



**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MEJORA DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA LA FLOTA DE
TRACTORES DE CADENAS CATERPILLAR® D10T
BASADO EN EL CICLO DE DEMING PARA MEJORAR EL
NIVEL DE SERVICIO AL PRODUCTO PARA LA EMPRESA
FERREYROS S.A. EN LA OPERACIÓN MINERA
YANACOCHA**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR:
Bach. JUAN CARLOS CERRÓN AGUILAR**

**ASESOR:
Ing. MARCO FLORIAN RODRIGUEZ**

**CAJAMARCA – PERÚ
2013**

COPYRIGHT ©2013 by
JUAN CARLOS CERRÓN AGUILAR
Todos los derechos reservados

LISTA DE ABREVIACIONES

- ®: Marca registrada.
- (rms): Rugosidad como raíz cuadrada media S
- (cSt): Centi Stokes, unidad de medida de viscosidad.
- D.A.: Daily Actual / Disponibilidad Diaria.
- CAT®: CATERPILLAR Co.
- CAES: Acrónimo de las palabras inglesas Computer Aided Earthmoving Systems (Sistemas de Ayuda de Movimiento de tierra computarizado).
- CIODS: Acrónimo de las palabras inglesas Caterpillar Integrated Object Detection System (Sistema integrado de detección de objetos Caterpillar)
- COK: Costo de oportunidad de Capital.
- KPI: Acrónimo de las palabras inglesas Key Performance Indicators (Indicadores Clave de Desempeño).
- Ing.: Ingeniero.
- ISO: International Organization for Standardization
- M.P.: Acrónimo de las palabras inglesas Maintenance Preventive (Mantenimiento preventivo).
- M.C.: Mantenimiento correctivo.
- M.C.A: Mantenimiento correctivo adicional.
- MTBS: Acrónimo de las palabras inglesas Medium Time Between Stopped (Tiempo Medio Entre Paradas).
- MTTR: Acrónimo de las palabras inglesas Medium Time To Repair (Tiempo Medio Para Reparar).
- MYSRL: Minera Yanacocha Sociedad de Responsabilidad Limitada.
- Ppm: Parte por millón
- Soot: Carbonilla en el aceite de motor.
- TIR: Tasa Interna de Rentabilidad.
- TTT: Acrónimo de las palabras inglesas Track Type Tractor (Tractor de cadenas).
- VA: Valor Actual de la inversión.
- VAN: Valor Actual Neto de la inversión.
- VIMS: Acrónimo de las palabras inglesas Vital Information Management System (Sistema de admistración de información Vital) de Caterpillar®.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo general la mejora del sistema de gestión del Mantenimiento Predictivo actual en la flota de tractores de cadenas Caterpillar® D10T para mejorar el nivel de servicio de atención de la empresa Ferreyros S.A. para el cliente minero: Minera Yanacocha Sociedad de Responsabilidad Limitada en la región de Cajamarca – Perú. Este proyecto redujo el índice de mantenimientos correctivos no planificados de 60% a 40% en un periodo de 1 año y elimino completamente los mantenimientos correctivos adicionales (M.C.A.) que son los mantenimientos correctivos realizados por encima del 40% del tiempo de las paradas, como consecuencia de esta mejora se incrementó la disponibilidad de la flota de tractores de cadenas Caterpillar® D10T, mejoro la confiabilidad de los componentes mayores en los equipos; eliminó los eventos y códigos recurrentes de alarmas generan paradas no programadas, esto se logró en base del metodología y estrategias del circulo de calidad planteadas por E. Deming.

La viabilidad de esta mejora fue viable, porque registro un valor del “VAN” doce millones novecientos cincuenta y cuatro mil novecientos y uno nuevos soles con sesenta y cuatro céntimos. (S/. 12'954'901.64), con un “TIR” de 860.8%, que es 854.25% mayor que la mejora alternativa de inversión de fondos mutuos del mercado actual. Y el retorno de inversión de este proyecto tiene un valor de doscientos ochenta y ocho nuevos soles con ochenta y nueve céntimos (S/. 288.89).

ABSTRACT

The general objective this survey it's the improve of current Predictive Maintenance System in Caterpillar® D10T track type tractors fleet, for to improve on level of service the dealer Ferreyros SA to customer client: "MYSRL" in the region of Cajamarca - Peru. This project seeks to reduce the rate of unplanned corrective maintenance less than 40% and full eliminated the additional corrective maintenance above from 40% of the time stops, was result of this improvement will increase on availability in Caterpillar ® D10T track type tractors fleet, improved on reliability the majors components in the machine; eliminated recurring events and codes in the fleet that downtime (low availability), this was done based on of the methodology and quality circle (PDCA) strategies referred by E. Deming.

Viability of this improvement was sustainable, because recording "VAN" value of twelve millions nine hundred and fifty-four thousand hundred and one Peruvian new Suns sixty-four cents (S/. 12'954'901.64), with a "IRR" of 860.8%, which is 854.25% higher than the best alternative investment mutual fund market. And the return on investment of this project is worth two eighty-eight hundred Peruvian new Suns and eighty-nine cents (S / . 288.89).

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

EPÍGRAFE

AGRADECIMIENTO

LISTA DE ABREVIACIONES

PRESENTACIÓN

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1

GENERALIDADES DE LA INVESTIGACION

1.1. Realidad problemática

1.2. Formulación del problema

1.3. Hipótesis

1.3.1. Formulación de la hipótesis

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

1.4.2. Objetivos Específicos

1.5. Justificación

1.6. Tipo de investigación

a. Transeccional o transversal

1.7. Diseño de la investigación

1.8. Variables

VARIABLE INDEPENDIENTE

VARIABLE DEPENDIENTE

1.9. Operacionalización de variables

CAPITULO 2

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

Antecedente N°01

Antecedente N°02

Antecedente N°03

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Referencia N°01

2.2.2. Referencia N°02

2.2.3. Referencia N°03

2.2.4. Referencia N°04

2.2.5. Referencia N°05

2.2.6. Referencia N°06

CAPITULO 3

METODOLOGÍA

3.1. Material de estudio

3.1.1. Población

3.1.2. Muestra

3.2. Técnicas, procedimientos e instrumentos

3.2.1. Para recolectar datos

3.2.1.1. Observación directa

3.2.2.2. Análisis de documentos

3.2.2. Para procesar datos

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Diagnostico Situacional

4.1.1. Información referencial de la empresa

4.1.2. Información del área de estudio

4.2. Análisis de la propuesta de mejora

4.2.1.1. Reportes de falla: reportes de paradas y reportes técnicos

4.2.1.2. Fallas del motor

4.2.2. Reporte y análisis de eventos Minestar® Health

4.2.2.1 Eventos Minestar® Health en el DZ030

4.2.2.2 Eventos Minestar® Health en el DZ031

4.2.2.3 Eventos Minestar® Health en el DZ120

4.2.2.4 Eventos Minestar® Health en el DZ121

4.3. Implementación de la Propuesta

4.3.1 Indicadores de la mejora

4.4 Análisis de Costos

4.4.1. Inversión Inicial para la implementación de Mejora

4.4.2. Análisis de la situación Actual

4.4.3. Flujo de Caja para la implementación de la mejora

4.4.4. Flujo de Caja del beneficio de la implementación de la mejora

4.4.4.1. TASA COK

4.4.5. Análisis de sensibilidad

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

5.2. Recomendaciones

ANEXOS

Anexo A: Especificaciones comerciales (especialogo) del tractor de cadenas CAT® modelo D10T

Anexo B: Ubicación geográfica de la operación minera Yanacocha respecto a Cajamarca a una altura de 3251 metros

Anexo C: Tablas de registro de disponibilidad del 2011 al 2013 en la flota de tractores de cadenas CAT® D10T

Anexo D: Tablas y gráficos eventos registrados

Anexo E: Talleres en Yanacocha en Norte en donde se atienden los D10T®

Anexo F: Mercado de capitales, mejor alternativa de inversión actual para calcular la tasa COK

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tractor de cadenas CAT® D10T

Figura 2: Detalle de la superficie de contacto de un diente perteneciente a un engranaje de dientes rectos

Figura 3: Detalle de los puntos de intercepción de la superficie interior una camisa de motor

Figura 4: Detalle de la rugosidad superficial de una pieza mecánica

Figura 5: Condiciones suaves de lubricación

Figura 6: Superficies de contacto en condiciones severas de operación

Figura 7: esquema de arquitectura de un sistema completo CAT® MineStar® en una operación minera a tajo abierto

Figura 8: módulo de visualización gráfica Advisor

Figura 9: talleres Yanacocha Norte

Figura 10: Análisis de Ishikawa de las fallas motor CAT® C27

Figura 11: Vista general del motor CAT® ACERT C27 (lado izquierdo)

Figura 12: Vistas generales del motor CAT® ACERT C27 (lado derecho)

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables

Tabla 2: Disponibilidad al 28 de febrero 2011

Tabla 3: Distribución por flotas de camiones CAT

Tabla 4: Calculo de horas correspondientes a la relación 80/20

Tabla 5: Cuadro de Disponibilidad de la Flota de Perforadoras

Tabla 6: herramienta de solución de problemas

Tabla 7: Tabla de identificación del nivel de los eventos de la máquina D10T

Tabla 8: Flota de tractores de cadenas en MYSRL

Tabla 9: Detalle de las técnicas de recolección de datos

Tabla 10: Disponibilidad de la flota CAT® D10T desde el 01 de enero al 31 de agosto del 2013

Tabla 11: Gráfico de disponibilidad de la flota CAT® D10T desde el 1 enero al 31 de agosto del 2013

Tabla 12: Índice de gestión de mantenimiento (trabajos planificados) de la flota CAT® D10T desde el 01 enero al 31 julio del 2013

Tabla 13: Índice de gestión de mantenimiento (trabajos No planificados) de la flota CAT® D10T desde el 01 enero al 31 julio del 2013

Tabla 14: Índice de mantenimiento correctivos adicionales (M.C.A.) de la flota CAT® D10T desde el 01 enero al 31 agosto del 2013

Tabla 15: Índice de mantenimiento correctivos adicionales (M.C.A.) de la flota CAT® D10T desde el 01 enero al 31 agosto del 2013

Tabla 16: Índice de mantenimiento correctivos adicionales (M.C.A.) de la flota CAT® D10T desde el 01 enero al 31 agosto del 2013

Tabla 17: Indicadores y costos del mantenimiento correctivos adicional (M.C.A.) de la flota CAT® D10T desde el 01 enero al 31 agosto del 2013, que han generado un costo por M.C.A. de S/. 3'160'007.47

Tabla 18: Disponibilidad física y mecánica de los equipos CAT® D10T durante los últimos 3 años.
19Tabla N°19: Disponibilidad física y mecánica de los equipos CAT® D10T durante los últimos 3 años

Tabla 19: Costos del mensual de M.C.A. durante los últimos 32 meses.

Tabla 20: Costo del M.C.A. durante los últimos 3 años

Tabla 21: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en enero 2013

Tabla 22: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en febrero 2013

Tabla 23: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en marzo 2013

Tabla 24: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en abril 2013

Tabla 25: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en mayo 2013. 26Tabla N°26: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en mayo 2013

Tabla 26: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en junio 2013

Tabla 27: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en julio 2013

Tabla 28: Top ten de fallas de la flota CAT® D10T en agosto 2013.

Tabla 29: Resumen del Top ten de fallas de la flota CAT® D10T de enero a agosto del 2013

Tabla 30: Relación de eventos por sistemas en el DZ030

Tabla 31: Tendencia anual de eventos en el DZ030

Tabla 32: Top de eventos por mes en el DZ030

Tabla 33: Tendencia de eventos por sistema durante el 2013 en el DZ030

Tabla 34: Top de eventos críticos y recurrentes en el DZ030 durante el 2013

Tabla 35: Relación de eventos por sistemas en el DZ031

Tabla 36: Tendencia anual de eventos en el DZ030

Tabla 37: Top de eventos por mes en el DZ031

Tabla 38: Tendencia de eventos por sistema durante el 2013 en el DZ031

Tabla 39: Top de eventos críticos y recurrentes en el DZ031 durante el 2013

Tabla 40: Relación de eventos por sistemas en el DZ120

Tabla 41: Tendencia anual de eventos en el DZ120

Tabla 42: Top de eventos por mes en el DZ120

Tabla 43: Tendencia de eventos por sistema durante el 2013 en el DZ120

Tabla 44: Top de eventos críticos y recurrentes en el DZ120 durante el 2013

Tabla 45: Relación de eventos por sistemas en el DZ121

Tabla 46: Tendencia anual de eventos en el DZ1201

Tabla 47: Top de eventos por mes en el DZ121

Tabla 48: Tendencia de eventos por sistema durante el 2013 en el DZ121

Tabla 49: Top de eventos críticos y recurrentes en el DZ120 durante el 2013

Tabla 50: Identificación y seguimiento de componentes críticos en el equipo DZ030

Tabla 51: Identificación y seguimiento de componentes críticos en el equipo DZ031

Tabla 52: Identificación y seguimiento de componentes críticos en el equipo DZ0120

Tabla 53: Identificación y seguimiento de componentes críticos en el equipo

Tabla 54: Proyección de Mejora a 12 meses, aplicado en setiembre del 2013

Tabla 55: Proyección de Mejora a 24 meses, aplicado en setiembre del 2013

Tabla 56: Inversión Inicial para la implementación de Mejora

Tabla 58: Costos operativos actuales

Tabla 59: Costos que podrían ser mitigados

Tabla 60: Beneficios generados por la implementación de la mejora.

Tabla 61: Flujo de caja del proyecto

Tabla 62: Tasa COK

Tabla 63: escenario N°01

Tabla 64: escenario N°02

Tabla 65: escenario N°03

Tabla 66: escenario N°04

Tabla 67: escenario N°05

Tabla 68: escenario N°06

Nota de acceso:

No se puede acceder al texto completo pues tiene datos confidenciales.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- Zorilla Arena Santiago. (2001). *Guía para elaborar una tesis*. México.,D.F. México: McGraw Hill Interamericana.
- Rosaler, Robert C. (2002). *Manual del ingeniero de planta*. México.,D.F. México: McGraw Hill Interamericana.
- Hamdy A. Taha (2004). *Investigación de operaciones (7ª. Ed.)*. México.,D.F. México: Pearson.
- Max Muller (2005). *Fundamentos de administración de inventarios*. México.,D.F. México: Grupo editorial norma.
- Edward J. Hay (2002). *Justo a tiempo*. México.,D.F. México: Grupo editorial norma.
- Rodrigo Pascual J. (2002). *Gestión Moderna del mantenimiento (2ª. Ed)*. Santiago de Chile, Chile: Departamento de Ing. Mecánica. Universidad de Chile.

REFERENCIAS DE MEDIOS ELECTRÓNICOS:

- Ferreyros S.A. Lima – Perú. (2008). *Manual para el monitoreo de condiciones*. [Versión electrónica].
 - Ferreyros S.A. Lima – Perú. (2008). *Manual de laboratorio de análisis de fluidos Ferreyros*. [Versión electrónica].
 - Ferreyros S.A. Lima – Perú. (2010). *Manual para la interpretación y el análisis del aceite*. [Versión electrónica].
 - Ferreyros S.A. Lima – Perú. (2004). *DMSE0024-2004C Manual del estudiante e instrucción técnica del curso: Electricidad III*. [Versión electrónica].
 - Ferreyros S.A. Lima – Perú. (2004). *Manual del estudiante e instrucción técnica del curso: Tren de potencia I, II y III*. [Versión electrónica].
 - Ferreyros S.A. Lima – Perú. (2013). *Temas técnicos de equipo de soporte CAT del 2012 al 2013*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2001). *Fluids analysis: Interpretation guide S.O.S*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2001). *AEDK0391 reference guide to mining machine applications*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2004). *English/Spanish Glossary – Marketing support department*. [Versión electrónica].
-

- Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2005). *Performance metrics for mobile mining equipment (version 1.1)*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2005). *PEWJ0074 Cat® Filter & Fluid Application guide (Edition 1)*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2005). *Publicación Especial SSBU6250-18 Recomendaciones de Fluidos para máquinas Caterpillar*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *SSBD0351-42 Caterpillar Performance Handbook Edition 42*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Publicación Especial SSBD0518 Conozca su sistema de enfriamiento*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Publicación Especial SSBD0970 El refrigerante y su motor*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Publicación Especial SSBD0717 Los combustibles diésel y su motor*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Publicación Especial NSNG2500 Catálogo de herramientas de servicio de los distribuidores Caterpillar*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Publicación Especial SSBD0640 El aceite y su motor*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Publicación especial PSHP7076 Para entender el análisis S.O.S del aceite*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2010). *Publicación Especial PSHP6001 Cómo obtener una buena muestra de aceite*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2011). *Instrucción especial, RSHS0354 Localización y solución de problemas del sistema de carga*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Manual de Servicio, SENR6717 Sistema Monitor Caterpillar*. [Versión electrónica].
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2013). *Manual de Servicio de tractor de cadenas D10T RSNR7535*. [En línea]. Recuperado el 8 de junio del 2013, de <https://sisweb.cat.com>
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2013). *Manual de Piezas de tractor de cadenas D10T SSBP3655*. [En línea]. Recuperado el 8 de junio del 2013, de <https://sisweb.cat.com>
 - Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Pautas de control de la contaminación SSBF8456, Procedimiento para la filtración tipo diálisis del aceite hidráulico de los tractores de cadenas (D7-D11) y del tiendetubos 589*. [Versión electrónica].
-

- Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *PEGJ0042-02 Quick reference guide of engine, drive train and hydraulic repair indicators*. [Versión electrónica].
- Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2012). *Operaciones del sistema RENR8170 Sistema monitor de la máquina para los Tractores de Cadenas D8T, D9T y D10T*. [Versión electrónica].
- Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2010). *Equipment management Level 1 program – Maintenance Performance Metrics*. [Versión electrónica].
- Caterpillar Inc. Peoria, Illinois USA (2013). *Especificaciones SSNR3130 Especificaciones de par de apriete*. [Versión electrónica].