

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Viviente

Gerardo Vargas Cruz, gerardo.vargas@cerrejoncoal.com
Carbones del Cerrejón Limited
Calle 100 No.19-54 Bogotá

Resumen

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Viviente (LRCM) es un nuevo proceso que permite mejorar la confiabilidad de los equipos, partiendo de la información y de los datos de mantenimiento, mediante la integración del RCM inicial (o clásico) con las actividades y tareas diarias de mantenimiento.

Este proceso está fundamentado en la relación entre el sistema de Órdenes de Trabajo y la Base de Conocimiento desarrollada a través de los análisis RCM.

El proceso LRCM depende en gran parte de la buena comunicación e interrelación entre las personas que ejecutan las tareas de mantenimiento (Técnicos) y la transferencia de información precisa desde el Técnico y el Administrador de la Base de Mantenimiento, hasta el Analista de Confiabilidad.

El contenido de esta información consta básicamente de lo que se observó ó diagnosticó cuando se atendió un equipo, y de lo que se hizo durante la ejecución de cada Orden de Trabajo significativa.

La información a consignar en la Orden de Trabajo se hace seleccionando en el Sistema de Administración de Paradas de Mantenimiento, las Fallas Funcionales, los

Modos de Falla y las Causas, las cuales ya están específicamente codificadas para cada una de las flotas de equipo minero. Cuando en la codificación de las bases de conocimiento RCM no se encuentra la información que se necesita documentar, se anota en la Orden de Trabajo lo que se requiere actualizar e incluir. Se realizan actualizaciones periódicas semanales de las Fallas Funcionales, Modos de Falla y Causas que vayan apareciendo.

Como complemento se hacen verificaciones diarias de la Calidad de la Información, revisando que se hayan llenado los espacios necesarios, de acuerdo con el tipo de tarea realizada y su correspondencia con el tipo de falla reportada.

1. Objetivo

Presentar el desarrollo del proyecto piloto en Carbones del Cerrejón Limited, denominado “Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Viviente” (LRCM), con el objetivo de mejorar y sostener la confiabilidad de las flotas de equipos mineros, soportado en el manejo adecuado de la información diaria de las tareas de mantenimiento realizadas, como herramienta fundamental para adelantar buenos análisis de confiabilidad y soportar la toma de decisiones de mantenimiento.

2. Descripción del Proceso Productivo y Flotas Mineras en Carbones del Cerrejón

En las diferentes etapas del proceso productivo de carbón el cual se ilustra en la figura 1, se utiliza una gran variedad de equipos móviles mineros.



Figura 1

Las flotas de carga incluyen:

Palas Eléctricas de Cable

- 7 P&H 2800XP, 27.5m3
- 6 P&H 2800XPC, 34 m3

Palas Hidráulicas Eléctricas

- 6 Komatsu PC8000 Frontal, 42m3

Palas Hidráulicas Diésel

- 5 Hitachi EX5500, 27m3 Retro

P&H 2800XPC

- Capacidad: 34 metros cúbicos
- Altura: 19 metros

Retroexcavadoras Hidráulicas Diésel

- 3 Hitachi EX3600, 23 m3, Retro
- 5 Komatsu PC4000, 23m3 Retro
- 1 O&K RH340B, 32m3 Retro

Cargadores Frontales

- 11 Marathon-LeTourneau (3 L1100 y 8 L1350)

Las flotas de camiones incluyen:

- 240T: 94 Caterpillar 793D Carga útil: 94BCM (Estéril)
- 190T: 40 Caterpillar 789C Carga útil: 180T (Carbón)
- 320T: 121 Hitachi EH5000 Carga útil: 126BCM (Estéril)

Las flotas de Tractores incluyen:

- Tractores de oruga 16 Caterpillar D11R/T
24Caterpillar D10N/R/T
20 Caterpillar D9L/T
5 Caterpillar D8T
- Tractores de llantas 19 Caterpillar 834B/G/H
11 Caterpillar 854G

Las flotas de Perforación incluyen:

- 11 Taladros Ingersoll Rand DMLSP
- 2 Taladros Ingersoll Rand DML

Los equipos de control de polvo incluyen:

- 23 Tanqueros Cat 777C/D/F; 23 20k Gals

Los equipos de mantenimiento de vías incluyen:

- 25 Motoniveladoras Cat 16H/M
- 3 Motoniveladoras Cat 24M
- Uso de agua anual: 5.9M m3
- Vías intervenidas: 160 km

Los equipos de Reforestación incluyen:

- 7 Traillas Cat 631E
- 3 Traillas Cat 651E
- 21 Motoniveladoras Cat 16H/M
- Tractores 2 CAT D9L + 1 CAT D6H

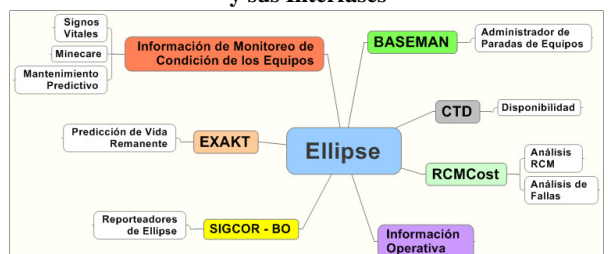
Otros equipos

- 3 Palas retro pequeñas
- 1 L1100 Cargador
- 1 a 3 camiones de 240T

3. Sistemas y Aplicaciones Utilizados

En la figura 2 se muestran los sistemas y aplicaciones principales que se utilizan en Mantenimiento de Flotas en Cerrejón, los cuales juegan un papel importante en el manejo de la información en sus diferentes interfaces.

Figura 2 – Sistema de Información de Mantenimiento y sus Interfaces



El Sistema de Información de Mantenimiento (CMMS) utilizado es Ellipse, en el cual se alimenta la información de otras aplicaciones y otras fuentes. Entre ellas está el Sistema de Despacho Computarizado de Camiones (CTD) en el cual se maneja la información de disponibilidad de los equipos; la aplicación BASEMAN desarrollada para facilitar la administración de las paradas de los equipos; el RCMCost en el cual se realizan y documentan los análisis RCM; el EXAKT, software especializado de modelamiento de información predictiva utilizado para predecir la vida remanente de algunos componentes principales; la información operativa; la información de inspecciones y de mantenimiento predictivo; la información de signos vitales de algunas flotas, y otras.

4. Antecedentes y Estado del RCM

En los últimos años se ha fortalecido en Mantenimiento la utilización del mantenimiento basado en condición o mantenimiento predictivo (PdM), se han introducido varias aplicaciones y técnicas de PdM, y se ha entrenado al personal requerido para su manejo.

En diferentes proyectos realizados se identificó la necesidad de mejorar la calidad de la información y de los datos registrados en las Órdenes de Trabajo (OT's) de las intervenciones de mantenimiento, de tal manera que esta se pudiera utilizar confiablemente en los diferentes tipos de análisis de confiabilidad, de desempeño y en las iniciativas de mejoramiento orientadas a contribuir al mejoramiento de la confiabilidad, maximización de la disponibilidad y la minimización de los costos durante la etapa operacional de los equipos.

El mejoramiento de la información requería básicamente que se identificaran los sistemas y componentes en los cuales se realizaron las actividades de mantenimiento, se llenaran y registrarán apropiadamente los reportes de las

inspecciones y que se registraran los modos de falla encontrados y las soluciones dadas. Los análisis de confiabilidad son direccionados por tres fuentes principales de información:

- La información de la edad de los sistemas o componentes (vida, ciclos, eventos).
- La información relevante de Monitoreo de Condiciones de los modos de falla de interés.
- El conocimiento RCM de los modos de falla relevantes

5. Descripción del Proceso LRCM

LRCM es una estrategia para la gestión efectiva de la información y del conocimiento de mantenimiento que permite alcanzar la confiabilidad a partir de los datos.

El LRCM tiene como objetivos principales:

- La mejora en la efectividad de la gestión de mantenimiento a través de la construcción y optimización de modelos de decisión.
- La actualización dinámica de la base de conocimiento de mantenimiento (RCM) que optimice periódicamente los planes de mantenimiento.

Los retos a enfrentar durante este proceso incluyen:

- Recolección oportuna, confiable y disciplinada de la información.
- Procesamiento ágil de la información.
- Administración precisa de la relación entre las órdenes de trabajo y el RCM
- Generación de los reportes que soporten los análisis de desempeño y confiabilidad.
- Realización eficaz de los análisis de confiabilidad

Los pasos para alcanzar la confiabilidad a partir de los datos incluyen los siguientes desafíos:

1. Administración de la relación entre las OT's en Ellipse y la base de conocimiento en RCMCost.
2. Generación automática de muestras de datos para Análisis de Confiabilidad (AC).
3. Desarrollo de AC (Modelos de Decisión).

El primer desafío contiene una parte humana y una tecnológica. La parte humana incluye la adquisición y registro de la información de mantenimiento. Estas tareas son generalmente realizadas por técnicos y de ellos depende la calidad de la información, por eso este desafío también es llamado como el desafío humano. Consiste en transmitir los conceptos RCM a las personas involucradas en la práctica diaria de mantenimiento. El LRCM asegura que los eventos registrados en BASEMAN/Ellipse se asocien perfectamente con la base de conocimiento RCM. Este primer desafío es principalmente cultural. El LRCM es un proceso que supera el desafío humano a través de procedimientos sencillos y de entrenamiento en el trabajo.

La clave para superar la parte tecnológica del desafío 1 requirió de una armonización entre la base de conocimiento RCMCost y Ellipse. Esta relación es el secreto para obtener buenas muestras de datos para los AC.

Los desafíos 2 y 3 eran de carácter técnico. La generación de muestras permite alimentar metodologías de AC, tales como el Análisis Weibull, EXAKT y la simulación Monte Carlo. Ambos pueden llevarse a cabo pero dependen del éxito del desafío 1. El LRCM unifica la teoría plasmada en la base de conocimiento RCM con la práctica tal como es registrado en el sistema de OT's. Esta armonización asegura que los datos estén siempre disponibles para la generación de la muestra (Desafío 2) y el posterior AC (Desafío 3).

Con referencia al punto 1, el cual se centra en asegurar la adecuada relación entre las tareas ejecutadas en las OT's y la base de conocimiento RCM, en el diagrama anexo, Figura 3, se muestran de manera resumida las diferentes actividades realizadas en cada uno de los procesos de mantenimiento.

Inicialmente un equipo en operación puede requerir una atención imprevista o programada. En el proceso de Planeación y Programación se crea una OT imprevista o programada.

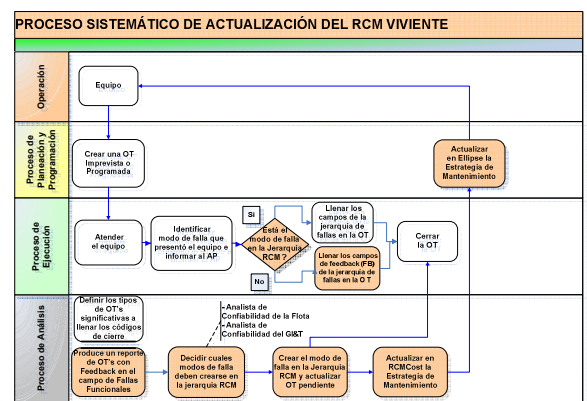


Figura 3 - Proceso LRCM

En el Proceso de Ejecución, el técnico atiende el equipo y define la falla funcional, modo de falla y causa que originaron la parada del equipo e informa al Administrador de Paradas (AP).

Si los ítems de la información anterior están incluidos en la jerarquía RCM, el AP documenta la información en los diferentes campos en BASEMAN y posteriormente se cierra la OT.

Si alguno de los ítems de la información anterior no está incluida en la jerarquía RCM, el AP marca el campo "Feedback" y llena la información correspondiente. Posteriormente a la ejecución se cierra la OT.

Posteriormente en el Proceso de Análisis se produce un reporte que incluye todas las OT's que tienen información en el campo Feedback.

Entre el Analista de Confiabilidad de la Flota y el Analista de Confiabilidad del Grupo de Inspecciones y Tecnología definen las nuevas fallas funcionales, modos de falla y causas que necesitan crearse en la base de conocimiento RCM.

Se crean los nuevos códigos definidos en Ellipse, se actualiza la base del conocimiento RCM en RCMCost. De la misma manera, se actualiza en Ellipse la estrategia de mantenimiento en aquellos casos en los cuales se definió una nueva tarea de mantenimiento. Esta actualización incluye la inclusión y modificación requerida en los formatos de mantenimiento y en la programación de tareas.

Para hacer posible avanzar por los desafíos 2 y 3 se requiere que para cada OT se describa en BASEMAN, un tipo de evento de fin de vida del modo de falla, ya sea Falla Funcional (FF), Falla Potencial (FP) o Suspensión (S).

6. Fases de la Implementación del Proyecto Piloto LRCM

El proceso de implementación del LRCM incluye varias fases, las cuales mencionaremos de manera resumida.

- Actualizar los análisis RCM de las flotas que ya lo tenían efectuado y desarrollarlo para los que no. Durante esta fase se definieron las Jerarquías de Sistemas y Componentes Principales de los Equipos. Ver Figura 4.
- Documentar en el software RCMCost los Análisis RCM de las diferentes flotas. Ver figura 5
- Desarrollar codificación de los diferentes sistemas, componentes y partes, funciones, fallas funcionales y causas definidas en los análisis RCM. Ver figuras 6.

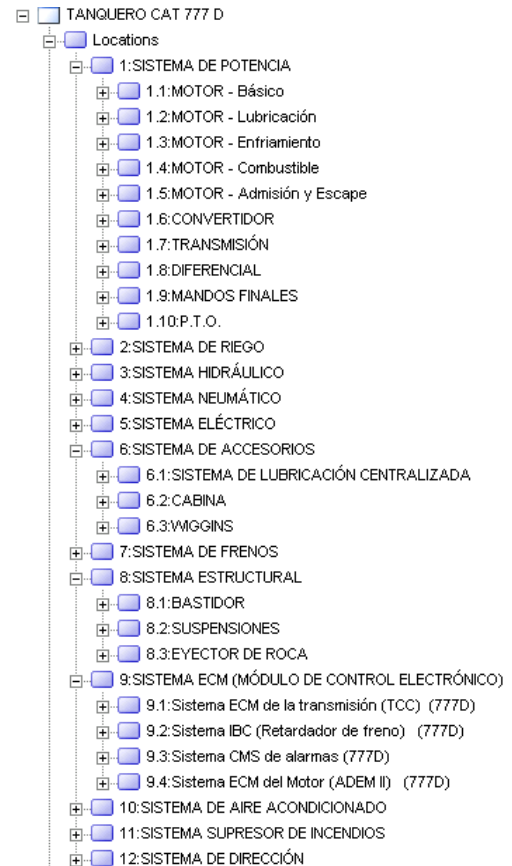


Figura 4 - Jerarquía de Sistemas y Componentes RCM de la Flota de Tanqueros Cat 777D



Figura 5 - Documentación Análisis RCM en el Software RCMCost

EQUIP_GRP_ID	FAILURE_MODI	FAILURE_CODE	FUNCTION_COD
789C	CSAEE	ABRAZ	FLOJO
789C	CSAEE	ABRAZ	ROTO
789C	LUBCD	ABRTT	DETER
789C	ACONT	ACECO	DEGRA
789C	CONVG	ACECO	DEGRA
789C	CFREF	ACEFP	BAPRE
789C	ACONT	ACEHI	DEGRA
789C	CDIRD	ACEHI	DEGRA
789C	CSHIA	ACEHI	CONTA
789C	CSHIF	ACEHI	DEGRA
789C	CSHIG	ACEHI	EXCES
789C	CSHIA	ACEHI	FUGAS
789C	CSLUE	ACEIM	CONTA

Figura 6 - Codificación de Fallas Funcionales, Partes y Modos de Falla

- Ingresar a Ellipse la información resultante de los análisis RCM, mediante tablas diseñadas para tal efecto. Ver Figura 7.

Id	SysCode	CompCode	W0	W1	W2	W3
1.1.1.A.1	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DESGA	J
1.1.1.A.10	SPO	MOTR	MOTRA	SISAE	DANAD	N
1.1.1.A.11	SPO	MOTR	MOTRA	SISCO	DANAD	N
1.1.1.A.12	SPO	MOTR	MOTRA	ANILL	DESGA	J
1.1.1.A.13	SPO	MOTR	MOTRA	PISTN	DESGA	J
1.1.1.A.14	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DESGA	<
1.1.1.A.15	SPO	MOTR	MOTRA	PISTN	DESGA	>
1.1.1.A.16	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DANAD	N
1.1.1.A.2	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DESGA	>
1.1.1.A.3	SPO	MOTR	MOTRA	PISTN	DESGA	X
1.1.1.A.4	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DESGA	X
1.1.1.A.5	SPO	MOTR	MOTRA	TREVA	DESGA	J
1.1.1.A.6	SPO	MOTR	MOTRA	TREVA	DESGA	<
1.1.1.A.7	SPO	MOTR	MOTRA	GUIAO	DESGA	J
1.1.1.A.8	SPO	MOTR	MOTRA	MOTOR	DECAL	K

Figura 7 - Tablas para Creación y Actualización en Ellipse de los Análisis RCM y sus Actualizaciones

- Refrescar en BASEMAN las mismas tablas de Ellipse.
- Desarrollar la “Herramienta de Sincronización” para facilitar la actualización de los diferentes sistemas (RCMCost, Ellipse – BASEMAN) a medida que se va recopilando nueva información operativa. Esta información incluye las nuevas fallas funcionales, modos de falla, partes y causas. Con esta herramienta se asegura una codificación única para todas las flotas. La actualización inicial se hace en RCMCost, como base del conocimiento, se exporta a la herramienta de sincronización para crear los códigos

nuevos de cada una de las retroalimentaciones dadas, para posteriormente actualizarla en Ellipse y de regreso a RCMCost con las modificaciones de texto efectuadas. Figura 8.

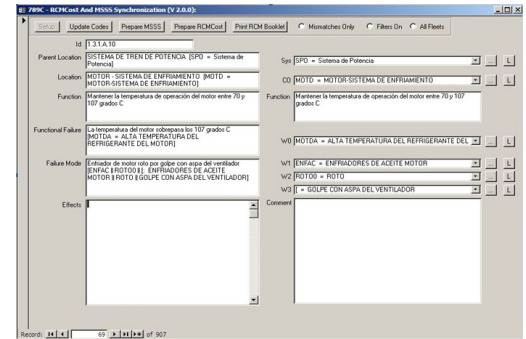


Figura 8 - Herramienta de Sincronización

- Finalizadas las actualizaciones, se procede a imprimir el folleto que contiene la jerarquía RCM para ser repartido a los técnicos y AP’s para su conocimiento, consulta y referencia. Ver figura 9.

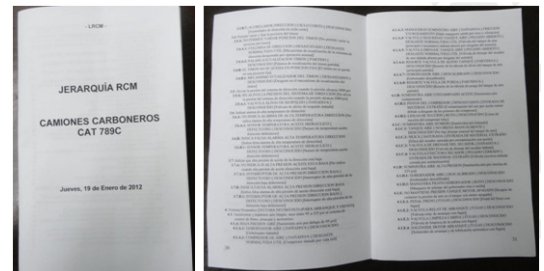


Figura 9 - Folleto Jerarquía RCM

- Simultáneamente con las anteriores actividades se adelantaron sesiones masivas de entrenamiento sobre los conceptos de RCM y el proceso LRCM para los Técnicos, AP’s, Supervisores, Planeadores, Programadores, Analistas y algunos contratistas.

7. BENEFICIOS Y KPI’s

El desarrollo del proyecto LRCM incluye mejoras para el proceso y para el negocio.

BENEFICIOS PARA EL PROCESO

- Integra las órdenes de trabajo con la base del conocimiento y facilita su documentación.
- Actualiza la base del conocimiento basado en los sucesos del día a día.
- Facilita los análisis de fallas.
- Suministra información confiable para análisis de confiabilidad y de desempeño.
- Integra las personas de los diferentes procesos.

BENEFICIOS PARA EL NEGOCIO

- Mejora en costos de reparación por mejoramiento de vida media y menor costo de los repuestos.
- Mejora y sostenimiento de la confiabilidad de los equipos, reflejadas en mejor disponibilidad.
- Soporta la toma de decisiones en las acciones de mantenimiento.

KPI's

Indicadores de Proceso

- Bases de conocimiento incluidas.
- Relaciones efectuadas entre las Bases de Conocimiento RCM y las OT's.
- Nuevos Modos de Falla incluidos en las Bases de Conocimiento RCM.
- Mejoramiento de la Calidad de la Información.

Indicadores de Resultados

- Tiempo Medio Entre Fallas
- Costo de Reconstrucción de los componentes considerados.
- Vida Media de Componentes Principales.

La figura 10 ilustra cómo después de la implementación LRCM el número de funciones, fallas funcionales y modos de falla fue ajustándose y actualizándose basado en los eventos que realmente ocurrieron en

campo. Esta actualización dinámica permitió analizar las tareas preventivas y/o predictivas para ajustar el plan de mantenimiento según los modos de falla que ocurren en el día a día de mantenimiento. Por esta razón también se define el LRCM como la extensión del RCM clásico a la práctica diaria de mantenimiento

LRCM												
SEGUIMIENTO A ESTADÍSTICAS RCMCost												
FLOTA	FUNCIONES I (F)	FALLAS FUNCIONALES (FF)	No. MODOS DE FALLA I (MF)	F	FF	MF	F	FF	MF	F	FF	MF
Camión 789C	98	153	694	104	162	739	105	164	748	109	171	785
Hit EX3600R	160	234	1075	169	243	1201	170	245	1210	174	249	1257
Cam320	146	193	929	146	193	934	147	195	943			
Camion240	77	113	466	78	114	468	111	165	692	113	171	723
P&H	105	109	453	106	111	452	106	111	469	111	116	560
P&H XPC	170	180	719	171	182	728	173	184	743	174	185	771
TOruga D10T	166	192	795	165	191	794	166	193	803			
MotoNiv 16H	96	128	433	103	138	476	105	140	478	104	139	472
Tanq 777D	116	155	566	118	157	568	122	161	584	124	163	590

Figura 10 – Actualización de la base de conocimiento RCM para la flota piloto

La confiabilidad y disponibilidad de la flota de camiones Cat 789C se ha mejorado y ha logrado mantenerse a lo largo de los últimos meses.

8. Monitoreo de la Calidad de la Información

Durante varios meses de la implementación del proyecto piloto se han visto múltiples beneficios del LRCM. Por ejemplo, se requiere menos tiempo para transferir de manera precisa la información relevante sobre lo que se encontró y lo que se hizo durante la ejecución de las OT's. Los Técnicos comunican al AP la información que deben registrar en BASEMAN y la cual permite a los Analistas de Confiabilidad adelantar AC de calidad. Esta comunicación es la base que fundamenta el buen análisis para la toma de decisiones.

En la figura 11 se muestra el reporte diario de las OT's cerradas el día anterior, el cual es utilizado para monitorear la calidad de la información recopilada por los AP's.

PROYECTO	FECHA DE INICIO	FECHA DE TERMINACION	ESTADO	ENCARGADO	DESCRIPCION	OBJETIVO	RESULTADOS	COMentarios
...
...
...
...
...
...
...
...
...

Figura 11 – Mejoramiento de la Calidad de la Información

En la figura 12 se ilustra la mejora en la calidad de información que se definió como útil para los análisis de confiabilidad.

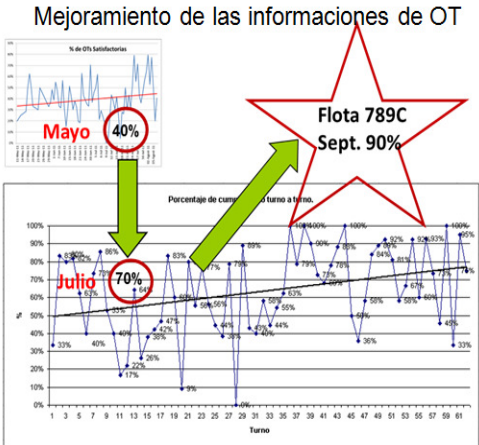


Figura 12 – Mejoramiento de la Calidad de la Información

Esta gráfica resume el porcentaje de OT's con los campos requeridos llenados y diligenciados correctamente. Este monitoreo se continuará haciendo durante la fase de implementación en las demás flotas de equipos mineros, hasta que se logre la estabilización del proceso, estimado en un año.

Conclusiones

Desde el punto de vista técnico, el LRCM reduce la carga de trabajo en la documentación de las órdenes de trabajo y establece el marco filosófico y el entrenamiento necesario para la adquisición de los datos correctos. Este nuevo método discrimina entre la información necesaria y los detalles innecesarios.

El LRCM es un proceso fundamental en mantenimiento para mantener actualizada la información y soportar eficientemente la toma de decisiones.

El enfoque humano de los procedimientos LRCM permite facilitar el cambio cultural con respecto a la gestión de la información.

9. Referencias Bibliográficas

Gerardo Arturo Vargas Cruz
 Posición: Especialista de Ingeniería de Confiabilidad de Mantenimiento.
 Tel: 312-6230921, (5) 3505890
gerardo.vargas@cerrejoncoal.com
 Contacto: Of. Calle 100 No.19 – 54 Bogotá
 Residencia: Carrera 6 No.14-36 Mushaisa, Albania, Guajira

Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional de Colombia.

Con 29 años de experiencia laboral en Cerrejón en áreas de Entrenamiento, Reconstrucción de Motores, Auditoría, Mantenimiento de Palas Hidráulicas, Facilitador RCM y Especialista de Ingeniería de Confiabilidad de Mantenimiento.