2	2	1	4
		F	Se presentan excesivos ruidos internos en el compresor.	1	El compresor emite gran cantidad de ruidos internos.	1	Se escuchan ruidos fuertes al interior de compresor lo que daría indicios de fallas o desajustes en diferentes partes mecánicas, por tanto, debería revisarse y ajustar las poleas, tornillos, rodamientos, bielas, válvulas pistones y cilindros.	4	2	1	6
		G	Compresor arranca y para continuamente.	1	El compresor no funciona de manera continua.	1	El compresor funciona de manera intermitente debido probablemente al exceso de condensado en el tanque o a fugas de aire en el sistema, para atender este modo de falla debería realizarse el drenado del tanque, revisando fugas en el sistema.	5	1	2	10
8	Controlar los sistemas de descarga para cemento y agregados.	A	Descarga intermitente de cemento y/o agregados.	1	La descarga de agregados no se da de manera continua cemento y	1	Este modo de falla puede darse en las compuertas de descarga para cemento y agregados debido a la obstrucción de materiales sólidos; por lo que generalmente debe pararse la planta para retirar manualmente con pala los restos de material. .	4	2	2	16

		B	Motovibradores de descarga no funcionan.	1	Consumo anormal de potencia por el motovibrador de descarga.	1	Éste tipo de motoreductores son especialmente diseñados para este tipo de trabajo, por lo que su funcionamiento es muy bueno y su lubricación es interna y de fábrica, lo que debería hacerse en caso de un testeo anormal de consumo de potencia es engrasar con grasa tipo KLUEBER tipo 15 a través de los engrasadores externos.	5	1	2	10
						2	También debería revisarse todas las conexiones eléctricas y apretar lo elementos de sujeción a la estructura. Además, deben engrasarse lo cojinetes y eventualmente sustituirlos según el plan de mantenimiento dispuesto.	5	1	3	15
9	Suministrar el agua para el lavado del mixer de mezclado.	A	Bomba de lavado de mixer no da el caudal deseado o no prende.	1	Consumo anormal de potencia de la bomba de lavado	1	Con pinza amperimétrica, se miden valores de voltaje y amperaje no deseados por lo que deberían revisarse las conexiones eléctricas como primera medida	3	2	3	18
				2	Medición de valores incorrectos de voltaje y el amperaje de la bomba.	1	Se registran datos diferentes a los esperados para el mezclador, por lo que debería revisarse las conexiones y la red de distribución eléctrica como primera medida. Además, debería revisarse el rotor verificando que no esté atascado, que el eje del motor no esté pandeado y que no se presente fricción entre los elementos mecánicos de la bomba.	3	2	3	18

		B	La bomba no da flujo o es intermitente.	1	Bomba tiene intermitencia en el flujo entregado.	1	Puede presentarse entrada de aire u obstrucción en la tubería de succión de la bomba o el fallo del sello mecánico; por tanto, como primera medida debería limpiarse las líneas de succión y verificar el estado del sello mecánico.	4	2	3	24
				2	Bomba incapaz de descargar.	1	Se producen ruidos extraños y no se observa la descarga de flujo, por lo que debería revisarse como primera mediad los ductos de descarga verificando que no estén obstruidos y el sentido de giro del motor de la bomba; también debería verse la velocidad de giro del motor.	4	1	3	12
				3	La cantidad de flujo suministrado no es la deseada.	1	Pueden existir altos fugas y desgastes internos en la bomba por lo que debería revisarse el estado de la voluta y del rotor de la bomba, además debería verificarse el estado de los empaques y los sellos mecánicos.	3	2	2	12
				4	La bomba presenta ruidos y vibraciones fuertes.	1	La bomba funciona, pero emite ruidos y vibraciones no deseadas, por lo que debería revisarse el estado de los rodamientos y del rotor, además debería ajustarse la tornillería de sujeción.	3	2	1	6
10	Proteger el casco interior y las paletas de mezclado contra el	A	El casco interior del mezclador se ve expuesto directamente a la abrasión.	1	Las tejas o placas de protección del casco interior se caen o se	1	El mezclador es el lugar más abrasivo de la planta y es una función muy importante mantener protegido el casco con las losas de encamisa interior, al presentarse perdida o desgaste critico de las losas debe	6	8	2	96

	impacto y la abrasión por medio de tejas y placas anti desgaste.			desgastan a su punto crítico.		pararse la máquina y cambiar las tejas necesarias.				
		B	Las paletas del mezclador se parten, se caen o se desgastan críticamente.	1	Las paletas de mezclado que se encuentra a lo largo de los dos ejes de mezclado fallan.	1	La pérdida de paletas o el desgaste crítico de las mismas se evidencia directamente en la calidad el mezclado de la planta, por tanto, es imperioso atender este modo de falla pues además se buscan proteger las paletas con losas especiales para la abrasión.	7	9	2

ANEXO E. HOJA DE DECISIÓN RCM PARA LA PLANTA MEZCLADORA ALTRON AM-25

HOJA DE DECISIÓN RCM II			PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25				APROBADO POR: LUIS CARLOS ROYS			 PRETENSADO DE CONCRETO DEL ORIENTE					
							ELABORADO POR: JAIME JEANPIERRE BERNAL								
			CÓDIGO: ZME MEZ 01				FECHA 19/01/2016								
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN "A FALTA DE"			TAREA DE MANTENIMIENTO PROPUESTA.	INTERVALO INICIAL.	A REALIZAR POR.
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	F	M	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
	A	1	S	N	N	S	S						Revisión y cambio de la unidad afectada	A condición	-Mecánico -Auxiliar mecánico -Jefe de mantenimiento
1	A	2	S	N	N	S	S						Verificación visual de no atascamiento y correcto funcionamiento de los cilindros de accionamiento neumático.	Diario	-Operario.
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Inspección visual y auditiva de los motorreductores, desmontando para mantenimiento programado en "Motores & Motores"	Semestral	-Auxiliar mecánico -Jefe de mantenimiento

1	A	4	N	N	N	S	S						Inspección visual para verificar el estado de la transmisión potencia de los motoreductores	Trimestral	-Auxiliar mecánico
1	A	5	S	N	N	S	S						Limpieza de las rejillas de ventilación de los motoreductores.	Diario.	-Operario.
1	B	1	S	N	N	N	S						Medición de voltaje y corriente de los motores; también de la temperatura de trabajo de los motores, chumaceras y rodamientos.	Semanal.	-Operario. -Auxiliar mecánico -Jefe de mantenimiento
1	B	2	S	N	N	S	S						Ningún mantenimiento programado		
1	C	1	S	N	N	S	S						Realizar inspección y limpieza de los ductos de succión, además del estado del sello mecánicos.	Quincenal	-Operario.
1	D	1	S	N	N	S	S						Realizar inspección y limpieza de los ductos de descarga	Quincenal	-Operario.
1	E	1	N	N	N	S	S						Realizar inspección en búsqueda de fugas, también debe revisarse en caso necesario es estado de la voluta y del motor de la bomba, además el estado de los empaques.	Mensual	-Operario. -Auxiliar mecánico
1	F	1	S	N	N	S							Ningún mantenimiento programado		
2	A	1	S	S	N	S						S	Fabricar guardas de seguridad en lugares peligroso y delimitar las zonas de riego de la planta, además se debería estar capacitando a los operarios continuamente en normas de seguridad industrial.		-Jefe de mantenimiento -Coordinador de seguridad industrial -Operarios.
3	A	1	N	N	N	S					S		Al Ser un dispositivo de seguridad intrínsecamente posee una falla oculta, por lo que se deben revisar de manera periódica en búsqueda de fallas de los		-Operario. -Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento

													sistemas eléctricos de los dispositivos de alarmas, seguridad y control.		
4	A	1	S	N	N	S	S						Revisar los circuitos de seccionadores en el tablero principal la consola de control, verificando también el encendido, el stop de emergencia principal y el auxiliar.	Semanal	-Auxiliar mecánico. -Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento
4	B	1	N	N	N	S	S						Limpiar la turbina y el filtro del sensor, cambiar de ser necesario.	A condición.	-Auxiliar mecánico.
4	C	1	N	N	N	S	S						Verificar las conexiones de los visualizadores y el estado de los mismos, cambiar de ser necesario.	A condición.	-Auxiliar eléctrico.
4	C	2	N	N	N	S		S					Realizar limpieza e inspección de las celdas de carga y cambiar de ser necesario, también debería evacuarse material viejo y calibrar el sistema con los pesos de la báscula.	Semanal	-Auxiliar mecánico. -Operario. -Jefe de mantenimiento
4	C	3	S	N	N	S	S						Ningún mantenimiento programado		
4	C	4	S	N	N	N	S						Ningún mantenimiento programado		
4	C	5	S	N	N	N	S						Realizar cambio de las celdas de carga.	A condición.	-Operario. -Jefe de mantenimiento
4	D	1	S	N	N	S	S						Revisar breakers de seguridad, conectores, pulsadores y en general la red de distribución eléctrica de la planta.	A condición.	-Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento
					N	S		S					Graduar el sistema tensor de la banda, revisar el estado de los rodillos de carga y retorno además del estado de las chumaceras y rodamientos y cambiar de ser necesario.	Trimestral	-Auxiliar mecánico. -Operario. -Jefe de mantenimiento

5	A	1	S	N													
5	B	1	S	N	N	S		S						Parada de la máquina para cambiar banda transportadora por una nueva.	Anual	-Auxiliar mecánico. -Operarios. -Jefe de mantenimiento	
5	C	1	S	N	N	S		S						Realizar inspección y limpieza del motoreductor y sus sistemas de ventilación, medición de la banda, temperaturas de aceite (<40°C), engrasar con grasa KLUEBER tipo 15 en engrasadores externos.	Trimestral	Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	
5	C	2	S	N	N	S		S						Se programa mantenimiento general del motoreductor de la banda transportadora en Motores & Motores.	Anual	-Jefe de mantenimiento	
5	C	3	S	N	N	S	S							Realizar inspección de fugas de lubricante y del estado de los anillos de estanqueidad y la pista giratoria para cambiar de ser necesario.	A condición	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	
5	D	1	S	N	N	S	S							Inspeccionar posible rotura por fatiga de la chaveta o el engranaje de transmisión y cambiar de ser necesario.	A condición.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	
6	A	1	S	N	N	S	S							Soltar las tapas inferiores del tornillo sinfín para remover material endurecido, verificando el estado el casco exterior sin fugas	A condición.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	
6	B	1	S	N	N	S		S						Realizar limpieza y la alineación del eje del sinfín, se debe engrasar el motoreductor con grasa tipo KLUEBER.	Semestral	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	


6	C	1	S	N	N	S		S					Se programa mantenimiento general del motoreductor del transportador sinfín en Motores & Motores.	Anual	-Jefe de mantenimiento
7	A	1	S	N	N	S	S						Revisar el estado de los anillos, cilindros y pistones verificando que no estén desgastados o haciendo juego o con fugas, en cuyo caso deberían cambiarse.	A condición.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.
7	B	1	S	N	N	N		S					Verificar el nivel de aceite en la mirilla y del medidor de presión sustituyéndolos de ser necesario-	Quincenal.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
7	C	1	S	N	N	S	S						Ningún mantenimiento programado.		
7	D	1	S	N	N	S	S						Verificar y de ser necesario cambiar el kit de sellos del cilindro, además, debe revisarse el estado del cilindro y el vástago.	A condición.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
7	D	2	S	N	N	S							Ningún mantenimiento programado.		
7	E	1	S	N	N	S		S					Realizar limpieza de las tuberías, revisar la existencia de fugas anillos desgastados.	Mensual	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
7	F	1	S	N	N	N	S						Revisar y cambiar de ser necesario poleas, tornillería, rodamientos, válvulas, pistones y cilindros del compresor.	A condición	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
7	G	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar fugas del tanque y retirar el exceso de condensado.	A condición.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento

8	A	1	S	N	N	S	S						Parada de máquina para retirar manualmente con pala la obstrucción en las compuertas de descarga.	A condición	-Operarios. -Jefe de mantenimiento
8	B	1	S	N	N	S	S						Engrasar con grasa Kluebber tipo 15 en engrasadores externos de los motovibradores, revisar el sistema eléctrico y verificar las conexiones eléctricas de los motovibradores.	A condición	-Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento
9	A	1	S	N	N	S	S						Verificar las conexiones eléctricas de la bomba de lavado y el estado de la misma.	A condición	-Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento.
9	B	1	S	N	N	S		S					Limpiar las líneas de succión y verificar el estado del sello mecánico cambiándolo de ser necesario.	Semanal.	-Operario.
9	B	2	S	N	N	S		S					Limpiar ductos de descarga.	Semanal.	-Operario.
9	B	3	S	N	N	S	S						Revisar y cambiar de ser necesario la voluta y del rotor de la bomba, además debería verificarse el estado de los empaques y los sellos mecánicos.	A condición	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
9	B	4	S	N	N	S		S					Ajustar tornillería de sujeción.	Mensual	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
10	A	1	S	N	N	S		S					Realizar mantenimiento de las tejas o placas de protección interior del mezclador cambiando las que presenten daños.	Semanal.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento
10	B	1	S	N	N	S		S					Realizar mantenimiento en primera semana de desgaste de las paletas del mezclador aplicando DUROWELD 650 para alargar vida útil	Semanal	-Operarios -Auxiliar mecánico.

														de las mismas, luego de la segunda semana de uso continuo cambiar			-Jefe de mantenimiento
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	--	--	------------------------

ANEXO F. P.O.E PROCEDIMIENTO OPERATIVOS ESTÁNDAR.

Tabla 12: P.O.E a realizar como recomendaciones generales diarias

P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.	PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25	 <p style="text-align: center;">PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE</p>	
RECOMENDACIONES GENERALES DIARIAS	CÓDIGO: ZME MEZ 01		
Revisó: Luis C. Roys	Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal	Fecha: 19/01/2016	
TAREA PROPUESTA	RESPONSABLES	INTERVALO	
Lubricación de tornillos alineadores transportador sinfín con grasa Klueber tipo15.	-Operario. -Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
Limpieza general planta.	-Operarios (3). -Auxiliar mecánico.	Al inicio y final de cada turno	
Revisar niveles de grasa en chumaceras y rodamientos bandas transportadoras.	-Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
Revisión visual del compresor.	-Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
Revisar rotación adecuada de rodillos en sus respectivas estaciones de carga y estaciones de retorno (cambiar si es necesario)	-Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
Revisar posibles oxidaciones en la estructura de la planta por condiciones climáticas, aplicar Sikaflex en estos puntos de oxidación.	-Operario.	Al iniciar el turno.	
Vaciar en su totalidad el material existente tanto en la mezcladora como en los transportadores sinfín y en básculas de cemento cuando estos elementos vayan a estar sin su debida utilización por periodos superiores a 30 MINUTOS, esto para evitar cualquier condensación y posterior obstrucción del material en los mecanismos.	-Operarios (4). -Auxiliar mecánico.	Al iniciar el turno.	
En los cañones de disparo limpiar internamente los conductos de transporte del aire para evitar obstrucciones y pérdidas de potencia dentro del mecanismo.	-Operario. -Auxiliar mecánico.	Cada 5 horas.	

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 13: P.O.E a realizar en motobombas y sensores de flujo




<p align="center">P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.</p>	<p align="center">PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25</p> <p align="center">CÓDIGO: ZME MEZ 01</p>	 <p align="center">PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE</p>	
<p align="center">MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN MOTOBOMBAS Y SENSORES DE FLUJO</p>			
<p>Revisó: Luis C. Roys</p>	<p>Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal</p>	<p>Fecha: 19/01/2016</p>	
<p>TAREA PROPUESTA</p>		<p>RESPONSABLES</p>	<p>INTERVALO</p>
<p>Verificar el desgaste de la voluta y el rotor así como las luces que existen entre estas partes para proceder a su cambio, más aun si se observa un bajo rendimiento de la unidad por esta causa. Limpiar el rotor.</p>		<p>-Operario. -Auxiliar mecánico.</p>	<p>Al iniciar el turno.</p>
<p>Vigilar los niveles del aceite de los motores de combustión y revisar filtros</p>		<p>-Operarios. -Auxiliar mecánico.</p>	<p>Al inicio y final de cada turno</p>
<p>Vigilar regularmente el voltaje y amperaje en las unidades, reapriete de todas las conexiones existentes.</p>		<p>-Auxiliar eléctrico.</p>	<p>Cada 5 horas.</p>
<p>Comprobar la alineación de las unidades de acople flexible.</p>		<p>-Auxiliar mecánico.</p>	<p>Al iniciar el turno.</p>
<p>Verificar que los soportes de tubería estén cumpliendo su función, y la coladera manténgala libre de obstrucciones</p>		<p>-Auxiliar mecánico.</p>	<p>Mensual</p>
<p>Desenroscar periódicamente el tapón de purga (3/4 NPT) si el líquido bombeado es sucio, y extraer sedimentos acumulados de la carcasa. Estos pueden obstruir el hueco de recirculación que posee la voluta e impedir el cebamiento rápido de la unidad.</p>		<p>-Operario. -Auxiliar mecánico.</p>	<p>Cada 8 horas.</p>
<p>Para el mantenimiento preventivo a realizarse en los sensores de flujo solo es necesario ejecutar inspecciones diarias para verificar el estado permanente del rotor de los sensores de flujo.</p>		<p>-Auxiliar mecánico.</p>	<p>Diario</p>

Tabla 14: P.O.E a realizar en el compresor

<p align="center">P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.</p>	<p align="center">PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25</p> <p align="center">CÓDIGO: ZME MEZ 01</p>	 <p align="center">PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE</p>	
<p align="center">MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN EL COMPRESOR</p>		<p>Revisó: Luis C. Roys Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal Fecha: 19/01/2016</p>	
<p>TAREA PROPUESTA</p>		<p>RESPONSABLES</p>	<p>INTERVALO</p>
<p>Con el compresor apagado revisar el nivel de aceite (ISO150 o SAE 40) en el cárter, ya sea mediante el visor o utilizando la varilla medidora. Si el nivel no es el adecuado agregar hasta completar</p>		<p>-Operario. -Auxiliar mecánico.</p>	<p>Al iniciar el turno.</p>
<p>Limpiar el elemento filtrante del filtro de aire.</p>		<p>-Operarios. -Auxiliar mecánico.</p>	<p>Al iniciar el turno.</p>
<p>En la válvula para drenaje retirar el agua acumulada en el tanque.</p>		<p>-Auxiliar eléctrico.</p>	<p>Cada 8 horas.</p>
<p>Revisar fugas en las uniones y verifique el buen funcionamiento de la válvula de seguridad.</p>		<p>-Auxiliar mecánico.</p>	<p>Al iniciar el turno.</p>
<p>Efectuar cambio del aceite del Carter</p>		<p>-Operario. -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Cada 300 horas o 2 meses.</p>
<p>Revisar la tensión de las correas, si es necesario ajústelas, conservando la alineación del compresor</p>		<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Diario</p>
<p>Revisar y ajustar la tornillería.</p>		<p>-Auxiliar mecánico.</p>	<p>Diario</p>


Fuente: Autor del proyecto

Tabla 15: P.O.E a realizar en unidades de mantenimiento y válvulas

<p>P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.</p>	<p>PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 CÓDIGO: ZME MEZ 01</p>		
<p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN UNIDADES DE MANTENIMIENTO Y VÁLVULAS</p>		<p>Revisó: Luis C. Roys Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal Fecha: 19/01/2016</p>	
<p>TAREA PROPUESTA</p>	<p>RESPONSABLES</p>	<p>INTERVALO</p>	
<p>En el Filtro de aire comprimido debe examinarse diariamente el nivel del agua condensada, porque no debe sobrepasar la altura indicada en la mirilla de control. De lo contrario, el agua podría ser arrastrada hasta la tubería por el aire comprimido. Para purgar el agua condensada hay que abrir el tornillo existente en la mirilla.</p>	<p>-Operario. -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Al iniciar el turno.</p>	
<p>En el lubricador de aire comprimido verificar el nivel de aceite en la mirilla y si es necesario, suplirlo hasta el nivel permitido. Los filtros de plástico y los lubricadores no deben limpiarse con tricloroetileno. Para los lubricadores, utilizar únicamente aceite SAE 10</p>	<p>-Operario. -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Diario</p>	
<p>Mantener los líquidos acumulados por debajo del deflector en unidades de uso general, y por debajo del elemento filtrantes unidades de eliminación de aceite</p>	<p>-Operario.</p>	<p>Diario</p>	
<p>Prueba de funcionamiento de las válvulas anti retorno y direccionales, cambiar de ser necesario.</p>	<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semanal</p>	
<p>Prueba de funcionamiento de los elementos de medición del tablero Sika, cambiar de ser necesario</p>	<p>-Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semanal.</p>	
<p>Cambio de las electro-válvulas y el sistema de mangueras.</p>	<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Anual</p>	


Fuente: Autor del proyecto

Tabla 16: P.O.E a realizar en cilindros.

<p>P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.</p>	<p>PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25</p> <p>CÓDIGO: ZME MEZ 01</p>	 <p>PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE</p>	
<p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN CILINDROS</p>			
<p>Revisó: Luis C. Roys</p>	<p>Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal</p>	<p>Fecha: 19/01/2016</p>	
<p>TAREA PROPUESTA</p>	<p>RESPONSABLES</p>	<p>INTERVALO</p>	
<p>Deben ser inspeccionadas cuidadosamente las superficies de trabajo, donde actúen vástagos y tubos, verificando que no presenten ranuras, golpes o rebarbas.</p>	<p>-Operario. -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semestral</p>	
<p>Se recomienda que todos los retenedores sean substituidos por nuevos, aunque no presenten daños o desgastes.</p>	<p>-Operario. -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semestral</p>	
<p>Verificar siempre que los elementos desmontados estén bien lubricados, constatando de esa manera la eficiencia de los sistemas de lubricación.</p>	<p>-Operario.</p>	<p>Semestral</p>	
<p>Verificar fugas, los cuales se pueden verificar por reducción en las velocidades de desplazamiento o por perdidas de potencia.</p>	<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento</p>	<p>Diario</p>	
<p>Realizar limpieza superficial de los cilindros.</p>	<p>-Operario.</p>	<p>Diario</p>	
<p>Revisar cables de alto voltaje mediante cámara termográfica de conectores, pulsadores, aparatos de medición y caja de protección y hacer cambios de ser necesario.</p>	<p>-Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento</p>	<p>Bimensual</p>	
<p>Realizar una revisión general de todo el sistema eléctrico.</p>	<p>-Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento</p>	<p>Anual</p>	


Fuente: Autor del proyecto.

TABLA 17: P.O.E a realizar en los motovibradores y motoreductores.

<p>P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.</p>	<p>PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 CÓDIGO: ZME MEZ 01</p>	 <p>PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE</p>	
	<p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN LOS MOTOVIBRADORES Y MOTOREDUCTORES</p>		
<p>Revisó: Luis C. Roys</p>	<p>Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal</p>	<p>Fecha: 19/01/2016</p>	
<p>TAREA PROPUESTA</p>	<p>RESPONSABLES</p>	<p>INTERVALO</p>	
<p>Sustitución de los rodamientos y e inspección del estado de las piezas internas del motovibradores MVSI 3/200 las cuales se deben reemplazar.</p>	<p>-Operario. -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Anual o Cada 8000 horas de funcionamiento</p>	
<p>Para el mantenimiento de los motoreductores se deben controlar los siguientes ítems: -Limpieza de superficie. -Revisar temperaturas límites que estén entre 15°C a 40°C -Lubricar los rodamientos. -Revisar ruidos extraños en los rodamientos. -Revisar vibraciones</p>	<p>-Operario. -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semanal</p>	
<p>Revisar conexiones eléctricas tanto en los motovibradores como en los motoreductores. -Tomar voltaje y amperaje. -Revisar rodamientos y cambiar si es necesario. -Revisar sellos. -Revisar embobinado. -Revisar y engrasar los sellos.</p>	<p>-Auxiliar eléctrico. -Jefe de mantenimiento</p>	<p>Mensual</p>	


Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 18: P.O.E a realizar en la banda transportadora.

<p>P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.</p>	<p>PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 CÓDIGO: ZME MEZ 01</p>		
<p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN LA BANDA TRANSPORTADORA</p>		<p>PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE</p>	
<p>Revisó: Luis C. Roys</p>	<p>Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal</p>	<p>Fecha: 19/01/2016</p>	
<p>TAREA PROPUESTA</p>		<p>RESPONSABLES</p>	<p>INTERVALO</p>
<p>Verificar estado físico de la banda y de las estaciones de carga y retorno; verificando el estado de los motoreductores.</p>		<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semanal</p>
<p>Realizar engrase de chumaceras y rodillos.</p>		<p>-Operario. -Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semanal</p>
<p>Se programa un mantenimiento general anual de la banda transportadora, con el cambio de la banda, cambio de rodamientos, chumaceras y rodillos</p>		<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.</p>	<p>Anualmente o cada vez que sea necesario</p>


Fuente: Autor del proyecto.

Tabla 19: P.O.E a realizar en el transportador sinfín.

<p>P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.</p>	<p>PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 CÓDIGO: ZME MEZ 01</p>		
<p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN EL TRANSPORTADOR SINFÍN</p>		<p>PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE</p>	
<p>Revisó: Luis C. Roys</p>	<p>Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal</p>	<p>Fecha: 19/01/2016</p>	
<p>TAREA PROPUESTA</p>		<p>RESPONSABLES</p>	<p>INTERVALO</p>
<p>Realizar limpieza de la superficie y revisar vibraciones. Revisar chumaceras y rodamientos.</p>		<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semanal</p>
<p>Lubricar y revisar el estado de las chumaceras y rodamientos, además de las soldaduras.</p>		<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.</p>	<p>Semanal</p>
<p>Revisar el desgaste del canal.</p>		<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.</p>	<p>Mensual</p>
<p>Revisar alineación del tornillo.</p>		<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento</p>	<p>Mensual</p>
<p>Revisión general del transportador sinfín</p>		<p>-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.</p>	<p>Anual</p>

Fuente: Autor del proyecto.

TABLA 20: P.O.E a realizar en el mezclador.

P.O.E PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS ESTÁNDAR.	PLANTA MEZCLADORA DE CONCRETO ALTRON AM-25 CÓDIGO: ZME MEZ 01		
MANTENIMIENTO PREVENTIVO A REALIZAR EN EL MEZCLADOR		PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE	
Revisó: Luis C. Roys	Elaboró: Jaime Jeanpierre Bernal	Fecha: 19/01/2016	
TAREA PROPUESTA	RESPONSABLES	INTERVALO	
Revisar que el mezclador que este vacío en las mañanas antes de comenzar con la producción.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
Revisar los niveles de aceite en reductor de mezclador (Aceite ISO 220), aplicar aceite si es necesario	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
- Lubricar con grasa EP0 y grasa EP2 los rodamientos del mezclador por medio del sistema centralizado de lubricación. Además, engrasar los piñones y catalinas del reductor y mezclador.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
Lavar con alta presión el mezclador al final de la operación diaria o después de una parada de máquina.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento. -Operario.	Diario	
Comprobar que la compuerta de descarga del mezclador esté limpia y libre de cualquier objeto, concreto o partículas extrañas.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
Girar manualmente para comprobar la holgura en todas las paletas al piso y las paredes antes de arrancar la máquina.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento.	Diario	
Revisar el nivel de aceite hidráulico en el depósito de batería utilizando el visor	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.	Semanal	
Comprobar la tensión de la correa de transmisión y la condición del sistema neumático y ajustar si es necesario.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	Semanal	

Revisar la condición del piso y de las paredes de algún daño o imperfección.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.	Semanal.
Revisar el nivel de aceite del reductor del mezclador por medio de la mirilla	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	Diario
Cambio de aceite de la caja de cambios del motoreductor del mezclador	-Jefe de mantenimiento	Anual o cada 4.000 horas
Luego de la primera semana de uso aplicar soldadura DUROWELD 650 a las paletas ya los raspadores para alargar su vida útil; pasadas dos semanas cambiar las paletas.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento -Operario.	Semanal
Cambio completo del encamisado de protección del casco interior del mezclador, rodamientos, correas, empaques, retenedores y aceite.	-Auxiliar mecánico. -Jefe de mantenimiento	Anual
Mantenimiento general anual de todos los motores de la planta mezcladora en Motores & Motores	-Jefe de mantenimiento	Anual

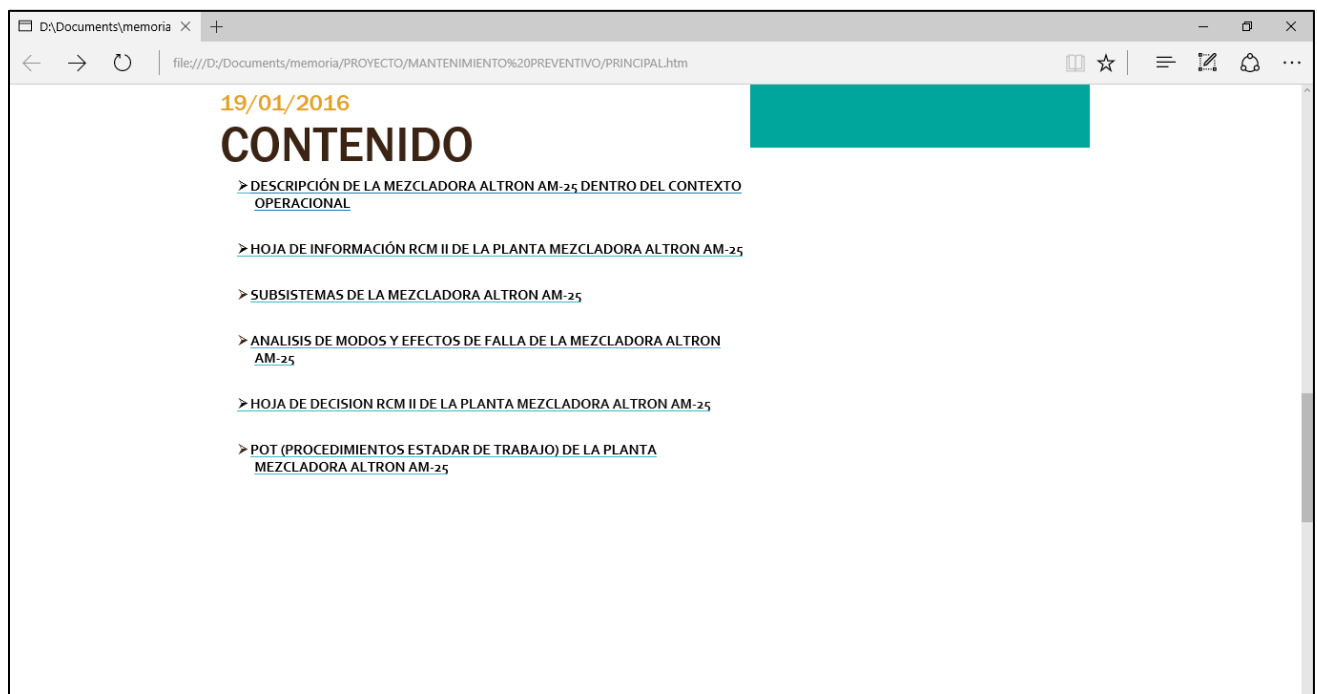
Fuente: Autor del proyecto.

ANEXO G. MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM II, EN FORMATO WEB HTM.

En la siguiente imagen, podemos apreciar la página inicial del Manual De Mantenimiento Preventivo Centrado En La Confiabilidad RCM II, DE LA PLANTA ALTRON M-25, DE LA EMPRESA PRETECOR LTDA.



La siguiente imagen muestra el menú de contenidos. El manual completo, se encuentra adjunto en el CD, N° 1.



ANEXO H. HOJA DE ASISTENCIA A CAPACITACIÓN

CONTROL ASISTENCIA CAPACITACIÓN / REUNIÓN	Encargado: Jaime Jeanpierre Bernal		
	Facilitador: Luis C. Roys	PRETENSADOS DE CONCRETO DEL ORIENTE	
Fecha: 19/01/2016	Hora: 8:00 am - 12:00 m	Lugar: Aula de reuniones PRETECOR.	
Tipo de actividad:	Capacitación ✘	Reunión	
Objetivo:	Socializar y capacitar el plan de mantenimiento RCM II al personal involucrado en el mantenimiento y operación de la planta mezcladora ALTON AM-25.		
Tema tratado:	<p>La capacitación busca entender el proceso RCM II llevado a cabo en la planta mezcladora, también busca explicar el AMEF, las hojas de decisión y los planes de mantenimiento de la planta mezcladora ALTRON AM-25.</p> <p>Además, busca orientar al personal en el manejo de las fallas y los procedimientos que se deben realizar en caso de que éstas ocurran; de manera general buscar mejorar la compresión del activo y mejorar la disponibilidad operacional del mismo.</p>		
PARTICIPANTES			
#	NOMBRE COMPLETO	C.C	CARGO
1	LUIS CARLOS ROYS PACHECO	1'090.123.876	Ingeniero producción y mantenimiento
2	VLADIMIR MOYA MOYA	6'871.640	Jefe de mantenimiento
3	DAVID CHAPARRO PÉREZ	32'672.909	Auxiliar de mantenimiento
4	GERMAN DÍAZ DÍAZ	1'097.678.966	Mecánico 1
5	JULIÁN RODRÍGUEZ DÍAZ	37'942.834	Mecánico 2

6	JOSÉ CARVAJAL BERNAL	5'678.890	Mecánico 3
7	LUIS DELGADO BOTERO	1'099.282.004	Mecánico 4
8	ARMANDO CABALLERO DURÁN	86'998.992.	Auxiliar mecánico
9	JOSÉ GUILLERMO ARENAS	32'672.909	Operario mezcladora 1
10	CARLOS ANDRÉS MOSQUERA	48'346.972	Operario mezcladora 2
12	ARLEY CAMACHO DÍAZ	36'771.127	Operario mezcladora 3
11	SIGIFREDO ZABALA LAGOS.	12'252.666	Operario mezcladora 4
12	EUBERTO NIÑO OLARTE	9'592.720	Operario mezcladora 5
13	VIDAL RODRÍGUEZ MORA	1'091.812.828	Auxiliar mezcladora.