

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea del CRAI-Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la CRAI-Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa
TRIDU construcciones e ingenierías S.A.S mediante herramientas del TPM y AMEF.**

Jeimy Paola Trigos Duarte, Daniel José Niño Solano

Trabajo de Grado para obtener el título de Ingeniero Industrial.

Director

Jonathan David Morales Méndez

Ingeniero Industrial

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Universidad Santo Tomas, Bucaramanga

División de Ingenierías y arquitectura

Facultad de Ingeniería Industrial

2017

CONTENIDO

1.	Problema	10
1.1	Descripción del problema.....	10
1.2	Pregunta de investigación.....	17
1.3	Justificación.....	17
1.4	Alcance.....	20
1.5	Objetivos	22
1.5.1	Objetivo general	22
1.5.2	Objetivos específicos	22
2.	Marco referencial	23
2.1.	Marco teórico	23
2.2.	Marco conceptual.....	28
2.3.	Marco legal	32
2.4.	Estado del arte.....	34
2.4.1	Mantenimiento preventivo en las organizaciones	34
2.4.2	Experiencias en la aplicación	37
2.4.3	Tpm y amef a través de la historia	38
3.	Metodología	41
3.1.	Enfoque y tipo.....	41
3.2.	Diseño de la investigación	41
3.3.	Variables	44
3.4.	Planeación de la investigación	45
4.	Resultados.....	46
4.1.	Análisis de causa y fallas que dan origen al mantenimiento correctivo	46
4.1.1.	Análisis de Pareto de las principales causas	46
4.1.2.	Análisis causas efecto	51
4.1.3.	Indicadores de tiempo medio entre fallas	53
4.1.4.	Causas priorizadas que dan origen al mantenimiento en la empresa TRIDU	56
4.2.	Análisis de modo y efecto de falla para el mantenimiento en la empresa tridu.....	61
4.2.1.	Metodología utilizada en el AMEF	62
4.2.2.	Amef para cada falla priorizadas	68
4.3.	Cuadro de mando integral para el área de mantenimiento	70
	Conclusiones	75
	APÉNDICES.....	77

Bibliografía	80
--------------------	----

Lista de Tabas

Tabla 1. Legislación	32
Tabla 2. Entidad Emite y Aporte	33
Tabla 3. Maquinaria existente	42
Tabla 4. Variables de la investigación	44
Tabla 5. Komatsu Retroexcavadora 1	46
Tabla 6. Komatsu Retroexcavadora 2	47
Tabla 7. Retroexcavadora Caterpillar	48
Tabla 8. Bulldozer	49
Tabla 9. Volqueta	50
Tabla 10. Komatsu retroexcavadora 1 (C62117-2008)	54
Tabla 11. Komatsu retroexcavadora 2 (351258PC200-8 2011)	54
Tabla 12. Retroexcavadora Caterpillar	55
Tabla 13. Bulldozer	55
Tabla 14. Volqueta	56
Tabla 15. Dientes	58
Tabla 16. Correas	57
Tabla 17. Mangueras de balde	59
Tabla 18. Esquineras	60
Tabla 19. Llantas	61
Tabla 20. Calificación severidad	64
Tabla 21. Ocurrencia	65
Tabla 22. Detección	66
Tabla 23. Amef para cada falla priorizada.	68
Tabla 24. Acciones recomendadas	69
Tabla 25. Acciones y Estrategias	70
Tabla 26. Metodología específica de mantenimiento autónomo	72

Lista de Figuras

Grafica 1. Komatsu retroexcavadora 1	47
Grafica 2. Komatsu Retroexcavadora 2	48
Grafica 3. Retroexcavadora Caterpillar	49
Grafico 4. Bulldozer.....	50
Grafico 5. Volqueta.....	51

Agradecimientos

Damos primeramente gracias a Dios por brindarnos la sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad para ejercer este proyecto, a nuestros padres por todo su apoyo, comprensión y confianza, a nuestro director de proyecto, por su apoyo y guía brindada durante el desarrollo del proyecto y a cada uno de los docentes que se vieron involucrados directa e indirectamente en esta actividad.

Dedicatoria

En memoria de Anderson Trigos Duarte, por su apoyo incondicional durante el desarrollo del proyecto, aun después de su fallecimiento nos sirvió de fortaleza para continuar con el desarrollo de este trabajo.

Resumen

En este documento se diseñó un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa TRIDU construcciones e ingenierías S.A.S, donde se evidenciaron una variedad de problemas debido a la aplicación del mantenimiento correctivo que actualmente la empresa aplica, Como objetivos del proyecto se tuvieron la identificación de las causas del mantenimiento y los efectos que tendrán en la maquinaria. En el primer objetivo se aplicaron herramientas estadísticas para encontrar las causas priorizadas y cuales eran los efectos que tenían estos problemas en la máquina.

Como segundo objetivo se planteó el diseño de un AMEF, el cual con las causas priorizadas ya establecidas se generó un cuadro de AMEF para cada falla priorizada basados en la metodología de AMEF por procesos, acá se establecieron acciones y recomendaciones para cada una de las fallas.

En el tercer objetivo se diseñaron los formatos de la implementación del mantenimiento bajo los pilares del TPM. Donde se pudo concluir que las principales causas del mantenimiento son la inexperiencia del personal y la falta de capacitaciones.

Introducción

TRIDU construcciones e ingenieras S.A.S es una empresa dedica a la construcción y en la actualidad aplica el mantenimiento correctivo a la maquinaria existente, debido a esta problemática nosotros decidimos diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada.

Este proyecto tuvo como fin establecer formatos y metodologías que la empresa debe implementar para lograr cumplir con lo establecido en los resultados. Debido a la variedad de problemas que la compañía tiene en cuanto al orden de repuestos, proveedores, contratos y lugares de reparación de la maquinaria, se debe generar el control sobre estos problemas antes de la implementación de este proyecto.

A continuación se procede al desarrollo de los objetivos planteados por los autores y la explicación del desarrollo de cada uno de ellos. Estableciendo acciones y recomendaciones a la empresa con su debida metodología para su aplicación.

1. Problema

1.1 Descripción del problema

TRIDU construcciones e ingeniera S.A.S es una empresa dedicada al mejoramiento de vías, construcción de obras civiles, movimiento de tierra, alquiler de maquinaria pesada y servicios profesionales de ingeniera civil. Para la adecuada ejecución de los contratos la organización cuenta con un Bulldozer Caterpillar D6D4X, Volqueta internacional, Retroexcavadora Komatsu PC200-8, Retroexcavadora Caterpillar 320D, Vibro compactador Bombag 7.5 Toneladas.

En la actualidad se aplica el mantenimiento correctivo en la organización, debido a que no se da un control adecuado en el alquiler de los vehículos pesados y contratos adquiridos por la empresa. Este tipo de mantenimiento además de ser un proceso arcaico y costoso a causa de fallas inoportunas es complemente obsoleto ya que repercute directamente en la vida útil de la maquinaria.

Al tener en práctica el mantenimiento correctivo se corre el riesgo de tener pérdida total del vehículo por altos costos de los repuestos, que en muchas ocasiones no son partes originales si no partes usadas o con poco uso del repuesto, al acceder a estas herramientas lo que se hace es reducir la vida útil de los vehículos.

Además un mantenimiento correctivo conlleva a que no se le dé la importancia que necesita la reparación, es decir solo se observa el lugar donde la maquina tiene el daño y no se hace un chequeo en general, esto genera que la maquina este en constante deterioro y posteriormente tenga que permanecer mucho tiempo en los talleres mecánicos.

En TRIDU se maneja este tipo de mantenimiento sin tener un registro controlado de los repuestos comprados, ni los cambios de aceites efectuados, los cuales son los daños que más se

presentan en la actualidad. Por consiguiente se generan pérdidas por los repuestos que quedan del mantenimiento realizado, los cuales podrían ser utilizados nuevamente en otras máquinas.

Esto demuestra que no se tiene control, lo que ocasiona un alto consumo de repuestos que las máquinas requieren, lo cual muchas veces conlleva a tener compras innecesarias de repuestos que otras máquinas no utilizan; además los mecánicos son los más favorecidos de esta falta de planificación, ya que ellos se quedan con las partes no utilizadas.

Al ser un mantenimiento correctivo no se tiene un contrato con talleres mecánicos a los cuales siempre se pueda acudir en caso de un daño, por lo contrario se acude a cualquier mecánico cercano a la zona para la pronta reparación de la maquinaria, lo cual muchas veces genera un cambio en los precios por cada mantenimiento realizado.

Esto genera que no existan contratos con tiendas de repuestos mecánicos y tampoco acceso a repuestos de buena calidad y en el momento necesario. En efecto la empresa acude a cualquier punto de venta para adquirir los repuestos, con un alto costo que genera comprar una sola parte a cada proveedor.

La empresa corre altos riesgos de adquirir repuestos de baja calidad para la maquinaria, lo que genera pérdidas para la compañía por máquinas en MC constante por alguna parte ya usada o que no funciona. Esto también hace parte de no tener un control adecuado para la compra de productos de buena calidad.

Un problema fundamental, es la pérdida de días laborales pues en muchas ocasiones los contratos laborales se ejecutan en el sur de Bolívar y Cesar, lo cual hace difícil una reparación, pues habría que esperar que el mecánico realice la respectiva revisión y además de la autorización para la compra de los repuestos que también pueden tardar varios días en llegar.

Al no tener un control de mantenimiento preventivo la compañía tiene perdidas de semanas de trabajo, lo cual representa un promedio de 10 horas diarias con montos de hasta 10´000.000 de pesos aproximadamente, debido al traslado de los materiales, equipos y repuestos que se consiguen en la ciudad de Bucaramanga a la zona de trabajo que en muchas ocasiones son al sur del Cesar y Bolívar.

Cuando se presenta un daño en una parte importante de un vehículo, se contacta al mecánico para que haga la valoración y en la mayoría de las ocasiones se debe esperar que la parte dañada sea llevada a la ciudad de Bucaramanga y sea objeto de estudio para remplazar las partes deteriorados o que ya no puedan ser utilizadas y así posteriormente sean devueltas a la zona de trabajo.

Al no tener un control de los proveedores, se acude en algunas ocasiones al lugar donde el servicio sea más económico, esto genera que las partes que sean remplazadas no tengan una calidad asegurada y además que la maquina siga funcionando en perfectas condiciones. Ningún administrador de la compañía viaja al lugar de la reparación, para cerciorarse que el daño sea bien corregido, y que los repuestos sean los mismos que ellos adquirieron en la compra, pues muchas veces los mecánicos usan repuestos usados.

Además el alquiler de máquinas es otro de los grandes problemas que la compañía tiene, pues no existe un control sobre las máquinas que están en alquiler ni mucho menos si son usadas en los trabajos adecuados o si son expuestas a trabajos extras que no estaban dichos en el contrato a la hora de alquilarla. Además no existe una revisión profunda del estado de la maquina después de ser recibida.

Al no tener un control sobre una máquina que llega de un alquiler, es decir revisar toda la parte mecánica, que no haya tenido alteraciones en su motor o que no se hubieran removido sus

partes originales, pues en varias ocasiones las maquinas cuando son llevadas al taller tienen partes que no son acordes a la marca original, lo cual ocasiona un desgaste más rápido de la maquinaria.

Es indispensable que los contratos pactados a la hora de hacer el alquiler de la maquinaria sean específicos en cuanto al buen uso de la maquinaria, las fechas en las cuales debe estar en mantenimiento y en las cuales requiera el cambio de aceite, además delegar un encargado de verificar el cumplimiento del contrato con respecto al uso adecuado del vehículo pesado.

El alquiler también debe tener fechas límites de trabajo, horarios diarios para su tarea y además especificaciones del material que puede tratar cada una de los vehículos, es decir cuánto puede cargar cada una y que tipo de materia es capaz de remover, así se mantiene el uso adecuado y no se somete al sobreesfuerzo, que es uno de los principales causantes del deterioro de las maquinas.

Es indispensable manejar planes de mantenimiento preventivo en la empresa, pues los contratos que adquiere son con municipios pequeños, o en la construcción de vías de acceso a veredas, debido a esto el no cumplimiento del proyecto en el tiempo establecido por daño de la maquinaria, conlleva a que la comunidad quede incomunicada con las zonas rurales.

El mantenimiento preventivo cuando es aplicado de la manera correcta y siguiendo sus indicaciones de manera correcta genera que la compañía pueda trabajar de una manera más ordena y además de cumplir sus labores en las fechas estipuladas y sin contratiempos pues no tendría que estar preocupado por daño de las maquinas o por si en algún momento sufre una falla inesperada.

Se debe plantear un manual para el tipo de mantenimiento al cual se someterá la maquinaria, es decir dependiendo del trabajo al cual fue sometida la máquina, se realizara un chequeo de todo el equipo o si solo se revisara la parte utilizada en el trabajo, esto hará que los costos de cada

mantenimiento sean más controlados y no se generen gastos innecesarios en partes que no requieren el mantenimiento.

A nivel nacional el mantenimiento preventivo es una de las herramientas más utilizadas, pues ayuda a disminuir el deterioro de las máquinas, esto conlleva alargar su vida útil, además de darle un funcionamiento óptimo durante todo el proceso al que son sometidos los vehículos, además de contribuir con el medio ambiente por la poca emisión de dióxido de carbono.

Cabe resaltar que con la aplicación del método no se podrían borrar todos los errores que la compañía tiene, pues los empresarios deben seguir el plan de mantenimiento presentado para que este tenga un resultado positivo, ya que si se falla en una de las pautas propuestas, no se vería el resultado y al final se seguirían cometiendo los mismos errores.

La necesidad de la empresa para adquirir el método es de vital importancia, pues está entrando en un endeudamiento por la compra de materiales de repuestos para toda la maquinaria; debido al constante uso que tienen las máquinas se genera un desgaste diario y sin el cuidado adecuado puede generarse la pérdida de estas.

Un mantenimiento preventivo puede generar ahorros en TRIDU, y además tener un control sobre el uso de la maquinaria, es decir como la compañía hace alquiler de maquinaria muchas veces el deterioro de las máquinas se genera en estos contratos, pues los arrendatarios no tiene la responsabilidad con el cuidado de las máquinas.

Una de las dificultades presentadas para la aplicación de este control, es debido a los lugares en los cuales se realizan los trabajos, ya que las vías de acceso son complicadas y además la poca red de comunicación que existe, dificulta la llegada del inspector o el encargado de hacer el chequeo de las máquinas, para decidir si puede seguir funcionando o necesita una reparación inmediata.

La poca disponibilidad de recursos para realizar los planes de mantenimiento, dificultan el grado de excelencia de los mismos, asimismo la falta de capacitación del personal influye en la aplicación del método pues los operarios no poseen ningún título profesional, debido a esto la empresa tendría que ser responsable de las capacitaciones de todo su personal, para lograr una buena implementación del control que se quiere aplicar.

La compra de repuestos por maquina resultaría costosa para la empresa, por eso se debe tener un convenio con tiendas de repuesto, para comprar los productos necesarios en grandes cantidades y así repartirlas durante la etapa de mantenimiento preventivo, además de capacitar al mismo operario para su aplicación.

Se debe diseñar un cronograma para el envío anticipado y la cantidad exacta del material a utilizar para realizar un buen engrase del vehículo; para su buen funcionamiento y sin tener pérdidas por despilfarrar el recurso utilizado. Este control debe ser seguido al pie de la letra para tener un resultado satisfactorio.

Por falta de un control adecuado la empresa ha tenido contratiempos en cuanto al envío del aceite y su aplicación, porque muchas veces el operario no aplica el aceite nuevo que se le envió, si no por el contrario lo vende y compra uno más barato o ya utilizado, esto conlleva a un deterioro más rápido de la vida útil del vehículo.

No tener un control adecuado con los sitios donde están los repuestos indicados, puede generar pérdidas millonarias, pues un operario que es enviado a comprar los repuestos en el lugar no indicado, pierde los días de labor en viajes innecesarios, por eso debe existir una base de datos donde este especificado, donde se puede encontrar cada uno de los repuestos y así evitar pérdidas de dinero por vehículos en Stand by (esperar).

Sin tener ningún control de calidad en los diferentes procesos realizados por la empresa, hace que las maquinas laboren días enteros sin tener un conocimiento de cuanto es el tiempo exacto que se debe utilizar la maquinaria para que su vida útil no se vea afectada, además de no saber con exactitud cuándo cada una de las maquinas requiere un mantenimiento preventivo.

Muchas de las maquinas utilizadas por la compañía requieren mantenimiento diarios, otras semanales y en algunos casos son en diferentes horas del día, debido al trabajo que son sometidas; el poco conocimiento del tema hace que estos mantenimientos sean ignorados, generando daños determinantes en el funcionamiento de algún vehículo.

Una de las herramientas utilizadas es el TPM (mantenimiento producción total) surgió en Japón como una filosofía de mantenimiento la cual busca eliminar perdidas en la producción. La segunda herramienta utilizada el AMEF (análisis de modo efecto y fallas) es un método que busca problemas potenciales en el sistema, los concentra y busca poder priorizarlos y generar planes de prevención.

Las normas legales a las cuales la empresa debe acogerse son: Manual para el Manejo del Tránsito de Obras Civiles en Zonas Urbanas (Resolución 463 de la STT), Código Nacional de Tránsito Terrestre (Ley 769), Lineamientos para el Tránsito de Vehículos de Carga e Industriales en el Área Urbana del Distrito Capital (Decreto 112), Manual de Señalización Vial. Ministerio de Transporte (Resolución 1050) y Manual sobre Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles y Carreteras (Resolución 5866).

Como bases teóricas de la investigación se tomaron los casos de José Manuel Arapé, el cual realizo un análisis en la Implementación del Mantenimiento Preventivo en la C.A. Fábrica Nacional de Cementos S.A.C.A., División Concretos y Agregados. Otra de las investigaciones fue la de Pedro L. Hernández, Miguel Carro, Juan Montes y Sergio Fernández, quienes analizaron la

optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Por último se tomó la investigación de Sánchez Diego, Lozada July quienes plantearon un artículo sobre el mantenimiento productivo total como una herramienta de mejoramiento continuo.

Como teoría contradictoria tomamos el artículo de Marín Juan, Martínez Rafael publicado en julio de 2013 BARRERAS Y FACILITADORES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM. El cual muestra las dificultades que tiene la implementación de un TPM en las organizaciones.

Como investigaciones de experiencias para el plan de mantenimiento que se implementara se tomaron los casos de Maledis, Yira quienes diseñaron e implementaron un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa MEJÍA VILLEGAS CONSTRUCTORES S.A. otra de las investigaciones fue la de Héctor y Harley, los cuales elaboraron un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la gobernación de Casanare. Por ultimo un estudio sobre la implementación del mantenimiento preventivo en las organizaciones, cuáles son sus ventajas y desventajas.

1.2 Pregunta de investigación

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento preventivo para maquinaria pesada en la empresa TRIDU CONSTRUCCIONES E INGENIERÍAS S.A.S basado en la herramienta TPM y AMEF?

1.3 Justificación

Actualmente durante la ejecución de obras civiles y construcciones se requiere de un previo apoyo basado en tecnología y desarrollo, fundamentado en un servicio eficiente como factor diferenciador en el mercado; que este directamente relacionado con el precio, equipos especializados y ventajas que respondan a las necesidades de diferentes proyectos y edificaciones de bienes tangibles. Conscientes de lo anterior, se indican que a igualdad o similitud de precio,

siempre el parámetro que hará desnivelar la balanza es el servicio con que cuente el proveedor. Un equipo detenido, por falta de mantención o reparación oportuna, se traduce en mucho dinero perdido que a su vez deja de producir.

El mercado actual valora más que antes variables tales como, la tecnología incorporada a los equipos, la garantía, el servicio. Y este conjunto de factores, cuando forman parte del valor agregado de la oferta permiten transformar los productos con una característica distintiva que trae consigo desmarcarse de la competencia.

El desarrollo de nuevos sistemas tecnológicos y su índice de velocidad crecen de manera evidente; este contraste crea una nueva dinámica que en consecuencia lleva a la transformación social e innovación industrial. En la actualidad el mantenimiento ha ido adquiriendo una importancia creciente; los adelantos tecnológicos han impuesto un mayor grado de mecanización y automatización de la producción a la maquinaria y vehículos pesados, lo cual establece nuevos desafíos y actualizaciones constantes.

De acuerdo a lo anterior, la constructora debe estar en constante evolución, planteando estrategias que le permitan mantenerse en el mercado y más cuando no se ha evidenciado un fortalecimiento comercial ni un reconocimiento a la fecha. Por ello también se ha considerado plantear mecanismos sistematizados que aumenten las ventas y la prestación de servicios, siendo en este sentido indispensable la función de crear un plan de mantenimiento preventivo, que ayude a prolongar la vida útil del servicio de cualquier maquinaria o equipo.

Un plan de mantenimiento preventivo se ha determinado como lo más ideal y económico, debido a que garantiza confiabilidad hasta una próxima intervención basada en una estructurada

planificación, es decir una vez cumplido un lapso de servicio y tiempo, según el calendario y horas trabajadas ayuda a prever fallas.

Dentro del plan de mantenimiento, debe crearse un registro constante de las actividades o servicios ejecutados a cualquier equipo o maquinaria de manera consecutiva. Teniendo siempre esta información asequible para cualquier revisión, deben estar organizadas para evitar confusiones y mantener una fácil lectura, legibles para todo el personal que elabore el servicio y así efectuar un análisis antes de realizar un próximo trabajo.

Es necesario conocer un registro de TRIDU en cuanto a intervenciones y registros históricos de operaciones para poder desarrollar de manera coherente el plan de mantenimiento, en vista de mejorar las condiciones de trabajo y la disponibilidad de la maquinaria al momento de iniciar una obra. Al realizar un mantenimiento preventivo se debe realizar un almacenamiento de repuestos y determinar el costo de mantenimiento a seis meses y talento humano necesario.

Se busca manejar adecuadamente un registro de mantenimiento sistematizado, basado en un cumplimiento estricto. Es necesario resaltar que la creación de este contribuye al aumento de disponibilidad de la maquinaria, beneficiando la intervención de vías en los departamentos de Bolívar y Cesar reflejándose un mayor número de kilómetros construidos y mantenidos a un menor costo.

La aplicación del TPM genera trabajo en equipo entre empleados y compañía, logrando una unificación entre la administración y operarios. Es una herramienta útil en la aplicación de un plan de mantenimiento preventivo, pues con su aplicación se lograra tener un personal capacitado en el tema de mantenimiento.

Además de tener una mejora en el rendimiento de la maquinaria, la cual ayudara a que está se encuentre al 80-90% de su producción, evitando así el despilfarro de tiempo por maquinaria parada o que no esté trabajando en toda su capacidad; de esta manera el TPM ayuda a la mejora de la calidad, mejora de la polivalencia y habilidades de operación, además de la seguridad y entorno de trabajo.

La aplicación del AMEF en el plan de mantenimiento preventivo es de gran ayuda para el proyecto pues identifica fallas o defectos antes de que ocurran, reduce los costos de garantía, incrementa la confiabilidad de los servicios, documenta los conocimientos sobre los procesos y reduce los costos de las garantías estos serían los beneficios a la hora de implementar esta herramienta.

Los beneficios para la empresa por la aplicación de plan de mantenimiento preventivo son incrementar la satisfacción del cliente, por tener maquinaria en buen estado, además de cumplir los trabajos en el tiempo establecido, mejora en las finanzas de la empresa por evitar el mantenimiento correctivo, la pérdida de tiempo por paro de máquinas inesperadas.

1.4 Alcance

La investigación que se va realizar para TRIDU CONSTRUCCIONES E INGENIERÍA S.A.S es importante para la compañía pues ayudara a desarrollar planes de mantenimientos preventivos en la maquinaria que en la actualidad se utiliza. Además generara un ahorro significativo pues tendrá un control sobre los mantenimientos realizados y un cronograma que especificara las fechas en las cuales cada una de las maquinas debe ser revisada por la labor a la cual fue sometida.

Además del cumplimiento del trabajo en las fechas establecidas por las alcaldías y gobernaciones, sin tener contratiempos por daños de maquinarias que no tuvieron un mantenimiento adecuado; dando una buena imagen para futuras contrataciones y logrando acceder a nuevos clientes. No obstante se entiende que algunos contratiempos que la compañía puede tener no siempre serán por falta de mantenimiento en las máquinas si no un problema de distinta procedencia.

Al tener un mantenimiento preventivo para las máquinas que acceden a las veredas, por la construcción de nuevas vías, es indispensable que cada una de ellas tenga las especificaciones de los mantenimientos a los cuales debe acceder para cumplir con la labor, así se eviten retrasos en la entrega oportuna de la vía, además de brindar una pronta comunicación de los pobladores.

Se aplicaran las herramientas del TPM Y AMEF que brindaran una mejora en la compañía por la aplicación de un mantenimiento preventivo, el cual buscara reducir las fallas que se generan habitualmente y buscara la capacitación del personal para tener un control sobre cualquier daño que se presente a la hora de realizar un trabajo aislado, donde no se pueda contar con un mecánico y así no tener pérdidas por máquinas estacionadas.

Los principales poblados beneficiados con la aplicación de un mantenimiento preventivo a las máquinas de la compañía son: Cesar: Aguachica, Rio de oro, Gamarra, San Alberto. Bolívar: Rio Viejo, Arenal, Regidor, Morales. Santander: San Vicente de Chucurí, Barrancabermeja, Berlín, Piedecuesta entre otros.

La mejora se implementara en todos los vehículos que posee la empresa, los cuales en la actualidad son 6, contando excavadoras, volquetas, buldócer, retroexcavadora y vibro compactadores; además de un control en el cambio de aceite en cada una de las máquinas anteriormente mencionadas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Diseñar un Plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa TRIDU Construcciones e ingenierías S.A.S mediante la aplicación del TPM y el AMEF estructurando acciones que oriente su desarrollo.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar las causas del mantenimiento de maquinaria pesada en TRIDU mediante análisis estadísticos e indicadores que prioricen los problemas más comunes.
- Realizar un Análisis de Modo y Efecto de falla basados en los problemas priorizados estableciendo acciones preventivas para la empresa TRIDU.
- Formular el programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada en TRIDU mediante la adaptación de los pilares del TPM estableciendo acciones y recomendaciones para su implementación.

2. Marco referencial

2.1. Marco teórico

La implementación de un programa de mantenimiento preventivo, es una mejora que se utiliza comúnmente en las mejores empresas del mundo, pues ayuda a tener un mejor control en las máquinas de la compañía, alargar su vida útil y sacar el máximo provecho de la maquinaria que se posea. Además de tener un ahorro significativo en los gastos de mantenimiento de las máquinas.

Con base a nuestro problema de investigación y los objetivos planteados en el proyecto, se desarrolla el marco teórico de la investigación, teniendo en cuenta antecedentes históricos que se hayan realizado sobre el mantenimiento preventivo en diferentes compañías. Observando cuales fueron los resultados, hallazgos o conclusiones de sus aplicaciones.

Un antecedente histórico sobre la investigación que realizaremos, nos permite tener una idea más clara de la aplicación de un mantenimiento preventivo, pues así podremos tener soluciones más rápidas o evitar problemas que se tuvieron en las otras investigaciones los cuales nos puedan servir para evitarlos. Además se puede observar que tan viable es el proyecto para hacer la aplicación de esta mejora [1].

Con la finalidad de brindar una ayuda al proyecto de implementación de mantenimiento preventivo en la empresa TRIDU S.A.S Se tomó como ejemplo la investigación de José Manuel Arapé García realizada en octubre de 2009, la cual realiza un análisis en la Implementación del Mantenimiento Preventivo en la C.A. Fábrica Nacional de Cementos S.A.C.A., División Concretos y Agregados. [2]

La investigación tuvo como objetivo general la implementación de un mantenimiento preventivo en la empresa C.A. FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS e implanto tres objetivos específicos que tuvieron como fin recolectar información y diagnosticar el estado de la maquinaria existente en la compañía, además se planificaron y diseñaron formatos de mantenimiento preventivo para cada una de ellas logrando así tener un control en los mantenimientos realizados.

Como desarrollo de la investigación se realizaron una serie de actividades que estuvieron distribuidas en la recolección de información, diseño del plan de mantenimiento, plan de mantenimiento para equipos, diseño de formatos y en la implementación y seguimiento del mantenimiento preventivo. Estas pautas permitieron llevar un control en el desarrollo normal del proyecto.

Se pudo concluir que se realizó el estudio del mantenimiento preventivo para los equipos, además se desarrolló una base de datos que permite el control y registro de cada uno de los equipos que está en mantenimiento, se creó una interfaz gráfica que permite el acceso y registro de la información necesaria para llevar a cabo un adecuado mantenimiento preventivo.

Los objetivos y conclusiones de esta investigación, sirven para tener en cuenta varios tips o programas que se deben crear, para que al momento de hacer la implantación del programa en la empresa, se pueda tener un control más detallado del mantenimiento que se le va a realizar a la maquinaria y así evitar posibles sobrecostos o mantenimientos innecesarios.

Otra de las investigaciones teóricas fue la de Pedro L. Hernández, Miguel Carro, Juan Montes y Sergio Fernández, realizada en marzo de 2008, quienes analizaron la OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO UTILIZANDO LAS TÉCNICAS DE DIAGNOSTICO

INTEGRAL. Creando un diagnostico en base a la aplicación del mantenimiento preventivo en las organizaciones [3].

Esta investigación tiene como objetivo dar muestra teórica de una optimización del mantenimiento preventivo a partir del mantenimiento basado en la condición, por medio de técnicas de diagnóstico integral. Estas herramientas ayudan a entender la necesidad de las compañías para implementar un sistema de mantenimiento preventivo. Además de tener un impacto positivo de su implementación y de las mejoras que proporcionaría al aceptarlo.

Este articulo desarrolla una serie de actividades por medio de metodologías y estudios estadísticos que permiten dar una conclusión a la hora de implementar esta herramienta, por medio de caracterizaciones, análisis de modo falla, causa y efecto; las cuales muestran las causas primordiales de los problemas comunes de las maquinas, y así tomar las mejores decisiones para la aplicación de un mantenimiento preventivo.

En la investigación se logra concluir que el desarrollo de matrices de fallas y de parámetros óptimos, propias del diagnóstico integral, son herramientas importantes para encontrar la falla entre variables de estado de diagnóstico, las cuales sirven para el desarrollo de modos de fallos de las fallas. Esto es necesario debido a que no es posible perfeccionar ningún tipo de mantenimiento sin el desarrollo de los modos.

Además los resultados de este artículo de investigación han dejado listos los temas a discutir por muchos especialistas de esta materia como son: los sistemas de mantenimiento y diagnostico a utilizar en las organizaciones, los periodos de muestra de las pruebas, la utilización de las bases

de datos y la relación existente entre diagnóstico-mantenimiento, estas son las principales dudas que genera la teoría descrita por esta investigación.

Una de las teorías tomadas fue la de Sánchez Diego, Lozada July quienes plantearon un artículo sobre el MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL COMO UNA HERRAMIENTA DE MEJORAMIENTO CONTINUO, en cual describen si existe una posibilidad de la utilización del TPM como una herramienta de mejora continua en las organizaciones, con base en el éxito que ha tenido esta herramienta en antiguas aplicaciones [4].

Este artículo tiene como objetivo dar un a conocer la mejoría mundial que ha tenido el TPM al momento de ser implementado, pues cambia entornos, optimiza recursos y mejora procesos. Este cambio que genera la aplicación de una herramienta muestra el gran avance que toma la compañía al implementarlo y darle seguimiento, es necesario tener un trabajo mutuo de compañía y empleados para que el éxito sea rotundo.

No obstante esto muestra que no todas las implementaciones de la herramienta siempre tienen un final exitoso, pues existen compañías que no le dan el control adecuado y el seguimiento que se debe después de su aplicación, podemos ver también que al no tener una buena organización de parte de su líder, no todos los trabajadores estarían dispuestos asumir el cambio, generando retrasos y en algunos casos la imposible aplicación de la herramienta.

Además para tener el éxito rotundo de la compañía no solo debe buscar que sus empleados y líderes trabajen mutuamente, si no debe tener muy en cuenta la mejoría en todos los aspectos, es decir establecer un sistema que previene las pérdidas en todas las operaciones de la empresa. Esto

incluye algo que casi todas las empresas consideran imposible como es tener cero accidentes, cero defectos y cero fallos en todo el ciclo de vida del sistema productivo.

Esta investigación se pudo concluir que la implementación de un sistema de mejoramiento continuo, traerá beneficios económicos, operativos y de reconocimiento para la organización, pues a través de la búsqueda de la eficiencia y de la mejora en los procesos, se establecerá una cultura de cambio e innovación constante, en la cual se buscara dar lo mejor de sí. Brindando mejores condiciones para los clientes de las organizaciones.

Como teoría contradictoria tomamos el artículo de Marín Juan, Martínez Rafael publicado en julio de 2013 BARRERAS Y FACILITADORES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL TPM. Quienes plantearon una investigación sobre lo difícil que puede ser la implementación del TPM, además pretende por medio de un análisis de la literatura existente, aproximarse a esa dificultad y aportar un análisis que permita avanzar en su conocimiento. [5]

El objetivo principal de este artículo es la demostración de la difícil aplicación de la herramienta TPM a través del análisis de la literatura existente que pretende aproximarse a esa dificultad, además de dar un conocimiento más profundo de estas dificultades y las barreras que impiden su aplicación en la empresa.

La revisión de literatura utilizada en el artículo está basada en el análisis de más de 44 publicaciones sobre le TPM, extraídas de bases de datos elegidas por su reputación en publicaciones científicas y académicas. Con base a los resultados y conclusiones de los artículos revisados se hizo un análisis comparativo de los puntos de interés y la discusión con expertos.

Como resultado de la investigación se obtuvo que las organizaciones tienen un impacto positivo en su desarrollo por la implementación, así como la dificultad que presenta la implantación de su modelo de desarrollo. Presentaron las principales causas que generan la dificultad y como estas influyen en la consecuencia de los objetivos de cada paso del modelo de implantación.

Además se puede concluir que la dificultad que presenta el TPM se debe a la relación de influencias que presenta una serie de barrera sobre un modelo de desarrollo, especialmente en casos de modelos de desarrollos inadecuados. Es decir donde no se implantan todas las pautas a seguir y no se cumplen con los requisitos mínimos a la hora de implementar dicha herramienta.

2.2. Marco conceptual

El mantenimiento es uno de los ejes fundamentales en la industria de la construcción y alquiler de maquinaria, dando cambios significativos en la calidad de los servicios prestados, por tanto es indispensable durante el proceso de investigación precisar conceptos para un análisis previo de programación y aplicación de herramientas que permitan una correcta conservación de la maquinaria.

Mantenimiento: Función empresarial a la que se encomienda el control del estado de las instalaciones de todo tipo, tanto las productivas como las auxiliares y de servicios, como conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo. [1]

Como menciona Leandro Torres en su libro “Mantenimiento. Su Implementación y Gestión”, para garantizar un correcto mantenimiento es necesario cumplir un conjunto de estrategias básicas, como se mencionan a continuación:

- Suficiencia Técnica. La misma se logra conociendo todo el proceso de funcionamiento de cada sistema que se supervisa, así como el manejo y noción de las especificaciones técnicas de los equipos involucrados.
- Recursos humanos. Se debe poseer el personal necesario, capacitado y entrenado para los trabajos de mantenimientos a realizar.
- Niveles de calidad. Se cumplen aplicando procedimientos estructurados y sistemas de control que permitan identificar desviaciones y analizar estrategias para cumplir con los objetivos propuestos.
- Factibilidad económica. Mediante el conocimiento de los procedimientos de trabajo, estrategias, sistemas de control y noción de cada elemento del proceso de mantenimiento, se puede dimensionar de forma adecuada la cantidad de recursos necesarios y así el costo implicado.
- Organización. Es necesaria la elaboración de estrategias generales de mantenimiento, que comprendan la identificación y análisis de las situaciones de trabajo así como la metodología normalmente aplicada. Una buena organización del proceso de mantenimiento asegura la toma rápida de decisiones, donde se eviten los retrasos y las faltas o sobras en recursos requeridos, el aseguramiento de trabajos de la mejor calidad, personal entrenado y calificado para las actividades solicitadas, y primordialmente la sustentabilidad del proceso productivo de la empresa.

Control: Acción de verificar el desempeño de distintas áreas o funciones, implicando una comparación entre un rendimiento esperado y un rendimiento observado. [1]

Mantenimiento correctivo (MC): Permite alargar la vida útil de los equipos y maquinarias por medio de la reparación de piezas y la corrección de fallas. En este sentido, libra a la empresa

de la necesidad de comprar un nuevo equipo cada vez que se deteriore, lo cual evitará elevar costos previniendo accidentes y evitando vacíos en la producción [1]

Mantenimiento preventivo (MP): Es un tipo de mantenimiento, que busca principalmente la detección y prevención de fallas en el funcionamiento de las máquinas y equipos de una empresa, antes que estas ocurran. Esto se hace por medio de inspecciones periódicas y cambio de elementos en malas condiciones o dañados. [1]

Se basa principalmente la confiabilidad de la maquinaria y equipo, programación inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse de forma periódica con base a un plan establecido y no a una demanda del operario.

Mantenimiento predictivo: Conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo. [1]

Mantenimiento productivo total (TPM): Mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas. [1]

Detección de Fallas: Mantenimiento que se aplica cuando se teme la aparición de alguna falla en un momento no deseado. Consiste en la evaluación de un equipo y verificación de cada una de sus funciones y arreglo de pequeños imperfectos. [1]

Preservación: Conjunto de procedimientos y medidas destinados a asegurar la protección física.

Planeación y Programación del Mantenimiento: La planeación consiste en conocer, determinar y preparar las actividades estrictamente necesarias a la hora de realizar una gestión, y en el caso presente, el mantenimiento de un sistema. La programación viene directamente después,

como un ajuste en el tiempo o calendario donde se establece cuando se realizarán los trabajos de mantenimiento planeados y debidamente identificados.

Un buen empleo y familiarización de la planeación y programación del mantenimiento contribuyen de manera significativa en el progreso y estabilidad de un sistema, de acuerdo a los siguientes objetivos:

- Minimizar tiempos de ocio en los trabajos de mantenimiento.
- Maximizar la eficiencia en los trabajos de mantenimiento, con respecto a tiempo, equipos y materiales a utilizar.
- Mantener el sistema de operación en las mejores condiciones de calidad. [1]

Programación: La programación del mantenimiento involucra acatar y verificar la disponibilidad, en una fecha prevista, de cada uno de los recursos y elementos necesarios para el trabajo de servicio desarrollado en la planeación del mantenimiento. Una buena programación establece períodos y frecuencias de servicios según una clasificación de prioridades, además del análisis de la perdurabilidad en el tiempo de los tipos de mantenimiento realizados. [2]

En forma general, debe cumplir con las siguientes normas de acción:

- Clasificar las órdenes de trabajo según el tipo de mantenimiento y su prioridad en la empresa.
- Considerar los tipos de mantenimiento en ejecución, en cuanto al tiempo de empleo, lugar de desempeño y posibilidad de combinar actividades relacionadas directa o indirectamente.
- Programar actividades diarias, bien sea de chequeo o inspección, además de las establecidas según el tipo de mantenimiento requerido.
- Optimizar los horarios de trabajo según los tipos de mantenimiento programados.

- Desempeñar una eficiente asignación de trabajos y un registro organizado de las órdenes de trabajo cumplidas.

2.3. Marco legal

Se describen las principales normas a las cuales está sujeta la compañía durante la contratación de proyectos de obras civiles, además de asumir un plan de implementación de mantenimiento preventivo en la maquinaria existente. La normatividad existente esta descrita en la siguiente tabla.

Tabla 1.
Legislación

<i>Norma</i>	<i>Año</i>	<i>Descripción</i>
<i>Resolución 463 de la STT</i>	1999	Describe con mayor amplitud las obligaciones a cargo de la Aseguradora y del Empleador en materia de prevención de riesgos laborales y cumplimiento de la normativa de Seguridad.
<i>Ley 769</i>	2002	Busca orientar, vigilar e inspeccionar la ejecución de la política nacional en materia de tránsito; específicamente esta normativa para la maquinaria amarilla está dada en los Artículos 68, 69, 70, 76, 101, 102, 127 y 131.
<i>Decreto 112</i>	1994	Se hace necesario reglamentar el tránsito de vehículos de carga de más de 5 toneladas. La Administración considera procedente restringir la circulación, así como el cargue y descargue en horas fijadas.
<i>Resolución 1050</i>	2004	El Ministerio de Transporte fija la facultad de reglamentar las características técnicas de la demarcación y la señalización de toda la infraestructura vial.
<i>Resolución 5866</i>	1998	Adoptan medidas para el registro en línea y tiempo real de los datos de la póliza SOAT en el RUNT, la generación del certificado de registro.

Tabla 2.
Entidad Emite y Aporte

<i>Entidad Emite</i>	<i>Aporte</i>
1. <i>Manual para el Manejo del Tránsito de Obras Civiles en Zonas Urbanas.</i>	Estas transiciones garantizan la seguridad vial para conductores y peatones, guiándolos a través del área afectada por la obra
2. <i>Código Nacional de Tránsito Terrestre.</i>	Proporciona organización durante la ejecución de contratos, direccionados hacia el buen funcionamiento y uso vial.
3. <i>Lineamientos para el Tránsito de Vehículos de Carga e Industriales en el Área Urbana del Distrito Capital</i>	Descongestionar la red vial, como garantía de comodidad para los habitantes, regulando la circulación de animales, vehículos por las vías públicas o privadas.
4. <i>Manual de Señalización Vial. Ministerio de Transporte.</i>	Las señales reglamentarias, informativas y preventivas garantizan la integridad y seguridad de los usuarios, peatones y trabajadores, evitándose en lo posible la restricción de los flujos vehiculares.
5. <i>Manual sobre Dispositivos para la Regulación del Tránsito en Calles y Carreteras.</i>	Elevan la seguridad tendiente a garantizar la confidencialidad, la integridad y la disponibilidad de la información.

2.4. Estado del arte

2.4.1 Mantenimiento preventivo en las organizaciones

El mantenimiento entra con fuerza en la revolución industrial debido a la creación de la maquina a vapor entre el siglo XVIII Y XIX, con la aparición de las primeras máquinas textiles y distintos procesos de extracción de metales, en esos trabajos es donde se producen las primeras fallas y los primeros trabajos de reparación, debido a eso se necesitan realizar los primeros mantenimientos antes de que las maquinas fallen por completo.

En ese periodo los mantenimientos solo se limitaban a corregir las averías causadas por el proceso de producción, siendo así como nace el mantenimiento correctivo. Debido a esto cuando sucedía un error o una falla, esta era reparada por los mismos operarios que la manipulaban hasta que en 1910 la maquinaria industrial se había incrementado precipitadamente, debido a esto se pudo observar que los trabajadores dedicaban más tiempo a los mantenimientos, que a su puesto laboran perjudicando directamente a la producción.

En la actualidad no se ha visto un cambio significativo con respecto al mantenimiento correctivo, siendo este tema uno de mayor preocupación en las empresas por el miedo a perder producción. El mantenimiento preventivo es base esencial para el excelente rendimiento de las organizaciones pues buscan el beneficio económico, colocando como base esta su razón comercial. Lo que se busca principalmente en un mantenimiento preventivo es la conservación de la maquinaria y equipos en el momento de ser requeridos.

En la actualidad los expertos durante el desarrollo de un proyecto han adquirido métodos que sirven para la creación de herramientas tecnológicas, experimentales y teóricas, las cuales son confiables e implican una reducción de los costos por reparación, produciendo una mayor efectividad de entrega y una mayor calidad en los productos terminados.

El estudio de fallas de un equipo deriva dos tipos de averías; aquellas que generan resultados que obliguen a la atención de los equipos mediante Mantenimiento Correctivo y las que se presentan con cierta regularidad que ameriten su prevención. El Mantenimiento Preventivo es el que utiliza todos los medios disponibles, incluso los estadísticos, para determinar la frecuencia de las inspecciones, revisiones, sustitución de piezas claves, probabilidad de aparición de averías, vida útil, y otras. Su objetivo es adelantarse a la aparición o predecir la presencia de fallas.

El Mantenimiento Preventivo es el conjunto de acciones necesarias para conservar un equipo en buen estado independientemente de la aparición de las fallas. Este tipo de mantenimiento busca garantizar que las condiciones normales de operación de un equipo o sistema sean respetadas, sus lubricantes conserven sus características y sus elementos consumibles tales como filtros, mangueras, correas etc. Sean sustituidas dentro de su vida útil.

El Mantenimiento Preventivo clásico prevé fallas a través de sus cuatro áreas básicas. [3]

a. Limpieza: Las máquinas limpias son más fáciles de mantener operan mejor y reducen la contaminación. La limpieza constituye la actividad más sencilla y eficaz para reducir desgastes, deterioros y roturas.

b. Inspección: se realizan para verificar el funcionamiento seguro, eficiente y económico de la maquinaria y equipo. El personal de mantenimiento deberá reconocer la importancia de una inspección objetiva para determinar las condiciones del equipo. Con las informaciones obtenidas por medio de las inspecciones, se toman las decisiones a fin de llevar a cabo el mantenimiento adecuado y oportuno.

c. Lubricación: Un lubricante es toda sustancia que al ser introducida entre dos, partes móviles, reduce el frotamiento calentamiento y desgaste, debido a la formación de una capa resbalante entre ellas.

d. Ajuste: es una consecuencia directa de la inspección; ya que es a través de que se detectan las condiciones inadecuadas de los equipos y maquinarias, evitándose así posibles fallas.

Cuando la falla se presenta de manera progresiva, pueden monitorearse ciertos parámetros físicos que permiten decidir la intervención del equipo antes de la ocurrencia de la falla. Este tipo de mantenimiento no contemplado en la clasificación general del mantenimiento por ser una subdivisión del Mantenimiento Preventivo) se conoce como Mantenimiento por Condición o Predictivo ya que busca efectuar la reparación del equipo en el umbral de ocurrencia de la falla, es decir, en el preciso momento de su aparición; bajo condiciones programadas, minimizando así los costos globales de mantenimiento. [3]

Características.

Básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina donde se realizaran las acciones necesarias; como, engrasar, cambiar correas, desmontaje, limpieza, entre otras.

Ventajas.

- El cuidado periódico proporciona una aplicación eficaz que contribuye a un correcto sistema de calidad y mejoramiento continuo.
- Representará una deflación de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita la planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de los recambios o fallas.
- Confiabilidad de los equipos en cuanto a seguridad y condiciones de funcionamiento.

Desventajas.

- Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra. El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.
- Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.
- Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo producen falta desmotivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan.

2.4.2 Experiencias en la aplicación

La investigación que se tomó como antecedente histórico fue la investigación de Héctor Ricardo Sanabria y Harley David Hernández en el 2011, la cual elaboro un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la gobernación de Casanare, y se planteó como objetivo su implementación, además de generar una organización en la documentación existente de la maquinaria, para tener un control más detallado en el formato existente.

Como conclusión de la investigación se observó que al realizar una aplicación de los planes de mantenimiento preventivos, es indispensable realizar un diagnóstico de las pérdidas que se tienen sin su aplicación, además de tener un manejo, registro y documentación de la información para efectuar el proyecto.

Esta investigación aporta diferentes puntos de vista para la realización de un plan de mantenimiento preventivo, el cual puede ser completamente informático, para evitar la

acumulación de documentación, que muchas veces no es tomada en cuenta en una empresa. Esto permite, que exista un orden más cronológico en la realización de un mantenimiento y así tener un control detallado de lo que sucede con la maquinaria de la compañía.

El último ejemplo de antecedentes es la investigación realizada por Maledis Raquel Becerra Guzmán y Yira Patricia Bohórquez Farfán quienes diseñaron e implementaron un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa MEJÍA VILLEGAS CONSTRUCTORES S.A. además de tener como objetivo aumentar el rendimiento de las máquinas de tal forma que se conserven en condiciones de funcionamiento seguro y eficiente.

Como conclusión de esta investigación se tuvo en cuenta inventario actual de la maquinaria, además de un inventario de los repuestos de cada uno de las máquinas y cuáles son los más comunes a lo hora de necesitar un mantenimiento correctivo.

Esta investigación aporta una gran información para nuestro proyecto, pues tiene un informe detallado de cada máquina, con cada una de sus partes, lo cual puede ser de gran ayuda, para tener un control estricto en cada uno de los mantenimientos realizados evitando gastos innecesarios en otros repuestos que no se necesitaban, además de la creación de indicadores que permitan la medición de mejora con respecto a la aplicación del plan de mantenimiento en la compañía.

2.4.3 Tpm y amef a través de la historia

Es una evolución de manufactura de calidad total, debido a que lo expone el Dr., Deming quien inició sus trabajos en Japón al final de la segunda guerra mundial, comenzó a mostrar a los japoneses como se podía controlar la calidad en los productos, mediante el análisis estadístico. Al combinar los resultados estadísticos y sus resultados directos de la calidad con la ética del trabajo

propia del pueblo japonés, se creó la cultura de la calidad; de ahí surgió TQM (Total Quality management) una nueva forma de manejar la industria.

Cuando se analizó la problemática del mantenimiento como parte del programa TQM, algunos de los conceptos no parecían encajar en el proceso, para cuando se descubrió esto ya algunos procedimientos de mantenimiento preventivo el cual prácticamente está obsoleto se estaban aplicando en un gran número de plantas.

Cuando usaban las técnicas del mantenimiento preventivo se desarrollaban horarios especiales para mantener el equipo en operación, debido a esto el mantenimiento resulto costoso, ya que se le daban mantenimientos excesivos en el intento de mejorar la producción. Los operarios obedecían más al horario del mantenimiento preventivo que a las necesidades reales de las maquinas por lo cual no existía involucramiento de los operarios con la producción.

La necesidad de ir más allá que solo programar el mantenimiento como método de mejora de la productividad y de la calidad del producto, pronto se manifestó, especialmente en las organizaciones que tenían en funcionamiento programas de calidad total. Para no olvidar por completo el TQM, se le hicieron ciertas modificaciones a la disciplina, estas modificaciones cambiaron por completo el status del mantenimiento que se tenía lo cual lo convirtió en una parte integral del programa de calidad total.

El origen del mantenimiento productivo total se ha discutido por varias generaciones, debido a que varios afirman que fue iniciado por los manufactureros americanos hace más de cuarenta años, otros lo asocian al plan que usaba la planta Nipponenso, una manufacturera de partes eléctricas automotrices de Japón a fines de los 1960's. Seiichi Nakajima un alto funcionario del Instituto Japonés de Mantenimiento de la Planta, (JIPM), recibe el crédito de haber definido los conceptos de TPM y de ver por su implementación en cientos de plantas en Japón.

Los libros y artículos de Nakajima así como otros autores japoneses y americanos comenzaron a aparecer a fines de los 1980's. En 1990 se llevó a cabo la primera conferencia en la materia en los EEUU. Hoy día, varias empresas de consultoría están ofreciendo servicios para asesorar y coordinar los esfuerzos de empresas que desean iniciar sus plantas en el promisorio sistema de TPM.

Ford, Eastman kodak, dana corp., allen Bredley, Harley Davidson, son algunas de las empresas que han implementado el TPM con éxito. Todos ellos reportan una mayor productividad con la aplicación de esta disciplina. Todas las empresas mencionadas aseguran haber reducido en inventarios y mejora en la puntualidad de sus entregas. La necesidad de subcontratar manufactura también se vio drásticamente reducida en la mayoría de ellas.

AMEF fueron introducidos a finales de los 40 mediante un estándar militar en 1629, fueron utilizados en la industria aeroespacial para desarrollo de nuevas armas. El AMEF Y ACMEF (análisis crítico del modo efecto y falla) fueron de mucha ayuda para evitar errores sobre los tamaños de muestreo en la costosa tecnología de armas (cohetes).

Durante los 60 se desarrollaban tecnologías para enviar al hombre a la luna siendo un perfecto arranque en la prevención de fallas, Ford motor Company presionado por los altos costos de demanda por la población mundial introdujo a los AMEF en la industria automotriz a finales de los 70 para seguridad y requisitos de regulación en las mediciones de los vehículos.

Con el pasar del tiempo AMEF tuvo varias modificaciones además de subdivide en tres tipos, los cuales son: S-AMEF (AMEF sistema) el cual asegura la compatibilidad de los componentes del sistema, D- AMEF (AMEF diseño) reduce los riesgos por errores en el diseño y P-AMEF (AMEF PROCESO) revisa los procesos para encontrar cualquier fuente de error. Debido a esto más organizaciones decidieron su implementación para lograr una mejora.

3. Metodología

3.1. Enfoque y tipo

El enfoque que tendrá la investigación será el método cuantitativo el cual tiene como objetivo establecer relaciones causales que den una explicación del fenómeno existente.

El tipo de investigación se demarcara como de campo y de tipo descriptivo, debido a que el desarrollo del proyecto será en la zona de trabajo de la maquinaria, siendo allí donde se tomaran los datos de la investigación; además de realizar las inspecciones, chequeos e inventarios de la maquinaria.

3.2. Diseño de la investigación

Para la elaboración del plan de mantenimiento preventivo en la maquinaria pesada de la empresa TRIDU construcciones e ingenierías S.A.S, se estableció una metodología que se divide en 4 fases.

- Recolección de información de la maquinaria.
- Diseño de los planes de mantenimiento para la maquinaria pesada de la empresa.
- Diseños de formatos de trabajo, para cada una de las maquinas existentes en la compañía.

Fase 1: Recolección de información de la maquinaria.

Para obtener la información respectiva de la maquinaria se realizara una inspección a cada vehículo de la empresa, para tomar los datos adecuados y posteriormente anexarlos en una tabla de Excel. Los datos almacenados se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.
Maquinaria existente

Nombre	Marca	# Unidades	Modelo
BULLDOZER	CATERPILLAR D6D04X	1	2008
RETROEXCAVADORAS	KOMATSU PC200-8	3	2011
VIBRO COMPACTADOR	BOMAG B77D-27	1	2010
VOLQUETAS	INTERNATIONAL 7300	1	2007

Fase 2: Diseño de los planes de mantenimiento para la maquinaria pesada de la empresa.

Se diseñaran los respectivos planes de mantenimiento para cada uno de las máquinas de la empresa TRIDU, dicha planeación comprende cada una de las actividades a realizar en el mantenimiento preventivo y la programación de las fechas en las cuales se debe hacer la respectiva visita al mecánico para la revisión. En base a las herramientas TPM y AMEF.

Fase 3: Diseños de formatos de trabajo, para cada una de las maquinas existentes en la compañía.

El procedimiento que se llevara a cabo para la realización de los formatos se dividirá en:

1. Recolección de información de maquinaria
2. Toma de datos en el puesto de trabajo para determinar cuáles son los daños más comunes en cada máquina.
3. Registrar el tiempo de trabajo de la maquina hasta el momento de presentar un daño.
4. Analizar las daños que se presentan en las maquinas cuando son sometidas a trabajos forzosos.
5. Instaurar las actividades que se deben realizar para cada máquina en un mantenimiento.

6. Establecer las fechas en las cuales se debe realizar los mantenimientos con base en los registros tomados, teniendo en cuenta el trabajo al cual se sometió la maquinaria.
7. Diseño de los formatos de cada máquina con los datos adquiridos.

Debido a la inexistencia de formatos para el mantenimiento preventivo, se debe crear dichos formatos para cada una de las máquinas. Cada formato debe establecer las actividades a realizar en el mantenimiento, las fechas de realización del mantenimiento, dependiendo del trabajo al cual fue sometida la maquinaria.

Se debe crear formatos en los cuales se estipulen mantenimientos preventivos después de un trabajo forzoso al cual se somete la maquinaria y la especificación al mecánico de la parte a la cual fue sobre esforzada en caso de no ser toda la máquina. Esto evitara sobre costos por un mantenimiento total.

Además de tener formatos de registro de las horas en las cuales no trabaja la maquina por el mantenimiento, es decir la hora de entrada de la máquina, la demora en el taller y la hora de salida. Con el fin de tener un control exacto de las horas en las cuales no labora dicha máquina.

Otro formato que se debe tener en cuenta es de una inspección diaria a todas las máquinas para revisar que no presenten un problema para iniciar un trabajo y así evitar tener un fallo al momento de estar realizando una actividad.

3.3. Variables

Tabla 4.
Variables de la investigación

<i>Nombre</i>	<i>Descripción</i>	<i>Tipo</i>	<i>Dimensiones</i>
<i>Tiempo entre fallas</i>	Esta variable muestra el tiempo que existe entre cada vez que ocurre una falla y cuando vuelve a ocurrir “Cuando se presenta un error y cuando vuelve a ocurrir”.	Cuantitativa; variable discreta.	Días
<i>Tiempo entre reparaciones</i>	Esta variable identifica el tiempo en el que se hace mantenimiento correctivo y cuando vuelve ocurrir el mismo problema.	Cuantitativa; variable discreta.	Días
<i>Tiempo entre compra de repuestos</i>	Se observará un intervalo de tiempo de la compra de un repuesto y el momento en el que es necesario volver adquirirlo.	Cuantitativa; variable discreta.	Días
<i>Tipo de maquinaria</i>	Se contemplara el tipo de maquinaria existente, ya sea por su tamaño o por el número de unidades que existan actualmente.	Cualitativa	Año

<i>Tiempo no productivo</i>	Observaremos el tiempo que existe cuando una máquina entra en un estado inactividad por la falta de algún repuesto.	Cuantitativo; variable aleatoria continua.	Horas
-----------------------------	---	--	-------

3.4. Planeación de la investigación

La investigación tendrá varias etapas en su desarrollo, las cuales son recolección de datos, creación de formatos y aplicación del mantenimiento preventivo.

Para la recolección de datos, se prevé visitas técnicas a los distintos puntos donde la empresa presta sus servicios; se podrá observar a los trabajos que son sometidas las máquinas, además de tener un conocimiento del estado actual de la maquinaria y el tiempo de vida útil que podrían tener.

Para la creación de formatos que se van aplicar en la investigación, es necesario hacer un estudio, de lo que la empresa tiene o si ha efectuado algún mantenimiento ya sea correctivo o preventivo; para generar los cambios necesarios y así establecer todos los formatos para el mantenimiento preventivo.

4. Resultados

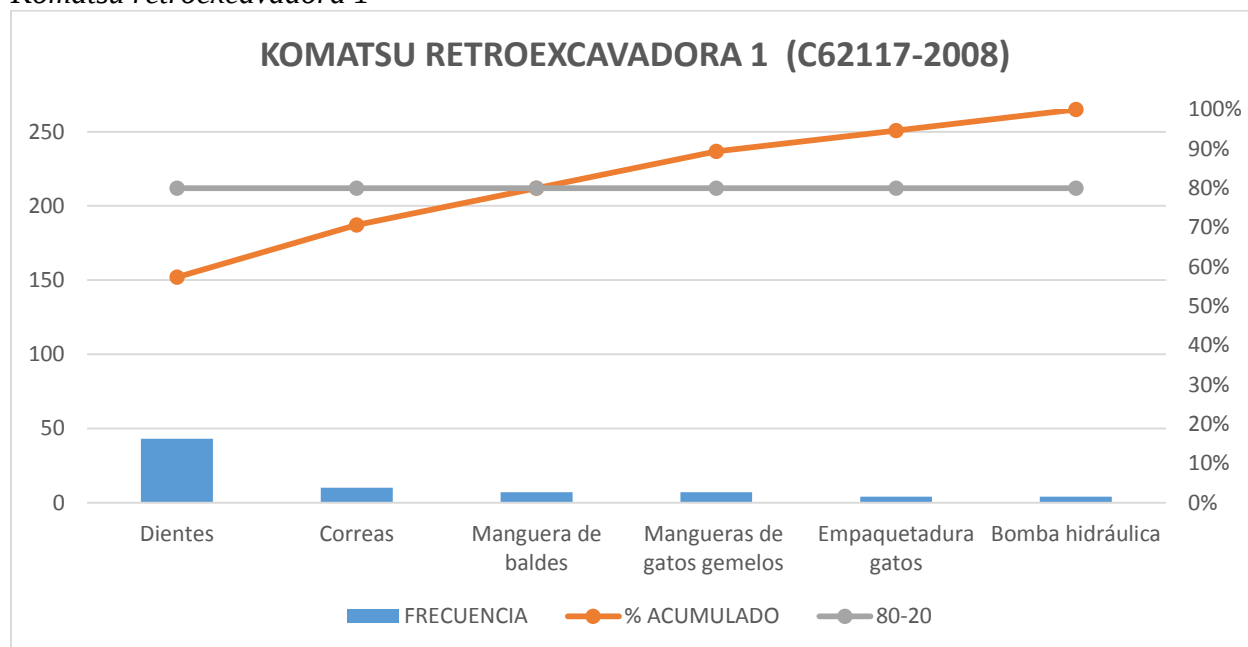
4.1. Análisis de causa y fallas que dan origen al mantenimiento correctivo

Para el análisis de las principales causas que dan origen a los daños presentados en el mantenimiento correctivo, se tomaron datos de los dos últimos años de las facturas de compra que se tenían en la empresa, de allí se hizo un análisis de Pareto para determinar cuáles eran las principales causas y las que más generaban costos en las reparaciones. La fuente de los datos que se presentan a continuación fueron tomados del APÉNDICE A

4.1.1. Análisis de Pareto de las principales causas

Tabla 5.
Komatsu Retroexcavadora 1

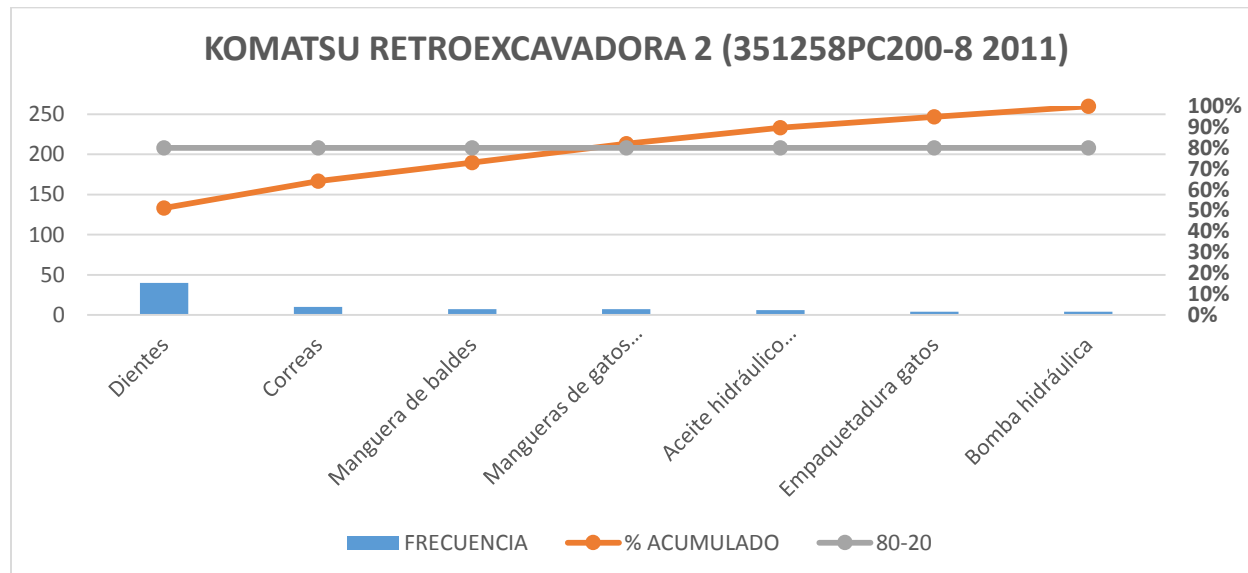
KOMATSU RETROEXCAVADORA 1		
DAÑO	FRECUENCIA	% ACUMULADO
Dientes	43	57%
Correas	10	71%
Mangueras de balde	7	80%
Mangueras de gatos gemelos	7	89%
Empaquetadura gatos	4	95%
Bomba hidráulica	4	100%

Grafica 1.*Komatsu retroexcavadora 1*

Para el primer diagrama de Pareto de la *Retroexcavadora Komatsu 1*, se obtuvo que Dientes con un 57%, correas con un 13% y mangueras de baldes 10%, suman el 80% de las causas principales de los mantenimientos correctivos en esta máquina. Al hacer un análisis para saber por qué son los más relevantes se dedujo que debido al lugar donde labora la máquina por ser un terreno árido, lodoso y rocoso se presentan estos daños.

Tabla 6.*Komatsu Retroexcavadora 2*

KOMATSU RETROEXCAVADORA 2		
DAÑO	FRECUENCIA	% ACUMULADO
Dientes	40	51%
Correas	10	64%
Mangueras de balde	7	73%
Mangueras de gatos gemelos	7	82%
Empaquetadura gatos	4	90%
Bomba hidráulica	4	95%

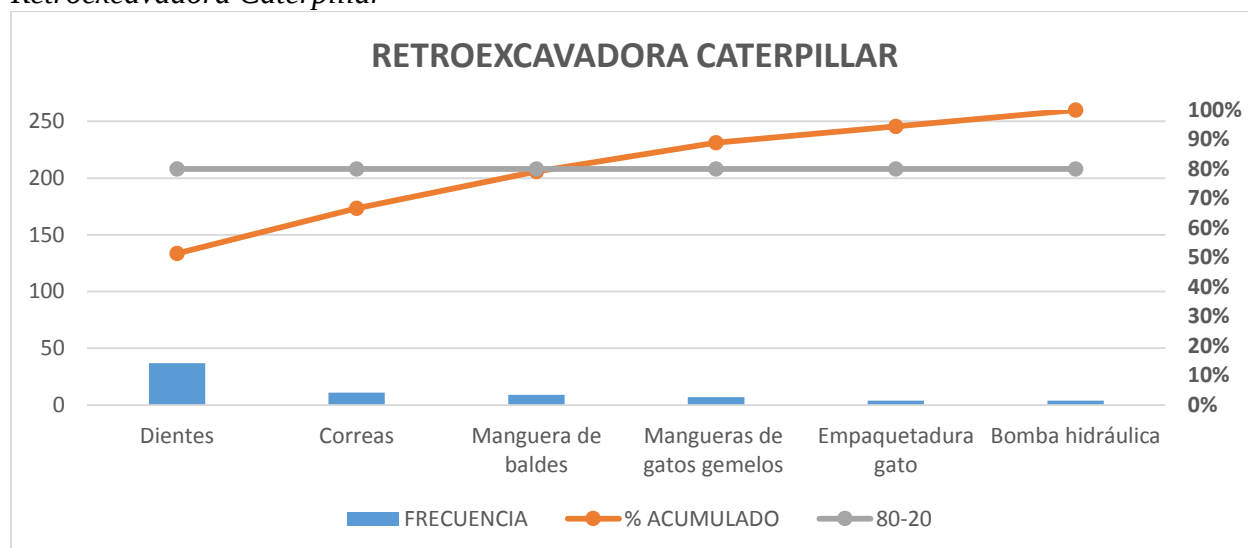
Grafica 2.*Komatsu Retroexcavadora 2*

En el segundo diagrama realizado se obtuvo que la *Komatsu Retroexcavadora 2*, las principales causas de los mantenimientos correctivos en la maquina son: Dientes 51%, correas 13% y manguera de baldes 9% sumando así el 73% de las principales causas de los problemas. Debido a que la Retroexcavadora 2 trabaja en el mismo lugar y las mismas horas de trabajo que la Komatsu 1, se puede establecer que los daños son presentados por las mismas causas, es decir el terreno al que son expuestas las maquinas.

Tabla 7.*Retroexcavadora Caterpillar*

RETROEXCAVADORA CATERPILLAR		
DAÑO	FRECUENCIA	% ACUMULADO
Dientes	37	51%
Correas	9	67%
Mangueras de balde	7	79%
Mangueras de gatos gemelos	7	89%
Empaquetadura gato	4	94%
Bomba hidráulica	4	100%

Grafica 3.
Retroexcavadora Caterpillar

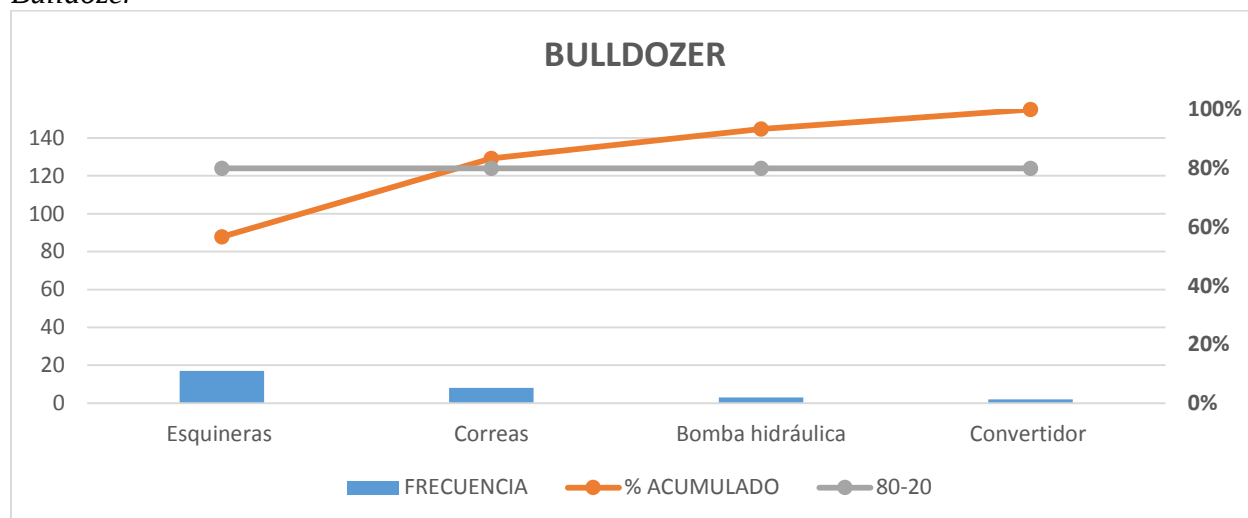


Al realizar el tercer diagrama identificamos que las principales causas de los mantenimientos correctivos para la **Retroexcavadora Caterpillar** son dientes 51%, correas 15% y mangueras de baldes 13% sumando así el 79% de las principales causas de los problemas. Al determinar porque estos tres problemas son los más relevantes, se estableció que debido a los efectos que pueden tener los daños de estos materiales en la vida útil de la máquina son de alta prioridad y por tanto se genera el cambio continuo de los tres repuestos.

Tabla 8.
Bulldozer

BULLDOZER		
DAÑO	FRECUENCIA	% ACUMULADO
Esquinas	17	57%
Correas	8	83%
Bomba hidráulica	3	93%
Convertidor	2	100%

Grafico 4.
Bulldozer

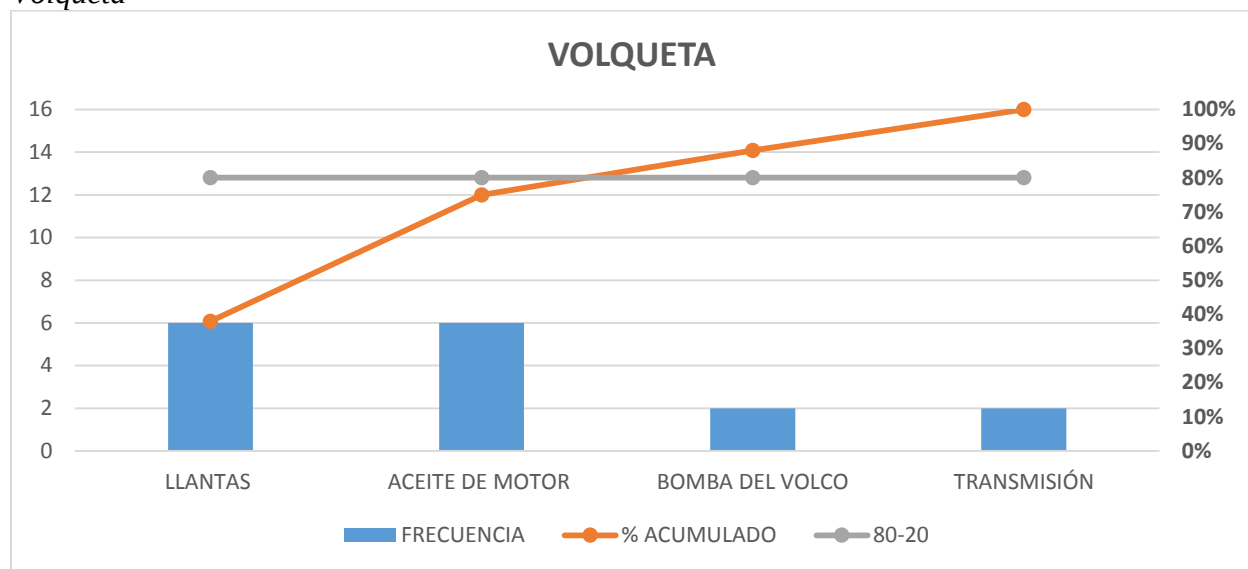


Para el diagrama de Pareto realizado al **Bulldozer** se obtuvo que las principales causas del mantenimiento correctivo son: Esquinas 57%, correas 27% sumando así el 83% de las causas más sobresalientes de los problemas en la máquina. La inferencia que se pudo establecer para los daños de esta máquina, es por el sobreesfuerzo que se genera sobre está, debido a que el Bulldozer es el que descapota la tierra para las retroexcavadoras lo que establece que tiene que trabajar el doble de lo normal en la jornada de trabajo, exponiéndola al desgaste continuo de esquinas.

Tabla 9.
Volqueta

DAÑO	VOLQUETA	
	FRECUENCIA	% ACUMULADO
Llantas	6	38%
Aceite de motor	6	75%
Bomba del Volco	2	88%
Transmisión	2	100%

Grafico 5.
Volqueta



Para el cuarto análisis de Pareto sobre la Volqueta se obtuvo que las principales causas del mantenimiento correctivo son: Llantas 38%, Aceite de motor 38% sumando así 76% de las principales causas de los problemas presentes. Al hacer una inferencia del por qué son los más relevantes se pudo deducir que los terrenos por los cuales transita la volqueta genera un desgaste continuo de motor y llantas, ocasionando un daño continuo de estas partes de la máquina lo que conlleva a que se realicen mantenimientos correctivos en este vehículo de carga pesada.

4.1.2. Análisis causas efecto

Los principales efectos fueron establecidos por la lectura de los libros de mantenimiento [4] [5] [6] que traen las máquinas al ser compradas, donde está plasmado cuáles son los daños que se generan por las causas priorizadas establecidas en los diagramas de Pareto.

Los efectos de los problemas priorizados en la maquinaria de la empresa son:

1. Dientes

Los principales efectos al no hacer el cambio de dientes en las retroexcavadoras es la ruptura del balde, la poca eficiencia para la excavación del terreno y el desgarrar de la tierra, teniendo así una baja notoria en la producción del trabajo diario, conllevando al trabajo de horas extras de la máquina.

2. Correas

El principal efecto que tiene la maquina al romperse la correa, es el recalentamiento del motor, debido a que la hélice del radiador deja de funcionar, teniendo un cadena de daños que puede generar el daño por completo del motor.

3. Mangueras de Balde

Al romperse una manguera de balde se debe proceder al Apagado inmediatamente de la máquina. Debido a que se riega el aceite hidráulico y la bomba hidráulica pierde fuerza. Dejando inservible la maquina por que no genera la suficiente fuerza para el movimiento del brazo de la máquina.

4. Esquineras

El principal efecto que se produce por no cambiar las esquineras es la poca eficiencia de la máquina para remover las capas superficiales del terreno a excavar, generando que las retroexcavadoras tengan que sobre esforzarse para excavar en terrenos que no fue removida de manera correcta la capa superficial.

5. Llantas

El principal inconveniente que tiene la volqueta, es el alto índice de accidentalidad que puede conllevar a la pérdida total del vehículo, debido a las toneladas de tierra que lleva cargada.

4.1.3. Indicadores de tiempo medio entre fallas

Para los indicadores de tiempo entre fallas se calcularon por medio de los datos ya recolectados de las facturas, de allí se tuvo en cuenta cuando fue comprado el repuesto y cuando se volvió a comprar el mismo. De esta manera de todos los datos tomados, se sacó un promedio y este fue el último dato que se colocó en las siguientes tablas.

Las fórmulas utilizadas

Diferencia= (=sifecha (fecha inicial; fecha final;”d”o”m”))

Promedio= diferencia (fecha inicial; fecha final / Diferencias totales)

Donde

“D” O “M”: significa días o meses.

Fecha inicial: Cuando se efectuó la compra por primera vez.

Fecha final: Cuando se efectuó nuevamente la compra

Diferencias totales: La suma de todas las diferencias

Los datos se tabularon en Excel, donde se aplicaron la fórmula para identificar la diferencia de días entre fallas y la de promedio. Dichas datos se pueden encontrar en el ANEXO B donde se tabularon y se prosiguió a crear las siguientes tablas:

Para la retroexcavadora Komatsu 1 se tuvo como promedio entre fallas los siguientes datos

Tabla 10.

Komatsu retroexcavadora 1 (C62117-2008)

KOMATSU RETROEXCAVADORA 1 (C62117-2008)	
Nombre	Tiempo entre falla (<i>horas de trabajo</i>)
DIENTES	790
CORREAS	1371
MANGUERAS DE BALDE	1872

De los resultados obtenidos se puede deducir que son altos para dientes, correas y mangueras de balde con respecto a lo que es recomendado por las empresas komatsu, ya que en su libro se recomienda que los cambios para estos tres repuestos sean generados en: dientes 360 horas, correas 600 horas y manguera de baldes cada 1000 horas. En cuanto a las pérdidas económicas pueden ser altas debido a que por estos errores generan daños aún mayores en las partes internas.

Para la retroexcavadora *Komatsu 2* se tuvo como promedio entre fallas los siguientes datos.

Tabla 11.

Komatsu retroexcavadora 2 (351258PC200-8 2011)

KOMATSU RETROEXCAVADORA 2 (351258PC200-8 2011)	
Nombre	Tiempo entre fallas (<i>horas de trabajo</i>)
DIENTES	708
CORREAS	1331
MANGUERAS DE BALDE	1756

De los resultados obtenidos se puede deducir que son altos con respecto a dientes, correas y mangueras de balde ya que la media de horas que la empresa komatsu recomienda en su libro son: dientes 360 horas, correas 600 horas y mangueras 1000. Debido a esto se generar pérdidas grandes de dinero, ya que se realiza el mantenimiento correctivo en la máquina y la compra de repuestos por daño a causa del cambio a destiempo de los tres problemas nombrados.

Para la retroexcavadora Caterpillar se tuvo como promedio entre fallas los siguientes datos.

Tabla 12.
Retroexcavadora Caterpillar

RETROEXCAVADORA CATERPILLAR	
Nombre	Tiempo entre fallas (<i>horas de trabajo</i>)
DIENTES	932
CORREAS	1332
MANGUERAS DE BALDE	1792

De los resultados obtenidos se puede deducir que son altos con respecto a dientes, correas, mangueras ya que la media de horas que la empresa Caterpillar recomienda en su libro son: dientes 400 horas, correas 700 horas, mangueras cada 1000 horas.

Para el Bulldozer se tuvo como promedio entre fallas los siguientes datos.

Tabla 13.
Bulldozer

BULLDOZER	
Nombre	Tiempo entre fallas (<i>horas de trabajo</i>)
ESQUINERAS	1154
CORREAS	1941

De los resultados obtenidos se puede deducir que son altos con respecto a esquineras, correas ya que la media de horas que la empresa Caterpillar recomienda en su libro son: esquineras 500

horas y correas 700 horas. La pérdida económica por el mantenimiento correctivo de estos daños es alto ya que son pérdidas en toda la producción, debido a que solo se cuenta con un bulldozer.

Para la volqueta se tuvo como promedio entre fallas los siguientes datos.

Tabla 14.

Volqueta

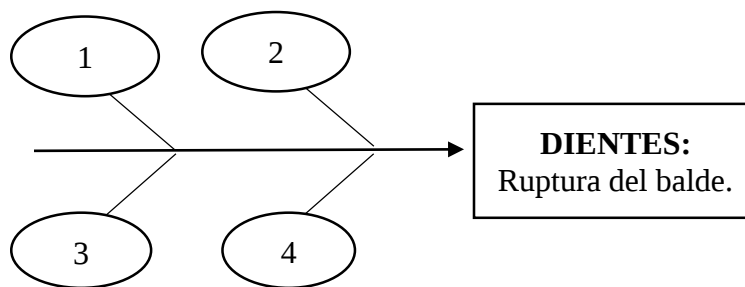
VOLQUETA	
Nombre	Tiempo entre fallas (Meses)
LLANTAS	4
ACEITE DE MOTOR	5

Las dotas establecido en esta tabla son bajos con respecto a los que la empresa Navitrans recomiendan debido a la que llantas son recomendase cambiar cada 5 meses y el aceite de motor cada 4 meses.

4.1.4. Causas priorizadas que dan origen al mantenimiento en la empresa TRIDU

Por medio del Pareto se establecieron los problemas más comunes; con la lectura de los libros de mantenimiento de las maquinas se estableció cuáles eran sus posibles efectos en caso de daño y para las causas priorizadas se aplicó un diagrama de espina de pescado [7], el cual al ser un diagrama causal que representa gráficamente las relaciones causa-efecto, nos permitió identificar cuáles eran las causas priorizadas que daban origen a los mantenimientos correctivos en base a los problemas ya encontrados y sus posibles efectos ya establecidos. A continuación se presentan los diagramas causales:

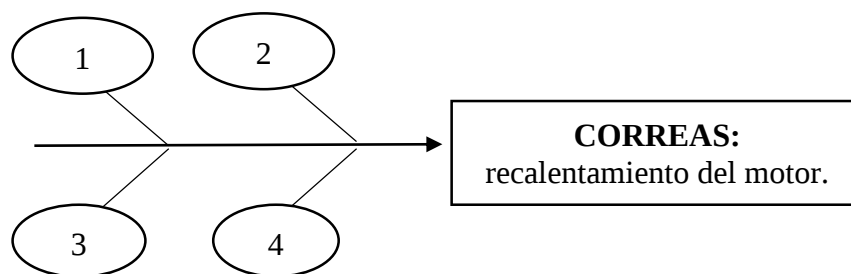
Tabla 15.
Dientes



Causas	¿Por qué?
1. Inexistencia de inspección visual	No existe delegado para la inspección del estado de los dientes.
2. Terrenos de tierra, piedra y agua.	Zonas de trabajo de difícil acceso para la maquinaria, genera desgaste constante.
3. Inexperiencia del personal	Sin capacitaciones.
4. Formatos de estado de dientes	No existen formatos del estado de los dientes para hacer el cambio.

En el caso de los dientes las causas principales se dan por la no existencia de formatos que controlen el estado de los dientes, que no se generen inspecciones antes y después de la jornada de trabajo, sumándole a esto la inexperiencia del operador para el manejo de la maquina en terrenos de difícil acceso o que generen sobre esfuerzo para la misma.

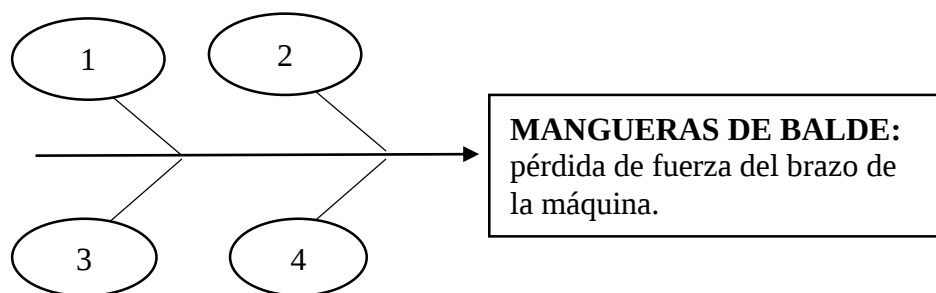
Tabla 16.
Correas



Causas	¿Por qué?
1. Baja calidad de los repuestos	Por la diferencia de precio con el original. Fácil acceso a correas genéricas.
2. Inexperiencia del personal	Zona alejada de las ciudades, se contrata personal con poca experiencia.
3. Cambio de correas a destiempo	No existe control sobre el tiempo de cambio de las correas, inexistencia de formato para estipular la hora de cambio.
4. Falta de inspección del estado de las correas	No existe personal capacitado, para realizar inspección.

Al identificar las causas que aparecen en el diagrama se puede deducir que sus causas principales se dan por la inexperiencia del personal y la falta de controles por parte de la administración en la compra de repuestos y los formatos establecidos para los cambios de los mismos. De esta forma se establece que el problema principal es el recalentamiento del motor que es generado por el no cambio a tiempo de ellas.

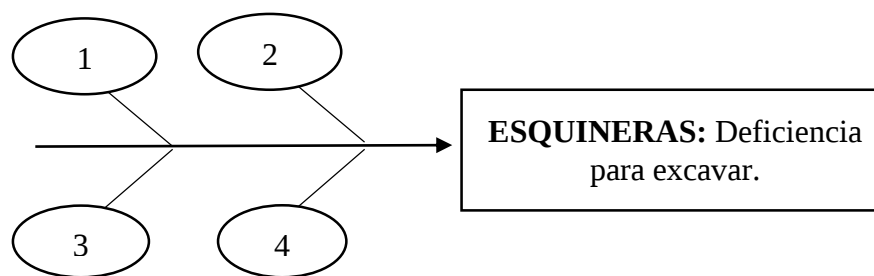
Tabla 17.
Mangueras de balde



Causas	¿Por qué?
1. Baja calidad de la manguera	Se compran repuestos de otras marcas no recomendadas.
2. Cambio a destiempo	Inexperiencia de ayudante.
3. Falta de inspección de fuente	No existe personal capacitado para realizar la actividad.
4. Falta de control para efectuar el cambio de la manguera.	No existe control, ni formatos para generar el cambio a tiempo.

Como problema principal se tiene la inexperiencia del personal, para hacer las revisiones requeridas en la maquinaria y así proceder a efectuar el cambio antes de que el daño suceda.

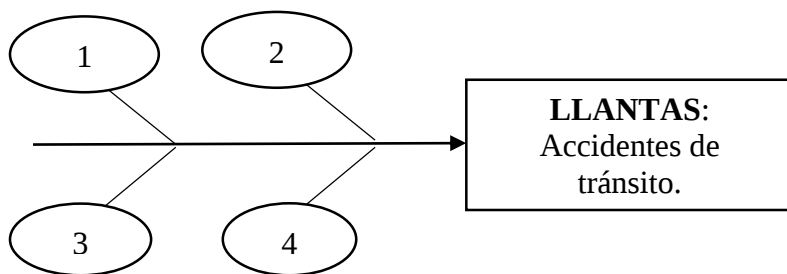
Tabla 18.
Esquinas



Causas	¿Por qué?
1. Inexistencia de inspección visual	No existe delegado para la inspección de las esquinas.
2. Terrenos de tierra árida, piedra y agua.	Zonas de trabajo, de difícil acceso para la maquinaria, genera desgaste constante.
3. Inexperiencia del personal	Sin capacitaciones.
4. Formatos de estado de esquinas	No existen formatos del estado de las esquinas para hacer el cambio.

El principal problema que se tiene con las esquinas es la no inspección del estado de las mismas al inicio o al final de la jornada de trabajo, debido a esto puede generar una disminución en la efectividad de la remoción y el descapote de la tierra, generando un sobreesfuerzo en las retroexcavadoras para culminar con la excavación.

Tabla 19.
Llantas



Causas	¿Por qué?
1. Falta de inspección	No existe personal delegado, para la revisión de los neumáticos.
2. Cambios a destiempo	No se generan los cambios de las llantas en el tiempo establecido.
3. Compra de llantas de segunda	Los operarios compran llantas de segunda para obtener dinero extra para ellos.
4. Mal estado de la vía	Las vías están sin pavimentar.

Debido a la inexistencia de controles del estado de las llantas de la volqueta, muchas veces se generan accidentes. Además el estado de las vías genera un deterioro acelerado con respecto a la vida útil normal de la llanta.

4.2. Análisis de modo y efecto de falla para el mantenimiento en la empresa tridu

Con la aplicación del AMEF se busca la reducción de las fallas potenciales en las maquinas además de tener estrategias y establece métodos que identifiquen las fallas mucho antes de que ocurran, se busca la reducción de los costos de garantías, incrementando así la fiabilidad de las maquinas en los procesos de excavación minera, reduciendo los tiempo de operación debido a la poca inexistencia de fallas que generar la pérdida de tiempo en reparaciones.

4.2.1. Metodología utilizada en el AMEF

La metodología utilizada fue el AMEF-PROCESOS para poder detectar posibles fallas en el mantenimiento preventivo que se va diseñar, anticipando posibles efectos en la maquinaria y así poder clasificarlos de manera objetiva teniendo un método documento de prevención. [8]

El procedimiento que se siguió para la realización del AMEF de proceso está basado en los siguientes pasos:

- Establecer el proceso de mantenimiento a registrar en el AMEF.
- Documentar el proceso de mantenimiento.
- Determinar las causas críticas del mantenimiento.
- Indicar las causas de cada falla y evaluar la ocurrencia de las fallas en el mantenimiento.
- Indicar los controles que se tienen para detectar las fallas y los controles para evaluarlas.
- Especificar las acciones preventivas, correctivas o de mejora que se aplicarán al mantenimiento preventivo.

4.2.1.1 Establecer el proceso de mantenimiento a registrar en el AMEF. Se establecieron los procesos que se observar en el caso de cada falla ya registrada como prioritaria en el diagrama de Pareto, cada una de las fallas priorizadas se analizaron y se establecieron las causas y efectos.

4.2.1.2 Documentar el proceso de mantenimiento. Los encargados del proyecto estuvieron a cargo de documentar cada falla que se encontró en las facturas de la compañía, además se realizó diferentes actividades para poder concluir con las principales causas de los mantenimientos

correctivos, no obstante los encargados de realizar el AMEF, tuvieron una investigación sobre la teoría aplicada para poder llevar a cabo la actividad y documentar el diseño de la herramienta aplicada en este caso.

4.2.1.3 Determinar las causas críticas del mantenimiento. Para cada mantenimiento correctivo deben encontrarse las fallas potenciales, para poder cumplir con la búsqueda se accedió a registros históricos en las facturas de compra de la compañía y se registraron todas las compras de repuestos de los últimos dos años, se prosiguió a la aplicación de un Pareto para reducir la gran variedad de defectos encontrados y por centrarse así en las fallas potenciales.

Al tener las fallas priorizadas se prosiguió a encontrar las causas de cada una, se analizaron y se especificaron las principales causas que pudieron llevar al error. Después de tener establecida las causas se estudiaron las posibles efectos que tendrían las fallas priorizadas en el funcionamiento normal de la máquina.

Ya establecidas las causas y efectos se prosigue a tabular los datos como está establecido en la Tabla 26. Una vez establecido los efectos y las fallas se procedió a dar la calificación de severidad (gravedad) de los efectos potenciales. Se tomó como guía la siguiente escala [9]:

Tabla 20.*Calificación severidad*

CALIFICACIÓN		CRITERIO	
Cuantitativa	Cualitativa	Efecto en la maquina	Efecto en el proceso
1	<i>Ninguno</i>	Sin efecto perceptible	Ligero inconveniente para la operación o para el operador
2	<i>Muy menor</i>	No se cumple con el ajuste, se dejan residuos. Defectos poco notables en la operación de la maquina	Puede que la maquina falle nuevamente.
3	<i>Menor</i>	No se cumplen con los ajustes se presenta residuos en el mantenimiento, la maquina tiene un 50% de probabilidad de fallar	Una parte de la operación puede no cumplirse satisfactoriamente.
4	<i>Muy bajo</i>	No se cumplen con los ajustes se presenta residuos en el mantenimiento, la maquina tiene un 75% de probabilidad de fallar	La operación tiene probabilidad alta de no cumplir.
5	<i>Bajo</i>	El producto utilizado en el mantenimiento presente bajos niveles de calidad.	La máquina tiene que hacer el doble de esfuerzo para cumplir con las operaciones.
6	<i>Moderado</i>	La máquina podrá operar pero se presentaran fallas constantes.	Poca efectividad en la operación.
7	<i>Alto</i>	La máquina podrá operar pero se presentaran fallas.	La máquina tendrá que realizar la misma operación varias veces.
8	<i>Muy alto</i>	Maquina no puede operar.	La operación no se cumple.
9-10	<i>Peligroso</i>	La máquina puede tener pérdida total, poniendo en riesgo la integridad del operario.	Incumplimiento en el contrato. Demanda gubernamental por incumplimiento.

4.2.1.4 Indicar las causas de cada falla y evaluar la ocurrencia de las fallas en el mantenimiento. En este caso se relacionó las causas a cada falla identificada en el paso anterior, evaluando la ocurrencia de las fallas. Para evaluar la ocurrencia en el AMEF de proceso se utilizó un criterio basado en probabilidad de fallas, en índices posibles de tantas fallas por año, debido a esto se creó la siguiente escala como guía de evaluación. [10]

Tabla 21.
Ocurrencia

CALIFICACIÓN		CRITERIO
Cuantitativa	Probabilidad	Índice de Fallas (Año).
1	Remota: Falla improbable.	0-10
2	Baja: Pocas fallas.	10-15
3		15-20
4	Moderada: Fallas ocasionales.	20-30
5		30-40
6		40-50
7	Alta: Fallas frecuentes.	50-60
8		60-70
9	Muy alta: Fallas persistentes.	70-100
10		>100

4.2.1.5 Indicar los controles que se tienen para detectar las fallas y los controles para evaluarlas. En este paso se describió el tipo de control que se tiene para detectar la falla. Se evaluó en una escala de 1 a 10 la capacidad de detección de la misma, se estableció la siguiente escala con los criterios expuestos. [11]

Tabla 22.
Detección

Calificación		Tipos de inspección		
Cuantitativa	Criterio	A	B	C
1	Controles seguros para detectar	X		
2	Controles casi seguros para detectar	X	X	
3	Controles con buena oportunidad de detectar: detección inmediata.	X	X	
4	Controles con buena oportunidad de detectar: detección del error en la estación siguiente	X	X	
5	Controles que pueden detectar: mediciones de pasa o no pasa.		X	
6	Controles que pueden detectar: controles en menos del 100% del proceso.		X	X
7	Controles con poca oportunidad de detectar: control logrado con doble inspección.			X
8	Controles con poca oportunidad de detectar: control logrado con una inspección visual.			X
9	Controles que probablemente no detectaran			X
10	Certeza absoluta de no detección.			

A	Prueba de error
B	Medición automatizada
C	Inspección visual/manual.

Continuamente se procedió a obtener el número de prioridad de riesgo (RPN) para cada falla, este número resulta de la multiplicación de la severidad, la ocurrencia y la detección este número esta entre 1 y 1000 y nos permitió saber la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla.

En nuestro AMEF de procesos cuando nuestro RPN es superior a 100 es un claro indicador que debe implementarse acciones de prevención o corrección para prevenir la ocurrencia de la falla.

4.2.1.6 Especificar las acciones preventivas, correctivas o de mejora que se aplicarán al mantenimiento preventivo. Una vez se estableció la prioridad de las fallas, se procedió a ejecutar acciones preventivas, correctivas o de mejora, teniendo la información reunida y las causas establecidas con sus efectos, de esta forma se establecieron las pautas a seguir para la creación de las mismas.

- Acciones recomendadas por falla.
- Asignar los responsables por acción, relacionando la fecha de ejecución.
- Establecer una fecha de revisión.
- Registrar las acciones ejecutadas hasta la fecha de revisión.
- Calcular nuevamente el RPN.

4.2.2. Amef para cada falla priorizadas

Tabla 23.

Amef para cada falla priorizada

Artículo / Función	Falla potencial	Efecto Potencial de falla	Severidad	Causa Potenciales de la falla	Ocurrencia	Control Actual del proceso	Detección	RPN
Dientes	exceso de horas de trabajo	ruptura del balde	4	Sobre esfuerzo de la máquina, inexperiencia del operador, terreno árido, terreno con mucha piedra, inexistencia de controles para cambios de dientes.	4	Ninguno	10	160
Correas	Recalentamiento del motor	Fundición del motor	4	Inexperiencia del operador, sobreesfuerzo de la máquina, inexistencia de controles.	3	Ninguno	10	120
Mangueras de balde	Pérdida de fuerza del brazo de la máquina	Daño de la bomba hidráulica	8	Inexistencia de inspección inicial, inexperiencia del ayudante, sobreesfuerzo de la máquina.	3	Ninguno	10	240
Esquineras	inexperiencia del operario	poca eficiencia para remover capas superficiales del terreno	4	Sobre esfuerzo de la máquina, terrenos húmedos, no aplicación de la grasa por parte del operario, incursión en terrenos no apropiados para la maquinaria, sin control alguno para el cambio de las esquineras.	3	Ninguno	10	120
Llantas	desgaste por horas extras de trabajo	el alto índice de accidentalidad	2	Sobre carga de la volqueta, vías en mal estado, poca pericia del conductor, sin	1	Ninguno	10	20

				controles viales por donde se transita.				
--	--	--	--	---	--	--	--	--

1. Falla priorizada.

Se estableció la falla potencial y su efecto potencial con base al diagrama de Pareto, se prosigue a indicar la calificación de severidad guiándonos de la tabla 23, posteriormente se establecen las causas potenciales con el diagrama causal y se le asigna una calificación de ocurrencia con base en la tabla 24 Y finalmente establecen si existen controles para detectar la falla a tiempo y se califica con base en la tabla 25. Después se calcula el RPN, estableciendo acciones y recomendaciones delegando un responsable. Este mismo procedimiento se realizó para cada uno de los problemas.

Tabla 24.

Acciones recomendadas

Artículo / Función	Acciones recomendadas	Responsable
Dientes	Realizar inspecciones antes y después de las jornadas de trabajo.	Ayudante
Correas	Inspección visual y creación de formatos para efectuar los cambios.	Jefe de operario
Mangueras de balde	Realización de check list.	Jefe de patio
Esquinas	Hacer un chuequeo del estado de las esquinas antes de iniciar cada labor.	Ayudante
Llantas	Inspección visual del estado de las llantas antes del inicio de la jornada y establecer los niveles de aire acorde al terreno que se va trabajar.	Conductor

4.3. Cuadro de mando integral para el área de mantenimiento

Tabla 25.
Acciones y Estrategias

Acciones	Estrategia	Objetivo de la estrategia	Actividades para cumplir el objetivo	Indicadores	Recursos
Realizar inspecciones antes y después de las jornadas de trabajo.	Delegar encargado de la realización de las inspecciones.	Crear controles de inspección y revisión de la maquinaria al inicio y final de sus operaciones.	Diseñar y establecer los controles de calidad.	Inspecciones realizadas/ inspecciones totales del mes	Contratación de personal experto: \$750.000. Realización de los controles y establecerlos.
Inspección visual y creación de formatos para efectuar los cambios.	Delegar encargado de las inspecciones y creación del formato.	Establecer controles para determinar el estado actual de las correas.	Diseñar los formatos para efectuar los cambios. Diseño del plan de inspección.	Formatos llenados/ Formatos totales al mes Inspecciones realizadas/ inspecciones establecidas	Capacitaciones: 100.000 c/1 Contratación de personal experto: \$750.000. Realización de los controles y establecerlos.
Realización de check list.	Contratar experto para la creación de la actividad	Diseñar un check list para la inspección de las mangueras.	Establecer fechas para la entrega del documento.	Fecha de entrega/ Fecha programada para entregar	Contratación de experto: \$750.000
Hacer un chequeo del estado de las esquineras antes de iniciar cada labor.	Delegar encargado para la inspección del estado de las esquineras al iniciar la operación.	Diseñar y aplicar los controles necesarios para realizar las inspecciones de la máquina.	Creación de controles de inspección visual y de fuente para las esquineras.	Inspecciones realizadas/ inspecciones totales al mes.	Contratación de personal experto: \$750.000. Diseño y aplicación de los controles.

Inspección visual del estado de las llantas antes del inicio de la jornada y establecer los niveles de aire acorde al terreno que se va trabajar.	Capacitar al conductor para que pueda realizar un chequeo del estado de las llantas antes de iniciar la jornada de trabajo.	Disminuir la accidentalidad de la volqueta aplicando controles visuales para el estado de las llantas.	Capacitaciones en inspección de fuente.	Numero de capacitado s/ total de conductor es. Accidentes presentados s/ accidentes históricos.	Capacitaciones: 100.000 c/1 Depende de la cantidad de conductores existentes al momento de realizar la capacitación.
--	---	--	---	--	---

4.3.1 Pilares del TPM

- Mejoras enfocadas.

Se desarrollaran actividades con el propósito de mejorar la eficiencia de las maquinas, operarios y ayudantes. Dichas mejoras se llevaran a cabo a través de una metodología específica la cual estará enfocada hacia el mantenimiento y la eliminación de las limitaciones de las maquinas. (ingenieriaindustrialonline.com, s.f.)

Como metodología específica se sugiere dos procedimientos:

Método de las ocho fases (8D):

- Formación del grupo de mejora.
- Definición del problema.
- Implementación de soluciones de contención.
- Medición y análisis: Identificación de las causas raíces.
- Análisis de soluciones para las causas raíces.
- Elección e implementación de soluciones raíces (comprobación).
- Prevención de re ocurrencias del problema y causas raíces.
- Reconocimiento del equipo de mejora enfocada.

Método de los siete pasos:

- Selección del tema de estudio.
 - Crear estructura del proyecto.
 - Identificar situación actual y establecer objetivos de mejora.
 - Diagnóstico del problema de estudio.
 - Formulación de un plan de acción.
 - Implantar mejoras.
 - Evaluación de resultados.
- Mantenimiento autónomo.

Se llevara a cabo con los operarios y ayudantes de cada máquina, donde se establecen actividades no especializadas como inspecciones, limpieza, lubricación, ajustes menores, estudios de fallas. Cabe resaltar que los operarios deben estar capacitados para poder realizar las actividades anteriormente nombradas.

Los objetivos de este mantenimiento contribuyen a la preservación de las maquinas mediante la prevención. Como metodología específica de mantenimiento autónomo, el Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) recomienda el siguiente procedimiento:

Tabla 26.
Metodología específica de mantenimiento autónomo

Etapa	Nombre	Descripción
1.	Limpieza inicial (limpieza profunda).	Eliminación de suciedad, escapes, polvo, identificación de "fuguai"; ajustes menores.
2.	Acciones correctivas en la fuente.	Evitar que el equipo se ensucie nuevamente, facilitar su acceso, inspección y limpieza inicial; reducir el tiempo empleado en la limpieza profunda.
3.	Preparación de estándares de inspección.	Se diseñan y aplican estándares provisionales para mantener los

		procesos de limpieza, lubricación y ajuste. Una vez validados se establecerán en forma definitiva.
4.	Inspección general.	Entrenamiento para la inspección haciendo uso de manuales, eliminación de pequeñas averías y mayor conocimiento del equipo a través de la verificación.
5.	Inspección autónoma.	Formulación e implantación de procedimientos de control autónomo.
6.	Estandarización.	Estandarización de los elementos a ser controlados. Elaboración de estándares de registro de datos, controles a herramientas, moldes, medidas de producto, patrones de calidad, etc. Elaboración de procedimientos operativos estándar. Aplicación de estándares
7.	Control autónomo pleno.	Aplicación de políticas establecidas por la dirección de la empresa. Empleo de tableros de gestión visual (Andon), tablas MTBF y tableros Kaizen.

Autor: Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)

- Mantenimiento planificado.
 - Se crean actividades para prevenir y corregir averías en las maquinas, a través de rutinas diarias, periódicas y predictivas.
 - Eventos Kaizen (cuatro a ocho días) orientados a mejorar las características de los equipos, para eliminar acciones de mantenimiento, actualizar órdenes de trabajo, actualizar listado de repuestos, para establecer un análisis de confiabilidad (AMEF).
 - Eventos Kaizen para el mejoramiento de la gestión administrativa y técnica del mantenimiento.

- Educación y entrenamiento.

Se requiere la participación activa de todo el personal, para poder ser capacitado y para garantizar el desarrollo de competencias, teniendo en cuenta los objetivos de la organización.

- Seguridad y medio ambiente.

Se debe tener como prioridad la preservación de la integridad de los trabajadores y la disminución del impacto ambiental en cada operación. El objetivo principal de este pilar es lograr tener cero accidentes y cero contaminación, llevando estos principios a todos los niveles de la organización.

El Japan Institute of Plant Maintenance propone nueve etapas para el desarrollo del pilar de seguridad y medio ambiente, estas son: (ingenieriaindustrialonline.com, s.f.)

- Se crean actividades para prevenir y corregir averías en las máquinas, a través de rutinas diarias, periódicas y predictivas.
- Eventos Kaizen (cuatro a ocho días) orientados a mejorar las características de los equipos, para eliminar acciones de mantenimiento, actualizar órdenes de trabajo, actualizar listado de repuestos, para establecer un análisis de confiabilidad (AMEF).
- Eventos Kaizen para el mejoramiento de la gestión administrativa y técnica del mantenimiento.

Conclusiones

- Al analizar las principales causas que dan origen al mantenimiento correctivo de la empresa TRIDU, se observa que en su mayoría dichas causas son comunes por la inexperiencia del personal y el bajo control que la directiva ejerce sobre los trabajadores para que estos realicen los cambios de los repuestos en el tiempo establecido, por los diferentes manuales que traen las maquinas.

Al aplicar las herramientas estadísticas, las cuales nos permitieron priorizar los problemas más comunes, se obtuvo que dichos problemas son causados más por el error humano que por falla normal de la máquina, la cual está expuesta a terrenos de difícil acceso, que generan un desgaste continuo de las mismas.

- Al analizar los principales efectos que generan las fallas potenciales encontradas, se puede establecer que la empresa corre un gran riesgo de tener pérdidas totales en la maquinaria, a causa de los problemas que se presentan por la inexperiencia del personal, ya que cada falla potencial encontrada puede generar problemas graves en la máquina y en algunos casos puede darse la pérdida total de la maquinaria.

En conclusión le sale más económico a la compañía invertir en capacitaciones del personal, para evitar así la compra innecesaria de nuevos repuestos constantemente por la inexistencia de controles.

- Al establecer los pilares del TPM que serán aplicados a la empresa para el diseño de plan de mantenimiento preventivo se puede observar que se necesita el total apoyo de la compañía y completa disposición de los trabajadores para poder llevar a cabo el desarrollo de este. Con

herramientas como el AMEF se pudieron establecer actividades para contrarrestar los problemas priorizados y diseñar estrategias de prevención para reducirlos.

Las recomendaciones más notorias que se le hacen a la compañía es la inmediata capacitación del personal y la aplicación de los check list creados para la maquinaria. Continuar con la retroalimentación de los documentos creados en este proyecto. Desarrollar el plan de mantenimiento preventivo bajo las normas legales vigentes establecidas y bajo la supervisión de una persona calificada.

APÉNDICES

APÉNDICE A: [REGISTRO DE FACTURAS TRIDU.](#)

APÉNDICE B: [TIEMPO ENTRE FALLAS TRIDU.](#)

APÉNDICE C: [FORMATO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO RETROEXCAVADORA](#)

FORMATO DE MANTENIMIENTO RETROEXCAVADORAS			
ACTIVIDAD	HORAS DE TRABAJO PARA LA REVISIÓN	REALIZO	APROBÓ
ACEITE DE GIRO	250		
ACEITE HIDRÁULICO	250		
ACEITE MOTOR	250		
BOMBA HIDRÁULICA	6000		
CORREAS	600		
DIENTES	360		
EMPAQUETADURA GATOS	500		
FILTROS	250		
MANGUERA DE BALDES	1000		
MANGUERAS DE GATOS GEMELOS	1000		

APÉNDICE D: [FORMATO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BULLDOZER](#)

FORMATO DE MANTENIMIENTO BULLDOZER			
ACTIVIDAD	HORAS DE TRABAJO PARA LA INSPECCIÓN	REALIZO	APROBÓ
ACEITE DE GIRO	250		
ACEITE HIDRÁULICO	250		
ACEITE MOTOR	250		
ACERVO MASTER 50	250		
BOMBA HIDRÁULICA	6000		
CONVERTIDOR	300		
CONVERTIDOR MASTER 50	250		
CORREAS	500		
ESQUINERAS	300		
FILTROS	500		

APÉNDICE E: [CHECK LIST RETROEXCAVADORA](#)

CHECK LIST RETROEXCAVADORA			
Actividad	Inspección aprobada	Inspección no aprobada	Observaciones
Maquina apagada			
Inspección de dientes			
Estado correas			
Estado de mangueras			
Inspección de filtros			
Nivel de aire en las llantas			
Maquina encendida			
Niveles de aceite			
Niveles de presión en mangueras			
Color del humo saliente de la maquina			
Revisión del panel de control (que no presente ningún daño)			
Inspección del motor			

APÉNDICE F: [CHECK LIST BULLDOZER](#)

CHECK LIST BULLDOZER			
Actividad	Inspección aprobada	Inspección no aprobada	Observaciones
Maquina apagada			
Inspección de esquineras			
Estado correas			
Estado de mangueras			
Inspección de filtros			
Nivel de aire en las llantas			
Maquina encendida			
Niveles de aceite			
Niveles de presión en mangueras			
Color del humo saliente de la maquina			
Revisión del panel de control (que no presente ningún daño)			
Inspección del motor			

APÉNDICE G: [CHECK LIST VOLQUETA](#)

CHECK LIST VOLQUETA			
Actividad	Inspección aprobada	Inspección no aprobada	Observaciones
Maquina apagada			
Inspección de bomba de volcó			
Niveles de aire de las llantas			
Revisión de transmisión			
Maquina encendida			
Nivel de aceite de motor			
Revisión de motor			
Revisión del color del humo saliente			
Revisión del kilometraje			

Bibliografía

- [1 Anonimo, Libro de Mantenimiento Industrial, 2004.
]
- [2 f. cordoba, «IMPLEMENTACIÓN DE RUTAS DE TRABAJO Y TABLEROS DE
] CONTROL,» 2015. [En línea]. Available:
http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/5147/1/620046C796.pdf. [Último
acceso: 15 6 2016].
- [3 A. Botero, «IMPLEMENTACION DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
] EQUIPOS EN UNA EMPRESA DE MONTAJES METALMECANICOS, CIVILES Y
ELECTRICOS,» 2008. [En línea]. Available:
https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/4360/Alejandro_BoteroCuartas
_2008.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 15 6 2016].
- [4 komatsu , parts book "HYDRAULIC EXCAVATOR", ECOT3.
]
- [5 Caterpillar , Parts manual, junio 2007.
]
- [6 Caterpillar , manual de operaciones y mantenimiento, septiembre 2008.
]
- [7 Positiva , «¿como investigar accidentes e incidentes de trabajo?,» *positiva compañía de
] seguros* , pp. 17-20.
- [8 ingenieriaindustrial.com, «Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF),» [En línea].
] Available: https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-
industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/.
- [9 isotools , «Blog corporativo,» 23 02 2016. [En línea]. Available: http://www.isotools.cl/iso-
] 9001-metodologia-para-el-analisis-de-riesgos-amef/.
- [1 sistemas y calidad total, «sistemas y calidad total,» 08 04 2012. [En línea]. Available:
0] http://www.sistemasycalidadtotal.com/calidad-total/como-implementar-un-analisis-modal-
de-fallos-y-efectos-amfe-y-planes-de-control/.
- [1 firstconsultinggroup, [En línea]. Available:
1] http://www.firstconsultinggroup.com.mx/AMEF.asp.
- [1 ferfre, *ttrtg*, tgrtg.
2]
- [1 I. V. E. S. I. K. O. M. Ing. Hernán Alomía Arce, «GUIA METODOLOGICA PARA
3] REALIZACION DE PROYECTOS DE GRADO DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
INDUSTRIAL,» 2007. [En línea]. Available:
ftp://ftp.icesi.edu.co/leonardo/PGI/Guia%20Estudiantes.pdf. [Último acceso: 9 Abril 2016].
- [1 J. M. A. García, «IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN
4] FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS, DIVISIÓN CONCRETOS Y AGREGADOS,»
Octubre 2009. [En línea]. Available: http://159.90.80.55/tesis/000147100.pdf. [Último
acceso: 8 Abril 2016].

- [1 M. J. Athie, «1000 Ideas de Tesis,» 2015. [En línea]. Available:
5] <http://www.1000ideasdetesis.com/2013/04/como-hacer-una-buena-pregunta-de.html>.
[Último acceso: 20 Febrero 2016].
- [1 V. M. R. Hernández, «PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA
6] MAQUINARIA PESADA EN FUNCIONAMIENTO DE LA ZONA VIAL No. 14,
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS, SALAMÁ, BAJA VERAPAZ,» Junio 2010. [En
línea]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0641_M.pdf Victor Armando
Hernández Cruz. [Último acceso: 16 Febrero 2016].
- [1 R. Copyright, «RENa Red escolar nacional,» 2008. [En línea]. Available:
7] <http://www.rena.edu.ve/cuartaEtapa/metodologia/antecedentes.html>. [Último acceso: 5 Abril
2016].
- [1 D. C. F. C. D. M. d. P. B. L. Dr. Roberto Hernández Sampieri, METODOLOGÍA de la
8] investigación, 2010.
- [1 «DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO
9] PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA DE LA EMPRESA MEJIA VILLEGAS
CONSTRUCTORES S.A.,» 3 septiembre 2007. [En línea]. [Último acceso: 19 Febrero
2016].
- [2 H. J. G. A, «Caja de Herramientas de Gestión,» [En línea]. Available:
0] <https://unavdocs.files.wordpress.com/2011/02/mantenimiento1sv.pdf>. [Último acceso: 18
Febrero 2016].
- [2 «Guia para elaborar el marco Metodologico,» Octubre 2010. [En línea]. Available:
1] [https://es.scribd.com/doc/39980319/GUIA-PARA-ELABORAR-EL-MARCO-](https://es.scribd.com/doc/39980319/GUIA-PARA-ELABORAR-EL-MARCO-METODOLOGICO-DE-UN-PROYECTO-DE-INVESTIGACION)
METODOLOGICO-DE-UN-PROYECTO-DE-INVESTIGACION. [Último acceso: 10 Abril
2016].
- [2 P. M. M. o. N. Mesa, «El marco teorico en un proyecto de Investigación,» Septiembre 2010.
2] [En línea]. Available: [https://es.scribd.com/doc/38574618/GUIA-PARA-FACILITAR-EL-](https://es.scribd.com/doc/38574618/GUIA-PARA-FACILITAR-EL-PLANTEAMIENTO-DEL-MARCO-TEORICO)
PLANTEAMIENTO-DEL-MARCO-TEORICO. [Último acceso: 5 Abril 2016].
- [2 H. y. A. D. OLAYA, « DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
3] PARA LA EMPRESA AGROANGEL,» [En línea]. Available:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/4620/1/6200046A581.pdf>. [Último
acceso: 18 febrero 2016].
- [2 V. Y. Piqueras, «Mantenimiento de los equipos y parques de maquinaria,» 9 Febrero 2015.
4] [En línea]. Available: [http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/category/coste-y-](http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/category/coste-y-produccion-de-los-equipos/mantenimiento-de-los-equipos-y-parques-de-maquinaria/)
produccion-de-los-equipos/mantenimiento-de-los-equipos-y-parques-de-maquinaria/.
[Último acceso: 18 Febrero 2016].
- [2 H. D. H. J. Hector Ricardo Sanabria Cancelado, «Elaboración de un Plan de mantenimiento
5] preventivo para la maquinaria pesada de la Gornbernacion de Casanare,» 2011. [En línea].
Available: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7777/2/142123.pdf>.
[Último acceso: 9 Abril 2016].
- [2 R. Hernandez Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, «Tesis de inevestigación,»
6] 30 Junio 2011. [En línea]. Available:
<http://tesisdeinvestig.blogspot.com.co/2011/06/definicion-del-problema-investigar.html>.
[Último acceso: 16 Febrero 2016].

- [2 J. Solanilla, «Programa de mantenimiento preventivo y correctivo de maquinaria y equipo,» 7] 8 Enero 2009. [En línea]. Available: <http://webidu.idu.gov.co:9090/jspui/bitstream/123456789/32211/31/60014766-25.pdf>. [Último acceso: 10 Marzo 2016].
- [2 G. VALLEJO, «El tiempo,» 7 Septiembre 1992. [En línea]. Available: 8] <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-196134>. [Último acceso: 10 Marzo 2016].
- [2 MinTIC, 20 Noviembre 2014. [En línea]. Available: 9] <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-7768.html>. [Último acceso: 10 Marzo 2016].
- [3 M. E. U. ROJAS, «PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UN 0] SUBSISTEMA HIDRÁULICO DE LA GRÚA TELESCÓPICA LORAIN,» 2010. [En línea]. Available: https://repository.eafit.edu.co/xmlui/bitstream/handle/10784/4357/ManuelEsteban_UpeguiRojas_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [3 T. C. E. I. S.A.S, «TRIDU CONSTRUCCIONES E INGENIERIA S.A.S,» 23 Abril 2015. 1] [En línea]. Available: <https://www.facebook.com/triduconstrucciones/>. [Último acceso: 10 Marzo 2016].
- [3 A. M. D. ARMENIA, «SECOP - Detalle del Proceso Número DAJ - SAMC 026 DE 2015,» 2] 04 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.contratos.gov.co/consultas/detalleProceso.do>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [3 Y. R. R. Pinto, «Diseño del Programa de Salud ocupacional para la Trilladora de Café,» 3] 2008. [En línea]. Available: http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_15805.pdf. [Último acceso: 13 Marzo 2016].
- [3 C. L. Manufacturing, «CDI Lean,» 2012. [En línea]. Available: 4] <http://www.cdiconsultoria.es/metodo-tpm-mantenimiento-productivo-total-valencia>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [3 M. planificado, «Mantenimiento planificado,» [En línea]. Available: 5] <http://www.mantenimientoplanificado.com/tpm>. [Último acceso: 15 Marzo 2016].
- [3 P. C. M. F. S. J. Hernández, «Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las 6] técnicas de diagnóstico integral. Resultados parciales teórico-prácticos.,» *Revista de Ingeniería Energetica*, vol. Vol. 29 Issue 2, pp. p26-34, 2008.
- [3 L. A. J. A. Sánchez Pérez Diego Alejandro, «MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL 7] TPM COMO HERRAMIENTA DE MEJORAMIENTO CONTINUO.,» [En línea]. Available: <http://www.udistrital.edu.co:8080/documents/138588/3159125/Articulo+de+TPM.pdf>. [Último acceso: 25 Marzo 2016].
- [3 R.-L. D. C. R.-J. S. M. Garcés-Palacio Isabel Cristina, «Barreras y facilitadores del sistema 8] de salud relacionadas con el seguimiento de anomalías citológicas, Medellín-Colombia.,» *Revista Gerencia y Políticas de Salud.*, vol. Vol. 13 Issue 27, pp. p200-211. 12p., 2014.
- [3 J. F. M. Zamora, «Objetivos y Características del TPM,» [En línea]. Available: 9] http://www.mantenimientoplanificado.com/tpm_archivos/4.3%20Objetivos%20y%20Caracter%20C3%ADsticas%20de%20TPM.pdf. [Último acceso: 25 Marzo 2016].

- [4 J. F. M. Zamora, «Pilar Mantenimiento progresivo o planificado,» [En línea]. Available: 0] http://www.mantenimientoplanificado.com/tpm_archivos/Pilar%20Mantenimiento%20Progresivo%20o%20Planificado%20de%20Juan%20francisco.pdf. [Último acceso: 25 Marzo 2016].
- [4 «ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF),» [En línea]. Available: 1] <http://www.icicm.com/files/CurAMEF.pdf>. [Último acceso: 26 Marzo 2016].
- [4 Lean Solutions, «lean solutions,» 2016. [En línea]. Available: 2] <http://www.leansolutions.co/conceptos/amef/>.
- [4 S. G. d. Senado, «Secretaria senado,» 23 Enero 2006. [En línea]. Available: 3] http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1010_2006.html.
- [4 komatsu, Operation & maintenance manual, ecot 3. 4]
- [4 S. G. d. l. A. M. d. B. D.C., «Alcaldia bogota,» 23 Julio 2008. [En línea]. Available: 5] <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31607>.
- [4 J. Nagy, «desarrollar estartegias exitosas,» [En línea]. Available: [http://ctb.ku.edu/es/tabla-](http://ctb.ku.edu/es/tabla-de-contenidos/estructura/estrategia-planificacion/desarrollar-estrategias/principal) 6] [de-contenidos/estructura/estrategia-planificacion/desarrollar-estrategias/principal](http://ctb.ku.edu/es/tabla-de-contenidos/estructura/estrategia-planificacion/desarrollar-estrategias/principal).
- [4 gestiopolis , [En línea]. Available: [https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-](https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/) 7] [modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/](https://www.gestiopolis.com/manual-amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-fallas-potenciales/).
- [4 ingenieriaindustrialonline.com, «ingenieriaindustrialonline.com,» [En línea]. Available: 8] ingenieriaindustrialonline.com.