

CREACIÓN E IMPLANTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO
BASADO EN CONFIABILIDAD PARA LA EMPRESA OBRAS ESPECIALES
OBRESCA C.A, PARA MEJORAMIENTO DE RECURSOS ECONÓMICOS Y
VIDA ÚTIL DE LOS EQUIPOS.



CARLOS ARTURO CASTELBLANCO MARTINEZ
IVAN DARIO CAÑON ROJAS

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
ÁREA DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA Y DESARROLLO
BOGOTÁ D.C.
2008

CREACIÓN E IMPLANTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PROACTIVO
BASADO EN CONFIABILIDAD PARA LA EMPRESA OBRAS ESPECIALES
OBRESCA C.A PARA MEJORAMIENTO DE RECURSOS ECONÓMICOS Y VIDA
ÚTIL DE LOS EQUIPOS.



CARLOS ARTURO CASTELBLANCO MARTINEZ
IVAN DARIO CAÑON ROJAS

Trabajo de grado presentado como prerrequisito para el título de ingeniero
mecánico

UNIVERSIDAD LIBRE DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECÁNICA
AREA DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍA Y DESARROLLO
BOGOTÁ D.C.
2008

Nota de Aceptación:

Germán Pardo A.
Director del Proyecto

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

A mis padres Carlos Alberto Castelblanco y Delma Martínez, a mis hermanas Alexandra Castelblanco Martínez y Nataly Castelblanco Martínez, gracias por sus consejos, cariño, dedicación, apoyo, esfuerzo y su gran empeño en lograr convertirme en una persona de bien y con un gran futuro por delante. Futuro, en donde tendré siempre presente cada una de sus palabras y el buen ejemplo de cada uno de ustedes.

A mis sobrinas, Maria Isabel Dipietro y Sofia Dipietro, por aportar tanta alegría y unión al hogar, además de ser otra razón de peso para salir adelante.

A todos mis familiares que me apoyan incondicionalmente.

A mis amigos, amigas, compañeros y docentes que me han acompañado, enseñado y ayudado.

CARLOS ARTURO

A Dios por ser mi más importante guía durante mi trayectoria y formación como ingeniero mecánico.

A mi padre Moisés Cañón y a mi madre Esperanza Rojas quien con su apoyo incondicional, me han ayudado a cumplir mis metas y a fortalecer mis sueños para ser el profesional que tanto llena de orgullo a mi familia.

A mis hermanos Jeimy Johana Cañón y Wilson Cañón por su compañía y colaboración a lo largo de mi carrera.

A mi novia Jenny Milena Usme por estar conmigo y ser una inspiración para obtener el título de ingeniero y de esta forma cumplir mis metas trazadas a lo largo de mi vida.

A mis profesores y compañeros por la colaboración y enseñanza brindada durante estos años de carrera.

IVÁN DARÍO

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Iván Darío Gómez Lozano, Ingeniero Mecánico, docente de la Universidad Libre por su importante orientación y asesoría para la realización de este proyecto y por su colaboración incondicional.

Julio Espinel, Representante legal de la empresa OBRESCA C.A. y al Ingeniero Germán Pardo, vicepresidente de la empresa OBRESCA C.A. técnico y director de tesis, quienes nos permitieron realizar nuestro trabajo de grado enfocado hacia sus activos más importantes y significativos de la compañía, así como también nos permitieron el ingreso a las obras y trabajos en donde se encontraban los equipos.

Alfonso Ibagón, Técnico Mecánico, encargado del departamento de mantenimiento, quien nos suministró información y documentación fundamental para llevar a cabo nuestro proyecto.

A los todos los operarios de maquinaria y equipos, y obreros, quienes nos ayudaron y colaboraron en información técnica complementaria, importante para el desarrollo de nuestro trabajo de grado.

A la empresa de obras especiales OBRESCA C.A. y todos sus funcionarios administrativos.

A todos y cada uno de las personas que de una u otra forma se involucraron en el desarrollo de este proyecto, implantación de un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	11
RESUMEN.....	13
INTRODUCCIÓN	15
PROBLEMA	16
DESCRIPCIÓN.....	19
OBJETIVO GENERAL.....	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
JUSTIFICACIÓN	22
FORMULACIÓN.....	23
SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	24
VARIABLES DEL PROBLEMA	25
1. MARCO REFERENCIAL	26
1.1 ANTECEDENTES	26
1.1.1 principios del mantenimiento.....	27
1.1.2 Principios y conceptos básicos del mantenimiento.....	29
1.1.3 catálogos y fichas técnicas	30
1.1.4 niveles de mantenimiento	30
2. MARCO TEORICO.....	32
2.1 ¿Qué es mantenimiento?	32
2.1.1 características del personal de mantenimiento.	32
2.1.2 Tipos de Mantenimiento.....	34
2.1.2.1 Mantenimiento correctivo.....	34
2.1.2.2 mantenimiento preventivo.	35
2.1.2.3 mantenimiento predictivo.....	36
2.1.2.4 mantenimiento proactivo.....	37
2.1.3 Implementación del MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad).....	40
3. DIAGNÓSTICO	50
3.1 metodología del diagnóstico	50
3.1.1 Evaluación del inventario	52
3.1.2 clasificación de los equipos	54
3.1.3 sistema de codificación de los equipos	55
3.1.4 recolección de información de los equipos	58

3.1.5	Diseño de hojas de vida	59
3.1.6	aplicación de las hojas de vida según su diseño a todos los equipos.....	60
3.1.7	bases de programación.....	65
3.1.8	listado de proveedores	68
3.1.9	Recolección históricos de fallas.....	72
3.1.10	calculo de criticidad	73
3.1.10.1	Teoría del riesgo	73
3.1.11	diseño de los AMEF (Análisis de modo y efecto de falla)	77
3.1.11.1	Estándar de funcionalidad.....	78
3.1.11.2	Falla funcional	78
3.1.11.3	Modo de falla	79
3.1.11.4	Efecto de falla.....	80
3.1.11.5	Frecuencia de eventos por año	80
3.1.11.6	Acción de mantenimiento	81
3.1.12	AMEF de los equipos críticos.....	81
3.2	herramientas de gestión	105
3.2.1	Software para Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM++	105
3.2.1.1	Software de Análisis de Datos de Vida Weibull++ 7	105
3.2.2	Ingreso de datos al RCM ++ 4	107
3.2.3	Ingreso de datos al software	111
3.2.4	Análisis y resultados de los equipos críticos en el software.....	115
3.2.5	Reprogramación de actividades de mantenimiento basado en confiabilidad.....	142
3.3.1	Reprogramación de actividades de mantenimiento para la excavadora Komatsu PC 300 (EXC-EK-03):	144
3.3.2	Reprogramación de actividades de mantenimiento para la excavadora Komatsu PC 300 (EXC-EK-04)	145
3.3.3	Reprogramación de actividades de mantenimiento para la Finisher Caterpillar AP 1200 (PAV-FC-11)	146
3.3.4	Reprogramación actividades de mantenimiento para la Motoniveladora Caterpillar 12E (PAV-MC-12)	148
4.	ESTUDIO FINANCIERO.....	153
5.	INGENIERÍA DEL PROYECTO.....	157
	CONCLUSIONES.....	158
	RECOMENDACIONES	160
	BIBLIOGRAFÍA.....	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Evolución del mantenimiento	27
Figura 2. Ciclo de vida de un equipo.....	34
Figura 3.Esquema general de la implementación del MCC.....	42
Figura 4. Ejemplo de un modelo de criticidad	43
Figura 5. Metodología del diagnostico	51
Figura 6. Falla funcional.	78
Figura 7. Frecuencia de eventos por año.....	80
Figura 8. Software de análisis weibull++7	106
Figura 9.Parámetros AMEF	107
Figura 10. Ingreso de datos del sistema	108
Figura 11. Selección de equipamiento.....	108
Figura 12. Sistema y subsistema.....	109
Figura 13. Árbol de análisis de modo y efecto de falla (AMEF).....	109
Figura 14. Edición de la causa.....	109
Figura 15. Edición de la acción.....	110
Figura 16. Edición de control	110
Figura 17. Ingreso de datos al programa	111
Figura 18. Herramientas de desarrollo.....	112
Figura 19. Asistente para distribuciones	112
Figura 20. Cojín de cálculos rápidos (QCP).....	113
Figura 21. Configuración simulación Lognormal	114
Figura 22. Información de garantía (Tiempo) excavadora (EXC-EK-03).....	116
Figura 23. Calcula Probabilidad estadística (confiabilidad) excavadora (EXC-EK-03)	118
Figura 24. Calculo probabilidad estadística excavadora (EXC-EK-03).....	120
Figura 25. Cálculos condicionales (Confiabilidad) excavadora (EXC-EK-03).....	122
Figura 26. Tasa de falla excavadora (EXC-EK-03)	123
Figura 27. Vida promedio excavadora (EXC-EK-03).....	126
Figura 28. Información de garantía (Tiempo) sistema de levante.....	129
Figura 29. Calcula Probabilidad estadística (confiabilidad) sistema de levante.....	131
Figura 30. Calculo probabilidad estadística sistema de levante	133
Figura 31. Cálculos condicionales (confiabilidad) sistema de levante	135
Figura 32. Tasa de falla sistema de levante.....	136
Figura 33. Vida promedio sistema de levante	139

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables del problema.	25
Tabla 2. Criterio para la determinación de criticidad de sistemas.....	43
Tabla 3. Presentación de los resultados (Criticidad)	44
Tabla 4. Clasificación de los equipos según tipo de trabajo	55
Tabla 5. Siglas según tipo de trabajo	56
Tabla 6. Codificación Excavadora Komatsu (EXC-EK-04)	56
Tabla 7. Codificación equipos OBRESCA C.A.....	57
Tabla 8. Lista de proveedores.....	69
Tabla 9. Criterio para la determinación de criticidad del sistema.....	73
Tabla 10. Cuantificación de criticidad.....	74
Tabla 11. Modo de falla	79
Tabla 12. Efecto de falla	80
Tabla 13 . Acción de mantenimiento	81
Tabla 14. FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)	
Tabla 15. Tipos de distribución y parámetros.....	113
Tabla 16. Calendario equivalente	143
Tabla 17. Matriz de indicadores de gestión para la empresa OBRESCA C.A.	151
Tabla 18. Flujo de caja.....	154

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Distribución exponencial.....	46
Grafica 2. Distribución Weibull.....	47
Grafica 3 . Distribución Lognormal.....	48
Grafica 4. Curva de la vida útil.....	48
Grafica 5. Registro de mantenimiento OBRESCA.....	72
Grafica 6. Resultados distribución lognormal.....	114
Grafica 7. Simulación probabilidad lognormal.....	115
Grafica 8. Probabilidad logarítmica excavadora (EXC-EK-03).....	117
Grafica 9. Confiabilidad vs. Tiempo excavadora (EXC-EK-03).....	119
Grafica 10. Desconfiabilidad vs. Tiempo excavadora (EXC-EK-03).....	121
Grafica 11. PDF excavadora (EXEK-03).....	124
Grafica 12. Histograma de fallas excavadora (EXEK-03).....	125
Grafica 13. Simulación probabilidad logarítmica normal excavadora (EXEK-03).....	127
Grafica 14. Zoom probabilidad logarítmica normal excavadora (EXEK-03).....	128
Grafica 15. Probabilidad weibull sistema de levante.....	130
Grafica 16. Confiabilidad Vs tiempo sistema de levante.....	132
Grafica 17. Desconfiabilidad Vs tiempo sistema de levante.....	134
Grafica 18. PDF sistema de levante.....	137
Grafica 19. Histograma sistema de levante.....	138
Grafica 20. Simulación probabilidad Weibull sistema de levante.....	140
Grafica 21. Zoom Weibull sistema de levante.....	141
Grafica 22. Flujo de caja.....	156

GLOSARIO

Base de Programación: base de datos que contiene los siguientes campos: código del equipo, nombre del equipo, nivel de mantenimiento, intervención, frecuencia, reparación, tipo de repuesto, tiempo de intervención, tiempo productivo y laboratorio.

Codificación: es el número asignado a cada equipo con el que se identificara siempre y será el mismo que se encuentra en las hojas de vida, listas de chequeo y demás documentos relacionados. Este debe ser lo mas corto posible y elocuente con una serie de características.

Confiabilidad: se define como la garantía que se obtiene de un equipo para que opere y cumpla sin fallas en un tiempo determinado.

Disponibilidad: por disponibilidad se entiende la proporción de tiempo en que está dispuesto un equipo para la producción respecto al tiempo total. Esta disponibilidad depende de dos factores críticos: la frecuencia de las averías, y el tiempo necesario para reparar las mismas.

Fallas: decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debía darnos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el equipo.

Fiabilidad: es un índice de la calidad de las instalaciones y de su estado de conservación, y se mide por el tiempo medio entre averías.

Frecuencia: es el tiempo que hay entre cada intervención. Este tiempo es sugerido por el fabricante y/o recalculado por el encargado o responsable de mantenimiento de acuerdo a sus necesidades. Determina la periodicidad que debe tener cada actividad de mantenimiento.

Hoja de Vida: este documento en realidad es la base de información para el mantenimiento, y su fin es llevar los históricos de toda actividad que se haga, implementos, repuestos y eventualidades ocurridas sobre el equipo. Para cada equipo debe diseñarse una hoja de vida diferente sin importar que existan dos o más equipos iguales y de las mismas características, debido a que a través del tiempo estos se comportaran de diferente manera y tendrán diferentes operarios y posiblemente no trabajen con la misma intensidad horaria.

Indicadores de Gestión: es un documento que ayuda a administrar y controlar toda actividad que se ejecute, además de prevenir sobre posibles fallas recurrentes en los equipos. Para este caso fueron diseñados para el control de la eficiencia del plan de mantenimiento.

Indicadores de Mantenimiento: son parámetros cuantitativos de control que permiten determinar el comportamiento y la efectividad del sistema de mantenimiento. Estos parámetros son absolutos o relativos.

Intervención: es toda actividad que se realice a un equipo donde su finalidad es efectuar cambios, calibraciones, limpiezas o mediciones que mantengan o mejoren sus condiciones normales de funcionamiento, sin importar que el equipo se encuentre en funcionamiento o fuera de servicio.

Lista de Chequeo: también llamada Check List, consiste en diseñar una rutina de inspección y verificación periódica en todos los equipos existentes, por medio de un formato que será diligenciado por el operario de cada equipo.

Mantenibilidad: es representado por una parte de la bondad del diseño de las instalaciones y por otra parte de la eficacia del servicio de mantenimiento. Se calcula como el inverso del tiempo medio de reparación de una avería.

Repuestos de Alta Rotación: son aquellos que se consumen frecuentemente y por tal razón es necesario tener una cantidad determinada para suplir los requerimientos de consumo de repuesto.

Repuestos de Baja Rotación: son aquellos cuyo consumo no es frecuente ya sea por su larga vida útil, alto costo o su bajo requerimiento.

Talento Humano: personal que posee el departamento para la ejecución de sus tareas. Este término es usado en la actualidad, para referirse a toda aquella persona que intervengan de forma directa o indirecta.

Tiempo de Intervención: tiempo en el que el equipo se encuentra parado o fuera de servicio debido a una intervención programada con anterioridad.

Tiempo de Operación: tiempo en el que el equipo se encuentra en funcionamiento.

Vida Útil: lapso de tiempo en el cual el fabricante garantiza un normal funcionamiento bajo condiciones normales.

RESUMEN

Se realizó un análisis de la documentación existente en la empresa OBRESCA C.A, así como también visitas técnicas a los sitios en donde se encontraba cada uno de los equipos, con el fin de hacer un diagnóstico y una evaluación de los mismos. Se clasificaron y codificaron los equipos. Una vez obtenida dicha información, se diseñó la hoja de vida, aplicándola a los 28 equipos existentes, teniendo en cuenta bases de programación y técnicos recomendados. Se aplicó el análisis de criticidad y se diseñaron los AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla) aplicándolos según los históricos de fallas suministrados por el departamento de mantenimiento. Los AMEF son parte fundamental para ingresar los datos necesarios al software de confiabilidad Weibull++7 de ReliaSoft. Dicho software permite realizar la nueva reprogramación de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad. Los AMEF se implementaron en el software RCM++4 de ReliaSoft con el fin de determinar el cronograma de actividades. Por último se diseñaron los indicadores de gestión.

PALABRAS CLAVES:

Confiabilidad – Mantenimiento Proactivo – Maquinaria – Listas de Chequeo – Hojas de Vida – Bases de Programación – Software RCM++ Y Weibull – Indicadores de Gestión.

ABSTRACT

We assessed an analysis of existing documentation of equipment belong to OBRESCA C.A. As well, we performed technical visits to sites where equipments were placed, in order to make a diagnosis and an assessment. We classified and encoded the equipment. Once obtained such information, we designed the resume and we applied it to the 28 existing equipments, taking into account programming and technical bases recommended. We applied the analysis of criticality and designed the AMEF (Analysis of Mode and Effect Failure) to critical equipment. We applied the analysis according to records of faults supplied by the maintenance department. The AMEF's are essential parts to obtain the necessary data to run the reliability software Weibull++7 of ReliaSoft, which lead us to perform the new rescheduling of proactive maintenance based in reliability. The AMEF's were implemented in the software RCM++4 of ReliaSoft with the objective of establishing the schedule of activities. Finally, we designed the management indicators.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la necesidad que tiene OBRESCA C.A, empresa de construcciones y obras civiles, de aumentar la confiabilidad de sus equipos, cumpliendo con los contratos establecidos, tener una situación económica y financiera más eficiente y estable, se optó por la creación e implantación de un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad. Además la empresa cuenta con gran variedad de equipos, en donde se incluyen algunos de alto nivel tecnológico por lo tanto costosos. Es importante que aporten positivamente a la empresa siendo rentables y prolongar su vida útil de funcionamiento.

Analizando la teoría relacionada con el tema, y estudiando la situación actual de la empresa, se definen los conceptos básicos y se describe el proceso que se desarrolló para crear e implementar un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad para los equipos.

PROBLEMA

Mirando los antecedentes de fallas de los equipos y cuando sumamos los costos de mantenimiento en la empresa OBRAS ESPECIALES OBRESCA C.A., hay que sumar más que repuestos, aceites, herramientas y mano de obra. El costo es mayor, cuando tenemos en cuenta el tiempo que dura el equipo detenido mientras se hace un mantenimiento preventivo, y mas aún cuando se hace un mantenimiento correctivo no programado; son horas y hasta días reparando determinado equipo lo que afecta los contratos y las fechas límites para la entrega de trabajos por lo tanto se afecta también la imagen y la economía de la empresa.

Uno de los problemas que se ven en la empresa es que a causa de trabajar una maquina, con alguna pieza o repuesto en mal estado, se afectan también otras piezas y partes, por lo tanto también tendrán que ser reemplazadas o reparadas prematuramente lo cual obviamente incrementa los costos y afecta negativamente la economía de la empresa. Un ejemplo particular de estos, es el caso de la retroexcavadora JCB 214 que se trabajó durante algún tiempo con la bomba hidráulica principal en mal estado y a causa de esto y por forzar el sistema hidráulico de forma inadecuada, no había solución solamente reparando dicha bomba. Esta había que cambiarla por una nueva. También a causa de trabajar la máquina en estas condiciones no hubo que cambiarle solamente la bomba hidráulica sino que también, había que cambiarle la válvula principal hidráulica y un solenoide que controla el mando del 4x4 que también es hidráulico.

Como es de esperarse esto conllevó a un sobre costo no planeado por la empresa (la bomba nueva costó 5.5 millones. mas 2.8 millones del solenoide y la válvula principal, para un total 8'300.000. sin contar las perdidas por el tiempo que estuvo el equipo fuera de operación). Este sobre costo se hubiera podido evitar, o bien por un mantenimiento proactivo, o si ya esta hecho el daño en la pieza, repararla oportunamente para que no se afecten las otras partes, piezas y/o repuestos (en este caso el costo de reparación de la bomba hidráulica hubiese sido de 2.5 millones aproximadamente es decir un ahorro de 5.8 millones). Esto es por nombrar solo un ejemplo, casos similares se ven muy frecuentemente con el resto de equipos y maquinaria, además no es solo en los subsistemas hidráulicos.

Por otro lado la empresa tiene gran cantidad de maquinaria distribuida por todo el país (Medellín, Santamaría, Bogotá), lo cual dificulta su monitoreo, mantenimiento, reprogramación de mantenimiento, reparaciones, distribución y asignación de los repuestos, entre otros.

El personal a cargo de manejar los equipos puede estar operando de manera inapropiada la maquinaria (en algunos casos). Es por esto que es conveniente desplazarse al lugar donde se encuentra en funcionamiento el equipo, hacer monitoreo visual en cuanto al manejo y estado del equipo y entrevistarse con el operario para determinar así fallas o “vicios” que tiene el personal a la hora de manejar la maquinaria que ocasionaría daños prematuros o en un futuro. Es así como se puede de manera paulatina cambiar algunos “mitos”, malos hábitos y mala forma de manipular la maquinaria por parte de los operarios experimentados, como es el caso de las moto niveladoras y las compactadoras. Parte del problema mencionado anteriormente es la falta de capacitación y entrenamiento del personal.

La empresa no cuenta con alguna información como, catálogos de maquinaria, manuales de maquinaria, manuales de operación del equipo determinado etc. Por lo tanto el operario y el personal de mantenimiento no tiene una guía adecuada para efectuar un mantenimiento preventivo y un manejo conveniente, que es una de las bases para implantar el mantenimiento proactivo basado en confiabilidad.

OBRAS ESPECIALES OBRESCA C.A. cuenta con gran variedad y número de maquinaria (listado de maquinaria anexado en este documento), algunas en muy mal estado que ofrecen un bajo porcentaje de confiabilidad y un gran costo en reparaciones no programadas, ya que se han limitado a hacerle mantenimiento bajo parámetros establecidos en algunos manuales sin tener en cuenta condiciones de trabajo y/o posibles fallas que requieren atención y seguimiento, para una reprogramación del mantenimiento.

También se cuenta con maquinaria nueva, costosa y de última generación que actualmente se encuentra funcionando en perfectas condiciones, (como es el caso de dos excavadoras Komatsu PC 300 modelo 2006 cuyo costo es de casi 400 millones cada una). Pero estas no están exentas en el futuro, y porque no, en el presente, de posibles fallas en cualquiera de sus mecanismos ya sea por mal manejo o por mal mantenimiento. Estos equipos (y otros más, propiedad de OBRESCA CA) están compuestos de muchos sistemas y subsistemas (hidráulico, neumático, eléctrico, mecánico, electrónico, etc.), cada uno de ellos de alta tecnología y complejidad, los cuales requieren ser estudiados uno por uno adecuadamente para un correcto seguimiento del funcionamiento de dichos subsistemas, para hacer reprogramaciones y/o correcciones que se requieran según el caso. Con lo anterior pretendemos alargar de manera adecuada la vida útil del equipo, por lo tanto la inversión del capital se verá claramente beneficiada.

Pero así como se cuenta con las excavadoras mencionadas en el ejemplo anterior, también se cuenta con maquinaria similarmente compleja mecánicamente y costosa en cuanto a equipo, mantenimiento y repuestos se refiere. Estos han presentado fallas prematuras, por lo tanto, estadísticamente se reduce el porcentaje de confiabilidad de los equipos y aumenta el costo por reparaciones en

el caso de los últimos 5 años esto ha sido un factor determinante para la regular estabilidad económica de la empresa.

A nuestro criterio, las máquinas o equipos no han sido guardados o parqueados en lugares apropiados, ya que para ahorrar costos en parqueaderos bajo techo y debidamente cubiertos y protegidos de la intemperie, se opta por guardar dicha maquinaria en potreros o al aire libre, en donde no hay protección alguna, lo que conlleva a la corrosión, desaseo, y envejecimiento prematuro de los equipos aumentando el costo por devaluación en la empresa. Dando un ejemplo de esto, en un lote descubierto y al aire libre se paga en promedio 60.000 o 70.000 pesos mensuales por guardar una maquina de tamaño mediano. Por esta misma máquina en una bodega debidamente cubierta y protegida de la intemperie, se paga en promedio 120.000 o 140.000. por lo tanto actualmente se opta por lo mas económico (a la intemperie), un “ahorro” relativo por maquina de 60.000 pesos pero con el pasar del tiempo, este ahorro tiene que salir mucho mas costoso, ya que se ha ocasionado corrosión prematura en el equipo, en la pintura y partes vitales mecánicamente hablando. Lo que conlleva a reparaciones, cambios prematuros de repuestos, piezas y trabajos de pintura.

Un problema grave que se ve actualmente y en los últimos 5 años es la pérdida de licitaciones ya sean públicas o privadas frente a su competencia aquí en Colombia (INVIAS, ASSA, CHANGE`S, BIALPA, entre otros) ya que el contratante exige una intervención externa que verifica la correcta funcionalidad de todos y cada uno de los equipos junto con el personal y operarios de OBRESCA C.A. basados en normas establecidas y estandarizadas. Algo que desafortunadamente a perjudicado a la empresa en dichas licitaciones, ya que el contratante obviamente prefiere mas confiabilidad y mejor estado de los equipos y entrenamiento del personal a cargo, lo que ha dado ventaja a la competencia y perdida de oportunidades de contratos, por lo tanto se afecta negativamente la economía de OBRESCA C.A. en el año 2007 se perdieron tres licitaciones con el distrito y dos licitaciones nacionales lo que conllevó a cientos de millones perdidos a causa de equipos y maquinaria parada.

Como se puede apreciar más adelante en el listado de equipos de la empresa OBRESCA C.A. el monto de la inversión es muy grande, por lo tanto merece que se adecue el mantenimiento, para una mejor conservación y funcionamiento. Así mismo se sabe que algunas maquinas y equipos están en muy mal estado, como también otros en perfectas condiciones (nuevos y costosos), todos ellos, requiriendo una atención para mejorar y adecuar el mantenimiento, base para un buen funcionamiento de la empresa en general.

DESCRIPCIÓN

Como primera medida se recopila la información técnica de cada uno de los equipos y maquinaria, teniendo en cuenta la poca documentación en cuanto avaluos existentes en la empresa, lo cual es complementado con visitas a los lugares donde se encuentran dicha maquinaria, ya sea en su lugar de trabajo, en talleres o estacionados en lotes a la intemperie. Así mismo nos entrevistamos con operarios, técnicos e ingenieros de la empresa.

La mayoría de los equipos no contaban con sus fichas técnicas ni manuales de funcionamiento, por lo tanto se recurrió a conseguirlos en concesionarios o distribuidores. En los casos donde la maquina o equipo es muy antiguo y era imposible adquirir su ficha técnica, se optó por la realización de la misma por parte nuestra, basados en fichas técnicas de equipos similares con tecnología mas reciente y con capacidades similares.

El siguiente paso fue crear hojas de vida de cada uno de los equipos teniendo en cuenta la información técnica recopilada previamente. Las hojas de vida contienen información básica para una buena administración del mismo.

En las hojas de vida se incluyen datos generales del equipo, (fotos del estado actual, marca, serie, fecha de fabricación, fecha de compra e instalación, capacidad, potencia nominal entre otros). También es necesario saber que tipo de alimentación tiene el equipo (eléctrica, hidráulica, electrónica, neumática, etc.).

Es importante tener en cuenta dentro de las hojas de vida, datos fundamentales como características de las condiciones normales de funcionamiento, aplicando recomendaciones del fabricante del equipo, así como también actividades de mantenimiento (nivel 1 y 2) cuya información se encuentra en los catálogos o fichas técnicas. Cabe anotar que dentro de los equipos de la empresa muy pocos contaban con este tipo de información por lo tanto se optó por encontrarla en maquinas mas modernas pero que cumplen con el mismo o similar estándar de funcionalidad, en el caso imposible de encontrar estos catálogos o fichas técnicas, estos fueron elaborados por parte nuestra, teniendo en cuenta consultas con operarios, técnicos, ingenieros y distribuidores especializados del equipo.

Un punto primordial en las hojas de vida es la programación de mantenimiento la cual viene de los puntos anteriormente mencionados. El fabricante debe recomendar cambio de piezas según las horas de servicio, antes de una falla

inminente. Así mismo se debe nombrar que tipo de calibraciones o mediciones se requiere así como sus frecuencias de intervención, para un funcionamiento y vida útil del equipo eficiente.

Se incluye también en las hojas de vida un listado de proveedores y técnicos especializados en el equipo, para que en caso de alguna falla sea fácil y rápido contactar un servicio de reparación y/o cambio de repuestos oportuno.

Una vez creadas las hojas de vida, procedimos a hacer los AMEF (Análisis de Modos y Efecto de Falla) de todos los equipos, en donde se utilizaron los históricos de fallas de la empresa OBRESCA C.A.

Para efectuar los AMEF, se crearon 9 columnas: 1.ítem, 2.Estándar de función, 3.número de falla funcional, 4.falla funcional, 5. código de modo de falla, 6. modo de falla, 7. frecuencia de evento por año, 8.efecto de falla y 9.acción de mantenimiento a ejecutar.

Es importante resaltar que no todos los equipos tienen una categorización de criticidad alta, por lo tanto no se hace necesario hacer una reprogramación de actividades de mantenimiento al 100% de los equipos de la empresa. Es por esta razón que posteriormente al AMEF, se hace un estudio de criticidad, y según los resultados obtenidos, los equipos no críticos o semicríticos continuarán con su plan de mantenimiento según las recomendaciones del fabricante, y se hará la creación e implantación de un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad, únicamente a los equipos críticos.

Para los equipos críticos se utiliza un software especializado teniendo en cuenta todos los datos obtenidos en el AMEF, con el fin de analizar la confiabilidad y dependiendo de resultados obtenidos mediante el software, se hace una reprogramación de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Basado en la situación actual y en las necesidades de la empresa OBRAS ESPECIALES OBRESCA C.A. Desarrollar e implantar un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad, para el aumento de la confiabilidad de los equipos, para su mayor producción

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Efectuar un diagnóstico de los equipos, talento humano. Repuestos y gestión actual, para determinar la eficiencia y gestión.
2. Efectuar y programara una puesta a punto de los equipos, para poner iniciar el plan de mantenimiento propuesto.
3. Diseñar y crear un sistema de información, documentación, catálogos, fichas técnicas y hojas de vida de los equipos, además de los formatos de gestión.
4. Efectuar la capacitación del talento humano operarios, supervisores y jefes, con el fin de lograr confiabilidad humana.
5. Calcular la confiabilidad de los equipos y cálculos de criticidad, con el fin de determinar las condiciones y exigencias iniciales del proyecto.
6. Desarrollar la documentación requerida que exige la estrategia de confiabilidad (AMEF, Reprogramación de intervenciones).
7. Diseñar indicadores de gestión acorde a la técnica propuesta, para garantizar la sostenibilidad del proyecto.

JUSTIFICACIÓN

Es necesario proponer un modelo de gestión para el plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad de los equipos de los la compañía obras especiales OBRESCA C.A ya que estos no cuentan con planeación de repuestos ni procedimientos definidos para eventuales mantenimientos preventivos ya que el uso de estos equipos esta dado por horas y no hay una gestión del mismo, sumado a esto están los equipos de alto costo que posee la compañía los cuales no cuentan con una planeación para su adecuado mantenimiento. Con el modelo de gestión para el plan de mantenimiento se conseguirá el rendimiento máximo de los diferentes equipos existentes, lo cual es de vital importancia para mejorar el servicio que cada uno de estos equipos y a la sociedad ya que serán más eficientes y por lo tanto se asegurara un mejoramiento continuo de los mismos.

Algo importante por aclarar es que los equipos que posee la multinacional obresca se encuentran en todo el territorio colombiano, lo cual hace que la movilización a estas obras sea dispendiosa y se cuente con ingresos para la evaluación y poder llevar a cabo la gestión e inspección de la maquinaria

FORMULACIÓN

Para darle una solución al problema existente, es necesario, desarrollar una serie de pasos. Esto incluye hacer y evaluar el inventario de los equipos de la compañía, y elaborando un diagnóstico general de los mismos se procederá a diseñar un modelo de gestión para el plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad, posterior a esto se propone un modelo administrativo para dicho plan con el fin de que sea estudiado e implementado en el futuro utilizando los recursos de la empresa; con lo cual se conseguirá un adecuado uso de los equipos de la empresa OBRESCA C.A., volviéndolos más eficientes cada día, conservando la función, vida útil de los equipos y una mejor economía en la empresa.

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

Existen máquinas y equipos fuera de servicio dentro de la empresa de obras civiles, obras especiales OBRESCA C.A.

No se está dando un mantenimiento planificado por personal capacitado a los equipos de la empresa de obras civiles, obras especiales OBRESCA C.A.

la empresa de obras civiles, obras especiales OBRESCA C.A. no cuenta con un departamento especializado que se encargue de la gestión adecuada del mantenimiento de los diferentes equipos y maquinaria.

No se tiene un historial completo y detallado de toda la maquinaria y equipos con que cuenta la empresa.

falta diseñar, crear e implantar un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad para la empresa obras especiales OBRESCA C.A para mejoramiento de recursos económicos y vida útil de los equipos.

No existe un procedimiento definido para eventos de mantenimiento correctivo.

No hay planeación de repuestos, por lo tanto se desconoce el correspondiente presupuesto.

Existen equipos de alto costo que no cuentan con una planeación para su adecuado mantenimiento.

VARIABLES DEL PROBLEMA

Deficiente funcionamiento de los equipos y prestación de sus servicios.

Maquinaria y equipos con que cuenta obras especiales OBRESCA C.A.

Capacitación del personal a cargo de la empresa OBRESCA C.A.

Mejoramiento continuo del servicio de construcción de obras civiles que presta OBRESCA C.A.

Normas de seguridad industrial vigentes para el adecuado aprovechamiento de los equipos.

Diseño de un modelo gerencial para el plan de mantenimiento para OBRESCA C.A.

Tabla . Variables del problema.

VARIABLES INDEPENDIENTES	VARIABLES DEPENDIENTES	VARIABLE INTERVINIENTE
Capacitación del personal a cargo	Maquinaria y equipos	Las normas de seguridad industrial vigentes
Adecuación de las instalaciones y redes existentes	Adecuada utilización de la maquinaria y equipos existentes	Manual de operaciones de cada máquina
Deficiente funcionamiento de la maquinaria y equipos	Mejoramiento continuo del servicio prestado	
	Diseño del modelo gerencial para el plan de mantenimiento	

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES

El desarrollo del plan de mantenimiento proactivo surge debido a la necesidad de optimizar los recursos económicos a favor de los equipos, ya que la organización del mantenimiento siempre se basó en un nivel básico (mantenimiento correctivo) el cual no es económicamente viable para la compañía.

Obras especiales Obresca C.A es una empresa que se desarrolla a nivel social ejecutando obras civiles de gran envergadura, lo cual ayuda al mejoramiento y crecimiento de la infraestructura del país

El desarrollo del plan de mantenimiento proactivo surge debido a la necesidad de optimizar los recursos económicos a favor de los equipos, ya que la organización del mantenimiento siempre se basó en un nivel básico (mantenimiento correctivo) el cual no es económicamente viable para la compañía.

Desde 1974 obras especiales Obresca C.A ha ejecutado la función del mantenimiento basándose en correctivos y preventivos, teniendo en cuenta que se realiza una frecuencia de intervenciones basadas en las recomendaciones del fabricante tales como engrase, cambios de aceite y filtros, lo cual hasta el día de hoy se sigue realizando. Aun así algunos equipos llegan a dañarse. Desde el punto de vista económico, estos hechos son sumamente costosos por concepto de mano de obra, repuestos y por lucro cesante.

El personal involucrado en el mantenimiento en los últimos años de una u otra forma han llegado a sufrir las consecuencias del mantenimiento correctivo quejándose en algunas ocasiones de la avería de las maquinas y la regular producción

Obras especiales Obresca C.A cuenta con mecánicos especializados y un jefe de equipos los cuales en los últimos años han ejecutado este tipo de mantenimiento correctivo y preventivo dando como resultado un 70% de confiabilidad

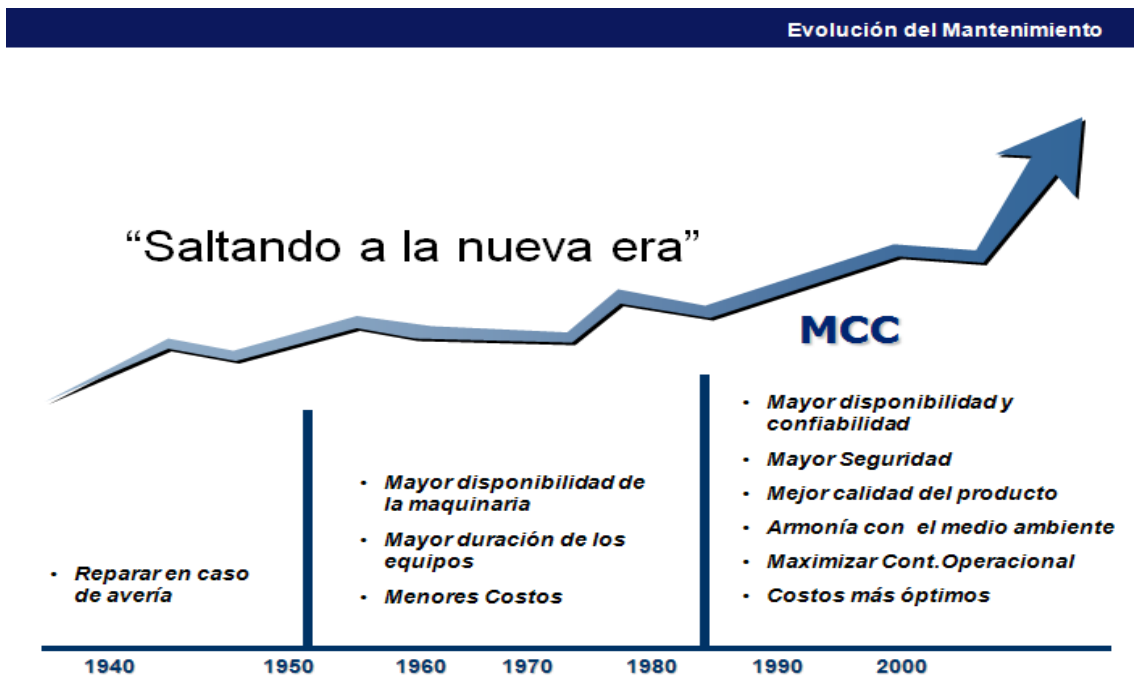
1.1.1 Inicios del mantenimiento

Al empezar a hablar de mantenimiento es vital introducir el tema de producción, ya que el cliente interno e inmediato de mantenimiento es producción. Por esta razón, es relevante proponer el tema durante la historia del mantenimiento.

Básicamente podríamos hablar de tres períodos o épocas productivas de la humanidad en los últimos dos siglos si de la industria se habla; no con la certeza de especificar un año en particular, pero con la seguridad que en ese tiempo, han ocurrido fenómenos o precedentes que marcan diferencias para resaltar.

Años atrás (dos siglos), existía una forma de producción, de tal manera que se elaboran artículos de consumo de primera necesidad además de alimentos, por tal razón se habla de la "Producción Artesanal": Donde se hace referencia a años anteriores al año 1850, época que se destacó la producción donde la mano de obra se resaltaba por ser un proceso en gran parte artesanal, implicaba el uso de herramientas básicas manuales, hornos, telares y otros. La facilidad de adquisición de las materias primas de dichos procesos era adquirida según la zona geográfica del sector productivo.

Figura . Evolución del mantenimiento



FUENTE: RCM manual Sevilla

Por lo tanto la llamada "época artesanal" aun que no existiera la producción como hoy se conoce, no significa que no existiera en esta época.

Los artículos fabricados en ese entonces, simplemente se basaban en necesidades primordiales para la subsistencia, fuera y muy lejos de pensar en el consumismo.

Posteriormente, se habla de la época de la producción, esta época es la que tuvo un mayor impacto en el contexto mundial, debido al amplio y acelerado crecimiento, que a la vez ha sido marcado drásticamente por eventos como: guerras, impactos ecológicos, sociales y culturales. De los años 1850 al 1975. Durante estos años se comienza a tomar en cuenta la producción en serie de diversos productos, la industrialización se toma como concepto fundamental.

Esta época se caracteriza por tener en funcionamiento equipos y maquinaria robusta, netamente mecánica, de materiales poco tecnificados, de igual manera la cantidad de personal requerida es numerosa y poco calificada. Indudablemente el evento más impactante en el contexto mundial de estos años es la segunda guerra mundial. Hecho que golpeó severamente a países como Francia, Japón, Alemania, Inglaterra, entre otros. Hasta los años treinta (30'S), el mantenimiento de estos equipos era netamente correctivo, y las teorías de fallas de los equipos se consideraban totalmente impredecibles.

Debido a la situación social y económica de los países implicados en la segunda guerra mundial, y al ver la necesidad de reiniciar la actividad económica con los pocos recursos que dicha guerra dejó, se comienza a hablar del mantenimiento preventivo, por lo tanto se inician las teorías de conservación y mantenimiento del equipo para prolongar su vida útil y reducir los costos.

Se comienza a notar por el mismo afán de conservación, que los elementos tienen un comportamiento rutinario y secuencial (concepto de la Vida útil).

Nueva Época: Después del año 1975, acontecen eventos que impactan de forma social y económica las actividades normales en sector industrial: La crisis petrolera de los años setenta (70'S), la contaminación ambiental generada en gran parte por la industrialización desmedida, la introducción abrupta de Computadores, nuevas tecnologías de producción, bloques económicos globalización, normalización de la producción. Estos eventos obligan al mantenimiento a acoplarse a los nuevos y consecutivos cambios del sector industrial. Es así como mantenimiento, y otras áreas de la ingeniería se han visto obligadas a mejorar continuamente, para ofrecer a los productos una calidad que mantenga la competitividad del mercado.

Viéndolo desde el punto de vista empresarial y por departamentos de producción, el mantenimiento es y será siempre un apoyo para producción, pero la producción depende de lo que generen las ventas y dichas ventas dependen del comportamiento del mercado (consumidores). Hoy en día debido a los acontecimientos y a los nuevos modelos económicos, se requiere que todo sector productivo sea:

- Flexible: Para que posea la facilidad de cambiar o variar los productos lo más pronto posible dependiendo del mercado actual.
- Físicamente pequeño: Las plantas pequeñas, son más fáciles de controlar y mantener por costo.
- Altamente Productivo: Se requiere que las plantas produzcan grandes cantidades o volúmenes de producto.
- Al mejor Costo: Con la ayuda e la tecnología los sistemas pueden llegar a ser tal vez costoso en cuanto adquisición, pero económico en operación.
- Poco personal: Las grandes cantidades de personal, llegan a ser difíciles de controlar y la eficiencia del sistema productivo se hace poco sostenible.
- Innovador: Constantemente salen nuevos productos al mercado obligando a ser competitivos.

Al preguntarse, ¿Que tiene que ver mantenimiento con los sistemas productivos y económicos? la respuesta es todo. El mantenimiento es el responsable de facilitar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos para que puedan cumplir las metas en el mercado.

1.1.2 Principios y conceptos básicos del mantenimiento

Desde el día en que se aplicó el mantenimiento preventivo; esta actividad se ejecuta en los equipos para conservarlos como activo y sigan cumpliendo la función por la cual fueron diseñados.

No es difícil observar y darse cuenta que todo elemento, sistema o mecanismo tiene una época o un tiempo en el cual cumple su función, ese momento ocurrió, cuando los mantenedores de los equipos, aquellos que operaban máquinas después de Segunda Guerra Mundial, notaron que éstos duraban un cierto tiempo

sin fallar; y esto se repetía de forma cíclica, por tal razón se habla desde ese momento que todo elemento tiene una vida útil.

Al hablar de los conceptos básicos de mantenimiento, es indispensable afirmar que hoy en día el objetivo principal es mantener la función del equipo, anteriormente se le daba más importancia al equipo como activo, pero hoy en día con los modelos productivos actuales del mundo, lo que prima es la función que cumple el equipo dentro del sistema productivo.

Debido a que los sistemas productivos son cada vez más complejos, se requiere pensar una forma de evaluar y considerar el grado de confianza que el equipo pueda brindar, es decir que se entra a hablar de confiabilidad.

La posibilidad que un equipo falle durante un tiempo determinado. De la misma manera se habla, de que tan fácil, en cuanto a tiempo, repuestos y tiempos de intervención requiere un equipo, de esta manera se habla de mantenibilidad. Antes de entrar en el tema específico de mantenimiento, es necesario aclarar y establecer términos técnicos comúnmente usados en este campo, basados en el vocabulario de esta materia.

1.1.3 catálogos y fichas técnicas

Todo equipo o maquinaria nueva debe poseer un catálogo hecho o diseñado por el fabricante o ensamblador. Este elemento es vital para comenzar a estructurar y dar cuerpo al plan de mantenimiento, ya que de ahí se responderá a inquietudes técnicas. Este documento trae la información técnica: Potencia, Alimentación, Instalación, Arranque, Repuestos sugerido, es información que realmente es importante para organizar el mantenimiento de los equipos.

1.1.4 niveles de mantenimiento

En mantenimiento así como en otras actividades de la Ingeniería, se requiere priorizar y categorizar las intervenciones para así darle un manejo a las programaciones de mantenimiento. Por tal razón se requiere hablar de tres niveles de mantenimiento (1, 2 y 3), que son los niveles de mantenimiento básicos manejados actualmente. Existen autores que los conocen como (A, B y C), pero en esencia poseen el mismo concepto:

MANTENIMIENTO NIVEL 1: No existe mejor conocedor de un equipo que su propio usuario, por tal razón el usuario u operador, puede dar información valiosa para el mantenimiento ya que conoce las condiciones normales de funcionamiento. Bajo esas condiciones y con cierto entrenamiento; el operador puede realizar de forma veraz y precisa intervenciones de mantenimiento básicas

como: limpieza, calibración, inspección y medición de actividades que no requieren capacitación avanzada.

MANTENIMIENTO NIVEL 2: Es conveniente tener en la planta o empresa una o más personas capacitadas en diferentes áreas de mantenimiento (dependiendo de los requerimientos de los equipos), este personal es el encargado de efectuar los mantenimientos programados, donde se requieren conocimientos técnicos. Estas labores deben ser ejecutadas por personal calificado perteneciente a la empresa, y bajo programación del responsable del departamento o dependencia de mantenimiento.

MANTENIMIENTO NIVEL 3: Este tipo de intervenciones no son o no deberían ser frecuentes por su alto costo, pero en cierto tipo de equipos se requieren. Estas actividades son efectuadas por personal externo a la empresa altamente calificado y capacitado, en actividades específicas. Existen actividades de mantenimiento para equipos de alta complejidad o alto conocimiento en temas específicos. Como: Calderas, PLC, Shiller o sistemas automatizados, estas actividades no pueden ser ejecutadas por personal de la empresa, sino debe ser contratado externamente. El nivel (3) tres de mantenimiento se usa también para montajes o instalaciones especiales. No se debe descartar la posibilidad de capacitar a los técnicos en nivel dos (2), para bajar los costos de mantenimiento especializado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ¿Qué es mantenimiento?

La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria y herramienta, equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral.

Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.

Comprende todas aquellas actividades necesarias, equipos e instalaciones en una condición particular.

2.1.1 características del personal de mantenimiento.

El personal que labora en el departamento de mantenimiento, se ha formado una imagen, como una persona tosca, uniforme sucio, lleno de grasa, mal hablado, lo cual ha traído como consecuencia problemas en la comunicación entre las áreas operativas generando poca confianza.

Las operaciones de mantenimiento tienen lugar frente a la constante amenaza que implica la ocurrencia de una falla o error en un sistema, maquinaria, o equipo. Existe además una necesidad de optimizar el rendimiento de los unidades y componentes industriales (mecánicos, eléctricos, y electrónicos) de los procesos dentro de las instalaciones de una planta industrial.

El objetivo buscado por el mantenimiento es contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento, para asegurar una disponibilidad total del sistema en todo su rango de configuraciones, lo cual está basado en la carencia de errores y fallas.

El mantenimiento debe procurar un desempeño continuo y operando bajo las mejores condiciones técnicas, sin importar las condiciones externas (ruido, polvo,

humedad, calor, etc.) del ambiente al cual este sometido el sistema. El mantenimiento además debe estar destinado a:

- Optimizar la producción del sistema
- Reducir los costos por averías
- Disminuir el gasto por nuevos equipos
- Maximizar la vida útil de los equipos

Los procedimientos de mantenimiento deben evitar las fallas, por cuanto una falla se define como la incapacidad para desarrollar un trabajo en forma adecuada o simplemente no desarrollarlo. Un equipo puede estar "fallando" pero no estar totalmente fuera de funcionamiento, puesto que sigue realizando sus tareas productivas, pero no las realiza con las mismas configuraciones que un equipo en óptimas condiciones. En cambio un equipo fuera de funcionamiento o averiado no podrá desarrollar faenas bajo ninguna circunstancia.

Además el costo que implica la gestión y el desarrollo del mantenimiento no debe ser exagerado, más bien debe estar acorde con los objetivos propios del mantenimiento, pero sin denotar por ejemplo, un costo superior al que implicaría el reemplazo por maquinaria nueva. Entre los factores de costo tendríamos: mano de obra, costo de materiales, repuestos, piezas nuevas, energía, combustibles, pérdidas por la no producción.

Inevitablemente todo equipo, maquinaria, instrumento, o edificación se va a deteriorar por el paso del tiempo. Una medida útil para aproximar el costo del desarrollo del mantenimiento esta dado por la siguiente expresión:

Ecuación 1. Costo del desarrollo del mantenimiento

$$\frac{\text{Costo de mantenimiento}}{\text{Activos fijos mantenibles}} * 100$$

FUENTE: RCM manual Sevilla

Donde el Costo de mantenimiento esta dado por el valor en dinero gastado en las operaciones desarrolladas; y los Activos fijos mantenibles son aquellos equipos, maquinarias, y construcciones revaluados a precios corrientes y correspondientemente depreciados.

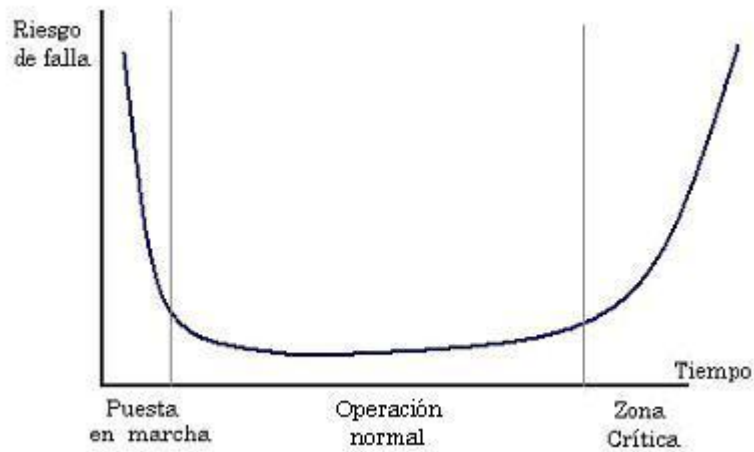
El momento ideal para llevar a cabo puede ser determinado desde muchos puntos de vista, a los cuales les va a corresponder un determinado tipo de mantenimiento; teóricamente existe la llamada "curva de falla", la cual indica la probabilidad de la ocurrencia de fallas y averías para determinadas etapas de operación de la planta en función del factor tiempo. Así tenemos:

Riesgo elevado en la etapa de implementación de la planta y puesta en marcha de los equipos.

Riesgo bajo en la etapa de operación de la planta (siempre que los equipos reciban los cuidados y reparaciones adecuadas)

Riesgo elevado en la etapa de operación de la planta luego que ha cumplido el ciclo de vida de los equipos (los cuales si reciben un óptimo mantenimiento podrían operar sin la presencia de fallas).

Figura . Ciclo de vida de un equipo



FUENTE: Reliability Centered Maintenance II

2.1.2 Tipos de Mantenimiento

Existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función de los recursos utilizados, así tenemos:

2.1.2.1 Mantenimiento correctivo.

No Planificado:

Corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan, y no planificadamente, al contrario del caso de Mantenimiento Preventivo.

Esta forma de Mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

El ejemplo de este tipo de Mantenimiento Correctivo No Planificado es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a detener el equipo o máquina dañada.

Planificado:

El Mantenimiento Correctivo Planificado consiste en la reparación de un equipo o máquina cuando se dispone del personal, repuestos, y documentos técnicos necesarios para efectuarlo.

2.1.2.2 mantenimiento preventivo.

La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario; también es conocido como Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP).

Su propósito es prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

La característica principal de este tipo de Mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se obtienen experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

Ventajas del Mantenimiento Preventivo:

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.

- Disminución de existencias en Almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de Mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

Fases del Mantenimiento Preventivo:

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente.
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

2.1.2.3 mantenimiento predictivo.

Se basa fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción, etc. Estos controles pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función de tipos de equipo, sistema productivo, etc. Para ello, se usan instrumentos de diagnóstico, aparatos y ensayos no destructivos, como análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipos eléctricos, etc.

Ventajas del Mantenimiento Predictivo:

- Reduce los tiempos de parada.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.

- Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.
- Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.
- Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Permite el análisis estadístico del sistema.

2.1.2.4 mantenimiento proactivo:

En la actualidad el costo de operar un equipo hasta que este falla (mantenimiento correctivo), es muy alto en términos de tiempo improductivo, repuestos, mano de obra y costo de la reparación. Las técnicas de mantenimiento preventivo se basan en el cambio o reemplazo de partes en función de un intervalo de tiempo y en la mayoría de las veces las piezas son retiradas cuando aún tienen capacidad de seguir funcionando - Según Forbes Magazine; "Un 33% de las actividades de mantenimiento preventivo son desperdiciadas".

Las técnicas de Mantenimiento Predictivo, nos indican el momento en el que la pieza o componente está próximo a la falla, pero no nos dice como evitarla. - Afortunadamente, existe una nueva alternativa conocida como "**Mantenimiento Proactivo**".

El Mantenimiento Proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no debemos permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que de hacerlo, su vida y desempeño, se verán reducidos. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de "detección y corrección" de las desviaciones según el programa de mantenimiento proactivo. Los límites aceptables, significan que los parámetros de de causas de falla están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio. En sistemas mecánicos operados bajo la protección de lubricantes líquidos, controlar cinco causas de falla plenamente reconocidas, puede llevar a la prolongación de la vida

de los componentes en muchas ocasiones hasta de 10 veces con respecto a las condiciones de operación actuales. Estas cinco causas críticas a controlar son:

- Partículas
- Agua
- Temperatura
- Aire
- Combustible o compuestos químicos

Cualquier desviación de los parámetros de las causas de falla anteriores, dará como resultado deterioro del material del componente, seguido de una baja en el desempeño del equipo y finalizando con la pérdida total de los componentes o la funcionalidad del equipo.

Las condiciones de uso de los equipos que conducen a fallas (condicional de falla), producen deterioro material (falla incipiente), que es la causa directa de la pérdida en el desempeño del equipo (falla operacional) y que finalmente resulta en la falta de funcionalidad del equipo (falla catastrófica).

Para poder detectar y corregir las causas de falla, debemos establecer métodos de control y seguimiento que nos permitan identificar su nivel y comportamiento. En la diaria actividad del mantenimiento, es común encontrarnos con condiciones de "convivencia" con los problemas en vez de utilizar una técnica real de detección y solución de las causas de falla.

Veamos el siguiente ejemplo:

Un equipo nuevo llega a la planta y de inmediato, se establecen las rutinas de mantenimiento preventivo que se enumeran en el manual del fabricante. 500 horas después que el equipo es puesto en operación, uno de los rodamientos principales falla, deteniendo la operación del equipo. Mantenimiento recibe la presión inmediata de Producción y de inmediato se trata de localizar la pieza de repuesto. "Dos semanas de tiempo de entrega"; - más presión de Producción - Por fin la pieza llega y es cambiada. Pasadas 500 horas, el balero falla nuevamente, la entrega de la pieza se reduce a un par de días; Mantenimiento da la instrucción de comprar dos rodamientos adicionales para almacén. Problema resuelto en adelante: el programa de mantenimiento establece el cambio de baleros a las 450 horas.

El Mantenimiento Proactivo utiliza técnicas especializadas para monitorear la condición de los equipos basándose fundamentalmente en el análisis de aceite para establecer el control de los parámetros de causa de falla.

Muchas de las empresas más importantes utilizan actualmente programas de análisis de aceite usado para establecer la condición de sus equipos y tomar decisiones de mantenimiento preventivo (cambiar el aceite) o de mantenimiento correctivo (cambiar la pieza que se encuentra dañada). El análisis de aceite está conceptualizado como una herramienta para "salvar" equipos y determinar cuando una pieza está por fallar, para programar su reparación antes de una falla catastrófica.

El mantenimiento proactivo, establece una técnica de detección temprana, monitoreando el cambio en la tendencia de los parámetros considerados como causa de falla, para tomar acciones que permitan al equipo regresar a las condiciones establecidas que le permitan desempeñarse adecuadamente por mas tiempo.

El análisis de aceites tradicionalmente se le conoce como una técnica del Mantenimiento Predictivo, ya que permite predecir la falla de un componente, sin embargo, se pregunta ¿Por qué esperar a que la pieza falle o aparezca desgaste para tomar una acción que le permita extender su vida de servicio? Al analizar los resultados de desgaste de metales - comúnmente reportados en p.p.m. (partes por millón) - sólo se toma una acción cuando los resultados exceden los límites de advertencia o críticos establecidos. La cantidad de p.p.m. de hierro que aparece en el reporte de laboratorio, nunca regresará al componente, es decir, la vida del componente ha sido acortada.

Se hace una comparación entre el Mantenimiento Industrial y el Mantenimiento del cuerpo humano: Quienes se encuentran operando en "servicio severo" (viajes, largas jornadas de trabajo, presiones, estrés, mala alimentación, poco ejercicio, etc.) estamos ante el riesgo de un infarto. En este caso, el Mantenimiento correctivo, sería la falla del corazón, lo que los dejaría inservibles, el mantenimiento preventivo sería una operación, que se instalara un by-pass o un marcapaso, el Mantenimiento predictivo, sería un análisis completo de sangre, niveles de colesterol, etc., que indicara la condición del organismo y la posibilidad de un infarto. La técnica del mantenimiento proactivo consistiría en un monitoreo de esos parámetros y un "cambio de hábitos", que permitan reducir esos factores que se conoce como la causa de falla; implica el hacer más ejercicio, el comer menos carne roja, mas vegetales, organizar el tiempo, en fin una nueva vida.

En el Mantenimiento Industrial ese "cambio de hábitos" significa el modificar en gran parte la forma de ver los lubricantes, las partículas, el agua, la temperatura, el combustible y el aire. Significa una lucha contra lo invisible, las partículas que más afectan a los componentes de maquinaria rotatoria, son aquellas en el rango de las 10 micras (el ojo humano es capaz de ver partículas mayores a 40 micras), las partículas en el agua, el aire y el combustible, son difíciles de detectar a simple vista y estamos acostumbrados a convivir con ellos.

Es necesario un cambio radical en la manera de manejar los lubricantes y a percibir la limpieza de estos, es necesario cambiar la percepción de lo que significa una buena filtración y una buena administración de la lubricación.

La Educación (Capacitación y entrenamiento) es un factor fundamental para aprovechar al máximo las técnicas de análisis de aceites como:

- Conteo de partículas
- Conteo de partículas ferrosas
- Ferrografía directa
- Ferrografía Analítica
- Viscosidad
- Humedad
- Hollín
- Combustible / Prod. Químicos
- Metales por espectroscopia
- Infrarrojo por FTIR
- TBN y TAN

Adicionalmente, se requiere de la estructura de un programa de Mantenimiento Proactivo, en el que se establezcan los equipos críticos a los que deberá enfocarse esta tecnología, efectuar un análisis de sus modos de falla, consecuencias, síntomas y efectos (conocido como FMECA por sus siglas en inglés) y determinar nuestros objetivos de control para cada una de ellas, los tipos de análisis que se efectuarán en base rutinaria y por condición y las medidas que deberán ser tomadas (métodos de exclusión, y de filtración) para regresar los parámetros a la condición establecida.

Nuestra recompensa será entonces la obtención de ahorros tan significativos como los obtenidos en gran cantidad de empresas que se han apegado a estos programas y que pueden llegar a la ampliación de la vida de los componentes de 6 y hasta 10 veces mayor vida de los lubricantes.

2.1.3 Implementación del MCC (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad)

Fase de implantación:

- Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF):
- Funciones y Fallas Funcionales
- Modos de Fallas
- Efectos de fallas
- Aplicaciones prácticas

¿Qué es el MCC?

Filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de fallas de estos activos, a la seguridad, al ambiente y a las operaciones.

Se muestran los aspectos más relevantes del MCC:

1. La aplicación del MCC se inicio en la Industria Aeronáutica en los 50's y en las industrias por procesos a partir de 1982.
2. El MCC es una filosofía, basada en el Trabajo en Equipo y en el mejoramiento continuo.
3. La gestión de mantenimiento de empresas líderes basan su éxito en la aplicación del MCC (DUPONT, CEMEX, SHELL y BP, EXXON, AIRBUS, MOBIL, TOYOTA).
4. En Venezuela (MARAVEN), comenzó a implantar el MCC en el año de 1994 (Refinería Cardón), en el año 1996 (Producción-Lagunillas y Petroquímica - Pequiven).
5. A partir de 1998, todas las áreas de refinación, exploración, producción, gas y suministros comenzaron a implantar MCC.

¿Por qué se necesita el MCC?

Debilidades de los enfoques tradicionales de mantenimiento.
Permitir asociar los riesgos del negocio con la falla de los activos.

Beneficios del MCC

Busca definir estrategias de mantenimiento que:

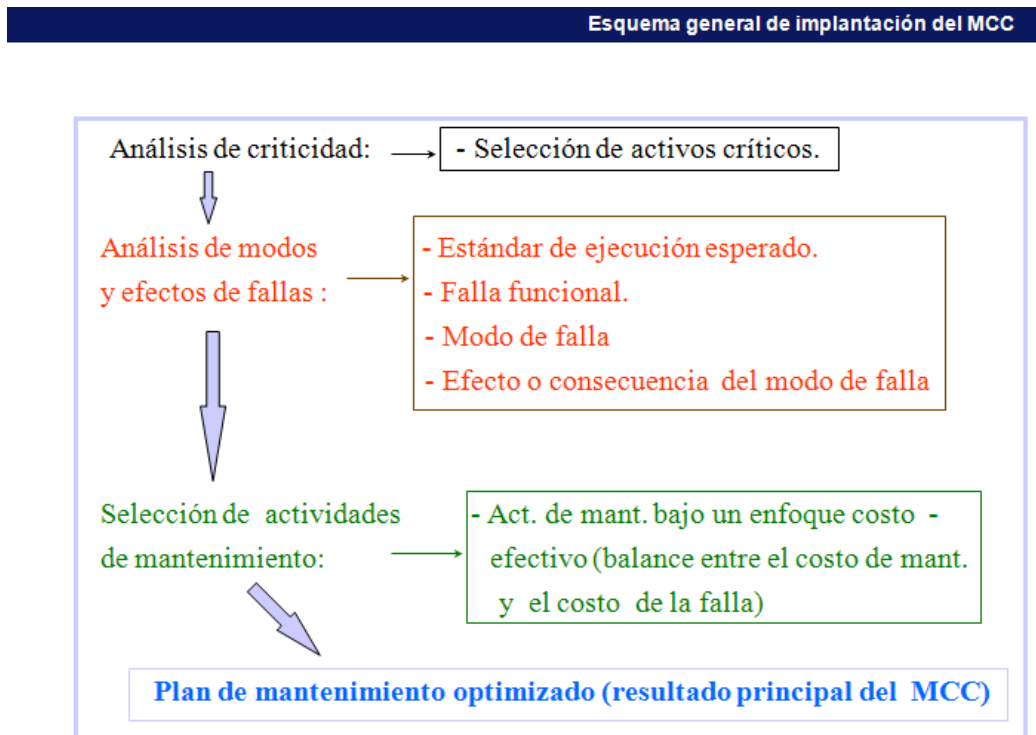
- Mejoren la seguridad.
- Mejoren el rendimiento operacional de los activos.
- Mejoren la relación costo/riesgo-efectividad del mantenimiento.
- Sean documentados y auditables.

¿Qué busca el MCC?

Definir estrategias de mantenimiento que son:

- Aplicables a las características de una falla.
- Efectivas en mitigar las consecuencias de la falla.
- Es decir, un mantenimiento que funcione y sea efectivo.

Figura . Esquema general de la implementación del MCC



FUENTE: RCM manual Sevilla

¿Qué es el análisis de Criticidad?

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos, humanos y técnicos).

¿Cómo se realiza un análisis de Criticidad?

- Definiendo un alcance y propósito para el análisis.
- Estableciendo criterios de importancia.
- Seleccionando un método de evaluación para jerarquizar los sistemas seleccionados.

Criterios comúnmente utilizados

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (Operaciones y Mantenimiento)
- Frecuencia de fallas
- Tiempo promedio para reparar

Figura . Ejemplo de un modelo de criticidad

<u>Modelo de factores ponderados / Basado en la teoría del riesgo</u>	
• Riesgo = Frecuencia x Consecuencia	
▪ Frecuencia = # de fallas en un tiempo determinado	
▪ Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos Mantenimiento + Impacto en Seg. Amb. Hig.)	

FUENTE: RCM manual Sevilla

Tabla . Criterio para la determinación de criticidad de sistemas

Frecuencia de fallas:		Costo de Mantenimiento:	
Parámetro mayor a 4 fallas/año	4	Mayor o igual a 20.000\$	2
Promedio 2 - 4 fallas/año	3	Inferior a 20.000 \$	1
Buena 1 - 2 fallas/año	2		
Excelente menores de 1 falla/año	1		
Impacto operacional:		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene:	
Parada inmediata de toda la refinería	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Parada del complejo planta y tiene repercusión en otros complejos	6	Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Impacta en niveles de producción o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Repercute en costos operacionales adicionales asociados a disponibilidad	2	Provoca daños menores (Accidentes e incidentes) personal propio	2
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Flexibilidad Operacional:		No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o al ambiente	0
No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4		
Hay opción de repuesto compartido	2		
Función de repuesto disponible	1		

FUENTE: Al mantenimiento estratégico.

Tabla . Presentación de los resultados (Criticidad)

FRECUENCIA	4	SC	SC	C	C	C	Leyenda: C: Crítico SC: Semi- Crítico NC: No Crítico Riesgo= FxC Valor máximo de riesgo= 200
	3	SC	SC	SC	C	C	
	2	NC	NC	SC	SC	C	
	1	NC	NC	NC	SC	C	
		10	20	30	40	50	
	CONSECUENCIAS						

FUENTE: Al mantenimiento estrategico.

La **frecuencia** es el número de fallas que se presentan en un tiempo determinado y las **consecuencias** que se muestran es el número resultante al aplicar los criterios de la tabla 2 y las formulas de la figura 4. Se tienen en cuenta estos dos factores (frecuencia y consecuencias), para determinar si el equipo es No Crítico (NC), Semi-Crítico (SC) o Crítico (C) como se observa en la tabla 3 de color blanco, amarillo y rojo respectivamente.

A continuación se muestran los pasos básicos para la aplicación de la metodología del MCC:

- a. **Estándares de desempeño.** El MCC define un estándar de desempeño como el valor (rango) que permite especificar, cuantificar y evaluar de forma clara la función de un activo (propósito cuantificado). Cada activo puede tener más de un estándar de ejecución en su contexto operacional.
- b. **Falla funcional.** El MCC define falla funcional como el estado en el tiempo, en el cual el activo no puede alcanza el estándar de ejecución esperado y trae como consecuencia que el activo pierda la función o cumpla la función de forma ineficiente (cada estándar de ejecución puede tener más de una falla funcional). Existe al menos una por cada parámetro funcional:
 - Fallas funcionales Totales.
 - Fallas funcionales Parciales.

- c. Modo de falla.** El MCC define el modo de falla como la causa de cada falla funcional. En otras palabras el modo de falla es el que provoca la pérdida de función total o parcial de un activo en su contexto operacional (cada falla funcional puede tener más de un modo de falla).

Ejemplos:

- Suciedad, corrosión, erosión, abrasión.
- Lubricación inadecuada, ensamble Incorrecto.
- Operación Incorrecta, Materiales incorrectos.
- El mantenimiento está orientado a cada modo de falla.
- Enfocar en que, no quien causa las fallas.

- d. Clasificación de los modos de falla.** Capacidad del activo cae debajo del desempeño deseado luego de puesto en servicio el activo (proceso normal de deterioro).

Exigencias (contexto operacional) superan la capacidad esperada del activo luego de puesto en servicio (forma inesperada).

- e. Efecto de falla.** Información de los eventos secuenciales que ocurren cuando un modo de falla se da.

Características:

- Debe tener la información necesaria para determinar consecuencias y tareas de mantenimiento.
- Debe describirse como si no estuviera haciéndose algo para prevenirlos.
- Debe considerarse que el resto de los dispositivos y procedimiento operacionales funcionan o se llevan a cabo.

CALCULO DE LA CONFIABILIDAD

Confiabilidad R(t).

“La probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período de tiempo específico”.

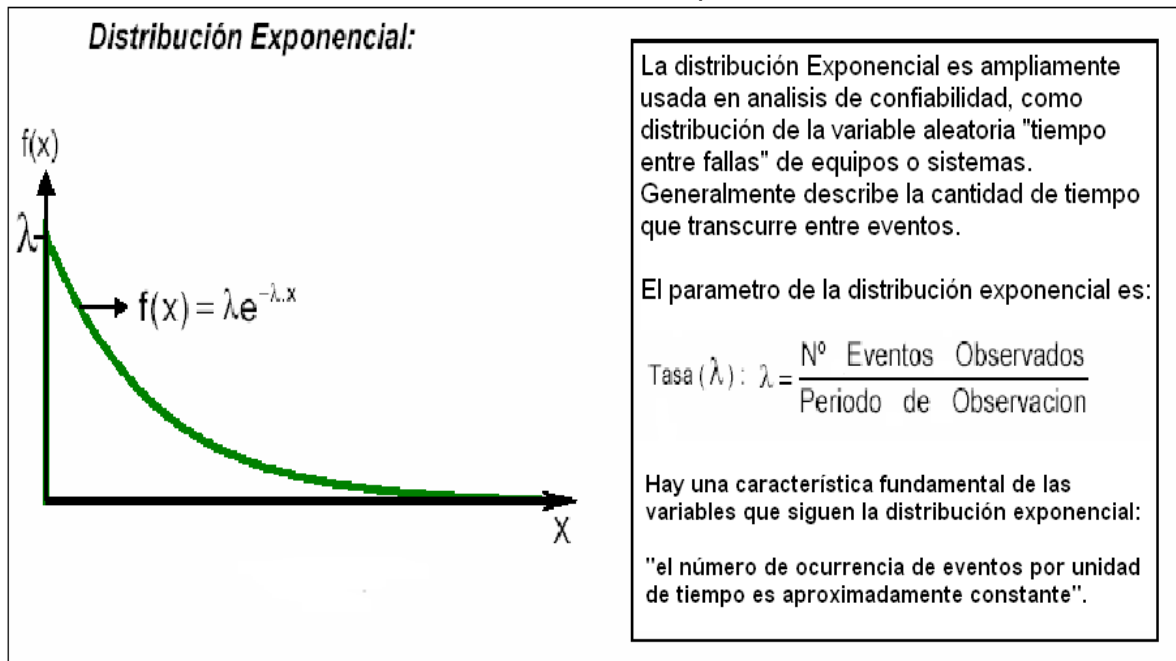
La confiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallas (cantidad de fallas) y con el tiempo medio operacional. Mientras el número de fallas de un determinado equipo vaya en aumento o mientras el tiempo medio operacional de un equipo disminuya, la confiabilidad del mismo será menor.

Distribución Exponencial $R(t) = e^{[-(\lambda)t]}$

Dónde:

- R(t) = confiabilidad del equipo
- λ = tasa de fallas = # de fallas / tiempo de evaluación
- t = es el intervalo de tiempo en el cual se desea conocer la
 - confiabilidad del equipo, partiendo de un período de tiempo = 0.

Grafica . Distribución exponencial



FUENTE: Manual mcc-USA Army

Distribución de Weibull.

Ecuación 1. Weibull

$$R(t) = e^{-(t/V)^\theta}$$
$$R(t) = e^{-(t/MUT)^\theta} \quad \text{Aproximación práctica.}$$

FUENTE: Manual mcc-USA Army

Dónde:

$R(t)$ = confiabilidad del equipo.

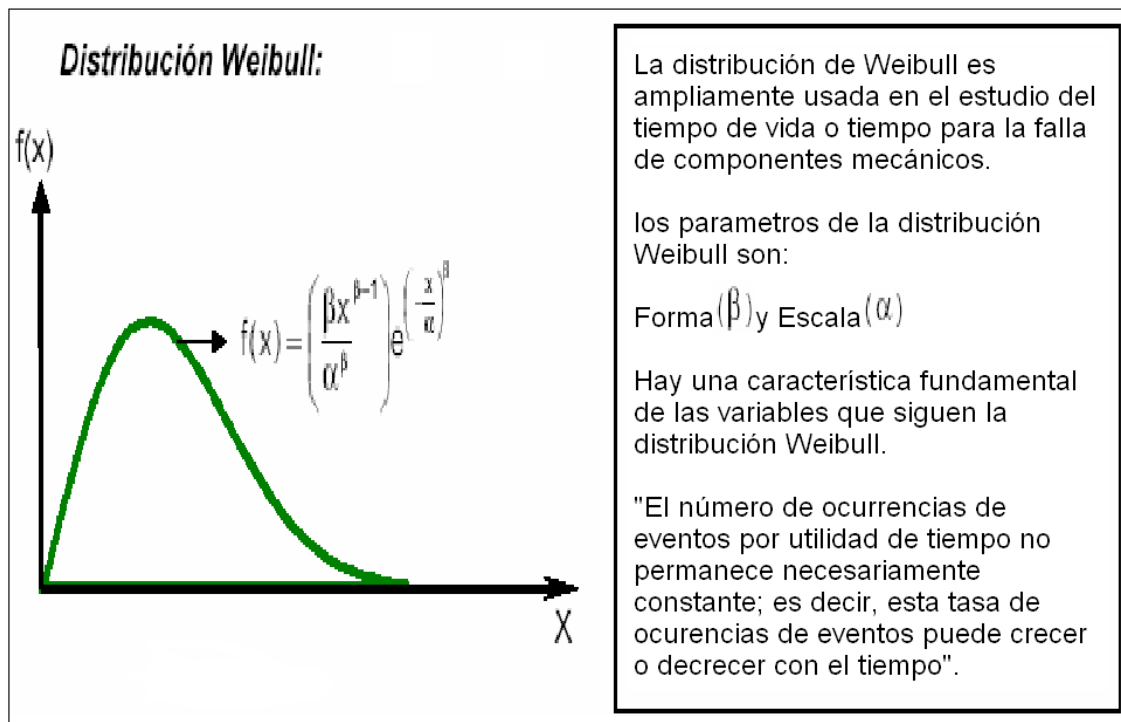
t = es el intervalo de tiempo en el cual se desea conocer la confiabilidad partiendo de un período de tiempo = 0. Las unidades del tiempo las da el técnico o el jefe a cargo del mantenimiento. Frecuentemente se utilizan horas de trabajo del equipo.

V = vida característica del equipo.

MUT = es el tiempo medio de operación entre fallas del equipo.

Es el parámetro de forma, el cual relaciona el período de tiempo en el que se encuentra operando el equipo y el comportamiento del mismo ante la probabilidad de ocurrencia de fallas.

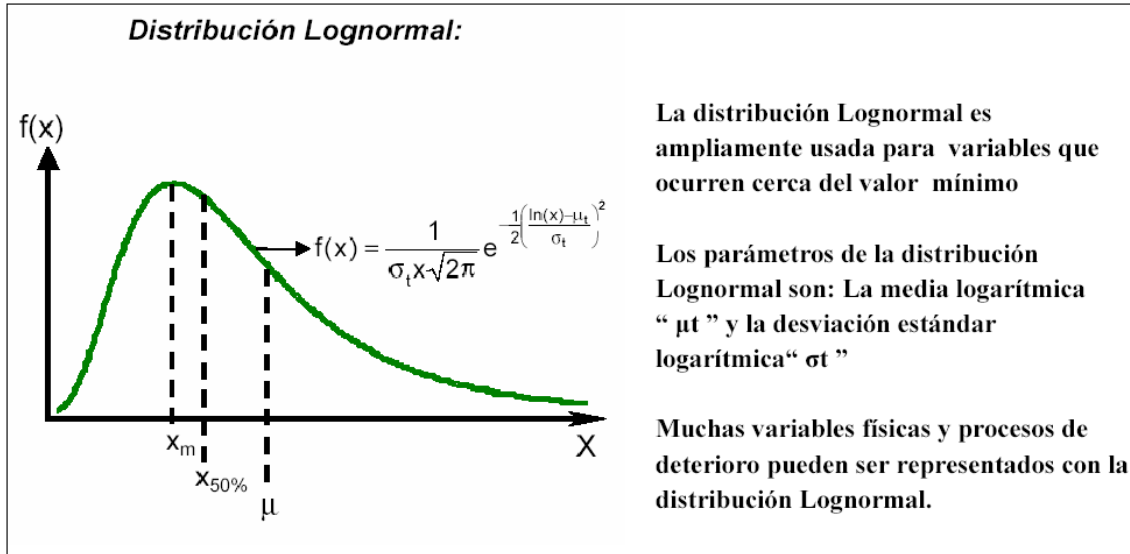
Grafica . Distribución Weibull



FUENTE: Manual mcc-USA Army

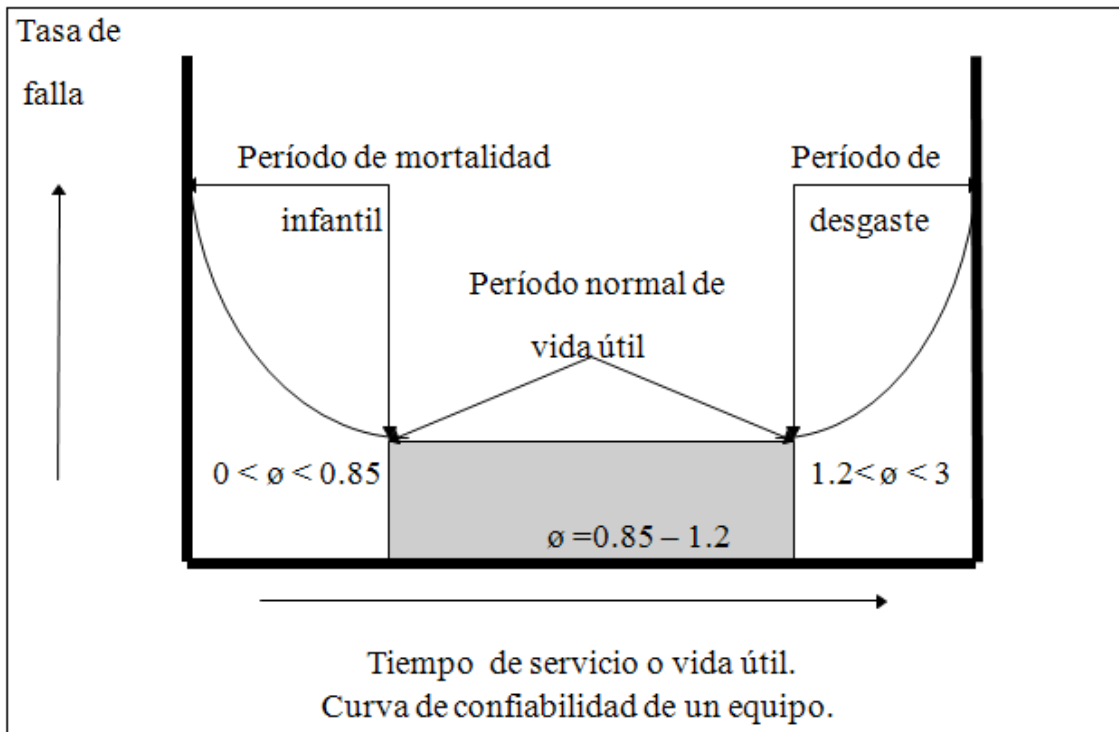
Distribución lognormal.

Grafica . . Distribución Lognormal



FUENTE: Manual mcc-USA Army

Grafica . Curva de la vida útil



FUENTE: RCM manual Sevilla.

CLAVE DEL ÉXITO DE LA IMPLANTACIÓN DEL MCC.

El éxito de la implantación del MCC, dependerá fundamentalmente del recurso humano involucrado, motivo por el cual, hay que tener un especial cuidado en el proceso de inducción y en la formación del personal que participará en la implantación del MCC.

Este proceso de inducción y formación, deberá ser capaz de motivar al personal y de generar en el mismo el compromiso necesario, con respecto a la ejecución de cada uno de los pasos que trae consigo la implantación del MCC, todo esto con el fin de que se puedan alcanzar los objetivos y las metas previamente establecidas por la gestión de confiabilidad y operaciones de la organización.

3. DIAGNÓSTICO

Sabiendo previamente que el objetivo general de este trabajo, es la creación e implantación de un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad para la empresa obras especiales OBRESCA C.A para mejoramiento de recursos económicos y vida útil de los equipos.

3.1 metodología del diagnóstico

Para realizar el diagnóstico de los diferentes equipos de la empresa OBRESCA C.A. se siguió el siguiente procedimiento:

- Evaluación del inventario.
- Clasificación de los equipos.
- Sistema de codificación.
- Recolección de información de los equipos.
- Diseño hojas de vida.
- Aplicación de las hojas de vida según su diseño.
- Bases de programación.
- Listado de proveedores.
- Cálculo de criticidad.
- Diseño de los AMEF.
- AMEF de los equipos críticos.
- Implementación de software para los equipos críticos.
- Reprogramación de actividades de mantenimiento basado en confiabilidad.
- Diseño formatos plan de mantenimiento.

Figura . Metodología del diagnostico

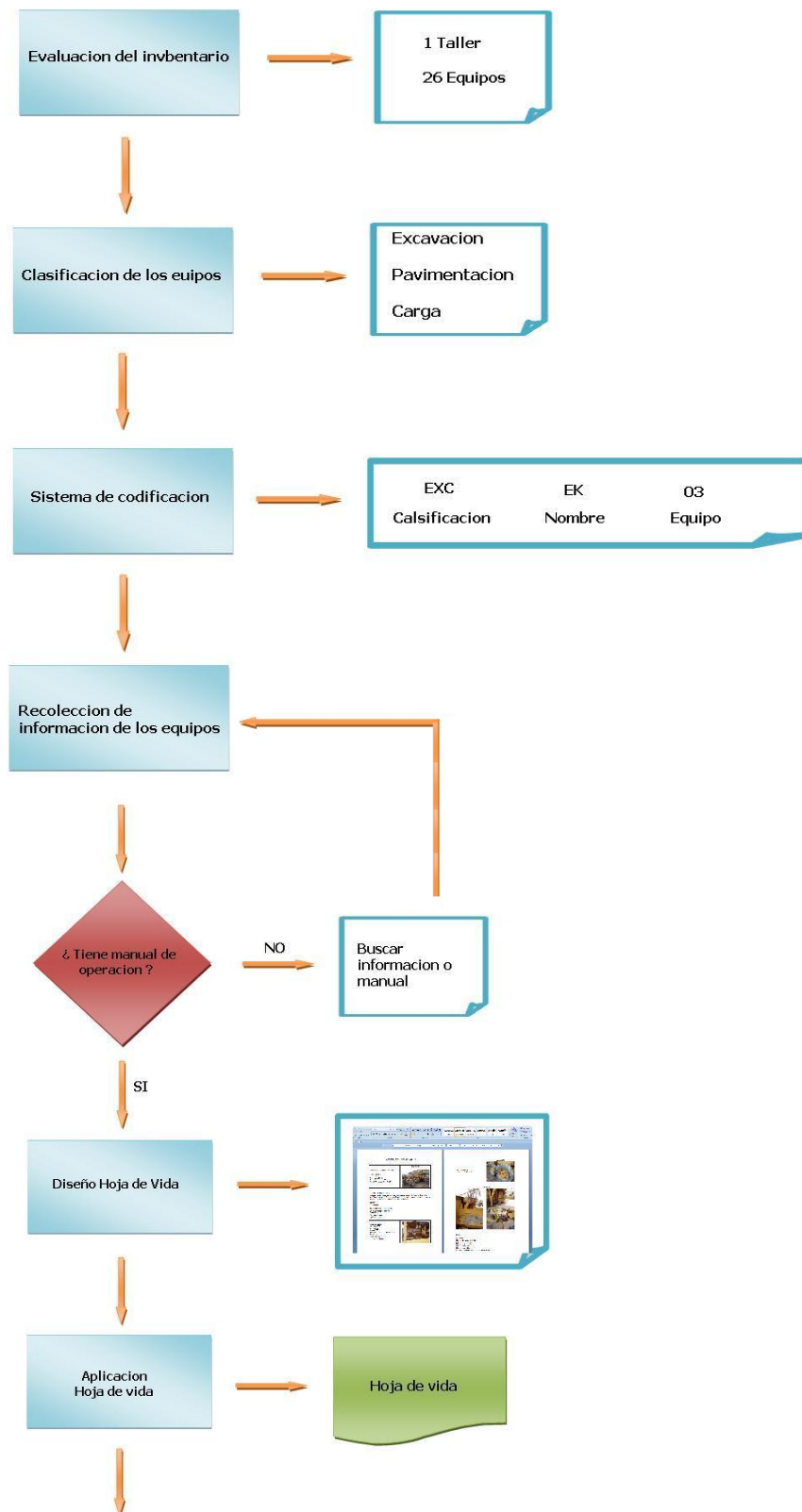


Figura . Metodología del diagnostico (continuación)

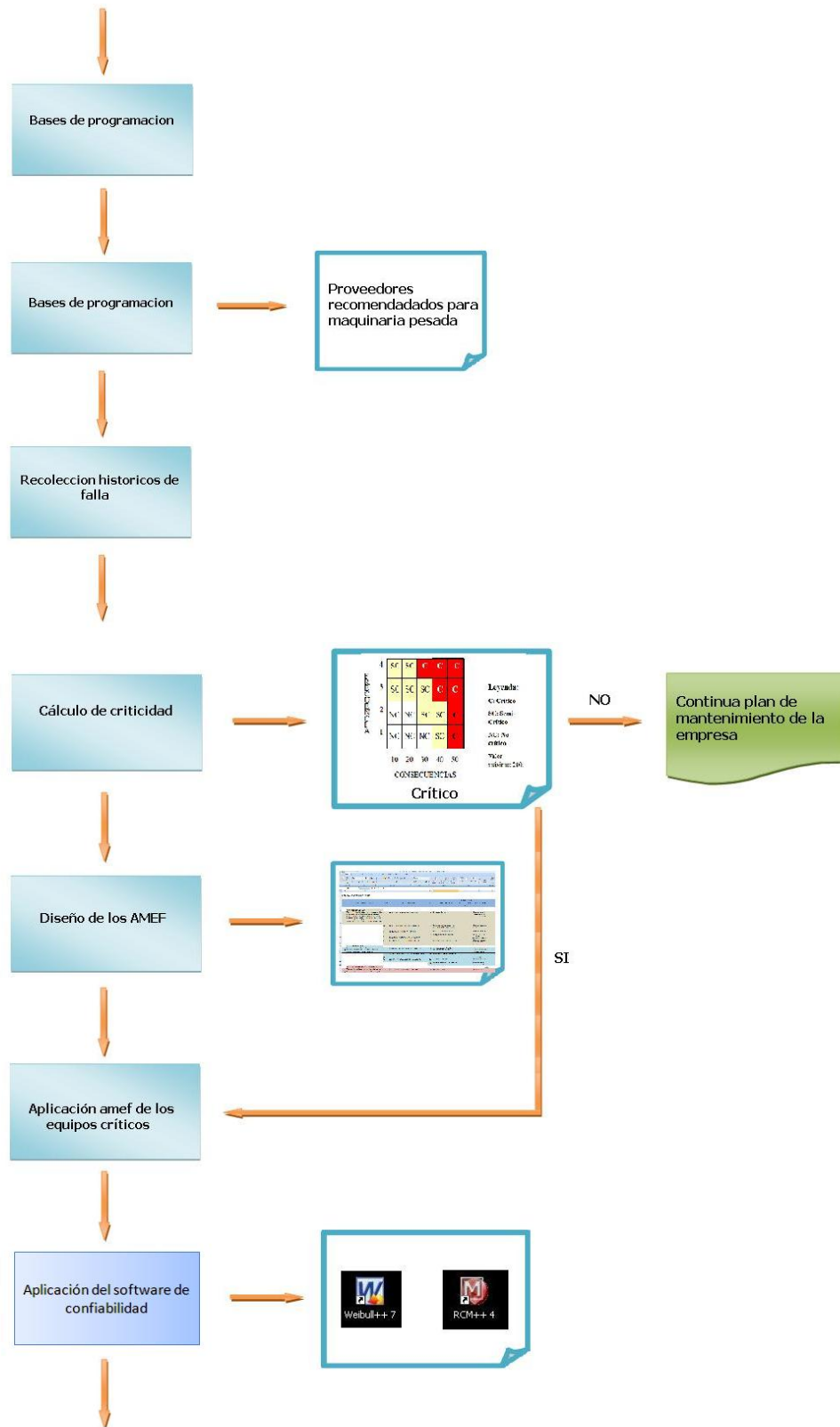
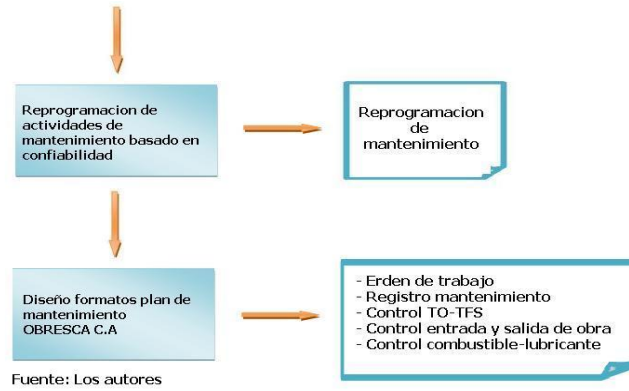


Figura . Metodología del diagnostico (continuación)



FUENTE: Los autores.

3.1.1 Evaluación del inventario

Previamente se analizaron documentos existentes en la empresa OBRESCA C.A. en donde se encontraba algunos avalúos, algunas fichas técnicas, y documentos de tipo administrativo. Esto con el fin de preparar el estudio de los equipos y darles una clasificación, codificación y numeración.

Así mismo se identificaron lugares de trabajo, talleres de mantenimiento y lotes en donde se encuentra alguna maquinaria.

Se determinaron los lugares en donde se encuentran operando algunos de los equipos de OBRESCA C.A. está el Cortijo al occidente de Bogotá, en la Autopista Norte con calle 127 al norte de Bogotá, y al sur de la ciudad Usme, cantarrana y en la cárcel la Picota.

También fue importante identificar los talleres de mantenimiento y lugares de almacenamiento de maquinaria y herramienta. Los cuales se encuentran ubicados en la zona franca de Fontibón, y en Lijacá al norte de la capital.

Lo anterior con el fin de programar visitas, entrevistas con los técnicos y operarios de la maquinaria. Para efectos de una documentación más completa se tomarían fotos de los equipos junto a cada uno de sus subsistemas.

3.1.2 clasificación de los equipos

Teniendo en cuenta la evaluación del inventario se procedió a efectuar una clasificación de los equipos según el lugar de trabajo donde sean utilizados ya sea de pavimentación, carga o de excavación.

Tabla . Clasificación de los equipos según tipo de trabajo

CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS SEGÚN EL TIPO DE TRABAJO	
PAVIMENTACIÓN	VIBROCOMPACTADOR DE MANUBRIO MULTIEQUIP
	VIBROCOMPACTADOR BOMAG
	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL RAND SD 100
	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL RAND DD 23
	FINISHER CATERPIILLAR AP 1200
	MOTONIVELADORA CATERPILLAR 12-E
	COMPACTADPR DE LLANTA INGRAM
	COMPRESOR INGERSOLL RAND 100
	MOTOSOLDADOR HOBART
	MEZCLADORA SEMCO
	COMPRESOR CARSON
	BOMBA LANZADORA MEICO
	CARGA
VOLQUETA RENAULT 242	
EXCAVACIÓN/LEVANTE	EXCAVADORA KOMATSU 883
	EXCAVADORA KOMATSU 838
	RETROEXCAVADORA JCB 238
	RETROEXCAVADORA JCB TURBO 117
	MINICARGADOR JOHN DEERE 260
	MINICARGADOR BOB CAT 443
	MALACATE ELCECTRICO ABB 422
	MALACATE ELECTRICO ABB 692
	MOTOBOMBA HONDA 492
	MOTOBOMBA HONDA 758
	BOMBA ELECTRICA NOVA
	AUTOCLAVE SIEMMENS
	VENTILADOR COFMAN

FUENTE: Los autores

3.1.3 sistema de codificación de los equipos

Para facilitar y ordenar el trabajo dentro de la empresa y para realizar el AMEF, fue necesario hacer un sistema de codificación interno el cual se determinó de la siguiente forma:

El código se divide en tres partes.

La primera parte son las siglas de su lugar de trabajo ya sea excavación, pavimentación o carga.

Tabla . Siglas según tipo de trabajo

LUGAR DE TRABAJO	SIGLA
EXCAVACIÓN	EXC
PAVIMENTACIÓN	PAV
CARGA	CAR

FUENTE: Los autores

La segunda son las iniciales del equipo y La tercera es la numeración interna de la empresa.

A continuación se hace un ejemplo de la codificación de la Excavadora Komatsu 838:

Tabla . Codificación Excavadora Komatsu (EXC-EK-04)

EXCAVADORA KOMATSU 838 (EXC-EK-04)		
1	2	3
LUGAR DE TRABAJO	INICIALES	# EN LA EMPRESA
EXCAVACIÓN	EXCAVADORA KOMATSU	4
EXC	EK	04

FUENTE: Los autores.

Según la codificación diseñada, se presenta a continuación el listado de todos los equipos incluidos en este trabajo:

Tabla . Codificación equipos OBRESCA C.A.

ITEM	EQUIPO	CODIGO
1	VOLQUETA RENAULT 241	CAR-VR-01
2	VOLQUETA RENAULT 242	CAR-VR-02
3	EXCAVADORA KOMATSU 883	EXC-EK-03
4	EXCAVADORA KOMATSU 838	EXC-EK-04
5	RETROEXCAVADORA JCB 238	EXC-REJ-05
6	RETROEXCAVADORA JCB TURBO 117	EXC-RTJ-06
7	VIBROCOMPACTADOR DE MANUBRIO MULTIEQUIP	PAV-VCM-07
8	VIBROCOMPACTADOR BOMAG	PAV-VCB-08
9	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL RAND SD 100	PAV-VCIS-09
10	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL RAND DD 23	PAV-VCID-10
11	FINISHER CATERPIILLAR AP 1200	PAV-FC-11
12	MOTONIVELADORA CATERPILLAR 12-E	PAV-MC-12
13	MINICARGADOR JOHN DEERE 260	EXC-MJ-13
14	MINICARGADOR BOB CAT 443	EXC-MB-14
15	COMPACTADPR DE LLANTA INGRAM	PAV-CI-15
16	COMPRESOR INGERSOLL RAND 100	PAV-CI-17
17	MOTOSOLDADOR HOBART	PAV-MH-18
18	MESCLADORA SEMCO	PAV-MS-19
19	COMPRESOR CARSON	PAV-CC-20
20	BOMBA LANZADORA MEICO	PAV-MLM-21
21	MALACATE ELCECTRICO ABB 422	EXC-MA-22
22	MALACATE ELECTRICO ABB 692	EXC-MA-23
23	MOTOBOMBA HONDA 492	EXC-MBH-24
24	MOTOBOMBA HONDA 758	EXC-MBH-25
25	BOMBA ELECTRICA NOVA	EXC-BN-26
26	AUTOCLAVE SIEMMENS	EXC-AS-27
27	VENTILADOR COFMAN	EXC-VC-28
18	JUMBO HIDRAULICO TAM ROCK	EXC-JT-16

FUENTE: Los autores.

3.1.4 recolección de información de los equipos.



FUENTE: Los autores.

Inicialmente se hicieron visitas al lugar en donde se encontraban los equipos, ya sea en su lugar de trabajo, almacenamiento o reparación y mantenimiento.

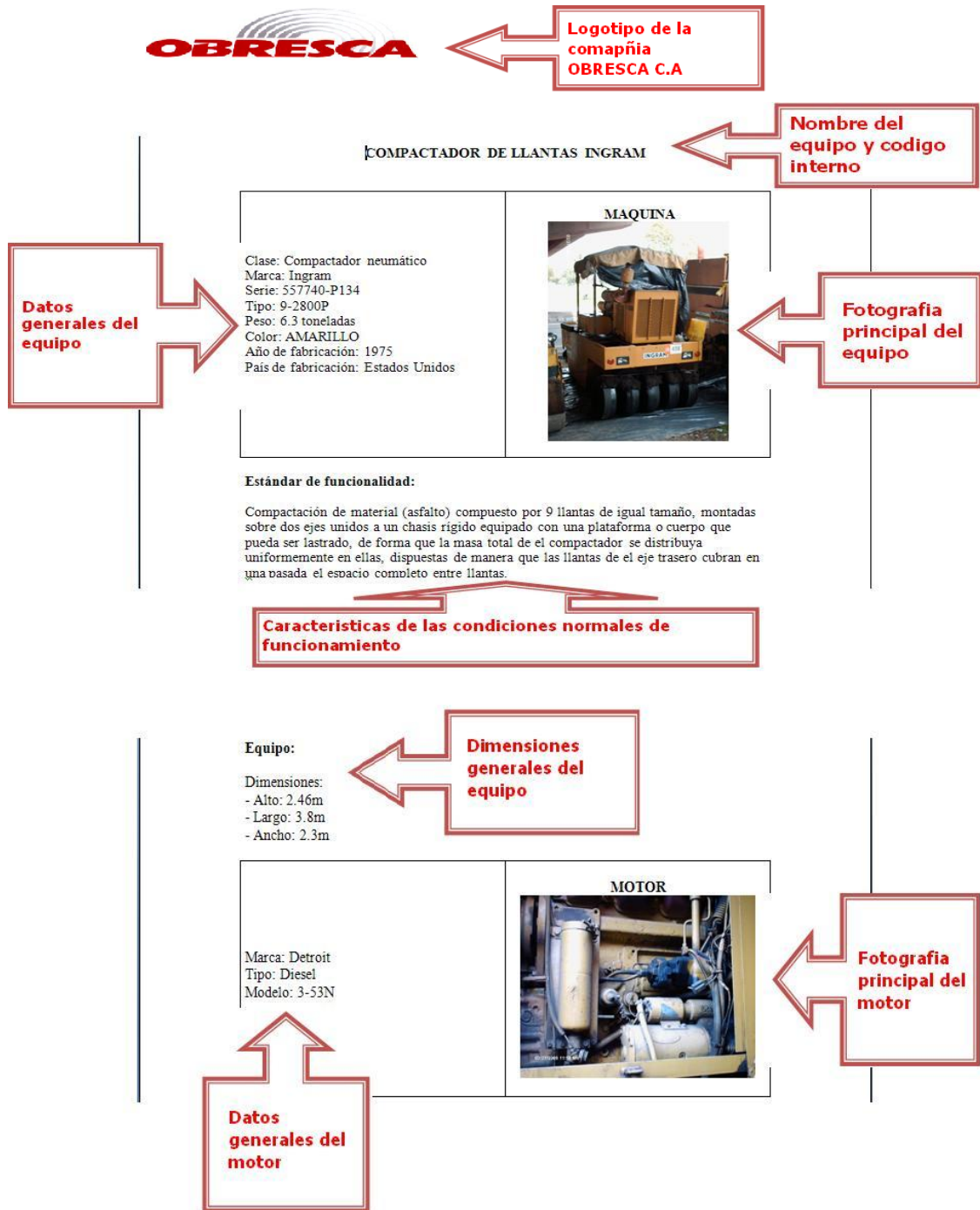
Se realizaron entrevistas con los operarios de los equipos, técnicos mecánicos e ingenieros de obras.

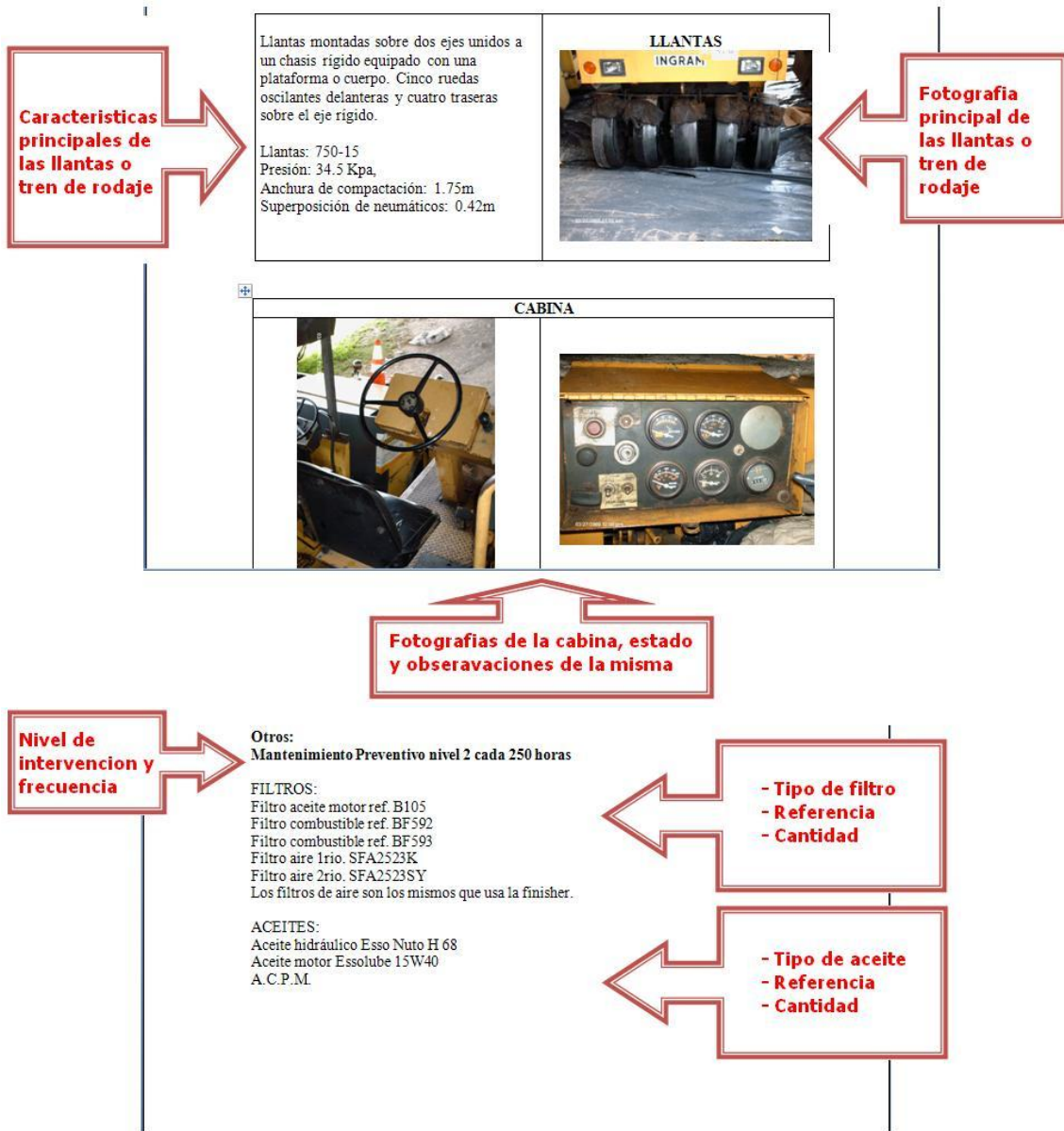
A su vez se realizó una documentación detallada de la maquinaria y de los subsistemas que la componen. En dicha documentación se incluyen datos como números de seriales de motores, transmisiones, bastidores, bombas hidráulicas, carrocerías, etc.

Para complementar la documentación se tomaron fotografías del equipo y de los subsistemas que lo componen. Información que se utilizaría en la elaboración de las hojas de vida.

Es importante resaltar la importancia de las fichas técnicas, catálogos y manuales de operación en donde se encuentra información básica para realizar las hojas de vida. Como se comentaba, algunos equipos de la empresa no tenían este tipo de información, por lo tanto se recurrió a concesionarios, distribuidores, internet y en algunos casos a propietarios y/o ex propietarios de equipos de iguales o similares características lo cual los hacían homologables.

3.1.5 Diseño de hojas de vida.





FUENTE: Los autores.

3.1.6 aplicación de las hojas de vida según su diseño a todos los equipos.

Se adjunta al trabajo impreso anexos con las hojas de vida de los 28 equipos. A continuación se muestra el ejemplo de la hoja de vida de la Excavadora Komatsu (EXC-EK-03).



EXCAVADORA KOMATSU (EXC-EK-03)

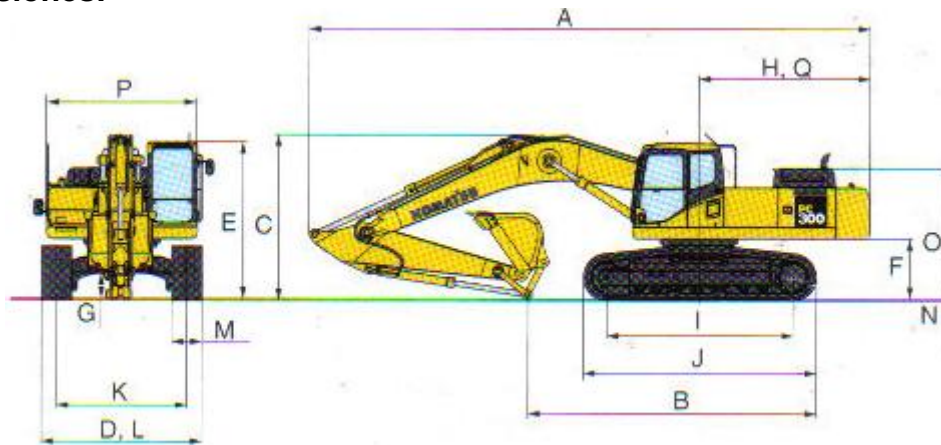
<p>Clase: excavadora Marca: Komatsu Modelo: PC 300 LC-7 Serie: J20883 Año de fabricación: 2006 Fecha de instalación: 2007</p>	<p>MAQUINA</p> 
---	---

FUENTE: Los autores.

Estándar de funcionalidad:


Mediante la versatilidad de su brazo hidráulico, y rotación sobre su eje de 360°, está en capacidad de cavar, trasladar y cargar material. La excavadora junto con accesorios opcionales a parte del cucharón convencional, está en capacidad de elaborar múltiples trabajos y funciones.


Dimensiones:



	Largo de Brazo	2220 mm	7'3"	2550 mm	8'4"
A	Largo total	11290 mm	37'1"	11180 mm	36'8"
B	Largo en el suelo (transporte): PC300-7 PC300LC-7	6980 mm 7155 mm	22'11" 23'6"	6585 mm 6760 mm	21'7" 22'2"
C	Altura total (sobre el aguilón)	3400 mm	11'2"	3410 mm	11'2"
		PC300-7		PC300LC-7	
D	Ancho total	3190 mm	10'6"	3290 mm	10'10"
E	Altura total (sobre la cabina)	3130 mm	10'3"	3130 mm	10'3"
F	Altura libre sobre el suelo, contrapeso	1185 mm	3'11"	1185 mm	3'11"
G	Altura libre sobre el suelo (mínimo)	500 mm	1'8"	500 mm	1'8"
H	Radio de giro de la cola	3450 mm	11'4"	3450 mm	11'4"
I	Longitud de la oruga en el suelo	3700 mm	12'2"	4030 mm	13'3"
J	Longitud de la oruga	4625 mm	15'2"	4955 mm	16'3"
K	Trocha	2590 mm	8'6"	2590 mm	8'6"
L	Ancho de orugas	3190 mm	10'6"	3290 mm	10'10"
M	Ancho de la zapata	600 mm	23.6"	700 mm	27.6"
N	Altura de la garra	36 mm	1.4"	36 mm	1.4"
O	Altura de máquina por cabina	2580 mm	8'6"	2580 mm	8'6"
P	Ancho de máquina por cabina	2995 mm	9'10"	2995 mm	9'10"
Q	Distancia, centro de giro a cola	3405 mm	11'2"	3405 mm	11'2"

FUENTE: Catalogo del propietario. Excavadora Komatsu PC 300.

<p>Marca: KOMATSU Tipo: Diesel Serie: , SAA-6D114E-2 Modelo: RA7HV4186</p>	<p style="text-align: center;">MOTOR</p> 
--	--

<p>Marca: KOMATSU Tipo: Hidraulico Serie: , SAA-6D114E-2 Modelo: RA7HV4186</p>	<p style="text-align: center;">BOMBA HIDRULICA</p> 
--	---

FUENTE: Los autores.

CABINA



FUENTE: Los autores.

Otras características:

Potencia Neta: 180 KW 242 HP a 1900 rpm

Peso de operación: 69,000 - 71,160 lb

Capacidad del cucharón: 0.52 – 1.8 m³ cúbicos

Fuerza de ataque del brazo: 172 KN, 17400 kgf, 38,360 lb.

Fuerza de excavación del cucharón: 227 KN, 23100 kgf, 50,930 lb

Capacidad de tanque de combustible: 605 lts (160 galones).

Mantenimiento preventivo cada 250 horas según el manual del equipo

ACEITES Y LUBRICANTES:

Aceite hidráulico Esso Nuto H 68

Aceite motor Essolube 15W40

FILTROS:

Filtro aceite motor ref. BT-292
Filtro aceite motor ref. BT-364
Filtro aceite motor ref. HCX-22
Filtro aceite motor ref. W 940/18
Filtro aceite motor ref. L34421
Filtro combustible ref. BF-790
Filtro hidráulico ref. PH-47
Filtro hidráulico ref. BT-8844
Filtro aire 1rio. Ref. SFA- 17225-3
Filtro aire 2rio. Ref. SFA- 17225-3SY

3.1.7 bases de programación

Teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, se diseñó las tablas de bases de programación de la siguiente manera:

Seis columnas en donde la primera describe el tipo de intervención programada por el fabricante. La segunda, nivel de mantenimiento, ya sea nivel 1: mantenimiento por parte del operario del equipo, nivel 2: mantenimiento por parte de un departamento de mantenimiento especializado en la empresa, o nivel 3: mantenimiento hecho por empresas especializadas externas a la empresa por tener un nivel más complejo y utilización de herramienta y mano de obra más especializada y calificada. En la tercera columna se colocó el tiempo estimado en minutos, en donde el fabricante da un tiempo aproximado de duración de la intervención. En la cuarta columna se coloca la frecuencia en horas de intervención, es decir cada cuanto tiempo de funcionamiento de la maquina hay que hacerle dicho mantenimiento. En la quinta columna encontramos la cantidad, es decir que número de repuestos se requieren para efectuar la intervención, cuantas libras o kilos cuando se habla de grasa, o cuantos galones en el caso de fluidos, liquido o lubricantes. Y en la última columna el repuesto o el insumo con su respectiva referencia necesaria para efectuar la intervención programada.

A continuación se anexan las bases de programación de cada uno de los equipos de la empresa OBRESCA C.A. elaboradas teniendo en cuenta las aclaraciones anteriormente mencionadas.

Base de programación

CALENDARIO EQUIVALENTE:

10H = 1 DIA

50H = 1 SEMANA

500 = 6 MESES

1000= 1 AÑO

2000 = 2 AÑOS

INTERVENCIÓN	NIVEL	TIEMPO ESTIMADO (MINUTOS)	FRECUENCIA (HORAS)	CANTIDAD	REPUESTO/REFERENCIA
CAMBIO FILTRO DE AIRE PRIMARIO	2	20	250	1	RS-3506
CAMBIO FILTRO DE AIRE SECUNDARIO	2	20	250	1	RS-3507
FILTRO DEL ACIETE MOTOR	2	60	250	1	FILTRO DE ACEITE BD-103
FILTRO DE COMBUSTIBLE	2	60	500	1	FILTRO DE COMBUSTIBLE BF-970
FILTRO DEL AGUA	2	20	1000	1	BW-5139
CAMBIO ACEITE DE MOTOR	2	60	250	6 GAL	ACEITE MOTOR 15W-40 MOBIL
ENGRASE	1	50	1 DIA	2 Kg	GRASA MF-2 MULTIPAT
CAMBIO DE ACEITE HIDRAULICO	2	60	5000	6 GAL	ACEITE NUTO 68 ESSO
VACIAR DEPOSITO DE COMBUSTIBLE	2	30	2000		
VACIAR MOTOR (SISTEMA DE REFRIGERACIÓN)	2	30	2000		
CAMBIO LIQUIDO REFRIGERANTE	2	30	2000	9 GAL	FREZETONE RADIATOR COLANT
CAMBIO CORREAS DE ALTERNADOY VENTILADOR	2	30	4000	3	CORREAS GOOD GEAR
LIMPIAR RADIADORES	2	30	1 AÑO	2	
CAMBIO DE MANGUERAS FLEXIBLES	3	180	3000		MANGUERAS HIDRAULICAS
CAMBIO DE DIENTES	2	40	1500	5	DIENTES ETESA

VERIFICAR ESTADO DEL BALDE	1	10	1500	1	
CAMBIO HELICE RADIADOR	2	40	7500	1	HELICE MOTOR KOMATSU
PURGA DEPOSITOS DE AIRE	2	20	500		
VERIFICAR RESPIRADERO DEL TANQUE HIDRAULICO	1	60	2000		
VERIFICAR DESGASTE EMPAQUES SISTEMA HIDRAULICO	2	35	1000		
VERIFICAR DESGASTE LINK DE CADENA	2	35	1 AÑO		
CAMBIO BATERIAS	2	20	2000	2	BATERIA FALCON 12V-90A
CALIBRACION VAVULAS	3	120	2000	4- Gatos 1-Principal	VALVULAS KOMATSU PC-300
CALIBRACION SELENOIDES	3	40	2000	5	SELENOIDE KOMATSU PC-300
VERIFICAR ALTERNADOR	1	10	1000	1	
NIVEL DE ACEITE	1	1	10		
CIRCUITO AUXILIAR	2	30	100		
VERIFICAR CONTROL DE VELOCIDAD HIDRAULICA	2	20	100-500		
REVISION GENERAL DEL MOTOR	2	30	2000		

FUENTE: Catalogo del propietario. Excavadora Komatsu PC 300.

3.1.8 listado de proveedores

Para facilitar la tarea de contactar proveedores de insumos y repuestos para cada uno de los equipos y para encontrar de una forma más sencilla y eficiente los talleres y empresas especializadas en determinado tipo de mantenimiento, se diseñó un listado de proveedores, los cuales han sido durante años los encargados de efectuar los mantenimientos de nivel 3 junto con los repuestos e insumos necesarios también para el mantenimiento nivel 1 y 2.

El encabezado del listado de proveedores se compone de nombre, dirección, teléfono, contacto y productos y servicios

Cabe anotar que los proveedores y las empresas nombradas dentro de las listas de proveedores son de amplia trayectoria en el mercado de partes, piezas, repuestos e insumos, así como también de gran experiencia en cuanto a intervenciones a los equipos, teniendo en cuenta que se han especializado en algún tipo de mantenimiento especializado, OBRESCA C.A. es cliente y ha negociado con algunas de las empresas mencionadas en los listados de proveedores durante años.

A continuación se anexa los listados de proveedores de cada uno de los equipos de la empresa, teniendo en cuenta lo explicado anteriormente.

Tabla 8. Lista de proveedores

NOMBRE	DIRECCIÓN	TEL	CONTACTO	PRODUCTOS Y SERVICIOS
TEHICOL	Carrera 55 # 15-82	4050772	Carlos Solano	Tecnología hidráulica. Importación. Venta de repuestos. Reparación de sistemas hidráulicos. Banco de prueba.
IBEROAMERICANA DE PARTES	Avenida las Américas #39-75	3680203	Jairo Moreno	Repuestos para maquinaria de construcción. Herramientas de corte (cuchillas y esquineras). Tren de rodaje. Cadenas, carriles, zapatas, tornillos y tuercas. Bases, dientes y esquineras para excavadoras.
IMPORTADORA GRAN ANDINA LTDA	Avenida 6 # 27 B-37	2629032 Ext: 110	Ricardo Escobar	Repuestos para maquinaria de construcción. Herramientas de corte (cuchillas y esquineras). Tren de rodaje. Cadenas, carriles, zapatas, tornillos y tuercas. Bases, dientes y esquineras para excavadoras.
UNIMAQ SA	Calle 13 # 68 A-45	2627666	Diego Linares	Repuestos y servicios en general. Insumos.
COLMAQUINARIA LTDA	Calle 6 A # 25-32	2470666	Luis Giraldo	Reconstrucción de maquinaria.

				Soldadura eléctrica. Fabricación de repuestos. Servicios de torno y fresado fabricación de bujes y pasadores.
LLANTAS ESPECIALES SA	Carrera 100 # 24 F-10	4131099	Edgar Villalobos	Importadores de llantas. Montaje y reparación de llantas.
AGROFILTER LTDA	Calle 11 # 23-26	3710370	Nubia Zapata	Filtros.
CENTRAL LTDA	Avenida las Américas # 36-29	3690500	Edgar Germán Cabra	Venta de repuestos. Servicio técnico Bobcat.
DIST. DE CORREAS Y EMPAQUES LTDA.	Carrera 27 # 13-13	3603604	Helmut Gomes	Distribuidora repuestos Komatsu. Sellos. Empaques. Instalación de sus productos.
TURBO ANDINA	Calle 7 # 31-21	2778157	Belisario Chacón	Técnicos en turbos. Reparación de turbos. Venta de repuestos de turbos.
CASA DEL EMPAQUE	Carrera 15 calle 8	3429156	Fabio Velásquez	Todo en empaques. Fabricación de empaquetaduras.
RETENES Y BALINERAS	Calle 8 carrera 15	3417444 3364712	Milton Álvarez	Rodamientos. Retenes. Balineras. Servicio de instalación
RECTIFICADORA DE MOTORES	Carrera 24 # 9-73	3603620	Alfonso Pérez	Rectificadora De motores. Servicio Técnico.
RECTIFICADORA DE MOTORES JAIME ANGEL	Carrera 25 # 6-24	2376907	Jaime Ángel	Rectificadora De motores.

				Servicio Técnico.
DIESEL REPUESTOS LTDA.	Calle 24 # 21-55	3683559	Oscar Ramos	Repuestos motores Deutz. Piezas y partes motores diesel.
AEDIESEL	Carrera 35 # 4-12	2014841	Alfredo Escobar	Inyectores. Sistemas de inyección. Sincronización.
DIESEL Y TURBOS	Calle 12 A # 39-21	3510899	Patricia	Sistemas de inyección. Sincronización de motores.
BATERIAS FALCON	Calle 70 # 23-50	2552045	Esperanza G.	Fabrica de baterías. Mantenimiento de baterías.
HIDRONEUMÁTICOS BORRERO	Carrera 128 # 15 B-30	2987077	Edgar Borrero	Sistema hidráulico. Mantenimiento. Reparación de sistemas hidráulicos.
REPARACIÓN Y ALQUILER DE EQUIPOS MENORES	Calle 72 A # 53-43	2317661	Orlando Guzmán	Reparación bombas. Mantenimiento general de equipos menores.
EJES, PIÑONES Y AFINES LTDA.	Carrera 31 A # 9-11	3607747	Carlos Macías	Fabricación de ejes. Fabricación de piñones.
PARTES KOMATSU	Carrera 71 B # 53-23	2958515	Mauricio Arévalo	Repuestos Komatsu. Asesoría técnica.
PRACO DIDACOL	Autopista Norte Km 20 vía Chía	6671300	Nelson Pradilla	Importador de repuestos Komatsu. Distribuidora repuestos Komatsu. Servicio técnico.
CATEKOM LTDA.	Calle 6 # 22-33	2775121	Javier León	Repuestos Caterpillar. Repuestos Komatsu.

FUENTE: Los autores

3.1.9 Recolección históricos de fallas.

Fara efectos de tener una información detallada de las fallas, mantenimientos e intervenciones de cada uno de los equipos, se recurrió a los históricos de fallas de la empresa, los cuales han sido elaborados por el técnico encargado del departamento de mantenimiento de OBRESCA C.A. esto con el fin de hacer un cálculo de criticidad mas real y en caso de que el equipo en realidad sea un equipo critico para la empresa, utilizar estos datos de los históricos para el software de confiabilidad.

A continuación se muestra un ejemplo escaneado de los históricos de fallas. En este caso de la terminadora de asfalto Finisher Caterpillar AP 1200.

Grafica . Registro de mantenimiento y reparaciones OBRESCA

EQUIPO: FINISHER CAT 1200 CODIGO: OTA-00A.

FECHA	HOROMETRO O KILOMETROS	DESCRIPCION DE TRABAJO	HORAS LABORADAS
29 MARZO-06	8.7300 8.730.	MANTENIMIENTO CAMBIO DE ACEITE Y FILTROS de MOTOR.	Alfonso Aragón
26-AGOSTO-06	9.110	MANTENIMIENTO: CAMBIO ACEITE MOTOR FILTROS ACEITE COMBUSTIBLE AIRE.	Alfonso Aragón 1 HORA
ENERO 28-07	9.410	MANTENIMIENTO MOTOR. CAMBIO ACEITE MOTOR, FILTROS MOTOR. COMBUSTIBLE. AIRE	3 Hs. Alfonso Aragón
Feb 22-207	9460	reconstruir piñones de motores y ejes de SINFIN O CORACOLES. CAMBIO DE CADENAS CARACOLES. CAMBIO SELLOS DE LA CABEILLA Lado Derecho.	3 DIAS Alfonso Aragón
Feb 28-07	9483	CAMBIO DE CHUMACERA DE LA CADENA que ARASTRA MATERIAL	Alfonso Aragón 2.Hs.
MAY-12-07	9.670	MANTENIMIENTO MOTOR. CAMBIO ACEITE MOTOR. FILTRO COMBUSTIBLE FILTRO MOTOR (dos.) CAMBIO DE CORREAS. VENTILADOR	Alfonso Aragón Alfonso Aragón
SEP. 22-07	9.957	MANTENIMIENTO MOTOR. CAMBIO ACEITE MOTOR. FILTRO COMBUSTIBLE-AIRE MOTOR. Limpieza TRAMPA COMBUST. CORREGIR FUGA ACEITE HIDRA	Alfonso Aragón Alfonso Aragón
SEP. 29-07	9.963	MONTAJE de LLANTAS (dos) TRASERAS 1800 x 25.	Alfonso Aragón
OCT-17-07		MONTAJE de LLANTA TRASERA CAMBIO de SELLO AL RING CAMBIO de CORREAL AL ALTERNADOR.	

FUENTE: OBRESCA C.A

3.1.10 calculo de criticidad

3.1.10.1 Teoría del riesgo

La teoría del riesgo se basa en ponderar diferentes variables, que ofrecen la posibilidad de visualizar la importancia que tiene un equipo o sistema como función que cumple dentro de su sistema productivo.

Para el RCM se deben considerar variables que categorizan la importancia de este, las variables son:

FRECUENCIA (F): Número de veces que se puede presentar la falla.

CONSECUENCIA (C): Calificación de las posibles fallas de acuerdo a su impacto.

IMPACTO OPERACIONAL (IO): Calificación dada por el impacto que causa el equipo o sistema dentro del sistema productivo cuando este falla.

FLEXIBILIDAD (FL): Facilidad que se tiene para corregir y poner en marcha nuevamente el equipo que falló.

COSTO OPERACIONAL (CO): Forma de establecer económicamente el impacto en cuanto al costo de la falla (Costos directos e indirectos).

SEGURIDAD AMBIENTE E HIGIENE (SAH): Evalúa el impacto ambiental que pueda ocasionar la falla en diferentes aspectos: Seguridad Industrial, Impacto Ambiental e Higiene del Sistema Productivo.

Tabla 9. Criterio para la determinación de criticidad del sistema

Criticidad Total		Frecuencia de fallas x consecuencia	
Consecuencia = (Impacto Operacional Flexibilidad) + Costo Mito. + Impacto SAH)			
Frecuencia de fallas:		Costo de Mmto.	
Parámetro mayor a 4 fallas/año	4	Mayor o igual a 20.000\$	2
Promedio 2 - 4 fallas/año	3	Inferior a 20.000 \$	1
Buena 1 - 2 fallas/año	2		
Excelente menores de 1 falla/año	1		
Impacto operacional		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene	
Parada inmediata de toda la refinería	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna	8
Parada del complejo planta y tiene repercusión en otros complejos	6	Afecta el ambiente produciendo daños reversibles	6
Impacta en niveles de producción o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Repercute en costos operacionales adicionales asociados a disponibilidad	2	Provoca daños menores (Accidentes e incidentes) personal propio	2
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
Flexibilidad Operacional		No provoca ningún tipo de daños a personas instalaciones o al ambiente	
No existe opción de producción y no existe función de repuesto	4		0
Hay opción de repuesto compartido	2		
Función de repuesto disponible	1		

FUENTE: Los autores.

De esta manera se tiene:

R= riesgo = $F \cdot C$

F= frecuencia= # de fallas/tiempo (1año)

C = consecuencia

$$C = ((IO * FL) + CM + SAM) = 50 \text{ max resultado}$$

Tabla 10. Cuantificación de criticidad

(F) 4 3 2 1	SC	SC	C	C	C
	SC	SC	SC	C	C
	NC	NC	SC	SC	C
	NC	NC	NC	SC	C
	10	20	30	40	50

FUENTE: Los autores.

(C)

ITEM	EQUIPO	IO	FL	CM	SAH	CONSECUENCIA (C)		(F)	RIESGO F*C
1	VOLQUETA RENAULT 241	6	4	2	4	30		1	30
2	VOLQUETA RENAULT 242	6	4	2	4	30		1	30
3	EXCAVADORA KOMATSU 883	10	4	2	4	46		1	46
4	EXCAVADORA KOMATSU 838	10	4	2	4	46		1	46
5	RETROEXCAVADORA JCB 238	6	4	2	4	30		3	90
6	RETROEXCAVADORA JCB TURBO 117	6	4	2	4	30		2	60
7	VIBROCOMPACTADOR DE MANUBRIO MULTIEQUIP	6	4	2	4	30		1	30
8	VIBROCOMPACTADOR BOMAG	4	2	2	4	14		4	56
9	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL RAND SD 100	4	2	2	4	14		4	56
10	VIBROCOMPACTADOR INGERSOLL RAND DD 23	4	2	2	4	14		4	56
11	FINISHER CATERPIILLAR AP 1200	10	4	2	6	48		4	192
12	MOTONIVELADORA CATERPILLAR 12-E	6	4	2	6	32		4	128
13	MINICARGADOR JOHN DEERE 260	4	2	2	4	14		2	28
14	MINICARGADOR BOBCAT 443	4	2	2	4	14		1	14
15	COMPACTADPR DE LLANTA INGRAM	6	2	2	4	18		3	54

16	COMPRESOR INGERSOLL RAND 100	4	2	2	4	14		1	14
17	MOTOSOLDADOR HOBART	2	2	1	3	8		3	24
18	COMPRESOR CARSON	2	1	1	4	7		1	7
19	BOMBA LANZADORA MEICO	4	2	1	2	11		2	22
20	MALACATE ELCECTRICO ABB 422	2	1	1	2	5		1	5
21	MALACATE ELECTRICO ABB 692	2	1	1	2	5		1	5
22	MOTOBOMBA HONDA 492	2	1	1	2	5		1	5
23	MOTOBOMBA HONDA 758	2	1	1	2	5		1	5
24	BOMBA ELECTRICA NOVA	2	1	1	2	5		2	10
25	AUTOCLAVE SIEMMENS	2	1	1	2	5		2	10
26	VENTILADOR COFMAN	2	1	1	2	5		2	10

FUENTE: Los autores.

Después de haber valorado el riesgo que cada equipo representa en el momento de una falla funcional, se requiere categorizar o agrupar los diferentes equipos de acuerdo al resultado obtenido.

El análisis dio como resultado cuatro equipos críticos de los veintiséis que tiene OBRESCA C.A, los cuales son los identificados con el color rojo en el cuadro de resultados.

Dichos equipos son los siguientes:

- EXCAVADORA KOMATSU 883
- EXCAVADORA KOMATSU 838
- FINISHER CATERPIILLAR AP 1200
- MOTONIVELADORA CATERPILLAR 12-E

La categorización de los equipos según su criticidad, servirá para iniciar el plan de acción a realizar ya que en este trabajo se concentró única y exclusivamente en los equipos críticos.

De tal manera que se empezara por los cuatro equipos realmente críticos, para continuar con el siguiente paso de implementación del RCM, determinación del " Análisis de modo y efecto de falla "

3.1.11 diseño de los AMEF (Análisis de modo y efecto de falla)

Este procedimiento se realizo únicamente a los equipos mas críticos, debido a la dedicación que se requiere por parte del recurso humano, recursos físicos y tiempo necesario.

Para efectuar el AMEF, se inicio por crear una tabla la cual posee seis columnas:

Estándar de funcionalidad, falla funcional, modo de falla, frecuencia de eventos por año, efectos de falla y acción de mantenimiento a ejecutar.

3.1.11.1 Estándar de funcionalidad

La primera columna consiste en definir cual es la función que cumple el equipo dentro del sistema productivo.

Figura 5. Estándar de funcionalidad.

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD
1	SISTEMA DE ENCENDIDO O ARRANQUE al girar la llave y hacer trabajar el motor de arranque con 2 baterias de 12v para un total de 24V/7.5 Kw y corriente de 25 Amp, y una RPM de 1950, comienzan los primeros giros del motor iniciandose así el funcionamiento del sistema de encendido. La corriente pasa de la bateria por el switch hacia el distribuidor.

FUENTE: Los autores

3.1.11.2 Falla funcional

Recordando el criterio fundamental de las estrategias de mantenimiento, la segunda columna nombra todas las fallas funcionales que tiene el equipo, estas fallas son totales y parciales.

La falla funcional se identifica con una letra mayúscula, en esta columna se nombró el no cumplimiento de la función estándar.

Figura . Falla funcional.

No	FALLA FUNCIONAL
A	El ACPM no es impulsado del tanque hacia los inyectores
B	El ACPM llega sin presión adecuada a la cámara de combustión

Identificación falla funcional

Falla total

Falla parcial

FUENTE: Los autores

3.1.11.3 Modo de falla

En esta columna se nombro la causa de cada falla funcional, ya que cada modo de falla funcional es la que provoca la perdida de función total o parcial del activo en su contexto operacional (cada falla funcional tiene mas de un modo de falla).

Cada modo de falla es identificado con un número y una letra siguiendo la secuencia de numeración

En esta columna se resalta la suciedad, corrosión, erosión, abrasión, lubricación inadecuada, ensamble incorrecto y operación incorrecta.

Tabla 11. Modo de falla

FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA
El ACPM no es impulsado del tanque hacia los inyectores	2A1	bomba acpm no funciona
	2A2	inyectores pegados
El ACPM llega sin presión adecuada a la cámara de combustión	2B1	fugas en conductos de transporte de combustible
	2B2	suciedad en los inyectores

FUENTE: Los autores

3.1.11.4 Efecto de falla

En esta columna se informan los eventos secuenciales que ocurren cuando el modo de falla se da, aquí encontramos la información necesaria para determinar las consecuencias y tareas de mantenimiento.

Tabla 12. Efecto de falla

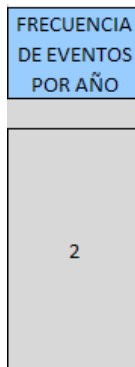
FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFFECTO DE FALLA
El ACPM no es impulsado del tanque hacia los inyectores	2A1	bomba acpm no funciona		no hay paso de ACPM del tanque a la camara de combustión.
	2A2	inyectores pegados		no inyecta acpm a la camara de combustion
				Bomba de ACPM forzada

FUENTE: Los autores

3.1.11.5 Frecuencia de eventos por año

En esta columna se anota el número de eventos por año que se presenta la falla ya que este dato es determinante para el cálculo de confiabilidad del equipo.

Figura . Frecuencia de eventos por año



FUENTE: Los autores

3.1.11.6 Acción de mantenimiento

Por cada falla hay una acción de mantenimiento haciendo que en el momento que se presente una de estas eventualidades, se obtenga una solución rápida al problema que en este caso afecta el desempeño y producción del equipo.

Tabla 13. Acción de mantenimiento

FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO EJECUTAR
El ACPM no es impulsado del tanque hacia los inyectores	2A1	bomba acpm no funciona		no hay paso de ACPM del tanque a la camara de combustión.	Cambiar o reparar bomba
	2A2	inyectores pegados		no inyecta acpm a la camara de combustion	cambiar inyectores

FUENTE: Los autores

3.1.12 AMEF de los equipos críticos

Se adjunta al documento impreso, los AMEF (Análisis de Modo y Efectos de Fallas) en archivo Excel de los 4 equipos críticos de la empresa, sin embargo se muestra a continuación un ejemplo del AMEF de la Finisher Caterpillar AP 1200 (PAV-FC-11) siguiendo el diseño de los AMEF descrito en el punto anterior.

Tabla 14. FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
1	SISTEMA DE ENCENDIDO O ARRANQUE							
	al girar la llave y hacer trabajar el motor de arranque con 2 baterías de 12v para un voltaje total de 24 v/7.5 kw y corriente de 60 amp. y una RPM de 1900 rpm, comienzan los primeros giros del motor iniciándose así el funcionamiento del sistema de encendido. La corriente pasa de la batería por el switch hacia el distribuidor.	A	El subsistema no arranca	1A1	El sistema no tiene energía.	2	El sistema no genera electricidad a la Finisher Caterpillar AP 1200.	Reparación del sistema de arranque.
2						No carga batería del sistema.	Revisar y reparar alternador.	
				1A2	Desconexión en el sistema eléctrico.		No hay flujo de electricidad en el sistema.	Conectar cables desconectados del sistema eléctrico.
							No carga batería del sistema.	Revisar y reparar alternador.
				1A3	Alternador no funciona.	2	No carga batería del sistema.	Revisar y reparar alternador.
							No hay conversión de energía.	Cambio de escobillas.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFEECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
				1A5	Carcasa rota.		Genera altas vibraciones.	Reparar o cambiar carcasa.
				1A6	Inducido dañado.		No transmite la energía.	Cambiar inducido.
						No hay flujo de electricidad	Conectar cables desconectados del sistema eléctrico.	
						No carga batería del sistema.	Revisar y reparar alternador.	
				1A7	Corto en la bobina del estator.		No pasa corriente de 60 amperios.	Revisar cableado y bobina (reparar).
				1A8	Corto en la bobina del rotor.		No pasa corriente de 60 amperios.	Revisar cableado y bobina (reparar).
				1A9	Balineras de los rodamientos pegadas.		No gira el eje a 1900 rpm.	Cambio de balineras.
						La conversión no es la apropiada	Cambio de balineras.	
				1A10	Recalentamiento bobina.		Hay exceso de corriente	Revisar y reparar sistema eléctrico.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
		B	El subsistema arranca con una corriente deficiente inferior a 60 amp. y/o voltaje inferior a 24 v.	1B1	No tiene carga suficiente.	2	El motor arranca con dificultad, forzando el sistema.	Cambio de batería (vida útil finalizada), o revisar alternador y conexiones.
							El flujo de corriente se da parcialmente.	Limpiar bornes con agua y cepillo para extraer excesiva sulfatación.
				1B2	Bornes de conexión sucios o en mal estado.	1	El flujo de corriente se da parcialmente.	Limpiar bornes con agua y cepillo para extraer excesiva sulfatación.
				1B3	No llega suficiente carga eléctrica.		Falla la energía en el alternador.	Revisar arranque.
No suministra la suficiente carga a la batería.	Revisar Batería y arranque.							

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
2	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN							
	La alimentación de los cilindros del motor se hace depositando el ACPM en el tanque de 79 galones, con el aire de la atmosfera, mezcla que realizan los inyectores. El ACPM es impulsado del tanque hacia los inyectores por la bomba, (ubicada dentro del tanque de ACPM), adosada al bloque de cilindros en el motor y accionada por el árbol de levas.	A	El ACPM no es impulsado del tanque hacia los inyectores.	2A1	Bomba ACPM no funciona.	1	No hay paso de ACPM del tanque a la cámara de combustión.	Cambiar o reparar bomba.
2A2				Inyectores pegados.		No inyecta ACPM a la cámara de combustión.	Cambiar inyectores.	
		B	El ACPM llega sin presión adecuada a la cámara de combustión.	2B1	Fugas en conductos de transporte de combustible.	1	Desperdicio de ACPM.	cambio de conductos rígidos y mangueras flexibles.
							Perdida de presión y caudal.	Cambio de conductos rígidos y mangueras flexibles.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
				2B2	Suciedad en los inyectores.		No inyecta ACPM a la cámara de combustión.	Limpiar por ultrasonido o cambiar inyectores.
							Bomba de ACPM forzada.	Cambiar inyectores.
				2B3	Obstrucción en la bomba.		No permite el paso de ACPM.	Purgar y limpiar el sistema.
							El caudal de ACPM no es el apropiado.	Purgar y limpiar el sistema.
				2B4	Filtro de aire no retira impurezas.	1	No hay fluido de aire hacia las cámaras de combustión.	Cambio de filtro ref.:2523R.
							Se rayan las paredes de los cilindros con las impurezas.	Cambio de cilindros.
				2B5	Tanque roto por impacto o corrosión.	1	Desperdicio de ACPM.	Soldar tanque de ACPM.
							Ingreso de impurezas al tanque.	Soldar tanque de ACPM.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
3	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN:							
	En el momento que el motor enciende, las explosiones que lo hacen posible, generan una altísima temperatura en el interior. Si esta temperatura subiera exageradamente, produciría una deformación de las piezas que dejarían inservible al motor de la Finisher Caterpillar. Para evitar este fenómeno, cuando la temperatura llega a su máximo permitido, el termostato se abre, permitiendo que la bomba haga circular el agua hacia el radiador donde por efecto del movimiento del ventilador se hará la transferencia de calor, regresando luego ya refrigerada al motor para completar su ciclo.	A	Recalentamiento del motor.	3A1	Radiador fisurado.	1	Escape de líquido refrigerante.	Soldar o cambiar radiador.
3A2				Bomba de agua no funciona.		El refrigerante no circula por el sistema de refrigeración.	Reparar o cambiar bomba de agua.	
							Exceso de presión en el sistema.	Reparar o cambiar bomba de agua.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
							Fugas en los empaques de la bomba.	Reparar o cambiar empaques bomba de agua.
							Recalentamiento.	Reparar o cambiar bomba de agua.
				3A3	Se pega el termostato.	1	Termostato sella el paso de agua.	Cambio de termostato.
							Recalentamiento.	Cambio de termostato.
		3A4	Ventilador no funciona.	1	No hay flujo de aire en el radiador.	Reparar o cambiar ventilador.		
				1	Recalentamiento.	Reparar o cambiar ventilador.		
		B	El refrigerante no circula con presión ni caudal adecuado en el sistema.	3B1	Fugas en mangueras.	1	Perdida de fluido y presión en el sistema.	Cambio de mangueras afectadas.
						1	El líquido refrigerante no circula adecuadamente.	Cambio de mangueras afectadas.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
4	SISTEMA DE LUBRICACIÓN							
	Con el motor apagado, el aceite permanece en estado de reposo en el interior del cárter. Al encender el motor, la bomba que es accionada por el árbol de levas, succiona el aceite, lo hace pasar por el filtro para su limpieza y lo impulsa hacia las partes que requieren lubricación, como los anillos, los apoyos del árbol de levas, los apoyos del cigüeñal etc. Mientras el motor permanezca encendido, el aceite estará circulando por los conductos, regresando al cárter y volviendo a circular por el filtro hacia los puntos de lubricación.	A	El subsistema no succiona aceite, no hay lubricación.	4A1	Bomba de aceite no funciona.	1	Perdida de compresión.	Reparar o cambiar bomba de aceite.
						Entrada o salida de la bomba de aceite taponado.	Purgar y limpiar sistema de lubricación.	
				4A2	Rodamientos pegados.	1	Baja la presión de aceite, no hay lubricación.	Reparar bomba cambiando rodamientos, o cambiar bomba.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
		B	No hay lubricación constante, el sistema no es eficiente	4B1	Fugas en el cárter.	1	Fisuras en la pieza por golpes o por corrosión del material.	Soldar o cambiar cárter.
						1	Escape del lubricante.	Soldar o cambiar cárter.
				4B2	Filtro de aceite no funciona, está tapado y no retira impurezas.	2	El aceite no circula en el sistema.	Cambio de filtro de aceite. Ref.: PH 8 ^a .
							Obstrucción por impurezas en el bloque.	Cambio de filtro de aceite. Ref.: PH 8 ^a .
				4B3	Fugas en los empaques o sellos, no evita fugas en los acoples.	1	Perdida del aceite de lubricación.	Cambiar empaques o sellos.
							Perdida de presión de aceite.	Cambiar empaques o sellos.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
5	SISTEMA DE TRANSMISIÓN (hidráulica)							
	La transmisión hidrostática es un sistema que permite el posicionamiento independiente de cada rueda para que cada una de ellas esté siempre en contacto con el suelo, con independencia de los obstáculos, y que además cada una de ellas pueda ser motriz.	A	El sistema no transmite movimiento.	5A1	Bomba hidráulica principal no funciona.	2	No hay flujo hidráulico.	Reparar o cambiar bomba principal.
No funcionan los motores hidráulicos.							Reparar o cambiar bomba principal.	
5A2				Motores hidráulicos no funcionan.	2	Motores hidráulicos no mueven engranajes.	Verificar sistema hidráulico del equipo finisher Caterpillar y funcionamiento de los motores hidráulicos.	
						No hay movimiento del equipo.	Verificar sistema hidráulico del equipo finisher Caterpillar y funcionamiento de los motores hidráulicos.	

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
				5A3	Solenoides o válvulas no cumplen su función (marcha adelante, freno y reversa).	1	No hay control en los motores hidráulicos ya que el fluido hidráulico es ineficiente.	Cambiar o reparar válvulas y/o solenoides de control.
							El equipo no tiene movimiento.	Cambiar o reparar válvulas y/o solenoides de control.
		B	Pérdida de potencia, disminución de la presión y/o caudal hidráulico.	5B1	Fugas en conductos de presión.	1	Bomba principal sobrecargada.	Cambiar conductos de presión.
							Trabajo en seco de la bomba principal.	Cambiar conductos de presión.
			5B2	Fugas de aceite hidráulico en la bomba principal.		Bomba principal sobrecargada.	Repara bomba principal cambiando empaques y retenedores.	

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
				5B3	Fugas de aceite hidráulico en válvulas del sistema.		Trabajo en seco de la bomba principal.	Repara bomba principal cambiando empaques y retenedores.
							Bomba principal sobrecargad.	Cambio de válvulas de control.
							Trabajo en seco de la bomba principal.	Cambio de válvulas de control.
		C	Finisher parada las llantas no están en condiciones apropiadas.	5C1	Daño en las llantas por desgaste.	4	Llantas pinchadas.	Despinchar llantas.
						1	Llantas rotas	Cambiar llantas.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
6	SISTEMA ELÉCTRICO							
	<p>La batería descarga su energía al accionar algún elemento eléctrico, por esto es indispensable tener un sistema que le restituya su carga. El alumbrado está repartido por todo el vehículo, por esto dispone de una instalación compuesta de decenas de cables de diferentes colores para poder identificar el accesorio que manejan. Lo componen:</p> <p>Limpia brisas. Desempañador de vidrio trasero. Alarma. Radio pasacintas. Luces extras como las exploradoras. aire acondicionado entre otros.</p>	A	El sistema no funciona, no hay descarga de energía a los elementos eléctricos.	6A1	batería no funciona, no tiene carga suficiente	1	No distribuye corriente al sistema eléctrico (instrumentos y accesorios eléctricos).	Cambio de baterías de 12v (vida útil finalizada), o revisar alternador y conexiones.
6A2				Alternador no funciona, corto en la bobina del rotor.	1	La batería no carga, se quema el rotor.	Revisar o reparar alternador.	
						Produce corto eléctrico.	Revisar o reparar alternador.	

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
				6A3	Corto en el regulador, no mantiene la tención e intensidad necesaria.		Se queman los fusibles o los accesorios.	Revisar conexiones y cambiar regulador.
				6A4	Correa alternador no transmite movimiento, está rota.	1	No carga la batería.	Cambiar correa.
				6A5	Luces no prenden, fusibles fundidos.	3	No permite paso de corriente a los bombillos.	Cambiar fusibles.
				6A6	Bombillos fundidos.	1	No hay visibilidad.	Cambiar bombillos y revisar sistema.
				6A7	Circuito eléctrico en mal estado, mandos no funcionan.	1	Riesgo a un corto circuito o incendio.	Determinar fallas, malas conexiones y repararlas.
							No trabaja el subsistema.	Determinar fallas, malas conexiones y repararlas.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
		B	Parte de los elementos eléctricos no funcionan.	6B1	Bornes de conexión sucios o en mal estado.		La batería se descarga y/o no distribuye corriente.	Limpiar bornes con agua y cepillo para extraer excesiva sulfatación.
				6B2	El testigo no indica, no se prende ni se apaga al accionar el motor.		Se trabaja el equipo con una posible falla no detectada.	Revisar fusibles y/o cambiar testigo.
				6B3	Correa alternador no transmite movimiento, esta floja.		No carga suficientemente la batería.	Ajustar correa.
7	SISTEMA DE DIRECCIÓN							
	Este dispositivo permite llevar la trayectoria de la finisher Caterpillar a voluntad del operario, bien sea en línea recta o a derecha o a izquierda mediante el manejo del volante.	A	El sistema no funciona, la finisher Caterpillar, no tiene dirección.	7A1	Caña de dirección esta rota o no esta acoplada correctamente.	1	No transmite movimiento a las rotulas por lo tanto sistema de dirección no cumple su función.	Cambiar o acoplar correctamente la caña de dirección.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFEECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
				7A2	Cremallera no engrana, desgastada.	1	No transmite movimiento a las rotulas por lo tanto sistema de dirección no cumple su función.	Cambiar cremallera.
		B	El sistema funciona con dificultad, dirección dura y/o juego entre sus piezas.	7A3	Rotulas no articulan.	1	Hacen juego entre si, dirección dura.	Engrasar o cambiar rotulas.
						1	Ocasionan desgaste prematuro en las piezas.	Engrasar o cambiar rotulas.
				7B2	Cruceta con juego.		Dirección dura, desgaste excesivo en las piezas.	Cambiar cruceta.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
8	SISTEMA DE SUSPENSIÓN							
	El sistema de suspensión consta de unos resortes, amortiguadores y otros elementos dispuestos para dar comodidad al operario cuando el vehículo se desplaza por un terreno irregular, y por las vibraciones. También aporta seguridad al evitar que las ruedas se despeguen del piso y evita la carga excesiva que sufre el bastidor y la carrocería.	A	Subsistema no funciona suspensión dañada, no hay amortiguación.	8A1	Perdida de elasticidad en los resortes, resorte no se recoge al recibir peso.		Perdida de estabilidad y flexión excesiva.	Cambio de resortes.
8A2				Perdida de elasticidad en los ballestas, ballesta no se recoge al recibir peso.		Perdida de estabilidad y flexión excesiva.	Cambio de ballestas.	
8A3				Amortiguadores no frenan la frecuencia oscilatoria de los resortes, pierden presión interna.	1	Perdida de estabilidad y oscilación excesiva.	Cambio de amortiguadores.	

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
9	SISTEMA HIDRAULICO							
	Transmitir y controlar fuerzas y movimientos por medio de aceite hidráulico. La energía mecánica del motor es convertida ha energía hidráulica por medio de la bomba. Esta energía hidráulica es transmitida por medio de las mangueras hacia las válvulas de control y posteriormente a los cilindros, convirtiendo así esta energía hidráulica a mecánica.	A	El subsistema no transmite movimiento, no hay control de fuerza.	9A1	Bomba hidráulica principal no funciona, piñonería en mal estado.	2	No hay fuerza ni control en el sistema.	Reparar bomba cambiando piñones.
					1	No hay movimiento de cadenas, no funciona la tolva.	Reparar bomba cambiando piñones.	
				9A2	Falla presiones válvula principal, no llega el caudal apropiado a las válvulas controladas por solenoides.	2	Al pegarse la válvula no hay fuerza.	Revisar presión del sistema y verificar funcionamiento de la válvula principal, si esta en mal estado cambiar.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
						2	No hay control en el sistema.	Revisar presión del sistema y verificar funcionamiento de la válvula principal, si esta en mal estado cambiar.
				9A3	Válvula en mal estado, Desgaste en los empaques y suciedad.		Perdidas de presión.	Cambio de los empaques y limpieza.
				9A4	Válvula en mal estado, no recibe señal del solenoide.	2	Válvula no funciona.	Revisar conexiones eléctricas o cambiar válvula.
			2			Caracoles no trabajan.	Revisar conexiones eléctricas o cambiar válvula.	
			1			Plancha no trabaja.	Revisar conexiones Y cambiar válvula.	
		B	El subsistema presenta perdidas de presión no hay fuerza.	9B1	No hay fluido de aceite en el sistema.		Sin presión, no hay fuerza ni control en el sistema de levante.	Reparar fugas y suministrar aceite al sistema ref.: Esso Nuto H 68

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
				9B2	Fuga de aceite por enfriador, Ruptura enfriador.		Perdida de presión y recalentamiento en el sistema.	Soldar o cambiar enfriador de aceite.
							No hay control en el sistema.	Revisar presión del sistema y verificar funcionamiento de la válvula principal, si esta en mal estado cambiar.
				9B3	Fuga de presión en las mangueras, Mangueras cristalizadas y rotas.	1	Perdida de presión y pérdida de fuerza.	Cambiar mangueras flexibles.
				9B4	Exceso de presión.		Válvulas y mangueras afectadas.	Revisar funcionamiento del sistema e identificar posibles puntos de obstrucción.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFEECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
10	SISTEMA MECÁNICO DEL MOTOR							
	Encargado de transformar la energía química almacenada en un combustible, en energía mecánica, mediante las partes que lo componen con una potencia de 125 hp.	A	Motor pierde fuerza (inferior a 125 hp), expulsa exceso de humo o no funciona.	10A1	Bielas des balanceadas.	1	No transmite el movimiento adecuadamente debido a los constantes esfuerzos.	Alinear o cambiar bielas.
10A2				Variación del tamaño del pistón.		No hay presión adecuada en la cámara de combustión.	Recuperación o cambio de pistones.	
10A3				Cigüeñal des balanceado.	1	No convierte adecuadamente el movimiento lineal a movimiento circular.	Reacondicionar cigüeñal.	
10A4				Variación del tamaño de los anillos.	1	El aceite lubricante del motor ingresa a la cámara de combustión.	Cambiar anillo de pistones.	

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
							Se genera pérdida de potencia y perdida de aceite.	Cambiar anillo de pistones.
				10A5	Empaques fisurados, rotos o dañados.	1	Paso de agua de refrigeración a la cámara de combustión.	Cambiar empaquetadura del motor.
				10A6	Camisas del pistón desgastadas o figuradas.	1	Perdida de compresión en las cámaras de combustión.	Cambiar juego de camisas.
		B	Motor no está ajustado al chasis.	10B1	Altas vibraciones.	1	Desajuste del equipo.	Cambio de soportes al motor.
				10B2	Altas vibraciones.	1	Desgaste de los cauchos.	Cambio de los cauchos.

Tabla 14 (continuación). FINISHER CATERPIILLAR AP 1200 (PAV-FC-11)

ITEM	ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA	ACCION DE MANTENIMIENTO A EJECUTAR
		C	Recalentamiento del bloque del motor.	10B3	Conductos del líquido refrigerante con obstrucción en el bloque del motor.		No circula el refrigerante adecuadamente, forzando bomba de agua.	Limpieza del bloque del motor.
				10B4	Conductos del paso de aceite de motor con obstrucción en el bloque del motor.	1	No circula el aceite del motor adecuadamente, forzando bomba de aceite.	Limpieza del bloque del motor.

FUENTE: Los autores.

3.2 herramientas de gestión

Las herramientas requeridas para la gestión de este plan de mantenimiento son los Software de confiabilidad llamados RCM++ y Weibull++7, los cuales están relacionados con la nueva implementación y reprogramación de mantenimiento para la empresa.

3.2.1 Software para Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM++

RCM++ facilita el análisis, el manejo de datos de los AMEF y la presentación de informes para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

Selección de Maquinaria

Para enfocar en los recursos con el objetivo de utilizar su máximo beneficio, RCM++ soporta dos métodos configurables para seleccionar las maquinarias que estarán analizadas con técnicas RCM: Preguntas de Selección (si/no) y Factores de Criticidad (con Escala de Calificación).

Categorización de Modos de Falla

RCM++ soporta la Categorización de Efectos de Falla (FEC - Failure Effect Categorization) RCM proporcionando al mismo tiempo la capacidad de personalizar las preguntas y categorías con el objetivo de enfrentar las necesidades específicas del proyecto. Se categorizan los efectos de falla y desde ahí seleccionar las acciones de mantenimiento que serán aplicables y efectivas.

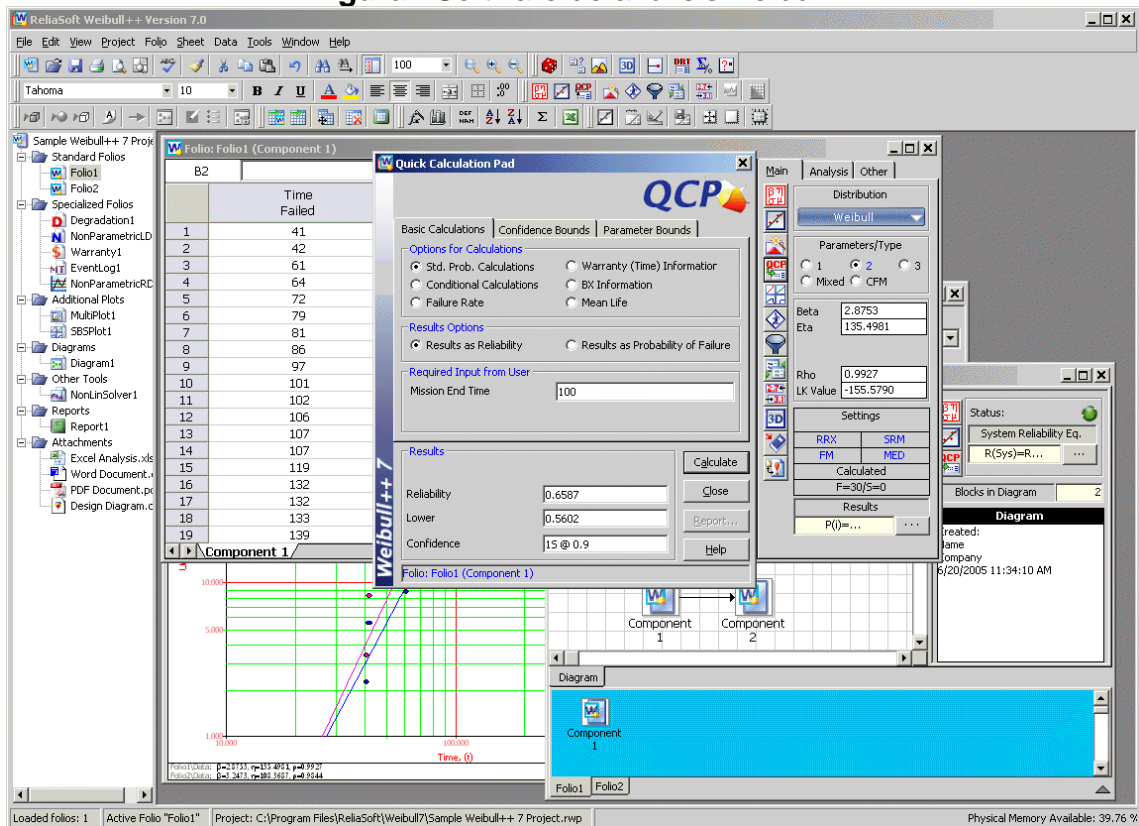
Paquetes de Tareas de Mantenimiento: RCM++ facilita la agrupación de tareas individuales en paquetes basados en intervalos, equipos de labor, etc.

3.2.1.1 Software de Análisis de Datos de Vida Weibull++ 7

Weibull++ es el estándar de la industria en análisis de datos de vida (análisis Weibull) para miles de empresas en todo el mundo. Weibull++ 7 analiza datos de vida usando múltiples distribuciones de vida (incluyendo todas las distribuciones Weibull) mediante una interfaz legible y concisa creada con la ingeniería de confiabilidad en mente.

Este software proporciona una matriz completa de análisis de datos, gráficas e informes para el análisis estándar de datos de vida (análisis Weibull) con un soporte integrado para una variedad de análisis relacionados. Diseñado y construido por ingenieros de confiabilidad para ingenieros de confiabilidad, este paquete sigue levantando el nivel de análisis estadísticos aplicados en confiabilidad.

Figura . Software de análisis weibull++7



FUENTE: Weibull++ 7

Todos los Tipos de Datos: Weibull++ incluye datos completos, datos censurados a la derecha (con suspensiones), datos censurados a la izquierda, en intervalos y datos en forma libre - todos los datos pueden ser ingresados individualmente o en grupos. Está disponible también una interfaz especializada para el análisis del registro de sucesos.

Todas las Mayores Distribuciones de Vida: El software incluye el análisis de datos con 1, 2 o 3 parámetros Weibull, Weibull Mixto, análisis exponencial con 1 o 2 parámetros, análisis Lognormal, Normal, con Gamma Generalizado, Gamma, Logístico, Loglogístico, Gumbel y la distribución de vida Weibull-Bayesian. El asistente para distribuciones le ayuda a seleccionar la distribución más apropiada para un segmento de datos mediante un ajuste de bondad.

Resultados con gráficas

Cálculos de parámetros y resultados calculados: Weibull++ incluye Regresión de Rangos y Máxima Verosimilitud (EMV) para el cálculo de los parámetros. Herramientas integradas proporcionan los resultados calculados rápidamente (como confiabilidad dada con tiempo y vida BX) basados en el análisis de datos

que haya proporcionado el usuario. Los límites de confianza están disponibles para todos los parámetros y resultados calculados.

Gráficas e Informes Automatizados: El software automáticamente genera una matriz completa de gráficas de confiabilidad, con configuraciones personalizables. Gráficas pueden ser anotadas y usadas en informes y presentaciones. Una opción de autogeneración.

Herramientas y asistentes adicionales

Weibull++ proporciona varias herramientas adicionales y asistentes para facilitar, mejorar y suplementar los análisis.

3.2.2 Ingreso de datos al RCM ++ 4

A cada uno de los equipos críticos de la empresa OBRESCA C.A. se analizaron en es software. Dichos análisis se anexan en medio magnético. a continuación se explica detalladamente el procedimiento utilizado para el ingreso de datos al programa usando como ejemplo la finisher catterpillar AP 1200 (PAV-FC-11).





Lo que se pretende con este software es la facilidad de organizar el plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad. Este programa ofrece gran variedad de herramientas para optimizar y controlar estas actividades.

Se explica el diseño del programa y la aplicación a los análisis y modos de falla con sus respectivas intervenciones y soluciones de mantenimiento.

Después de realizar los AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Falla), se procede a ingresar al software la información la cual está basada en:

Figura . Parámetros del AMEF representados en los botones y comandos del software.

ESTANDAR DE FUNCIONALIDAD	No	FALLA FUNCIONAL	No	MODO DE FALLA	FRECUENCIA DE EVENTOS POR AÑO	EFECTO DE FALLA
---------------------------	----	-----------------	----	---------------	-------------------------------	-----------------

1.  Estándar de funcionalidad
2.  Falla funcional
3.  Modo de falla
4.  Efecto de falla

FUENTE: Los autores.

Se inicia por establecer el sistema o equipo el cual llevará un conjunto de información que permite identificar de manera desglosada las diferentes eventualidades que se pueden presentar en ella.

Se ingresan los datos respectivos para la identificación del sistema como los son el nombre, descripción del equipo, algunas observaciones y a quien pertenece.

Figura . Ingreso de datos del sistema

FUENTE: RCM++ 4

Antes de ingresar los datos en el sistema de encendido o arranque determinamos el tipo de influencia **M** que tiene la falla sobre el equipo, para este caso encontramos en la ocurrencia en que falle este sistema afecta directamente la operación y la economía para el equipo.

Figura . Selección de equipamiento

Selection Questions	Criticality Factors	
Safety	Could failure affect safety or have other hazardous consequences?	No
Detectability	Could failure be undetectable or not likely to be detected during normal operation?	No
Operational	Could failure have significant operational impact?	Yes
Economic	Could failure have significant economic impact?	Yes

Remarks

Analyze for RCM (Manual Override)

Last Update Date: 22/08/2008

FUENTE: RCM++4

Obteniendo plenamente identificado el sistema procedemos el ingreso de los subsistemas, cada uno con su respectivo estándar de función, falla funcional, modo de falla y efecto de falla.

Figura . Sistema y subsistema

Item Name	F	M
TERMINADORA DE ASFALTO FINISHER AP-1200 FC-11		
SISTEMA DE ENCENDIDO O ARRANQUE	F	M

FUENTE: RCM++ 4

Figura . Árbol de análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

Description	RPNi	RPNr	A	C	FEC	T
al girar la llave y hacer trabajar el motor de arranque con 2 baterías de 12v para un voltaje total de 24 v/7.5 kw y corriente de 60 amp, y una RPM de 1900 rpm, comienzan los primeros giros del motor iniciándose así el funcionamiento del sistema de encendido. La corriente pasa de la batería por el switch hacia el-						
El subsistema no arranca						
el sistema no tiene energía						EO
El sistema no genera electricidad a la Finisher Caterpillar ap 1200.	288	12	1	1		
no carga batería del sistema	216	9	1	1		
desconexión en el sistema eléctrico						EO
No hay flujo de electricidad en el sistema.	10	6	1	1		
no carga batería del sistema	4	2	1	1		

FUENTE: RCM++ 4

Después de ingresar los datos editamos la causa con los rangos de severidad, ya que el programa nos determina un porcentaje de este entre la ocurrencia, la detección y que tan crítica es esta causa.

Figura . Edición de la causa

Current Item: 2 - SISTEMA DE ENCENDIDO O ARRANQUE
 Function: 1 - al girar la llave y hacer trabajar el motor de arranque con 2 baterías de 12v para un voltaje total de 24 v/7.5 kw y corrie
 Failure: 1 - El subsistema no arranca
 Effect: 1 - el sistema no tiene energía

Cause: User Defined | Probability | Corrective Maintenance

Cause: 1 El sistema no genera electricidad a la Finisher Caterpillar ap 1200.

Detection Method: [] Compensating Provisions: []

Initial Ratings
 Sev: 9 Occurrence: 8 8 - High Detection: 4 4 - Moderately high RPN: 288

Revised Ratings
 Sev: 3 Occurrence: 2 2 - Remote Detection: 2 2 - Very high RPN: 12
 % Reduction in RPN: 95,83

Classification: C Critical

Controls and Actions
 Controls... Qty: 1 Actions... Qty: 1

Tasks... 0

Last Update Date: 29/08/2008

FUENTE: RCM++ 4

Cada una de estas causas tiene una acción y un control, ya que en dado caso que se presente esta falla el programa está en la capacidad de dar una solución al problema, identificando nivel de intervención, personal a realizar la intervención y datos de la persona encargada del mantenimiento.

Figura . Edición de la acción

FUENTE: RCM ++ 4

Figura . Edición de control

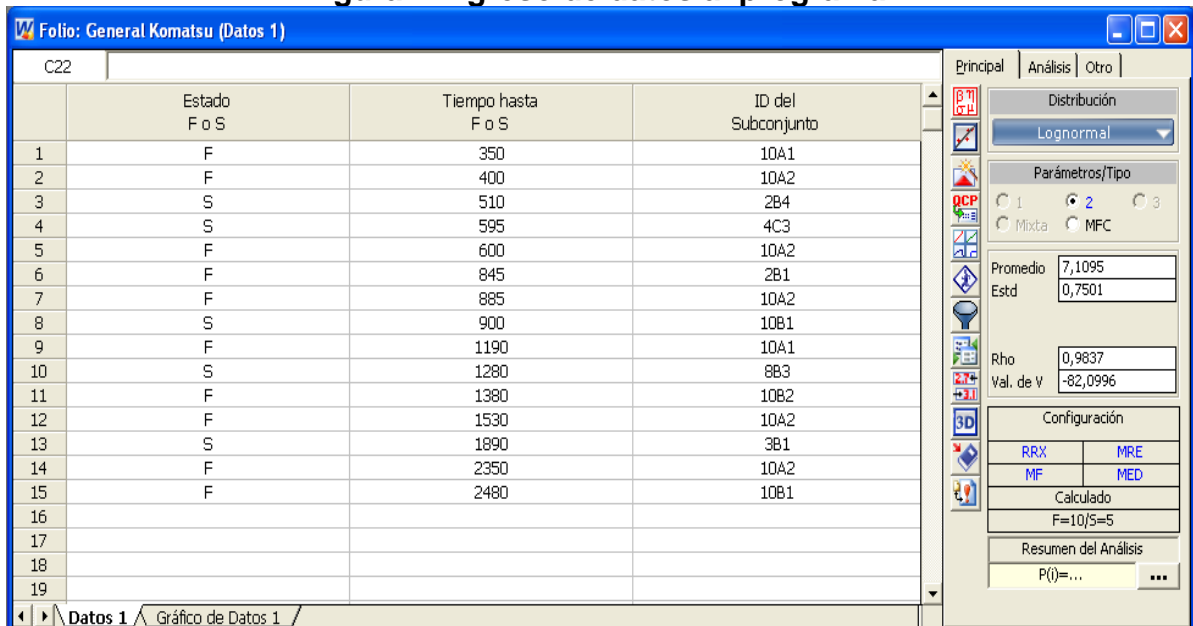
FUENTE: RCM++ 4

3.2.3 Ingreso de datos al software

Teniendo el histórico de fallas presentadas en el equipo, las cuales se identificaron en el AMEF se procede a ingresar los datos al software:

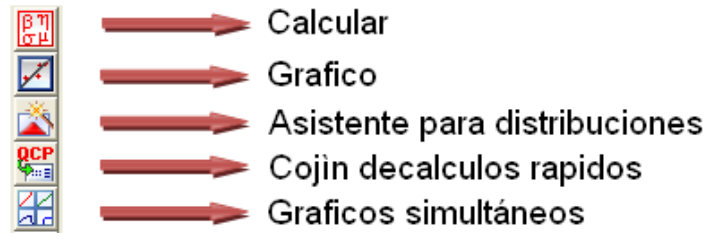
1. Estado F o S.
En esta columna se colocan las fallas y suspensiones, que son los correctivos (F) y preventivos (S), registrados en los históricos de fallas de la empresa.
2. Tiempo hasta F o S.
En esta columna se colocan los tiempos de falla y suspensión.
3. ID del subconjunto.
Se coloca la identificación de cada modo de falla, la cual es generada en el AMEF.

Figura . Ingreso de datos al programa



FUENTE: Weibull++ 7

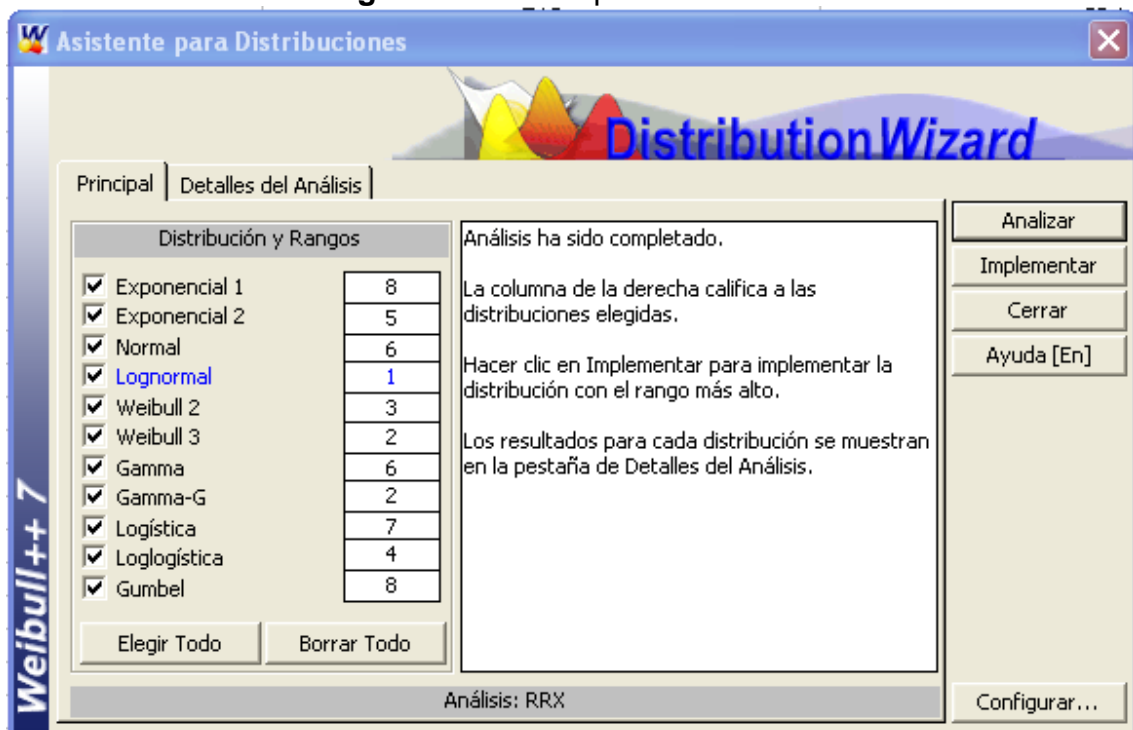
Figura . Herramientas de desarrollo



FUENTE: Weibull++ 7

Al tener todos los datos en el folio el programa calcula la información ingresada. Después se utiliza el asistente para distribuciones, el cual después de hacerse el cálculo, de acuerdo al número de fallas y suspensiones nos recomienda que tipo de distribución utilizar.

Figura . Asistente para distribuciones



FUENTE: Weibull++ 7

Después de hacer el análisis el programa recomienda la distribución más apropiada para el sistema.

Tabla 15. Tipos de distribución y parámetros

Distribution	Parameters	Parameter Options
Weibull	2	Beta Eta
	3	Beta Eta Gamma
Normal	2	Mean Std
Lognormal	2	Mean Std
Exponential	1	Lambda
	2	Lambda Gamma
G-Gamma	3	Mean Std Lambda
Gamma	2	Mu K
Logistic	2	Mean Std
Loglogistic	2	Mean Std
Gumbel	2	Mean Std
Mixed Weibull-2 Mixed Weibull-3 Mixed Weibull-4		Beta Eta % IN [1] [2] [3] [4]

FUENTE: Weibull++ 7

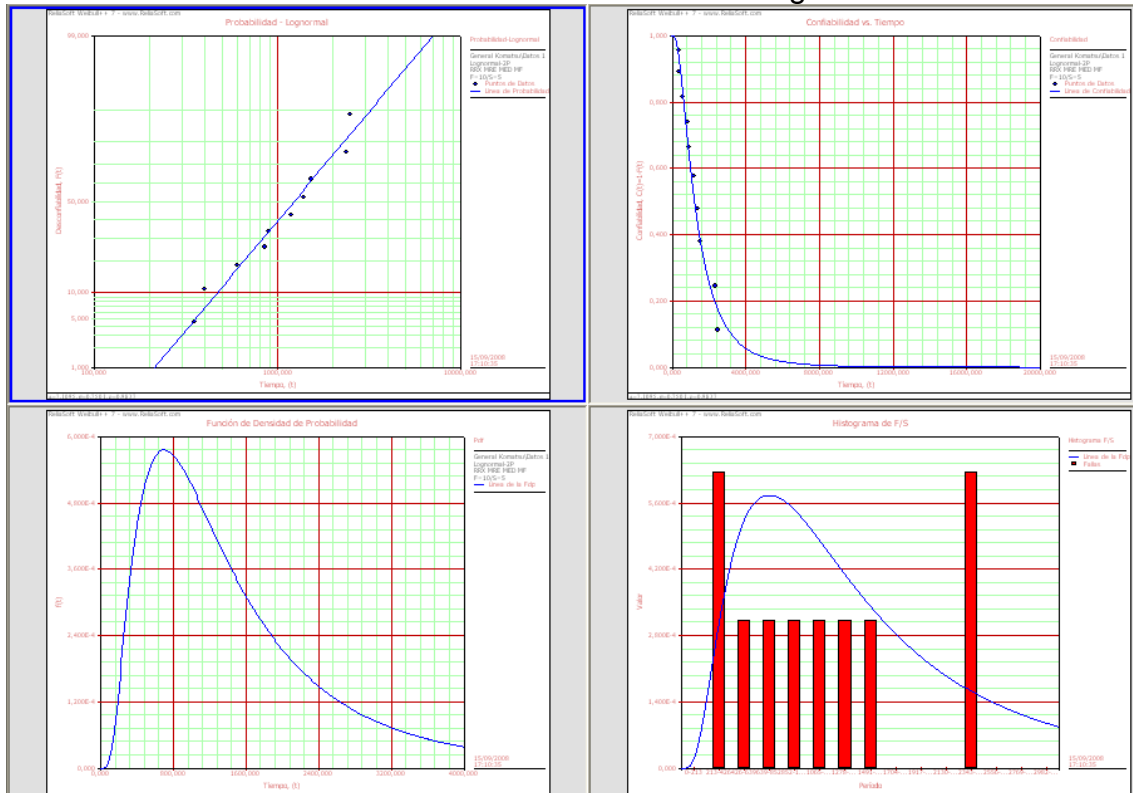
Para este equipo de acuerdo a los datos ingresados, el programa recomienda la distribución Lognormal, el cual se implementa en el equipo y de esta forma obtener las graficas y cálculos adecuados para una óptima confiabilidad. Después de identificar la distribución recomendada por el programa y resultados Lognormal (resultados de área) se utiliza el Cojín de cálculos.

Figura . Cojín de cálculos rápidos (QCP)

FUENTE: Weibull++ 7

Para poder comparar datos y resultados se procede a graficar, en este caso el programa da una opción (Grafico o graficas simultáneo), obtenidos de forma rápida y precisa.

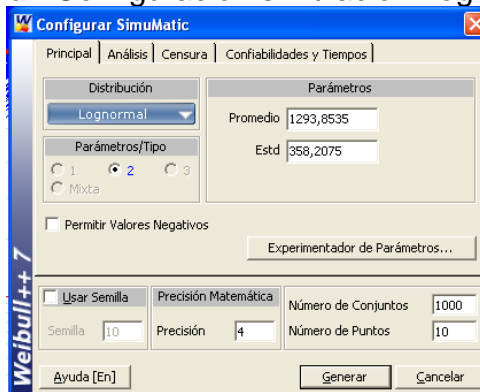
Grafica . Resultados distribución lognormal



FUENTE: Weibull++ 7

Por último se utilizan otras herramientas y de acuerdo a la distribución obtenida se extrae la simulación probabilidad-distribución y se ingresan los parámetros obtenidos y generamos.

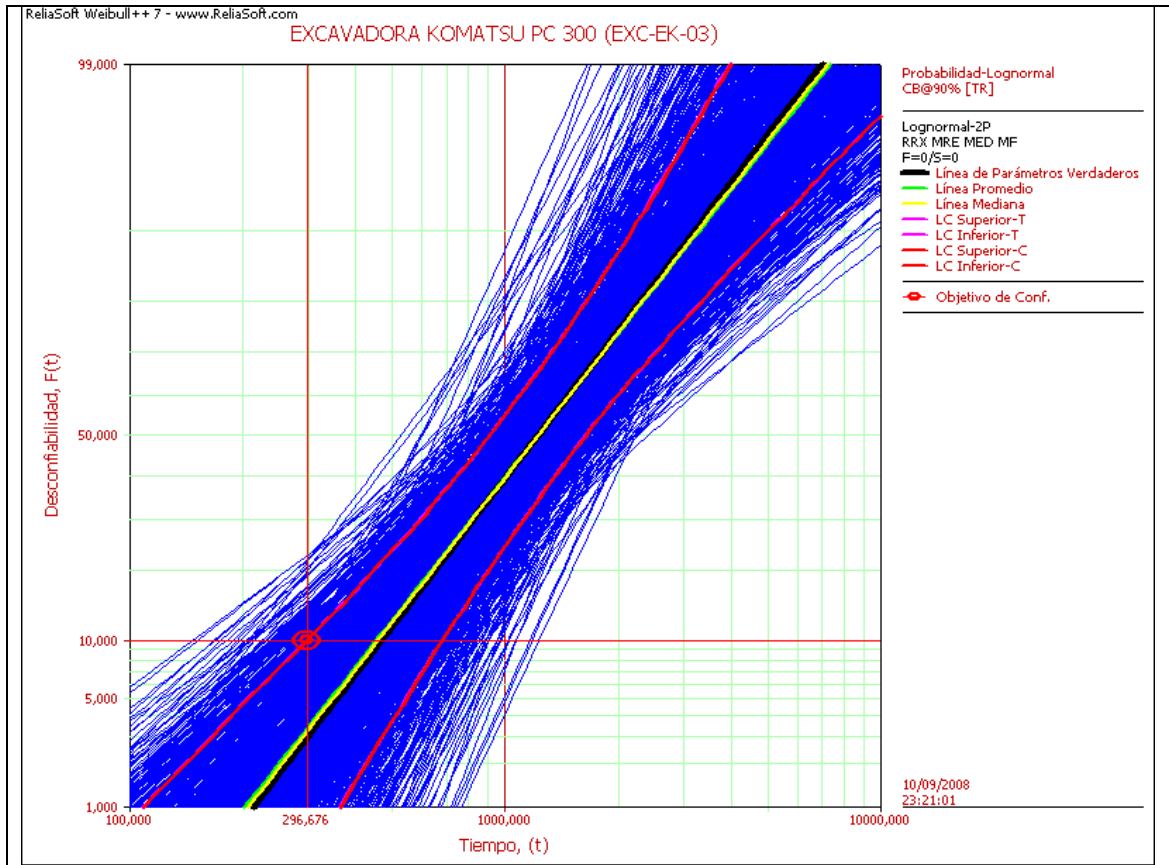
Figura . Configuración simulación Lognormal



FUENTE: Weibull++ 7

Esta grafica nos indica el estado en que se encuentra el equipo con una confiabilidad requerida, la cual es la línea de parámetros verdaderos con la línea mediana, línea promedio y un objetivo de confiabilidad.

Grafica 7. Simulación probabilidad lognormal.



FUENTE: Weibull++ 7

3.2.4 Análisis y resultados de los equipos críticos en el software

Cojín de cálculos rápidos (QCP) para el equipo en general, Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03)

Información de garantía (tiempo):

Para la confiabilidad de un 90% requerida por la empresa OBRESCA C.A. el programa Weibull++7 arroja los resultados mostrados en la figura 22, lo cual indica que para el equipo Komatsu PC 300 (EXC-EK-03), sería permitido hacer una reprogramación de mantenimiento con un tiempo superior al recomendado por el fabricante (250 horas), exceptuando los modos de fallas ocurridos hasta el momento y registrados en el histórico de fallas los cuales tendrán un tiempo de intervención o inspección menor al recomendado por el fabricante.

Figura . Información de garantía (Tiempo) excavadora (EXC-EK-03).



FUENTE: Weibull++ 7

El tiempo que recomienda el programa para la confiabilidad determinada para la empresa es de 467,8980 horas dentro de un rango que puede variar desde 320,8987 horas a 682,2357. Por eso se determina hacer la reprogramación del mantenimiento, en cuanto a inspección y verificación visual de los modos de falla identificados en el AMEF correspondiente a dicho equipo, cada 8 semanas lo cual equivale a 384 horas de trabajo, tiempo que se encuentra dentro del rango de resultados, sabiendo que la máquina trabaja 48 horas semanales promedio. Se toma la decisión anterior para un ahorro en cuanto a dinero y reduciendo el tiempo fuera de servicio por mantenimiento, teniendo en cuenta que no se hace necesario detener el trabajo y actividades del equipo como se ha venido realizando hasta el momento, ya que según el programa el tiempo para llegar a la confiabilidad requerida es superior al recomendado por el fabricante.

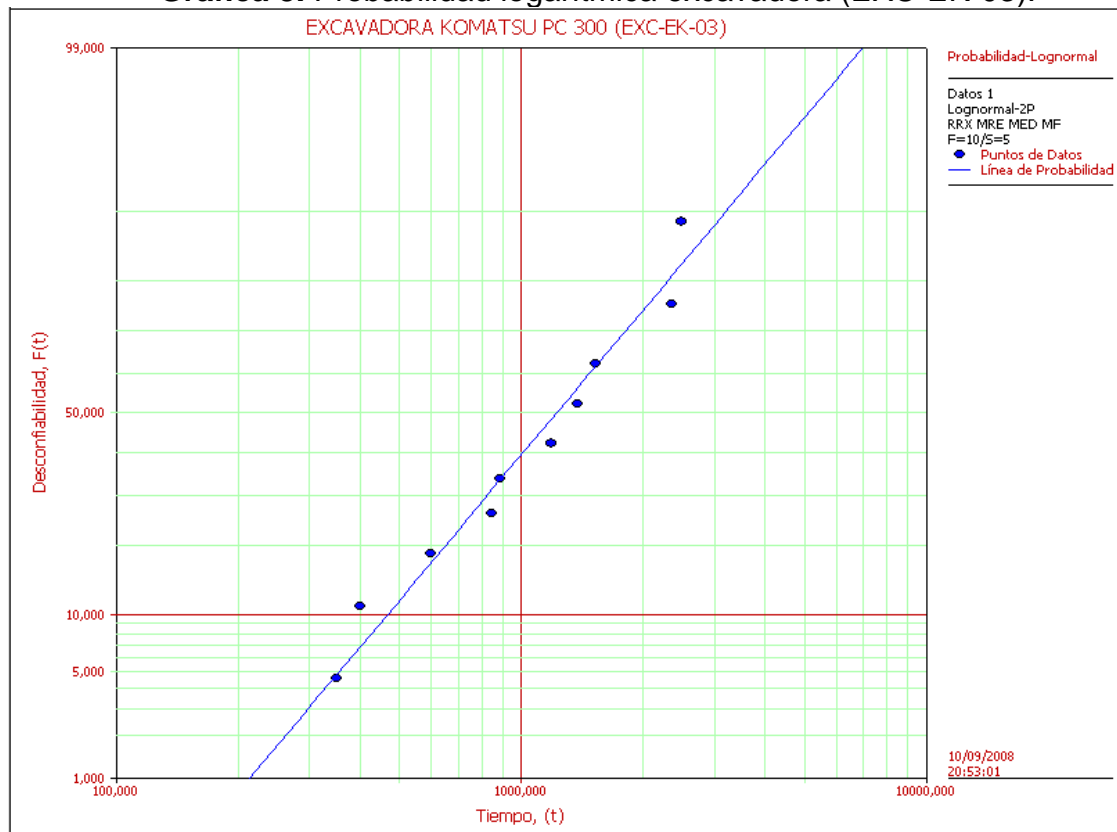
Gráfico logarítmico de probabilidad:

Para hacer una regresión con los datos y obtener una función lineal, se utiliza la gráfica probabilidad logarítmica normal en donde los datos se encuentran en función de Desconfiabilidad $F(t)$ Vs Tiempo (t) .

En la gráfica 8, se puede observar los puntos de datos ingresados al programa y la línea de probabilidad de falla.

También se resalta la horizontal de desconfiabilidad requerida por la empresa la cual es de 10% o confiabilidad de 90%.

Grafica 8. Probabilidad logarítmica excavadora (EXC-EK-03).



FUENTE: Weibull++ 7

Cálculos de probabilidad y estadística (resultados como confiabilidad)

Según los resultados arrojados por los cálculos de “información de garantía” para una confiabilidad requerida del 90%, y según el tiempo que determinamos para hacer la reprogramación de mantenimiento explicado anteriormente, se procedió a hacer el cálculo de probabilidad de estadística (Figura 17).

Figura . Calcula Probabilidad estadística (confiabilidad) excavadora (EXC-EK-03)

Opciones para Cálculos	
<input checked="" type="radio"/> Cálculos de Prob. Estd.	<input type="radio"/> Información de Garantía (Tiempo)
<input type="radio"/> Cálculos Condicionales	<input type="radio"/> Información BX
<input type="radio"/> Tasa de Falla	<input type="radio"/> Vida Promedio

Opciones de los Resultados	
<input checked="" type="radio"/> Resultados como Confiabilidad	<input type="radio"/> Resultados como Probabilidad de Falla

Entrada Requerida del Usuario	
Tiempo Final de la Misión	384

Resultados	
Superior	0,9827
Confiabilidad	0,9388
Inferior	0,8358
Confianza	15 @ 0,9

FUENTE: Weibull++ 7

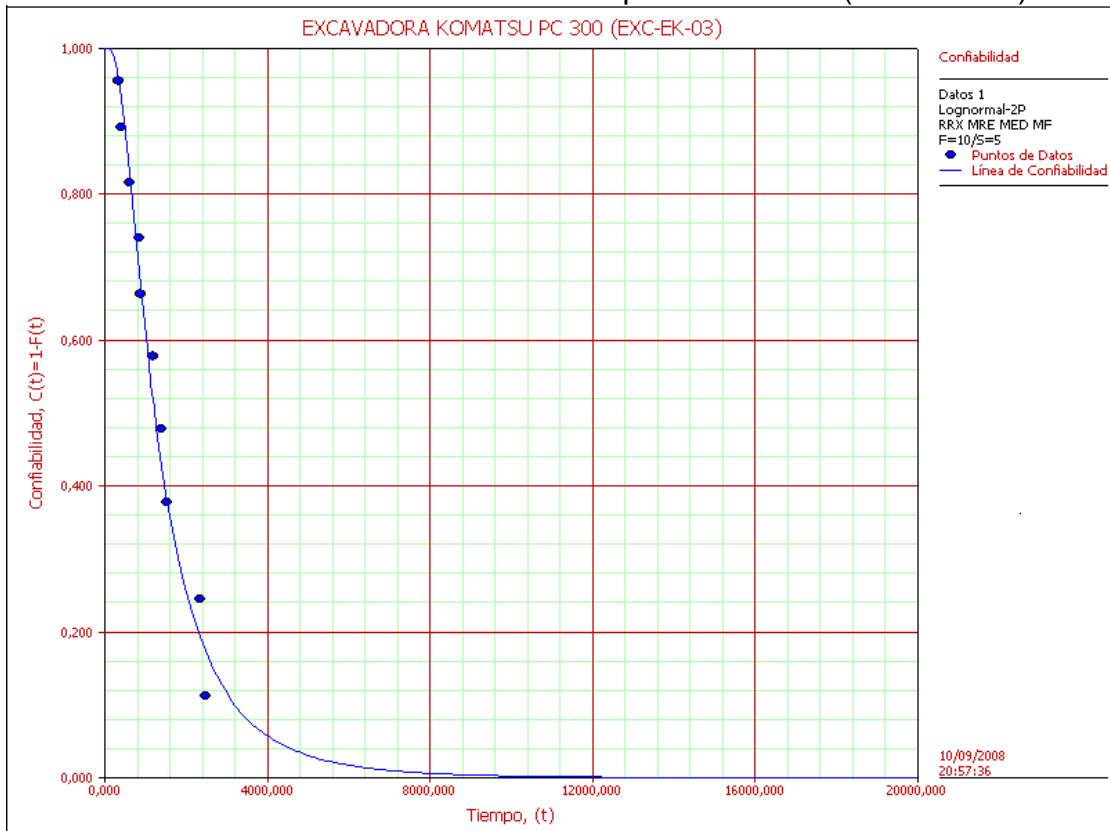
Aún modificando el tiempo recomendado por el fabricante a 384 horas, el equipo cuenta con una confiabilidad del 93,88% lo cual lo hace más confiable de lo que la empresa requiere.

Este porcentaje de confiabilidad tiene un rango de variación entre el 83,58% al 98,27%, es decir que según la probabilidad y estadística no se asegura una confiabilidad exacta del 93,88%.

Gráfico confiabilidad vs tiempo:

Los resultados de confiabilidad obtenidos en los cálculos de probabilidad y estadística se pueden ver reflejados en la siguiente gráfica de confiabilidad en función del tiempo (gráfica 9):

Grafica 9. Confiabilidad vs. Tiempo excavadora (EXC-EK-03).



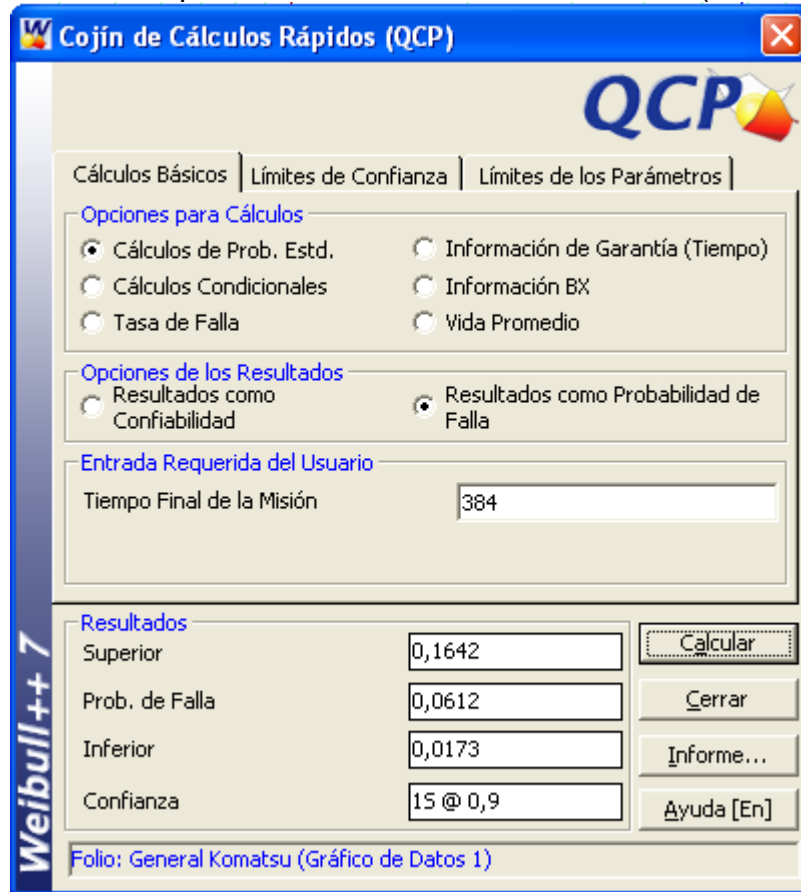
FUENTE: Weibull++ 7

En la gráfica se puede notar los puntos de datos ingresados por la empresa OBRESCA C.A. los cuales son las fallas presentadas por el equipo Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), y la línea azul representa la tendencia de confiabilidad del equipo respecto al tiempo.

Cálculos de probabilidad y estadística (resultados como desconfiabilidad o probabilidad de falla):

Los resultados obtenidos como confiabilidad también se pueden expresar como probabilidad de falla o como desconfiabilidad del equipo, lo cual se muestra en la figura 24:

Figura . Calculo probabilidad estadística excavadora (EXC-EK-03)



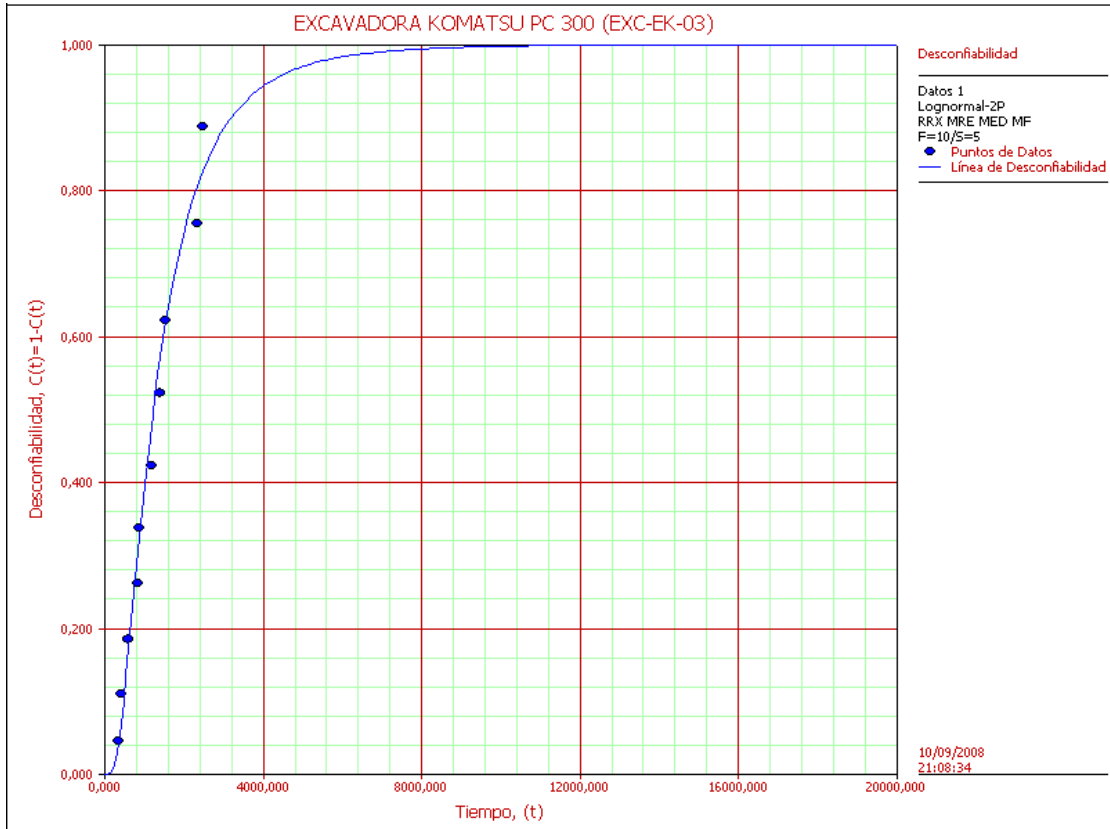
FUENTE: Weibull++ 7

Utilizando el mismo tiempo que se determinó anteriormente el cual es el tiempo final de la misión para el software, se obtuvieron los siguientes resultados: Una probabilidad de falla de 6,12% dentro de un rango inferior de 1,73% y superior de 16,42%, por lo tanto con la nueva reprogramación de mantenimiento se obtiene una probabilidad de falla inferior a la requerida por la empresa, la cual es de 10%.

Gráfico desconfiabilidad vs. Tiempo:

Los resultados de desconfiabilidad obtenidos en los cálculos de probabilidad y estadística se pueden ver reflejados en la siguiente gráfica de desconfiabilidad en función del tiempo (gráfica 11):

Grafica 10. Desconfiabilidad vs. Tiempo excavadora (EXC-EK-03).



FUENTE: Weibull++ 7

En la gráfica se puede notar los puntos de datos ingresados por la empresa OBRESCA C.A. los cuales son las fallas presentadas por el equipo Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), y la línea azul representa la tendencia de desconfiabilidad del equipo respecto al tiempo.

Cálculos condicionales

Figura . Cálculos condicionales (Confiabilidad) excavadora (EXC-EK-03)

Opciones para Cálculos	
<input type="radio"/> Cálculos de Prob. Estd.	<input type="radio"/> Información de Garantía (Tiempo)
<input checked="" type="radio"/> Cálculos Condicionales	<input type="radio"/> Información BX
<input type="radio"/> Tasa de Falla	<input type="radio"/> Vida Promedio

Opciones de los Resultados	
<input checked="" type="radio"/> Resultados como Confiabilidad	<input type="radio"/> Resultados como Probabilidad de Falla

Entrada Requerida del Usuario	
Tiempo Inicial de la Misión	10
Tiempo de Misión Adicional	394

Resultados	
Superior	0,9761
Confiabilidad Cond.	0,9302
Inferior	0,8054
Confianza	15 @ 0,9

FUENTE: Weibull++ 7

Para un tiempo inicial, en este caso de 10 horas, y para el tiempo de la misión adicional de 394 horas en servicio, el equipo cuenta con una confiabilidad condicional de 93,02% variando estadísticamente desde la confiabilidad inferior de 80,54% a la confiabilidad superior de 97,61%.

Por lo tanto la nueva reprogramación de mantenimiento cumple con el objetivo de confiabilidad requerido por la empresa.

Tasa de falla

En la figura 26 se muestra la relación entre el número total de modos de falla y el tiempo total acumulado durante el cual este conjunto fue observado. Es la recíproca del tiempo medio para la falla.

Figura . Tasa de falla excavadora (EXC-EK-03)

Opciones para Cálculos	
<input type="radio"/> Cálculos de Prob. Estd.	<input type="radio"/> Información de Garantía (Tiempo)
<input type="radio"/> Cálculos Condicionales	<input type="radio"/> Información BX
<input checked="" type="radio"/> Tasa de Falla	<input type="radio"/> Vida Promedio

Opciones de los Resultados	
<input checked="" type="radio"/> Resultados como Confiabilidad	<input type="radio"/> Resultados como Probabilidad de Falla

Entrada Requerida del Usuario	
Tiempo Final de la Misión	384

Resultados	
Superior	0,0009
Tasa de Falla	0,0004
Inferior	0,0002
Confianza	15 @ 0,9

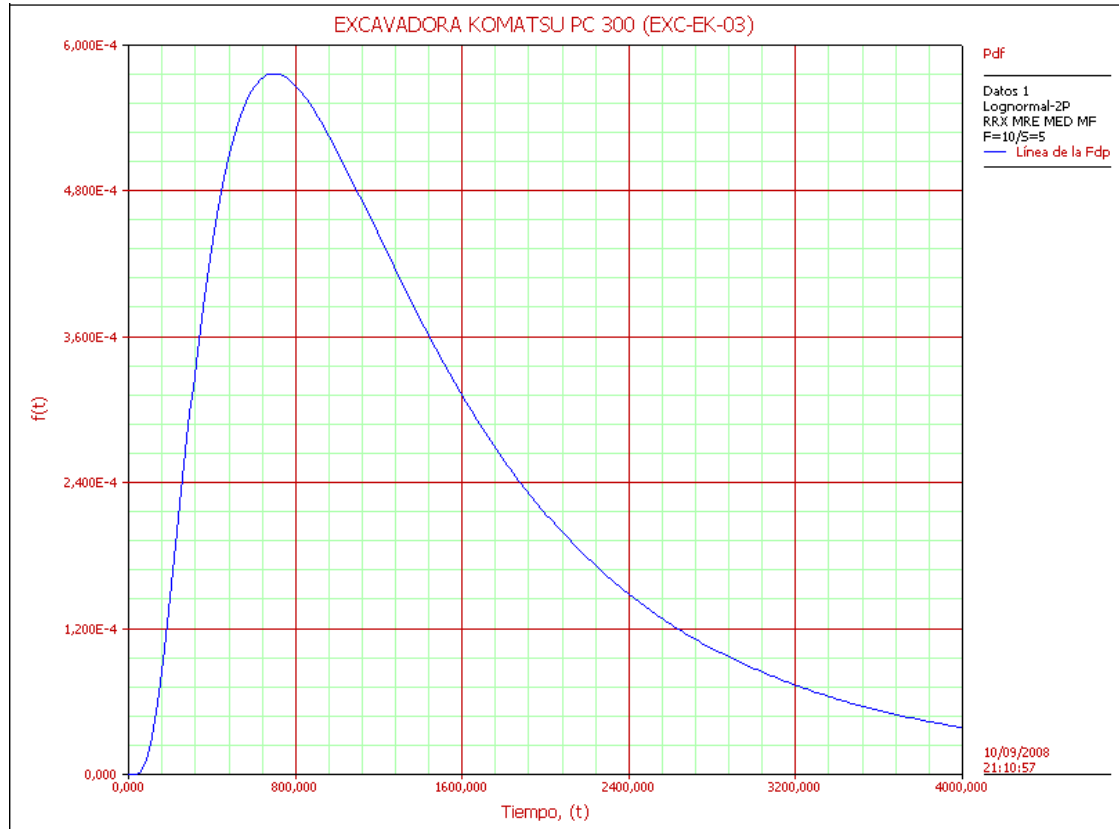
FUENTE: Weibull++ 7

Este índice está asociado a intervalos de tiempo, condiciones particulares, especificadas y el tiempo total acumulado deberá ser la suma de todos los intervalos de tiempo durante los cuales cada modo de falla individualmente, queda sujeto a las condiciones especificadas de funcionamiento.

Gráfico PDF (Probabilidad De Fallas):

En la siguiente gráfica, se muestra la tendencia que tiene el equipo de presentar cierta cantidad de fallas durante un tiempo determinado.

Grafica 11. PDF excavadora (EXC-EK-03).



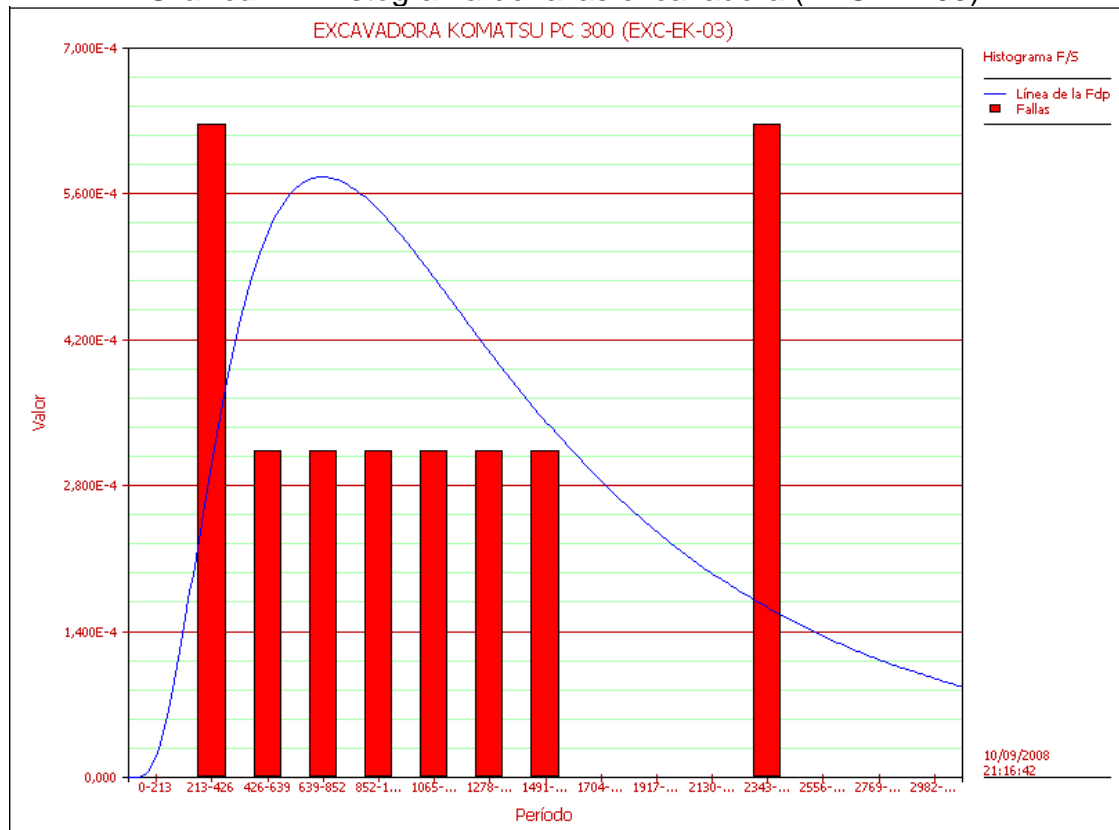
FUENTE: Weibull++ 7

En el caso de la gráfica anterior (grafica 11), Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), se muestra la mayor probabilidad de fallas que tendrá en un lapso de tiempo determinado. En este caso antes de cumplirse las 800 horas de servicio del equipo se presentará la mayor probabilidad de fallas.

Grafico histograma de fallas

En el histograma se muestra sobre la curva PDF la cantidad de fallas de una forma más detallada mostrando el periodo en el cual se presentan y el valor que cada una representa:

Grafica 12. Histograma de fallas excavadora (EXC-EK-03).



FUENTE: Weibull++ 7

En este caso se observa en la (gráfica 12) que la Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03) cuenta con una gran cantidad de fallas prematuras las cuales hay que tener en cuenta en el momento de realizar la reprogramación.

Se puede ver que los dos momentos en donde se presenta mayor cantidad de fallas es en el primero, que se encuentra dentro del periodo de 213 a 426 horas y también en el último que se encuentra después de las 2300 horas.

En el caso de la reprogramación se basa en las fallas prematuras del equipo (213 horas - 426 horas) ya que con esta, se reduciría posibilidades un futuro de volver a encontrar una gran cantidad de fallas como se muestra en segundo periodo crítico.

Vida promedio:

En la siguiente figura se muestra el tiempo en donde la confiabilidad se reduce aun haciendo mantenimiento cada 384hr, esto quiere decir que una vez cumplidas estas horas ya no se requiere de verificaciones del sistema, sino cambio de las partes criticas del sistema.

Figura . Vida promedio excavadora (EXC-EK-03)

Resultados	
Superior	2137,9698
Vida Promedio	1621,0298
Inferior	1229,0808
Confianza	15 @ 0,9

FUENTE: Weibull++ 7

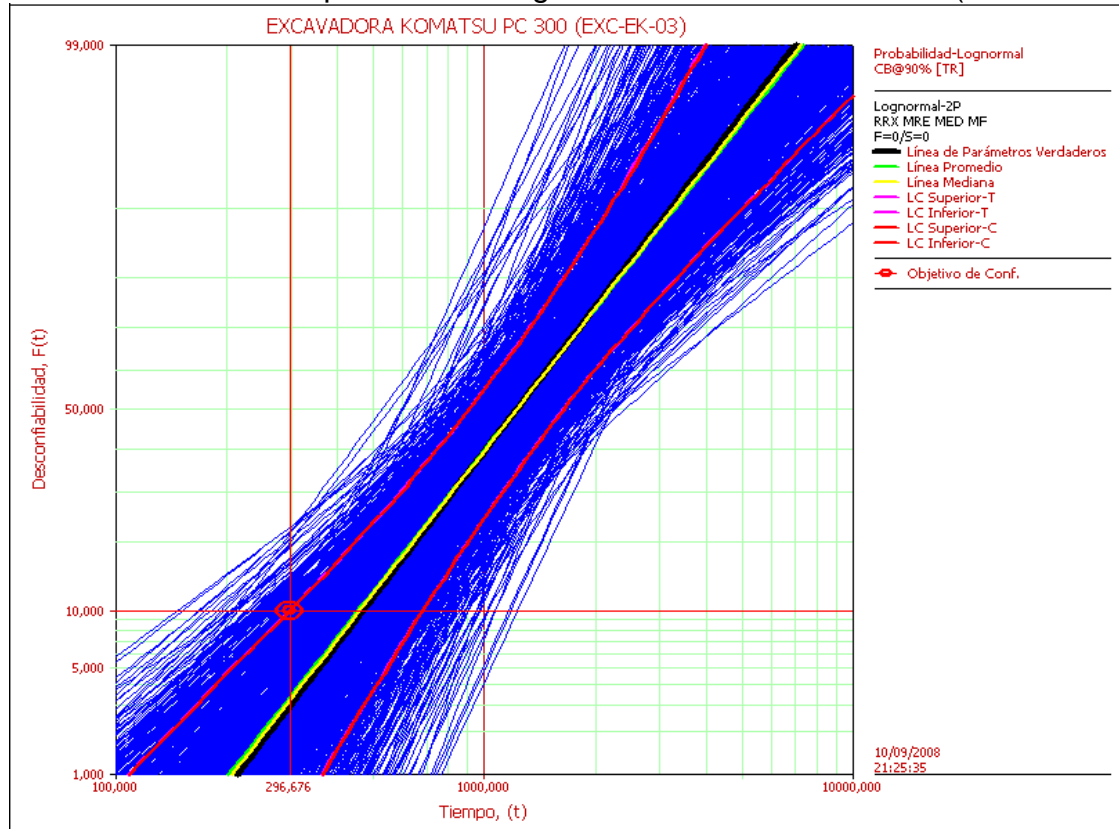
En el caso de la excavadora donde se determinó un tiempo de 384hr de inspección a los modos de falla presentados, el software arroja un resultado de una vida promedio de 1621hr, las cuales están dentro de un rango entre 2129hr a 2138hr.

Gráfico probabilidad logarítmica normal

En esta gráfica se hace una regresión de datos sobre la gráfica logarítmica, en donde se obtiene la línea de parámetros verdaderos, la cual es de color negro. Las líneas azules son los números de conjuntos, las cuales representan cada una de las probabilidades de fallas que pudiesen ocurrir en el tiempo (t).

También el programa da la opción de mostrar otros parámetros como lo son la línea promedio de color verde, la línea mediana de color amarillo y los limites de confiabilidad de color rojo.

Grafica 13. Simulación probabilidad logarítmica normal excavadora (EXC-EK-03).



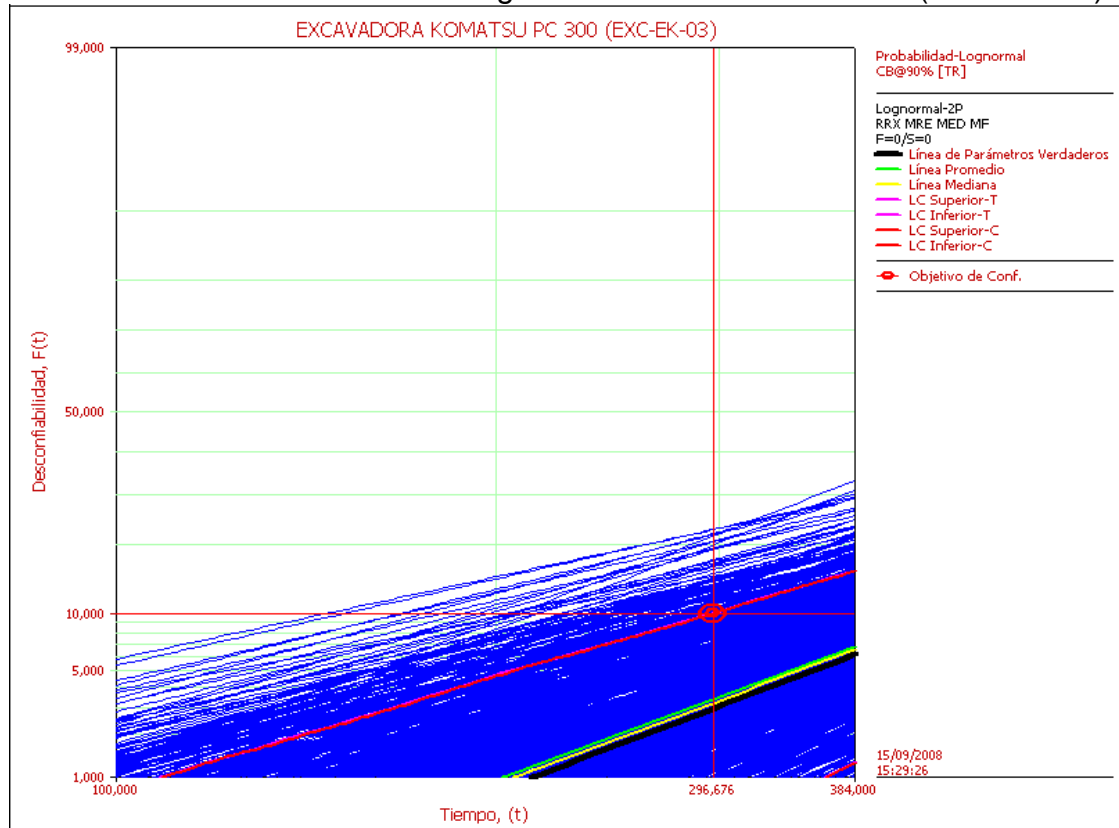
FUENTE: Weibull++ 7

En la grafica 13, se ven los límites de confianza con que cuenta el equipo, en este caso, el límite inferior, para una confiabilidad de 90% o probabilidad de falla del 10% está en un tiempo de 296,676 horas, lo cual sería un tiempo ideal de intervención o inspección para obtener una certeza adecuada de confiabilidad requerida por la empresa, sin embargo es permitido estar dentro del rango de tiempo del límite inferior a la línea de parámetros verdaderos, para que la confiabilidad establecida tenga un margen de error ajustado a los parámetros permitidos por la empresa.

Zoom del gráfico probabilidad logarítmica normal

A continuación se muestra para el caso de la Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), el tiempo en el cual se reprogramará las intervenciones de inspección o mantenimiento para los modos de fallas que se presentaron según el histórico de fallas suministrado por la empresa OBRESCA S.A. dicho tiempo se hará para el equipo en general sin tener en cuenta el sistema de levante y arrastre ya que para este sistema se hizo el análisis aparte y de una forma más detallada.

Gráfica 14. Zoom Probabilidad logarítmica normal excavadora (EXC-EK-03).



FUENTE: Weibull++ 7

Como se mostro anteriormente en los cálculos de probabilidad y estadística, se determinó usar un tiempo de 384 horas, las cuales mostraron una buena confiabilidad para el equipo en dichos cálculos. Esto queda también demostrado en la anterior gráfica (gráfica 14) en donde se uso el mismo tiempo de 384 horas el cual, para una confiabilidad del 90% está dentro del límite de confianza inferior y la línea de parámetros verdaderos, asegurando así este porcentaje de confiabilidad requerida por la empresa OBRESCA C.A.

Cojín de cálculos rápidos (QCP) para el sistema de levante y arrastre, Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03)

Según el histórico de fallas, las intervenciones de mantenimientos correctivos hechos a la Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), y según su operario, analizándolo en el software, el sistema que más ha presentado fallas prematuras ha sido el sistema de levante y arrastre aún sabiendo que de todas formas dicho sistema tiene una buena confiabilidad y que también el equipo en general cuenta con una muy buena confiabilidad.

Es por esto que se determinó hacer los cálculos y el análisis pertinente para este sistema en particular y concentrarse en una programación adecuada de mantenimiento, para evitar en el futuro una disminución progresiva en la confiabilidad del equipo en todos sus subsistemas.

Información de garantía (tiempo)

Figura . Información de garantía (Tiempo) sistema de levante

Opciones para Cálculos	
<input type="radio"/> Cálculos de Prob. Estd.	<input checked="" type="radio"/> Información de Garantía (Tiempo)
<input type="radio"/> Cálculos Condicionales	<input type="radio"/> Información BX
<input type="radio"/> Tasa de Falla	<input type="radio"/> Vida Promedio

Opciones de los Resultados	
<input checked="" type="radio"/> Resultados como Confiabilidad	<input type="radio"/> Resultados como Probabilidad de Falla

Entrada Requerida del Usuario	
Confiabilidad Requerida	0,9

Resultados	
Superior	647,6498
Tiempo	371,4429
Inferior	213,0315
Confianza	15 @ 0,9

FUENTE: Weibull++ 7

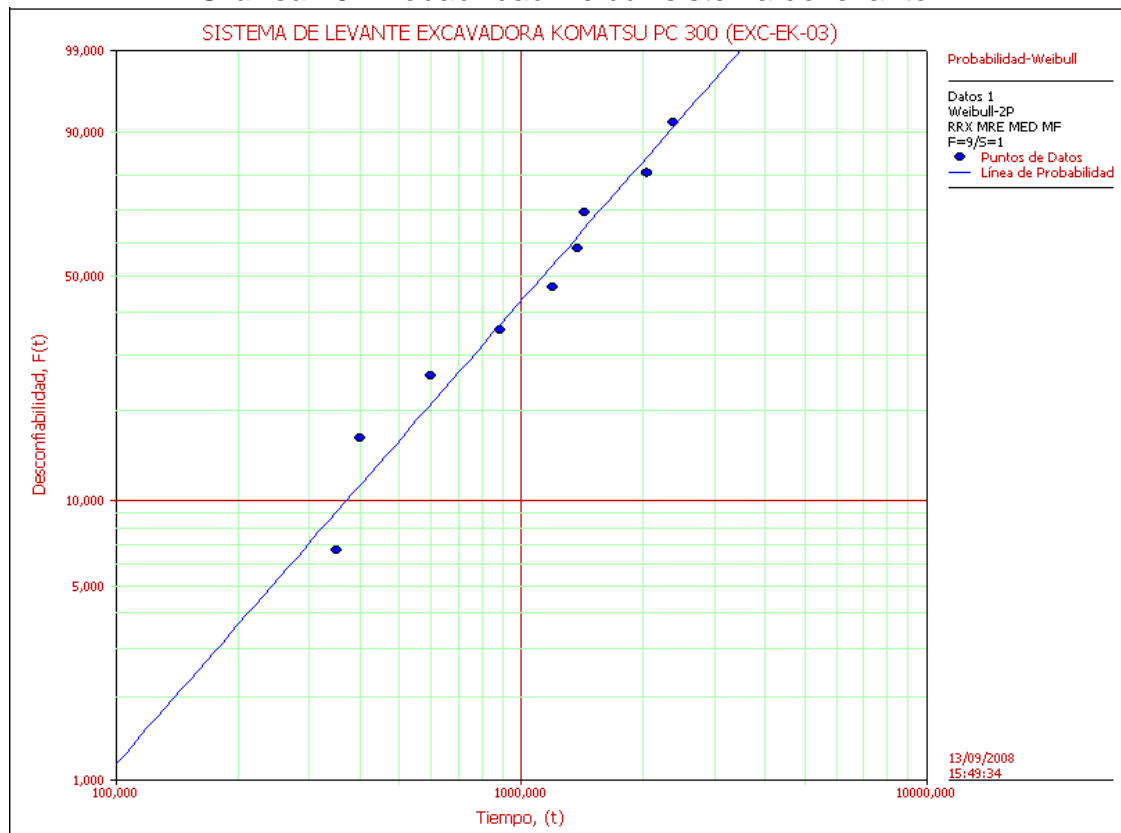
Como se dijo anteriormente, el sistema de levante y arrastre de la excavadora, necesita de un tiempo para la confiabilidad requerida, adecuado y este tiempo se encuentra dentro de los parámetros dados por el fabricante.

Para dicho sistema el software recomienda un tiempo de programación de mantenimiento de 371 horas aproximadamente dentro de un rango de 213 horas a 648 horas, para la confiabilidad requerida por la empresa.

Gráfica probabilidad weibull sistema de levante

Como se ve en la gráfica, se hace la regresión de datos suministrados por la empresa en el histórico de fallas, los cuales están representados en los puntos de datos. La línea azul indica la probabilidad de fallas del equipo respecto al tiempo.

Gráfica 15. Probabilidad weibull sistema de levante.



FUENTE: Weibull++ 7

La gráfica mostrada el programa muestra la línea de confiabilidad requerida por el usuario. Esta línea de desconfiabilidad se cruza con la línea de probabilidad de falla y en el punto en el cual esto sucede es el tiempo que recomienda el programa hacer las intervenciones e inspecciones pertinentes para los modos de fallas detectados.

Cálculos de probabilidad y estadística (resultados como confiabilidad)

Se optó por reprogramar el mantenimiento en cuanto verificación e inspección de los modos de fallas que ocurrieron en el sistema de levante y arrastre de la excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), para cada 6 semanas, es decir cada 288 horas teniendo en cuenta que el equipo trabaja 48 horas semanales aproximadamente.

Cabe anotar que dichas horas (6 semanas) está dentro del rango recomendado por el software y muy aproximado a lo recomendado por el fabricante y lo hecho hasta el momento por la empresa OBRESCA C.A.

Los cálculos obtenidos fueron los siguientes:

Figura . Calcula Probabilidad estadística (confiabilidad) sistema de levante

Opciones para Cálculos	
<input checked="" type="radio"/> Cálculos de Prob. Estd.	<input type="radio"/> Información de Garantía (Tiempo)
<input type="radio"/> Cálculos Condicionales	<input type="radio"/> Información BX
<input type="radio"/> Tasa de Falla	<input type="radio"/> Vida Promedio

Opciones de los Resultados	
<input checked="" type="radio"/> Resultados como Confiabilidad	<input type="radio"/> Resultados como Probabilidad de Falla

Entrada Requerida del Usuario	
Tiempo Final de la Misión	288

Resultados	
Superior	0,9768
Confiabilidad	0,9337
Inferior	0,8185
Confianza	15 @ 0,9

FUENTE: Weibull++ 7

Según la figura 29 utilizando este tiempo, la confiabilidad para el sistema de levante ya arrastre para la excavadora es de 93,37% aproximadamente y está dentro de un rango inferior de 81,85% y rango superior de 97,68%.

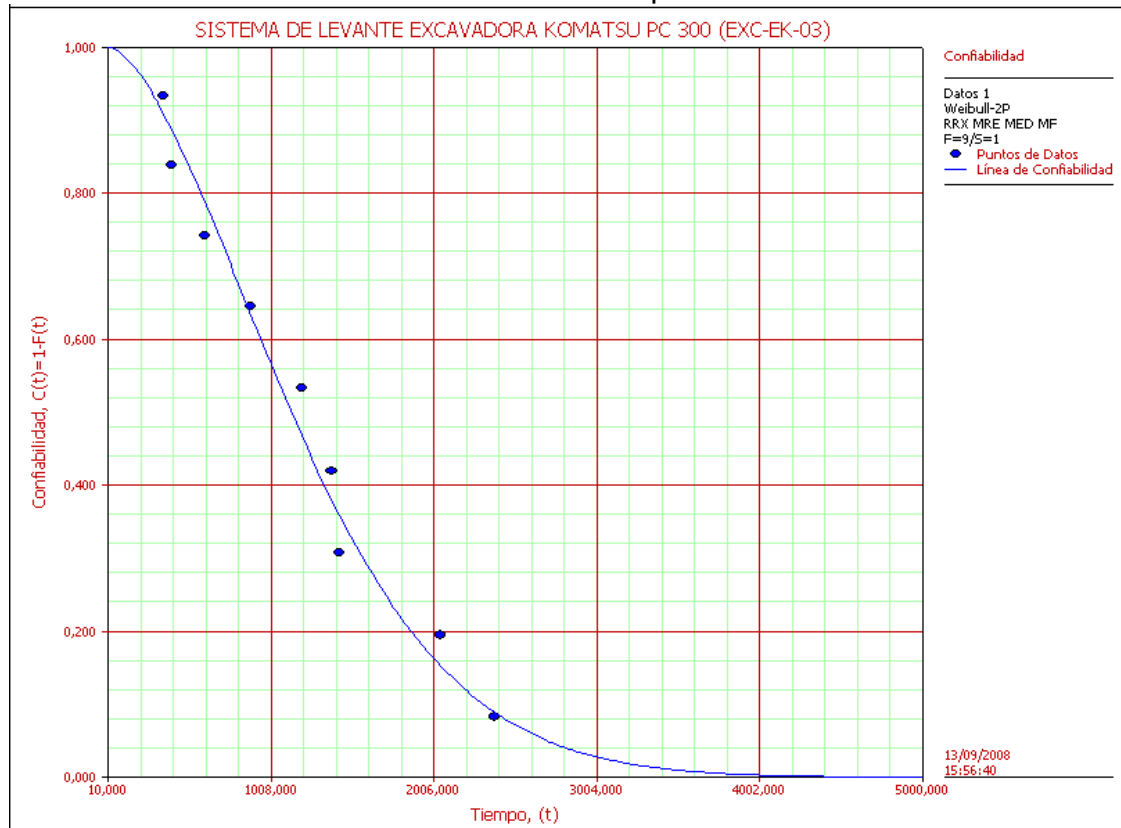
Según el software utilizando, con este tiempo se llega a una confiabilidad muy similar a la confiabilidad del equipo en general con todos sus sistemas,

cumpliendo con las necesidades y requerimientos de la empresa OBRESCA C.A. haciendo más productivo y eficiente el equipo.

Gráfico confiabilidad vs tiempo:

Los resultados de confiabilidad obtenidos en los cálculos de probabilidad y estadística se pueden ver reflejados en la siguiente gráfica de confiabilidad en función del tiempo (gráfica 16):

Gráfica 16. Confiabilidad vs. Tiempo sistema de levante.



FUENTE: Weibull++ 7

En la gráfica se puede notar los puntos de datos ingresados por la empresa OBRESCA C.A. los cuales son las fallas presentadas por el sistema de levante y arrastre de la Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), y la línea azul representa la tendencia de confiabilidad del equipo respecto al tiempo.

Cálculos de probabilidad y estadística (resultados como desconfiabilidad o probabilidad de falla)

En el siguiente cálculo se muestran los resultados como probabilidad de falla o desconfiabilidad, utilizando las 288 horas de reprogramación para los modos de fallas detectados:

Figura . Calculo probabilidad estadística sistema de levante

Cálculos Básicos	
Superior	0,1815
Prob. de Falla	0,0663
Inferior	0,0232
Confianza	15 @ 0,9

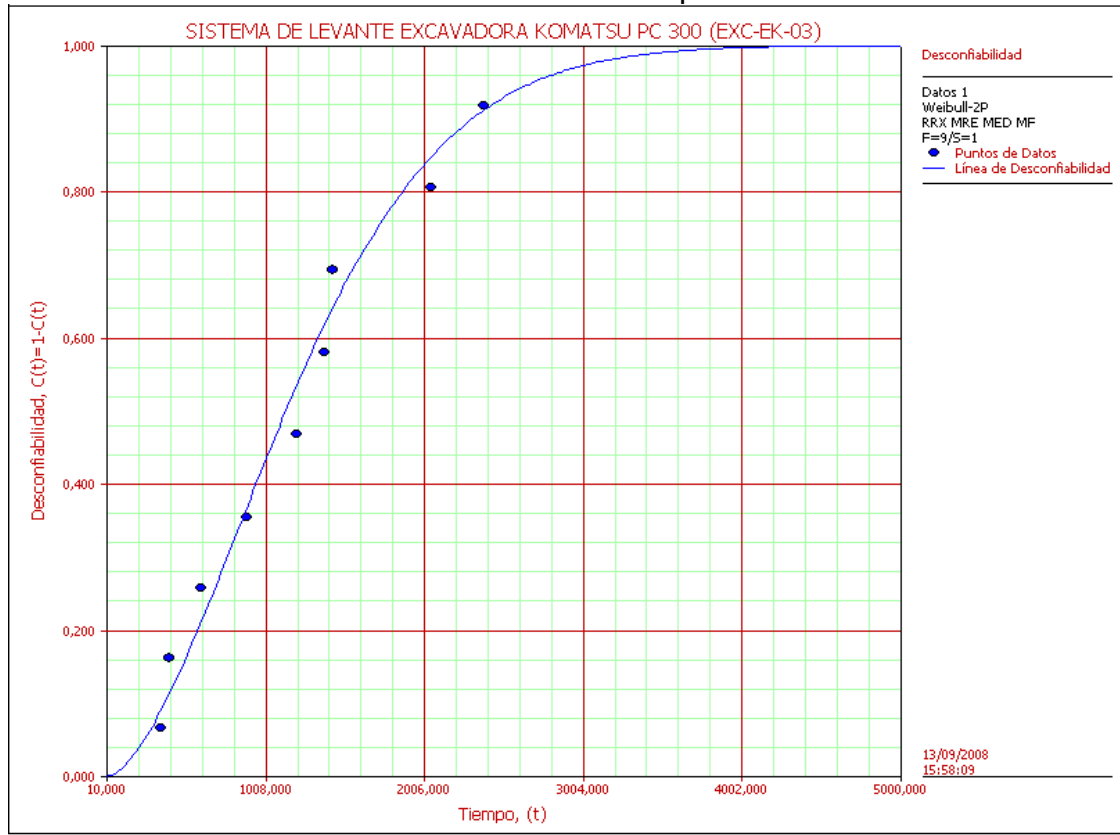
FUENTE: Weibull++ 7

Según los resultados obtenidos mediante el programa, la máquina cuenta con una desconfiabilidad o probabilidad de falla de 6,63% con una variación entre 2,32% y 18,15%, lo cual garantiza una confiabilidad adecuada para la empresa.

Gráfico desconfiabilidad vs tiempo:

Los resultados de desconfiabilidad obtenidos en los cálculos de probabilidad y estadística se pueden ver reflejados en la siguiente gráfica de desconfiabilidad en función del tiempo (gráfica 17):

Grafica 17. Desconfiabilidad vs. Tiempo sistema de levante



FUENTE: Weibull++ 7

En la gráfica se puede notar los puntos de datos ingresados por la empresa OBRESCA C.A. los cuales son las fallas presentadas por el sistema de levante y arrastre de la Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), y la línea azul representa la tendencia de desconfiabilidad del equipo respecto al tiempo.

Cálculos condicionales

Figura . Cálculos condicionales (confiabilidad) sistema de levante

Opciones para Cálculos	
<input type="radio"/> Cálculos de Prob. Estd.	<input type="radio"/> Información de Garantía (Tiempo)
<input checked="" type="radio"/> Cálculos Condicionales	<input type="radio"/> Información BX
<input type="radio"/> Tasa de Falla	<input type="radio"/> Vida Promedio

Opciones de los Resultados	
<input checked="" type="radio"/> Resultados como Confiabilidad	<input type="radio"/> Resultados como Probabilidad de Falla

Entrada Requerida del Usuario	
Tiempo Inicial de la Misión	10
Tiempo de Misión Adicional	298

Resultados	
Superior	0,9731
Confiabilidad Cond.	0,9263
Inferior	0,8069
Confianza	15 @ 0,9

FUENTE: Weibull++ 7

En dado caso de tener un tiempo inicial de la misión de 10 horas, más un tiempo de misión adicional de 298 horas se obtiene una confiabilidad condicional de 92,63% con probabilidad de variación desde 80,69% hasta 97,31%.

Tasa de falla

En la figura 32 se muestra la relación entre el número total de modos de falla y el tiempo total acumulado durante el cual este conjunto fue observado. Es la recíproca del tiempo medio para la falla.

Figura . Tasa de falla sistema de levante



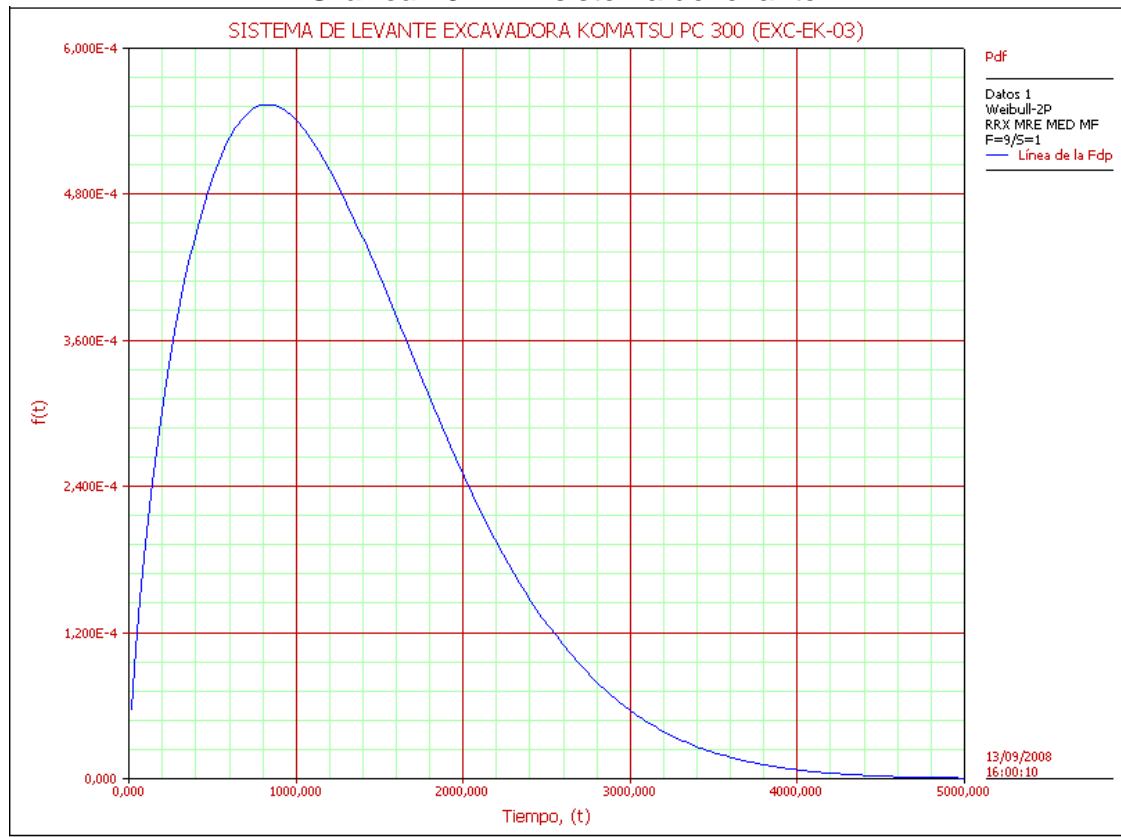
FUENTE: Weibull++ 7

Este índice está asociado a intervalos de tiempo, condiciones particulares, especificadas y el tiempo total acumulado deberá ser la suma de todos los intervalos de tiempo durante los cuales cada modo de falla individualmente, queda sujeto a las condiciones especificadas de funcionamiento.

Gráfico PDF (Probabilidad De Fallas):

En la siguiente gráfica (gráfica 18), se muestra la tendencia que tiene el equipo de presentar cierta cantidad de fallas durante un tiempo determinado.

Grafica 18. PDF sistema de levante.



FUENTE: Weibull++ 7

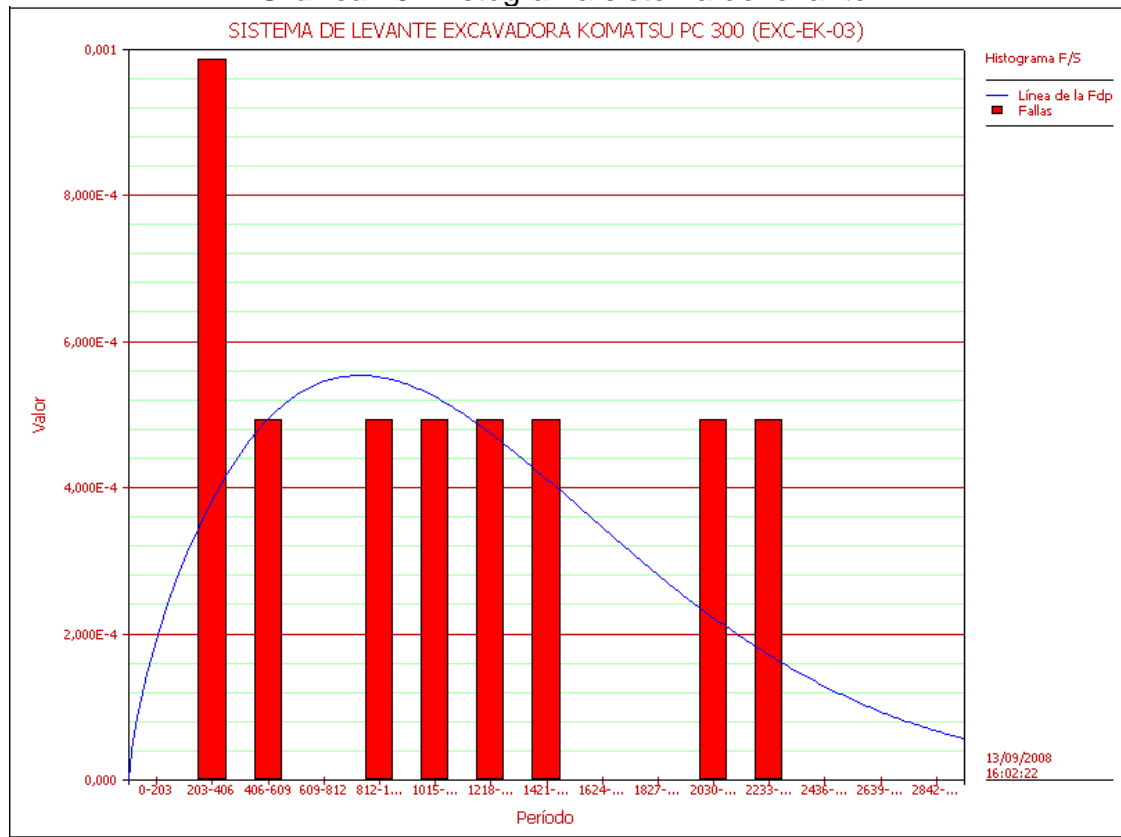
En el caso de la gráfica anterior (gráfica 18), sistema de levante, se muestra la mayor probabilidad de fallas que tendrá en un lapso de tiempo determinado. En este caso a las 800 horas aproximadamente de servicio del equipo se presentará la mayor probabilidad de fallas.

También se nota que este equipo cuenta con fallas prematuras, en las cuales se tienen en cuenta para hacer la reprogramación de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad.

Gráfico histograma de fallas

En el histograma (gráfica 19) se muestra sobre la curva PDF la cantidad de fallas de una forma más detallada mostrando el periodo en el cual se presentan y el valor que cada una representa:

Grafica 19. Histograma sistema de levante.



FUENTE: Weibull++ 7

En este caso se observa en la gráfica 19, que el sistema de levante y arrastre de la Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03) cuenta con una gran cantidad de fallas prematuras las cuales hay que tener en cuenta en el momento de realizar la reprogramación.

En este caso se tiene en cuenta las fallas prematuras del equipo (203 horas - 406 horas) ya que con esta, se reduciría posibilidades un futuro.

Vida promedio:

En la siguiente figura (figura 33) se muestra el tiempo en donde la confiabilidad se reduce aun haciendo mantenimiento cada 288 h, esto quiere decir que una vez cumplidas estas horas ya no se requiere de verificaciones del sistema, sino cambio de las partes criticas del sistema.

Figura . Vida promedio sistema de levante



FUENTE: Weibull++ 7

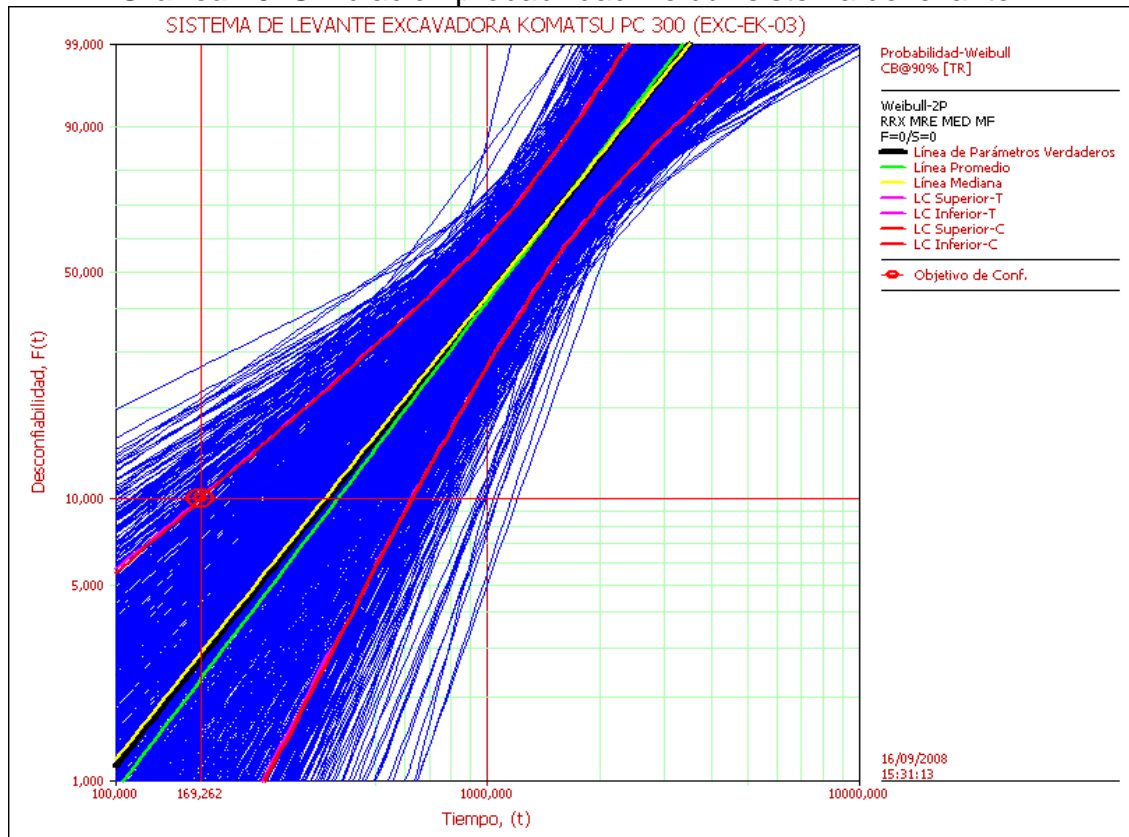
En el caso de la excavadora donde se determinó un tiempo de 288 h de inspección a los modos de falla presentados, el software nos arroja un resultado de una vida promedio de 1257 h, las cuales están dentro de un rango entre 955 h a 1653 h.

Gráfico probabilidad weibull

En el siguiente diagrama (gráfica 20), se hace una regresión de datos sobre la gráfica logarítmica, en donde se obtiene la línea de parámetros verdaderos, la cual es de color negro. Las líneas azules son los números de conjuntos, las cuales representan cada una de las probabilidades de fallas que pudiesen ocurrir en el tiempo (t).

También el programa da la opción de mostrar otros parámetros como lo son la línea promedio de color verde, la línea mediana de color amarillo y los límites de confiabilidad de color rojo.

Grafica 20. Simulación probabilidad weibull sistema de levante.



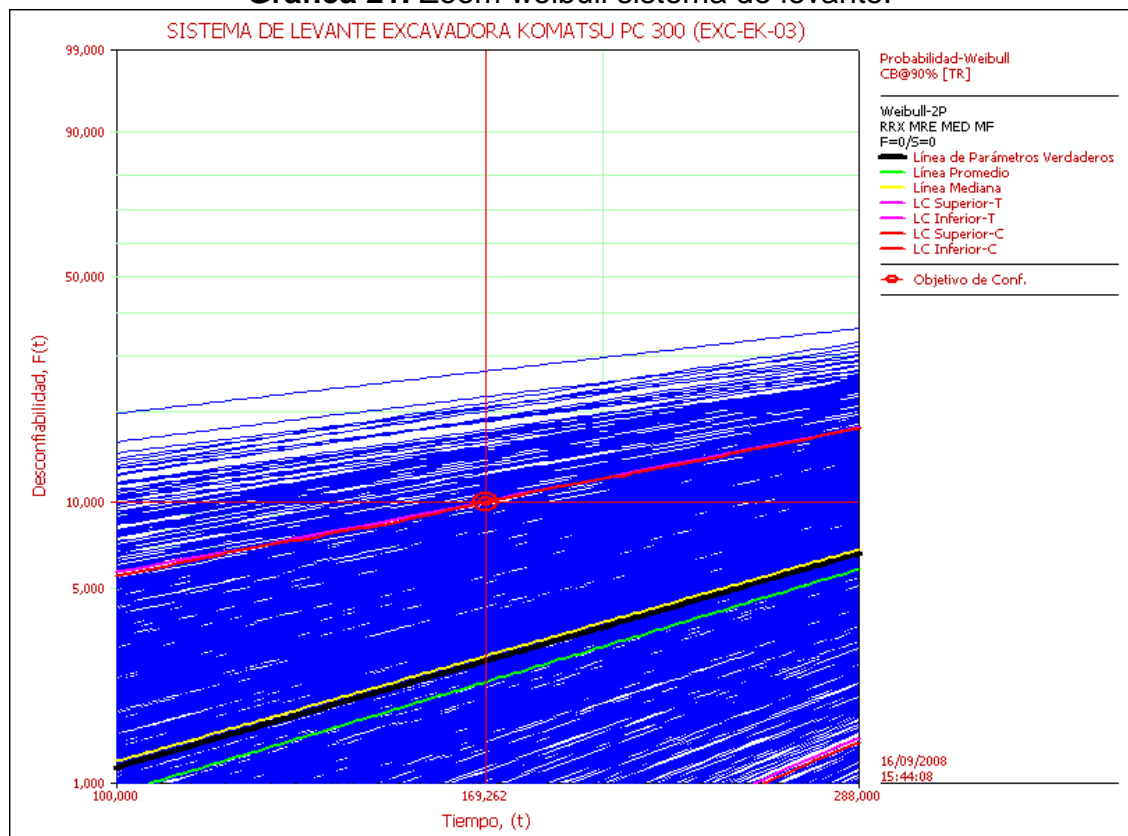
FUENTE: Weibull++ 7

En la grafica 20, se ven los límites de confianza con que cuenta el equipo, en este caso, el límite inferior, para una confiabilidad de 90% o probabilidad de falla del 10% está en un tiempo de 269,262 horas, lo cual sería un tiempo ideal de intervención o inspección para obtener una certeza adecuada de confiabilidad requerida por la empresa, sin embargo es permitido estar dentro del rango de tiempo del límite inferior a la línea de parámetros verdaderos, para que la confiabilidad establecida tenga un margen de error ajustado a los parámetros permitidos por la empresa.

Zoom del gráfico probabilidad weibull

A continuación se grafica más detalladamente para el caso del sistema de levante y arrastre de la Excavadora Komatsu PC-300 (EXC-EK-03), el tiempo en el cual se reprogramará las intervenciones de inspección o mantenimiento para los modos de fallas que se presentaron según el histórico de fallas suministrado por la empresa OBRESCA S.A. dicho tiempo se hizo para este sistema en particular ya que como anteriormente se explicó es el sistema que cuenta con más fallas en el equipo

Grafica 21. Zoom weibull sistema de levante.



FUENTE: Weibull++ 7

Como se mostró anteriormente en los cálculos de probabilidad y estadística, se determinó usar un tiempo de 288 horas, las cuales según el programa aseguran una buena confiabilidad para el equipo en dichos cálculos. Esto queda también demostrado en la anterior gráfica (gráfica 20) en donde se usó el mismo tiempo de 288 horas el cual, para una confiabilidad del 90% está dentro del límite de confianza inferior y la línea de parámetros verdaderos requeridos.

En conclusión para este equipo en particular, la excavadora Komatsu PC 300 (EXC-EK-03), se hará una reprogramación de inspección visual para los modos de fallas que se han presentado de la siguiente manera:

Para los modos de fallas identificados del sistema de levante y arrastre cada 288 horas, es decir cada 6 semanas, ya que es el sistema que ha presentado mas fallas en el equipo.

Para el resto de sistemas de la excavadora se hará una reprogramación únicamente para los modos de fallas detectados, cada 384 horas, es decir cada 8 semanas.

Cabe anotar que los modos de fallas, sistemas y subsistemas que no se encuentran dentro del histórico de fallas del equipo, se dejarán las intervenciones o verificaciones de funcionamiento sugeridas por el fabricante, ya que no se hace necesaria su modificación, puesto que se trabaja normalmente.

3.2.5 Reprogramación de actividades de mantenimiento basado en confiabilidad.

Una vez analizados los datos de los AMEF de los equipos críticos, en el software de confiabilidad y una vez tomadas las decisiones en cuanto al tiempo adecuado para efectuar la reprogramación de actividades de mantenimiento, se verificaron y comprobaron en el programa con el fin de asegurar que cumpla con el objetivo calculado para la empresa, teniendo en cuenta la viabilidad para hacer dicha reprogramación y que no afecte los trabajos interrumpiendo el normal funcionamiento de cada uno de los equipos.

También se hizo una reprogramación de mantenimiento teniendo en cuenta las horas promedio que trabaja un equipo en la empresa y que dicha reprogramación no afecte o no coincida con los trabajos de licitaciones que se realizan. Para este propósito se decidió diseñar las reprogramaciones para que coincida por semanas aproximadamente, ya que se efectuaría la actividad de mantenimiento los domingos, días en los cuales los equipos no se encuentran trabajando, por lo tanto no se afectarían horarios normales de funcionamiento. A continuación, en la tabla 17, se muestra el calendario equivalente para reprogramación, teniendo en cuenta que un equipo promedio en la empresa está en operación 8 horas diarias y 6 días a la semana:

Tabla 16. Calendario equivalente

CALENDARIO EQUIVALENTE	
8 horas	
=	1 DIA
48 horas	1
=	SEMANA
192 horas	
=	1 MES
384 horas	
=	2 MESES
576 horas	
=	3 MESES
1152 horas	
=	6 MESES

FUENTE: Los autores.

A continuación se muestran las tablas con dichas reprogramaciones de actividades de mantenimiento para cada uno de los 4 equipos críticos de la empresa OBRESCA C.A, aclarando que en estas se encontrarán únicamente los modos de fallas identificados y que efectivamente han ocurrido, ya que son a los únicos que se les hará la reprogramación. Los modos de fallas restantes del AMEF los cuales no se presentaron como fallas se dejarán con las mismas recomendaciones del fabricante o con las mismas actividades realizadas por parte de OBRESCA C.A. hasta el momento ya que no se hace necesario reprogramar todas las actividades de mantenimiento porque su funcionamiento ha sido normal y eficiente.

3.3.1 Reprogramación de actividades de mantenimiento para la excavadora Komatsu PC 300 (EXC-EK-03):

Información de referencia			Frecuencia (horas) según fabricante	Frecuencia (horas) reprogramación según MCC	Personal Nivel de intervención	Acción a ejecutar	Subsistema
E.F	F.F	M.F					
2	B	2B1	3000	384	2	Verificar mangueras.	Alimentación
2	B	2B4	250	250	1	Cambio filtro de aire primario ref. RS-3506	
3	B	3B1	3000	384	2	Verificar mangueras.	Refrigeración
4	C	4C3	3000	384	2	Verificar conductos.	Lubricación
8	B	8B3	3000	384	2	Verificar mangueras flexibles.	Hidráulico
10	A	10A1	1500	288	1	Verificar estado del balde	Sistema de levante, excavación y arrastre
10	A	10A2	500	288	2	inspeccionar dientes	
10	B	10B1	600	288	1	inspeccionar laminas de refuerzo del balde	
10	B	10B2	500	288	2	Cambio diente afectado	

FUENTE: Los autores.

3.3.2 Reprogramación de actividades de mantenimiento para la excavadora Komatsu PC 300 (EXC-EK-04)

Información de referencia			Frecuencia (horas) según fabricante	Frecuencia (horas) reprogramación según MCC	Personal Nivel de intervención	Acción a ejecutar	Subsistema
E.F	F.F	M.F					
2	B	2B1	3000	482	2	Verificar mangueras	Alimentación
2	B	2B4	250	250	2	Cambiar filtro de aire REF: RS3507	
8	B	8B3	3000	482	2	Verificar mangueras	Hidráulico
9	B	9B2	2000	482	2	Revisión general del motor	Mecánico del motor
10	A	10A1	1500	600	1	Verificar estado del balde	Sistema de levante, excavación y arrastre
10	A	10A2	500	600	2	Cambiar dientes	
10	B	10B1	600	600	1	Cambiar laminas de refuerzo del balde	
10	B	10B2	500	600	2	Cambio diente afectado	
10	B	10B3	1000	600	2	Verificar empaques sistema de levante	

FUENTE: Los autores.

3.3.3 Reprogramación de actividades de mantenimiento para la Finisher Caterpillar AP 1200 (PAV-FC-11)

Información de referencia			Frecuencia (horas) según fabricante	Frecuencia (horas) reprogramación según MCC	Personal Nivel de intervención	Acción a ejecutar	Subsistema
E.F	F.F	M.F					
1	A	1A1	1000	72	2	Verificar arranque	Arranque
1	A	1A3	1000	72	2	Verificar alternador	
1	A	1A4	1000	72	2	Verificar alternador	
1	B	1B1	2000	2000	1	Cambiar batería	
1	B	1B2	50	72	1	Limpiar bornes de la batería	
2	A	2A1	1000	144	2	Verificar bomba ACPM	Alimentación
2	B	2B1	3000	144	2	Verificar conductos y mangueras flexibles	
2	B	2B4	250	250	2	Cambiar filtro REF:	
2	B	2B5		144	2	Verificar tanque de ACPM	
3	A	3A1	1000	240	2	Verificar radiador	Refrigeración
3	A	3A3	2000	240	2	Verificar sistema de refrigeración	
3	A	3A4	2000	240	2	Verificar sistema de refrigeración	
3	B	3B1	3000	240	2	verificar mangueras	
4	A	4A1	1000	384	2	Verificar bomba de aceite	Lubricación
4	A	4A2	1000	384	2	Revisar lubricación en el sistema	
4	B	4B1		384	1	Revisar fugas en el cárter	
4	B	4B2	250	250	2	Cambio filtro de aceite REF:	
4	B	4B3	2000	384	1	Revisar empaques y sellos del	

						sistema	
5	A	5A1	1000	1152	2	Verificar bomba hidráulica	Transmisión
5	A	5A2	1000	1152	2	Verificar sistema hidráulico	
5	A	5A3	1000	1152	2	Verificar sistema hidráulico	
5	B	5B1	1000	1152	2	Verificar bomba hidráulica	
5	C	5C1	50	1152	1	Verificar llantas	
6	A	6A1	2000	2000	1	cambiar batería	Eléctrico
6	A	6A2	1000	144	2	Verificar alternador	
6	A	6A4	5000	5000	2	Cambio correa alternador	
6	A	6A5	1000	144	2	Verificar sistema eléctrico	
6	A	6A6	1000	144	2	Verificar sistema eléctrico	
6	A	6A7	1000	144	2	Verificar sistema eléctrico	
7	A	7A1	500	192	2	Verificar sistema de dirección	Dirección
7	A	7A2	500	192	2	Verificar sistema de dirección	
7	B	7B1	500	192	2	Verificar sistema de dirección	
8	A	8A3	1000	200	2	Revisar amortiguadores	Suspensión
9	A	9A1	1000	576	2	Verificar bomba hidráulica	Hidráulico
9	A	9A2	1000	576	2	Verificar sistema hidráulico	
9	A	9A4	1000	576	2	Verificar sistema hidráulico	
9	B	9B3	3000	3000	2	Cambio mangueras flexibles	
10	A	10A1	10000	1152	3	Verificar motor	Mecánico del motor
10	A	10A3	10000	1152	3	Verificar motor	
10	A	10A4	10000	1152	3	Verificar motor	
10	A	10A5	10000	1152	3	Verificar motor	
10	A	10A6	10000	1152	3	Verificar motor	
10	B	10B1	10000	1152	3	Verificar motor	

10	B	10B2	10000	1152	3	Verificar motor	
10	B	10B4	10000	1152	3	Verificar motor	

FUENTE: Los autores.

3.3.4 Reprogramación actividades de mantenimiento para la Motoniveladora Caterpillar 12E (PAV-MC-12):

Información de referencia			Frecuencia (horas) según fabricante	Frecuencia (horas) reprogramación según MCC	Personal Nivel de intervención	Acción a ejecutar	Subsistema
E.F	F.F	M.F					
1	A	1A1	1000	240	2	Verificar funcionamiento alternador.	Arranque
1	A	1A2	1000	240	2	Verificar conexiones sistema eléctrico.	
1	B	1B1	2000	2000	2	Cambio de baterías.	
1	B	1B3	1000	240	2	Verificar arranque.	
2	B	2B1	500	192	2	Verificar conductos rígidos y mangueras flexibles de ACPM.	Alimentación
2	B	2B2	2000	192	2	Verificar y/o Limpiar por ultrasonido o cambiar inyectores.	
2	B	2B3	2000	2000	2	Vaciar depósito de combustible (purgar el sistema).	
2	B	2B5	500	192	1	Verificar estado de depósito de combustible.	
3	A	3A1	150	8	1	Verificar estado y fugas en radiador.	Refrigeración
4	A	4A1	1000	960	2	Cambio aceite del motor. Ref. 15W-40 MOBIL.	Lubricación
4	A	4B3	250	960	1	Verificar fugas en los sellos y	

						empaques del motor.	
5	A	5A6	2000	768	3	Verificar funcionamiento del sistema y reparar fallas.	Transmisión mecánica
5	B	5B1	2000	768	3	Verificar funcionamiento del sistema y reparar fallas.	
5	B	5B4	100	96	1	Verificar presión y estado de neumáticos.	
6	A	6A1	1000	192	1	Verificar funcionamiento del boster.	Frenos
6	A	6A3	1000	192	2	Verificar resortes de recuperación.	
6	B	6B4	1000	192	2	Verificar pastillas.	
6	B	6B5	1000	192	2	Verificar pastillas.	
6	B	6B6	1000	192	2	Verificar mordazas.	
7	A	7A1	2000	2000	2	Cambio de baterías.	Eléctrico
7	A	7A4	2000	240	2	Revisar correas.	
7	A	7A5	2000	240	2	Revisar fusibles.	
7	B	7B2	2000	240	2	Revisar sistema eléctrico.	
8	A	8A1	1000	96	2	Verificar barra de dirección.	Dirección
8	A	8A2	1000	96	2	Verificar cremallera.	
8	B	8B1	1000	96	2	Verificar rotulas.	
8	B	8B2	1000	96	2	Verificar cruceta.	
9	A	9A1	5000	240	3	Inspeccionar resortes.	Suspensión
9	A	9A2	5000	240	3	Inspeccionar ballestas.	
9	A	9A3	5000	240	3	Inspeccionar amortiguadores.	
10	A	10A1	5000	288	3	Verificar bomba.	Hidráulico
10	A	10A2	5000	288	3	Verificar funcionamiento de	

						válvula principal.	
10	A	10A3	5000	2000	3	Cambio de empaques y limpieza.	
10	A	10B1	5000	288	3	Revisar fugas.	
10	A	10B2	5000	288	3	Verificar enfriador de aceite.	
10	A	10B3	5000	288	3	Verificar mangueras flexibles y cambiar las afectadas.	
10	A	10B4	5000	288	3	Inspeccionar funcionamiento del sistema en general.	
11	A	11A1	2000	240	3	Verificar funcionamiento motor.	Mecánico del motor
11	A	11A2	2000	240	3	Verificar funcionamiento motor.	
11	A	11A3	2000	240	3	Verificar funcionamiento motor.	
11	A	11A4	2000	240	3	Verificar funcionamiento motor.	
11	A	11A5	2000	240	3	Verificar funcionamiento motor.	
11	A	11A6	2000	240	3	Verificar funcionamiento motor.	
11	B	11B1	2500	240	2	Revisar soportes al motor.	
11	B	11B2	2500	240	2	Revisar cauchos al motor.	
11	C	11C1	2000	240	2	Inspeccionar bloque del motor.	
11	C	11C2	2000	240	2	Inspeccionar del bloque del motor.	

FUENTE: Los autores.

Indicadores de gestión para la implementación de un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad:

La manera más eficiente de controlar las actividades de mantenimiento son los indicadores de gestión, en donde se muestran eventos controlando su comportamiento. Principalmente se determina la calidad, servicio, eficiencia y cumplimiento de sus procesos.

La principal fuente de información para la creación de los indicadores de gestión son las Órdenes de Trabajo (OT) las cuales suministran datos como, quien solicitó la intervención, cuando, porque, quien efectuó la intervención, cuando se autorizó, que repuestos se usaron, que tipo de mantenimiento se hizo y las observaciones dadas por el técnico.

Esta información junto con las hojas de vida de cada uno de los equipos, son los documentos más importantes para administrar el mantenimiento controlando su comportamiento.

A continuación en la tabla 18 se muestra la matriz de indicadores de gestión diseñada para la empresa OBRESCA C.A:

Tabla 17. Matriz de indicadores de gestión para la empresa OBRESCA C.A.

Matriz de indicadores de gestión para la empresa OBRESCA C.A.	
Eficiencia	Número de correctivos por mes.
	Número de horas trabajadas por los técnicos en mantenimiento correctivo por mes.
	Número de horas trabajadas por los técnicos en mantenimiento preventivo por mes.
	Número de intervenciones de mantenimiento correctivo por mes.
Disponibilidad y mantenibilidad equipos críticos de OBRESCA C.A.	Número de horas de mantenimiento correctivo al mes por número de intervenciones.
	Número de horas de mantenimiento preventivo al mes por número de intervenciones.
	Número de horas hombre trabajadas por equipo.
	Número de horas de mantenimiento predictivo al mes por número de intervenciones.
Costos mantenimiento externo.	Costo del mantenimiento nivel 3 (exterior a la empresa), por número de intervenciones.
Control del departamento de mantenimiento.	Número de actividades ejecutadas al mes por número de actividades reprogramadas por el plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad al mes.

FUENTE: Los Autores.

Los indicadores de gestión diseñados para la implementación de un plan de mantenimiento proactivo basado en confiabilidad, para la empresa OBRESCA C.A. ayudan a administrar toda actividad que se ejecute, además de prevenir sobre posibles fallas recurrentes en equipos y secciones.

Como se observa, la información para los indicadores de gestión sale en su totalidad de las órdenes de trabajo (OT) que se hacen necesarias e indispensables para manejar la información, y tener un control eficaz sobre los equipos de la empresa, en este caso en particular, sobre los equipos críticos identificados y con sus respectivos modos de falla reprogramados.

Aún sabiendo que el enfoque de este trabajo es principalmente en los equipos críticos de la empresa, el diseño sugerido de los indicadores de gestión también podrán ser aplicables a los equipos restantes de OBRESCA C.A, es decir se podrán aplicar a los equipos semicríticos y no críticos, los cuales presentan modos de fallas en donde los indicadores de gestión serán de gran ayuda para controlar su comportamiento, documentando actividades y eventos de forma detallada para cada uno de los equipos.

4. ESTUDIO FINANCIERO

Teniendo en cuenta la base de datos de la compañía, se hizo un detallado análisis de costos de cada una de la maquinas en cuanto a reparaciones, repuestos, insumos y niveles de mantenimiento.

Esta información fue suministrada por la compañía, la cual cuenta con un departamento contable que a diario controla un flujo de caja destinado a las necesidades de la maquinaria y lo relacionado con esta, para respaldar posibles causas que puedan llegar a afectar la función de cada una de ellas.

Utilizando dicha información en donde se encuentra el flujo de caja para todo lo relacionado con el departamento de mantenimiento como lo son:

- Operarios (N1)
- Talento humano de mantenimiento (N2 yN3)
- Repuestos
- Consumos
- Insumos

Tabla 18. Flujo de caja

MES	OPERARIOS (N1)	TALENTO HUMANO (N2)	TALENTO HUMANO (N3)	REPUESTO	CONSUMOS	INSUMOS	TOTAL (\$)
ENERO	11.193.000,00	1.200.000,00	145.623,00	542.896,00	0,00	9.542.000,00	22.623.519,00
FEBRERO	11.193.000,00	1.200.000,00	1.438.000,00	386.000,00	0,00	13.620.810,00	27.837.810,00
MARZO	11.193.000,00	1.200.000,00	895.159,00	4.867.012,00	1.275.000,00	11.904.000,00	31.334.171,00
ABRIL	11.193.000,00	1.200.000,00	723.000,00	268.045,00	0,00	10.643.821,00	24.027.866,00
MAYO	11.193.000,00	1.200.000,00	329.000,00	114.862,00	0,00	11.131.000,00	23.967.862,00
JUNIO	11.193.000,00	1.200.000,00	0,00	759.000,00	0,00	12.676.000,00	25.828.000,00
JULIO	11.193.000,00	1.200.000,00	57.963,00	42.000,00	0,00	10.762.000,00	23.254.963,00
AGOSTO	11.193.000,00	1.200.000,00	95.000,00	150.000,00	0,00	9.926.000,00	22.564.000,00
SEPTIEMBRE	11.193.000,00	1.200.000,00	0,00	145.000,00	1.275.000,00	10.172.000,00	23.985.000,00
OCTUBRE	11.193.000,00	1.200.000,00	2.864.157,00	1.400.000,00	0,00	12.099.000,00	28.756.157,00
NOVIEMBRE	11.193.000,00	1.200.000,00	328.045,00	1.943.622,00	0,00	11.853.000,00	26.517.667,00
DICIEMBRE	11.193.000,00	1.200.000,00	56.000,00	79.000,00	0,00	9.264.000,00	21.792.000,00

TOTAL AÑO	302.489.015,00
------------------	-----------------------

FUENTE: Los autores.

Se tuvieron en cuenta 6 conceptos para flujo de caja en el departamento de mantenimiento; el primero fue fueron los **operarios** que es el personal encargado de la operación de la maquinaria y responsabilidad del nivel 1 de mantenimiento, para esto se estimó el salario, el cual está representado en asignaciones como:

- Extras diurnos
- Extras nocturnos
- Festiva
- Extras festiva diurna
- Extra festiva nocturna
- Recargo nocturno
- Auxilio de transporte

También está representado en conceptos como:

- EPS
- ARP
- Fondo solido de pensiones.

Esto es lo que devengan y fue extraído de datos reales del departamento de contaduría.

El segundo concepto es **talento humano nivel 2**, que es el técnico mecánico de la compañía, por lo cual se hizo una estimación de salario, teniendo en cuenta las asignaciones y deducciones.

Para **talento humano nivel 3**, se tuvieron en cuenta las intervenciones externas de mantenimiento realizadas durante el año, de acuerdo a la programación. Entre estas personas se encuentran especialistas en maquinaria pesada en la parte hidráulica, eléctrica y mecánica.

En el siguiente ítem, (**Repuestos**), se tuvo en cuenta la programación que se realizó en la base de Programación en donde se estipula la reparación, los repuestos necesarios, la frecuencia y el nivel de mantenimiento; con esta información se estimó el valor de los repuestos que se deberán comprar en cada mes según la programación de intervenciones realizada.

Los **Consumos** comprenden las dotaciones que se le deben dar a las personas encargadas del mantenimiento como lo son operarios, técnico mecánico y jefe de mantenimiento, dicha dotación está compuesta por overoles, botas, tapa oídos, guantes, gafas y demás elementos necesarios para que cumplan con sus labores con seguridad.

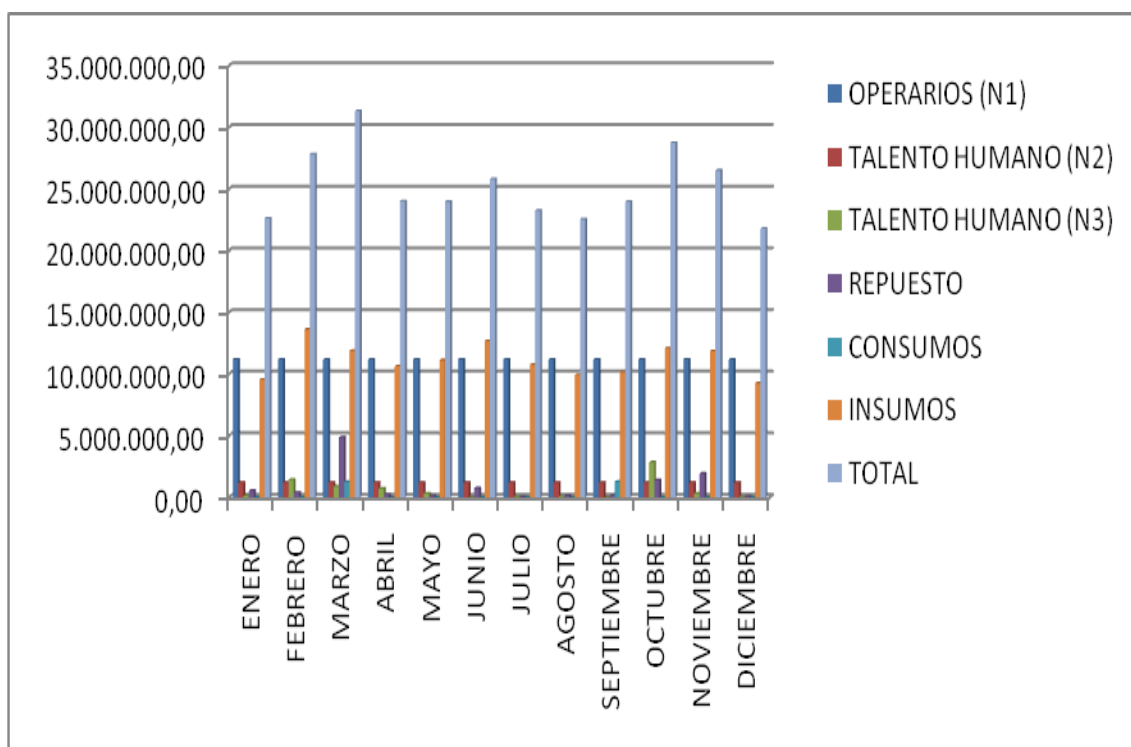
Dentro de los **insumos** se tuvieron en cuenta el aceite hidráulico, aceite de motor, grasa, líquidos refrigerantes y ACPM. Este consumo se tuvo en cuenta de acuerdo a los 2 últimos años y los cuales no tuvieron variación significativa y los consideramos para este estudio.

En el caso que se llegue a implementar este plan, la empresa debe ser consciente de una incrementación de gastos para el óptimo mantenimiento, lo

cual se verá reflejado en un futuro en cuanto a confiabilidad y mantenibilidad de los equipos, de esta forma aumentando su vida útil, rendimiento y rentabilidad de la compañía.

A continuación, en la grafica 7 se muestran los flujos de caja correspondientes a la relación del valor de los diferentes ítems explicados anteriormente en cada uno de los meses del año.

Grafica 22. Flujo de caja



FUENTE: los autores.

5. INGENIERÍA DEL PROYECTO.

El aporte como ingenieros es evaluar y hacer un diagnóstico a la maquinaria de la empresa Obras especiales Obresca C.A, a partir de la recopilación de información sobre cada uno de los equipos y tipos de mantenimiento, de esta forma analizar en qué condiciones se encuentran y que se necesita para su óptimo funcionamiento buscando una extensión de la vida útil de los mismos para ser más rentables, eficientes y productivos.

Para este caso proponemos un plan de mantenimiento basado en confiabilidad de última generación, pero no antes dejando una sólida base organizada de mantenimiento preventivo y que estas técnicas sean aplicadas de una manera práctica y eficiente según la nueva implementación.

CONCLUSIONES

El mantenimiento basado en confiabilidad en los últimos años ha tomado gran impulso y esto trae grandes beneficios en los sistemas productivos que lo adoptan. Durante la realización de este trabajo se dedujo lo siguiente:

- los equipos actualmente cuentan con un mantenimiento preventivo según el fabricante y en algunos casos se hace mantenimiento correctivo lo cual perjudica el normal funcionamiento de la empresa.
- Actualmente los equipos de la compañía OBRESCA C.A. no cuentan con una programación de intervención según el requerimiento de cada equipo, estas se realizan cada vez que la maquina termina contrato y es traída al taller. Es por esto que muchos equipos llegan en condiciones pésimas y la empresa invierte mucho dinero en el mantenimiento de estas.
- en algunos casos y sobre todo en los equipos antiguos no se encontró documentación como catálogos, fichas técnicas y hojas de vida lo que dificultó su estudio y actual estado. Esto conllevó a la elaboración de cada uno de estos documentos para todos y cada uno de los equipos faltantes.
- Se hacen visitas técnicas para entrevistarse con los operarios supervisores y jefes para lograr efectuar una capacitación del talento humano.
- Con la documentación obtenida y elaborada por los tesisistas se procede a calcular la criticidad de los equipos de la compañía. Dicho estudio arrojó cuatro equipos críticos los cuales fueron las dos excavadoras Komatsu PC 300, la finisher Caterpillar y la motoniveladora Caterpillar.

- Al diseñar el AMEF e ingresar los datos al software de confiabilidad, se determina la reprogramación del mantenimiento propuesta únicamente para los modos de falla que se presentaron, evitando así que dichas fallas ocurran en el futuro.
- Se proponen los indicadores de gestión el cual es un documento importante para la administración del mantenimiento para la empresa OBRESCA C.A.
- La metodología que sigue OBRESCA C.A para mantenimiento nivel 2 nos es la más apropiada, ya que después del análisis de modo y efectos de falla hay muchas actividades de mantenimiento que realizar y un solo mecánico no podría con la nueva programación ya que estaría afectando el plan de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

- Indiscutiblemente es primordial el talento humano, por esto es importante la seguridad industrial en una empresa o compañía, y seguir un plan de mantenimiento adecuado es de gran ayuda ya que un elevado porcentaje de accidentes son causados por imperfectos en las piezas, mal ensamblaje y mal mantenimiento en general de los equipos, estos eventos pueden ser prevenidos mediante una implementación adecuada del mantenimiento proactivo centrado en confiabilidad.
- Para preservar la vida útil de los equipos es necesario contar con una programación de mantenimiento y personal capacitado para que ejecute las tareas que requiere cada subsistema de las máquinas con que cuenta OBRESCA C.A.
- Es importante seguir un plan de mantenimiento para los equipos, el cual no debe ser únicamente realizado por personal del departamento a cargo y especializado en el tema de mantenimiento. Los operarios de los equipos juegan un papel bastante importante en el mantenimiento y la conservación al momento de manipular la máquina a su cargo. Por esta razón se hace necesario que el operario a parte de su experiencia, conozca la recomendación operativa por parte del fabricante.
- La capacitación, respaldo y estimulación laboral de los operarios y técnicos por parte de los directivos, tendrá una incidencia positiva para la implementación de la nueva reprogramación del mantenimiento proactivo basado en confiabilidad.
- En el caso de las intervenciones de mantenimiento nivel 3 (actividades de mantenimiento especializado por personal externo a la empresa altamente calificado), es importante tener en cuenta a la hora de la contratación de estos servicios, factores como trayectoria, experiencia, antecedentes, cumplimiento, capacitación, repuestos y herramienta especializada, por la importancia y altos costos que dicha intervención significa para los equipos y maquinaria de la empresa.
- El mantenimiento representa un arma importante en seguridad laboral, ya que un gran porcentaje de accidentes son causados por desperfectos en los equipos que pueden ser prevenidos.
- El trabajador debe ser concientizado a mantener en buenas condiciones los equipos, herramienta, maquinarias, esto permitirá mayor responsabilidad del trabajador.

- La evaluación del mantenimiento debe entenderse como un proceso continuo que comienza con satisfacer los objetivos de la capacitación. Lo ideal es evaluar los programas desde el principio, durante, al final y una vez más después de que se haya realizado el mantenimiento.
- El impacto deseado con el mantenimiento es optimizar en forma económica la utilización y disponibilidad de los equipos e instalaciones de los servicios. La medición del grado en que un mantenimiento ha contribuido a mejorar alguna de estas situaciones resulta bastante difícil debido a que existe muchos factores externos, que también influyen en el resultado final, tales como edad de los equipos, presupuestos, calidad de la energía que se suministra, etc.
- Si OBRESCA C.A. cumple con la nueva programación se reducirán las fallas más frecuentes que presentan los equipos y esto generara una reducción de los costos que estas fallas representan.
- La implementación de los software RCM++ y Weibull, podrían beneficiar a la empresa ya que con este se puede llevar un control de las intervenciones que deben realizarse a cada uno de los equipos, la frecuencia con la que deben realizarse, el nivel de mantenimiento, el tipo de repuesto, y el tiempo requerido para llevar a cabo la reparación o intervención.
- En dado caso que el plan de mantenimiento basado en confiabilidad y el software utilizado en este estudio sea implementado por la compañía se recomienda se utilizado por el jefe de mantenimiento con ayuda de los mecánicos de la compañía, ya que ellos serán los principales involucrados en el desarrollo de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

GOMEZ LOZANO, Iván Darío. Introducción al Mantenimiento Estratégico: Universidad Libre de Colombia, 2006. 63p.

BERTRAND L. HANSEN, PRABHAKAR M. GHARE, Control de Calidad. Teoría y aplicaciones. Ediciones DIAZ DE SANTOS S.A., Madrid, 1990.

PARRA, carlos. Implantación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) en un Sistema de Producción. Universidad de Sevilla Escuela Superior de Ingenieros. Sevilla, Febrero 2005.

D. Djeapragache, P. Prete. Study of Existing Reliability Centered Maintenance (RCM) Approaches Used in Different Industries. Facultad de Informática de Madrid. Madrid 2000.

ANTONIO CREUS SOLE, Fiabilidad y Seguridad. Su aplicación en procesos industriales. Marcombo Boixareu Editores. Barcelona, 1992.

NORBERT L. ENRICK y otros, Control de Calidad y Beneficio Empresarial. Ediciones DIAZ DE SANTOS S.A., Madrid, 1989.

LATIN-AMERICA CORP. Komatsu Impreso en E.E.U.U. 2002

INGERSOLL-RAND company. Road Machine Dimencion. 1993

<http://www.reliasoftsa.com/software/index.htm>

http://www.ode.es/actualidad/Articulos_anteriores/Mantenimiento%20Proactivo.pdf

http://www.solomantenimiento.com/m_confiabilidad_crm.htm

<http://www.rcm2-soporte.com/documentos/2006/SOP-Indicadores-Gestion-Articulo-Enero2006.pdf>

<http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20CENTRALIZADO%20EN%20LA%20CONFIABILIDAD.pdf>