

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)
APLICADO AL SISTEMA DE APERTURA DEL CUCHARON DE LAS PALAS
ELÉCTRICAS P&H MODELO 2800XPC EN LA MINA DEL CERREJÓN**

FERNANDO LÓPEZ MARTÍNEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

**MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM)
APLICADO AL SISTEMA DE APERTURA DEL CUCHARON DE LAS PALAS
ELÉCTRICAS P&H MODELO 2800XPC EN LA MINA DEL CERREJÓN**

FERNANDO LÓPEZ MARTÍNEZ

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: HEBERT PIMIENTA MEJIA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

DEDICATORIA

A Dios, por regalarme la fortaleza y la sabiduría para poder desarrollar y culminar este proyecto.

A mis padres, esposa, hijo y hermanos que son el motor que día a día me motiva a esmerarme por alcanzar nuevas metas. En especial al pequeño Juan Pablo, para que este reto sea digno de su superación.

A mis amigos y colegas por los conocimientos y enseñanzas compartidos.

A Cerrejón por brindarme la oportunidad de pertenecer a tan importante empresa y adquirir hoy día un cumulo de conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

A todos y cada uno de mis familiares por el apoyo y la fortaleza brindada para que pudiese forjar este sueño que hoy culmino.

A todo el equipo de la Superintendencia de Pala Cable de la empresa Carbones del Cerrejón Limited, por su respaldo, confianza y constante colaboración para que hoy día este proyecto fuese una realidad.

Al cuerpo docente de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad Industrial de Santander, por todo el esfuerzo, dedicación y transferencia del conocimiento para que seamos profesionales más competitivos.

Fernando López Martínez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED	17
1.1 HISTORIA	17
1.2 LA MINA	20
1.3 LA VÍA FÉRREA.....	21
1.4 EL PUERTO	22
1.5 PROCESO DE EXTRACCIÓN, CARGUE Y TRANSPORTE DEL CARBÓN	23
1.5.1 Rescate y relocalización de fauna.	24
1.5.2 Deforestación y remoción del suelo.	24
1.5.3 Perforación y voladura.	24
1.5.4 Cargue de material estéril.....	25
1.5.5 Transporte y disposición de material estéril.....	25
1.5.6 Remoción, cargue y transporte de carbón.	25
1.5.7 Trituración y/o apilamiento de carbón	25
1.5.8 Cargue del tren.	26
1.5.9 Estación de descargue en Puerto Bolívar.....	26
1.5.10 Apiladores reclamadores.	26
1.5.11 Embarque del carbón.....	26
1.5.12 Rehabilitación de tierras.....	27
1.6 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO.....	27
1.6.1 Sección palas eléctricas.....	31
1.7 COMPONENTES DEL SISTEMA DE APERTURA DE LA PALA 2800XPC	34
1.7.1 Motor dipper trip.....	34
1.7.2 Poleas.....	35
1.7.3 Cable de apertura.	35

1.7.4 Cadena de apertura.....	35
1.7.5 Barra de apertura.....	35
1.7.6 Caja de shims.....	35
1.7.7 Shims.....	36
1.7.8 Pestillo.....	36
1.7.9 Inserto.....	36
1.8 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	37
1.9 OBJETIVOS.....	39
1.9.1 Objetivo general.....	39
1.9.2 Objetivos específicos	39
2. JUSTIFICACIÓN.....	40
3. ANTECEDENTES.....	45
3.1 MARCO TEÓRICO.....	45
3.2 MARCO CONCEPTUAL.....	49
3.2.1 El Cambiante Mundo del Mantenimiento	49
3.2.2 RCM y Las siete preguntas básicas.....	53
3.2.3 Funciones y parámetros de funcionamiento.	55
3.2.4 Fallas funcionales.....	55
3.2.5 Modos de falla.....	56
3.2.6 Efectos de falla.....	57
3.2.7 Consecuencias de la falla.....	57
3.2.8 Generación del informe de RCM.....	61
4. ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA FLOTA DE PALAS ELÉCTRICA MODELO 2800XPC	63
4.1 ANALISIS DE LOS REPORTES EXTRAÍDOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE EQUIPOS DE CARGUE (BASEMAN).....	63
4.2 HALLAZGOS ENCONTRADOS EN CAMPO	74
4.3 DESARROLLO DEL RCM PALAS DE CABLE MODELO 2800XPC.....	81

5. PROPUESTA DE LA ESTRATEGIA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	86
6. CONCLUSIONES	89
7. RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Equipos para la operación minera	28
Tabla 2. Distribución taller de mantenimiento	30
Tabla 3. Volumen/hora de material estéril removidos por equipos de cargue	40
Tabla 4. Porcentaje de aporte del total producción/hora por equipo.....	41
Tabla 5. Disponibilidad real y puntos perdidos SAP	42
Tabla 6. Confiabilidad real y puntos perdidos SAP	43
Tabla 7. Disponibilidad planeada, real y budget	63
Tabla 8. Horas down SAP enero - agosto 2012.....	65
Tabla 9. Pareto horas down SAP enero - agosto 2012.....	65
Tabla 10. Reporte llamadas por sistemas.....	66
Tabla 11. Llamadas por componentes SAP.....	67
Tabla 12. Llamadas SAP por mes	68
Tabla 13. Llamadas SAP por palas.....	69
Tabla 14. Promedio llamadas SAP	70
Tabla 15. Llamadas por shims meses relevantes	71
Tabla 16. Promedio llamadas SAP PH 22	72
Tabla 17. Promedio llamadas por componentes SAP PH 22.....	74
Tabla 18. Análisis de función y modos de fallas palas eléctricas 2800XPC	81
Tabla 19. Análisis función y modos de fallas palas eléctricas 2800XPC	82
Tabla 20. Análisis función y modos de falla palas eléctricas 2800XPC	83
Tabla 21. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas palas 2800XPC.....	84
Tabla 22. Evaluación de consecuencias y tareas propuesta en las palas 2800XPC	85

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Desarrollo de la operación minera en el Cerrejón	17
Ilustración 2. Organigrama de la empresa	19
Ilustración 3. Zona de extracción del carbón	20
Ilustración 4. Volumen estéril y carbón por tajos.....	21
Ilustración 5. Ferrocarril para el transporte del mineral.....	21
Ilustración 6. Cargador lineal para el cargue de los barcos	22
Ilustración 7. Ubicación geográfica de la mina Cerrejón	23
Ilustración 8. Proceso productivo del carbón en el Cerrejón.....	24
Ilustración 9. Proceso productivo del carbón	25
Ilustración 10. Taller de mantenimiento de equipo minero.....	29
Ilustración 11. Distribución áreas taller de mantenimiento.....	30
Ilustración 12. Vista aérea del taller de mantenimiento de Cerrejón	31
Ilustración 13. Pala eléctrica modelo 2800XPC	32
Ilustración 14. Componente del sistema de apertura.....	34
Ilustración 15. Caja de shims.....	36
Ilustración 16. Inserto y pestillo de la tapa	37
Ilustración 17. Porcentaje remoción volumen/hora estéril por flota.....	41
Ilustración 18. Porcentaje remoción estéril por equipo - flota	41
Ilustración 19. Disponibilidad real y puntos perdidos SAP	43
Ilustración 20. Confiabilidad real y puntos perdidos SAP	44
Ilustración 21. Pareto sistema apertura palas 2800XP	45
Ilustración 22. Túnel del pestillo pala 2800XP	47
Ilustración 23. Placa de desgaste del pestillo	48
Ilustración 24. Retenedor del pestillo	49
Ilustración 25. Patrones de falla.....	51
Ilustración 26. Expectativas de mantenimiento	52

Ilustración 27. Técnicas de mantenimiento	53
Ilustración 28. Diagrama de flujo del proceso RCM	54
Ilustración 29. Diagrama de decisión del proceso RCM	62
Ilustración 30. Budget, disponibilidad real y planeada	64
Ilustración 31. Reporte de fallas.....	64
Ilustración 32. Horas down SAP enero - agosto 2012	65
Ilustración 33. Horas down meses relevantes	66
Ilustración 34. Reportes down por sistemas de la pala.....	67
Ilustración 35. Reportes SAP por componentes	68
Ilustración 36. Reporte llamadas SAP meses relevantes	69
Ilustración 37. Reporte llamadas palas más afectadas SAP.....	70
Ilustración 38. Reporte llamadas SAP por componentes PH 21	71
Ilustración 39. Llamadas por componentes SAP PH 21	72
Ilustración 40. Reporte por componentes SAP PH 22	73
Ilustración 41. Reporte por componente SAP PH 22 por mes	74
Ilustración 42. Retenedor de la barra de apertura desgastado	75
Ilustración 43. Pestillo desgastado.....	75
Ilustración 44. Cucharón sin inserto.....	76
Ilustración 45. Inserto desgastado	76
Ilustración 46. Barra agrietada por fatiga	77
Ilustración 47. Barra rota por fatiga.....	77
Ilustración 48. Inserto desmontado por desgaste	78
Ilustración 49. Cadena larga, genera apertura del balde	78
Ilustración 50. Reparación en campo túnel del pestillo	79
Ilustración 51. Espacio superior caja de shims	79
Ilustración 52. Reparaciones hechas en campo barra de apertura.....	80
Ilustración 53. Caja de shims caída, por falta de soldadura.....	80

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Hoja de información RCM	93
Anexo B. Hoja de decisión RCM.....	95
Anexo C. Procedimiento instalación y extracción de shims	96
Anexo D. Hoja de inspección pre operacional para entrenamiento operadores	99
Anexo E. Dimensiones del inserto modificado para reducir espacio con el pestillo	102

RESUMEN

TITULO: MODELO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) APLICADO AL SISTEMA DE APERTURA DEL CUCHARON DE LAS PALAS ELÉCTRICAS P&H MODELO 2800 XPC EN LA MINA DEL CERREJÓN*

AUTOR: FERNANDO LÓPEZ MARTÍNEZ**

PALABRAS CLAVES: RCM, disponibilidad, confiabilidad, lucro cesante, shims.

DESCRIPCIÓN: El presente trabajo tiene por objeto elaborar un plan de mantenimiento aplicado al sistema de apertura de la tapa del cucharon de las palas de cable eléctrica modelo 2800XPC en la empresa Carbones del Cerrejón Limited. De los diferentes sistemas que hacen parte de la pala, este es el que más impacto genera a los indicadores de disponibilidad, confiabilidad de la flota y remoción de volúmenes de estéril, con un total de 1089 llamadas para el período comprendido entre enero y agosto de 2012.

Para el desarrollo del trabajo se analizaron los puntos de disponibilidad, confiabilidad y número de horas pérdidas, por lucro cesante de la máquina, llegando a acumular 838,68 horas down. Se concluyó que el componente shims es el de mayor impacto y presenta más llamadas para ajustar en las palas 21 y 22.

Estas máquinas tienen la capacidad de cargar 17 camiones de 320 toneladas de material estéril en una hora, teniendo en cuenta que la relación de descapote de estéril – carbón en la mina del Cerrejón es de 7:1 respectivamente, significa que se han dejado de extraer 651.774 toneladas de carbón, vendidas a precio de hoy US\$86 por toneladas, indica que la empresa ha dejado de recibir US\$ 56.052.564.

Finalmente se realiza un RCM a los componentes del sistema de apertura y se elabora un plan de mantenimiento para minimizar el impacto generado por este sistema.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Hebert Pimienta Mejía, Ingeniero Mecánico.

SUMMARY

TITLE: MODEL RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE (RCM) APPLIED TO DIPPER OPENING SYSTEM OF P&H ELECTRIC SHOVELS MODEL 2800XPC IN CERREJON COAL MINE* .

AUTHOR: FERNANDO LÓPEZ MARTÍNEZ**

KEY WORDS: RCM, availability, reliability, lost profits.

DESCRIPTION: This paper aims to develop a maintenance plan applied to the system for opening the lid of the dipper in electric rope shovels model 2800XPC in Cerrejón Coal Company Limited. From the different systems that are part of the shovels, this is the one that generates most impact on the availability indicators, reliability and fleet volumes of sterile removal, with a total of 1089 calls for the period from January to August 2012.

To develop the paper monograph several points of availability, reliability and number of hour's lost, lost profits machine, were analyzed reaching downtime accumulated up to 838.68 hours. It was concluded that the shims component with most impact and has more calls to adjust them shovels E21 and E22.

These machines have the ability to load 17 trucks of 320 tons of waste rock per hour, taking into account that the ratio of sterile overburden – Cerrejón coal mine is 7:1 respectively, it means that 651,774 tons of coal have been lost due to this issue, if the coal were sold at today's price U.S. \$86 per ton this equal to no longer earn U.S. \$56.052.564.

Finally RCM is performed to the dipper opening system components and develops a maintenance plan to minimize the impact generated by this system.

* Monograph

** Faculty of Mechanical Engineering Physics. Specialization in Management Maintenance.
Director: Hebert Pimienta Mejía, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

La empresa Carbones del Cerrejón Limited, adelanta una de las operaciones de exploración, extracción y exportación de carbón a cielo abierto más grande del mundo, a fecha enero de 2012 ha logrado un acumulado de exportación de 495 millones de toneladas de carbón¹.

Recientemente la empresa adquirió diez palas de cable eléctricas modelo 2800XPC como remplazo de las palas modelos 2800XP con más de 135.000 horas de operación únicas en el mundo en alcanzar esta vida útil y con buen nivel de desempeño. A partir del año 2010 se comenzaron a ensamblar los nuevos equipos y actualmente se encuentran en operación 7 de ellas. Los indicadores de disponibilidad y confiabilidad han sido impactados por las numerosas llamadas para reparar el nuevo equipo, generando disminución en la remoción de volúmenes de material estéril, necesarios para la extracción del carbón.

Con el objeto de disminuir los tiempos por imprevistos, se decidió analizar la situación actual de la flota, determinar cual es el sistema que más contribuye con tiempos down de la máquina y realizar un RCM a sus componentes, con el fin de determinar el plan y frecuencia de mantenimiento del equipo.

¹ Informe General de las Operaciones de Cerrejón. Febrero, 2008. p. 8

1. CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED

Carbones del Cerrejón Limited, es una sociedad extranjera con domicilio en Anguilla, Indias Occidentales Británicas, con una sucursal debidamente establecida en Colombia con domicilio en Bogotá. Esta sociedad se denominó inicialmente *International Colombian Resources Corporation* LLC, Intercor hasta el año 2002, cuando absorbió mediante fusión a Carbones del Cerrejón S.A., sociedad colombiana, y en ese mismo acto cambió su razón social por Carbones del Cerrejón LLC, Cerrejón. Posteriormente, en el año 2007, cambió su naturaleza jurídica en Anguilla de Compañía de Responsabilidad Limitada (LLC) a Compañía Internacional de Negocios y, por tanto, su razón social se modificó por Carbones del Cerrejón Limited².

1.1 HISTORIA

Ilustración 1. Desarrollo de la operación minera en el Cerrejón

		1976 - 1980	1981 - 1984	1985 - 1990	1991 - 1994	1995 - 1996	1997 - 1998	1999 - 2001	2002 - 2012	
NORTH ZONE	ExxonMobil 50%							CERREJÓN		
	Carbocol 50%									
SOUTH & CENTRAL ZONE	Comunidad	Domi - Prodeco - Auxini			Prodeco	Glencore	Glencore 50%	Glencore 33.3%	Glencore Anglo y Billiton (33.3%)	Anglo 33.3%
	Oreganal				Carbones del Caribe	Río Tinto		Anglo 33.3%		Billiton 33.3%
										Xstrata 33.3%

Fuente: www.cerrejon.com

En el año de 1975 el gobierno nacional convoca a 17 firmas a participar en la licitación para la explotación del Cerrejón Zona Norte, solo 5 de ellas se presentan

² Informe de Sostenibilidad de Cerrejón. Bogotá, 2008. p. 7.

y solo tres de estas cumplen con los requisitos exigidos: Intercor, filial de Exxon, fue la escogida.

En 1976 Carbones de Colombia S.A. (Carbocol) e Intercor, después de un concurso internacional, firmaron en diciembre un acuerdo de asociación por 33 años para explotar las reservas carboníferas del Cerrejón Zona Norte. En 1999 se firmó un acuerdo con el estado colombiano para extender la última etapa a 25 años más, hasta 2034.

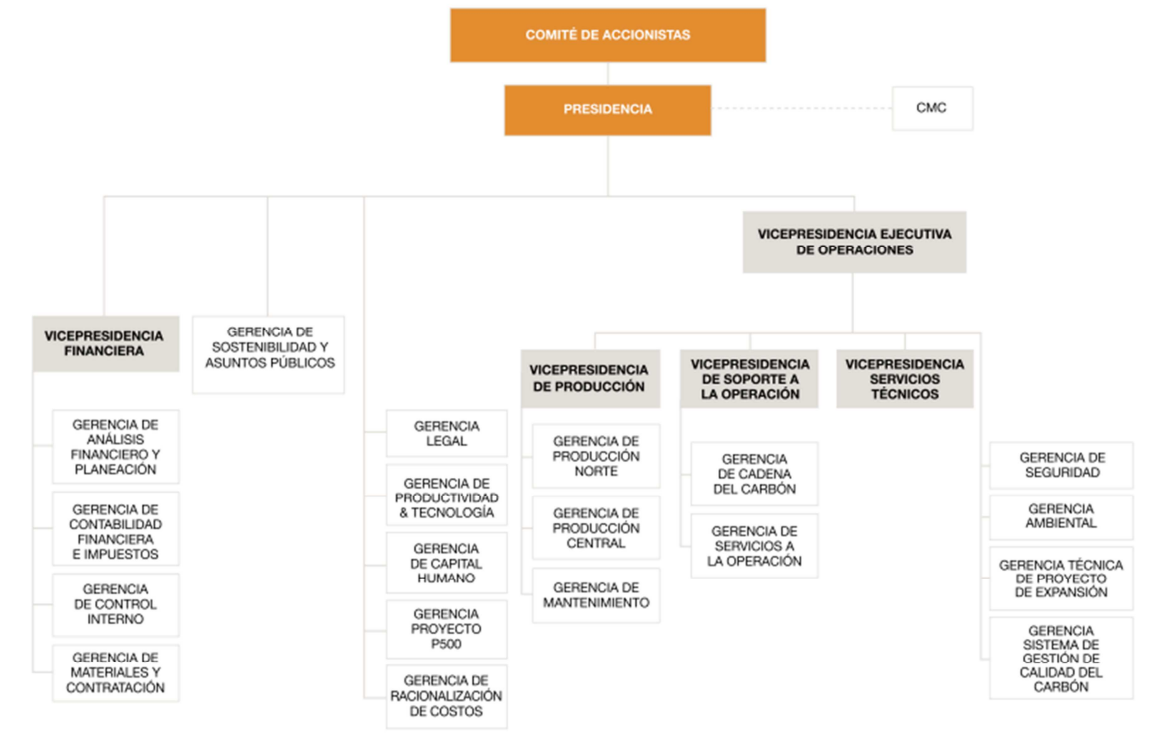
2000 – 2001 Se inauguró la ampliación de la infraestructura del complejo. Se vendió la participación de Carbocol en el Cerrejón Zona Norte (50%), al consorcio integrado por dos subsidiarias de Billiton Company, una subsidiaria de Anglo American y una subsidiaria de Glencore que conforman la Sociedad Cerrejón Zona Norte S.A.

En febrero de 2002 subsidiarias de Anglo American, BHP Billiton y Glencore adquirieron el 50% restante de Cerrejón Zona Norte, mediante la compra de la participación de Exxon Mobil en Intercor, convirtiéndose así en dueños únicos por parte iguales de Carbones del Cerrejón Limited.

En el año 2006 Glencore vende su participación a la empresa europea Xstrata plc, cuya subsidiaria son actualmente propietarias de Carbones del Cerrejón Limited junto con subsidiarias de BHP Billiton y Anglo American³.

³ Historia de Cerrejón. Colombia, 2012. <http://www.cerrejon.com/nuestraempresa/historia>

Ilustración 2. Organigrama de la empresa



Fuente: Informe de sostenibilidad 2008

Cerrejón adelanta una de las operaciones de minería de carbón de exportación a cielo abierto más grande del mundo, la cual está dedicada a la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón térmico de diversa calidad en razón de su poder calorífico, del tamaño máximo nominal de partícula o de su contenido de azufre. Operando únicamente en Colombia, Cerrejón abastece el sector de generación de energía eléctrica en los países a los que exporta y los clientes objetivos son de tipo industrial. El complejo minero está ubicado en la península de La Guajira, en el nordeste de Colombia.

1.2 LA MINA

Ilustración 3. Zona de extracción del carbón



Fuente: www.cerrejon.com

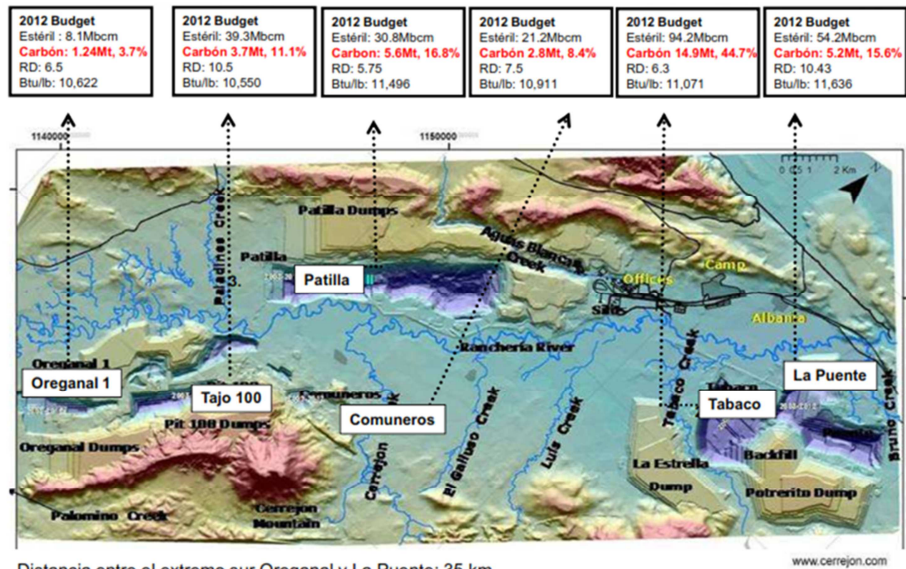
La explotación minera se encuentra distribuida en una extensión de 69.000 hectáreas, sectorizada en cinco áreas designadas así: Zona Norte, Patilla, Oreganal, Zona Sur y el área de la propiedad privada de La Comunidad de El Cerrejón. Esta se extiende a lo largo de 50 kilómetros del Río Ranchería, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá, con recursos probados cercanos a 2.140 millones de toneladas hasta una profundidad de 300 metros y reservas recuperables de 930 millones de toneladas de carbón⁴.

La operación inicia con la remoción de la capa vegetal que se almacena para la futura rehabilitación de las tierras intervenidas, continua el descapote del subsuelo y posterior extracción de los mantos de carbón que son transportados en camiones de 240 toneladas hasta las pilas de almacenamiento y de allí a las trituradoras que luego a través de bandas transportadoras lo llevan hasta los silos

⁴ Informe de Sostenibilidad de Cerrejón. Bogotá, 2008. p.5.

que cargan el tren, para luego llevarlo hasta Puerto Bolívar y finalmente depositarlo en las embarcaciones.

Ilustración 4. Volumen estéril y carbón por tajos



Fuente: www.cerrejon.com

1.3 LA VÍA FÉRREA

Ilustración 5. Ferrocarril para el transporte del mineral



Fuente: www.cerrejon.com

Cerrejón cuenta con una vía férrea de 150 kilómetros que conecta La Mina con el Puerto de embarque de carbón. Mediante un proceso continuo y automático se cargan en los silos trenes de hasta 130 vagones y se despachan diariamente entre ocho y diez. Cada tren transporta aproximadamente 12 mil toneladas de carbón en cada recorrido. El ciclo completo promedio de cargue, transporte, descargue en el puerto y regreso a La Mina es de aproximadamente 12 horas. Adicionalmente, opera un tren de servicio para el transporte de suministros, materiales y repuestos. Un Control de Tráfico Centralizado controla desde La Mina la circulación de los trenes sobre la vía⁵.

1.4 EL PUERTO

Localizado sobre el Mar Caribe, a 150 Km al norte de La Mina, está ubicado Puerto Bolívar. Se sitúa sobre la cabeza sur de la Bahía de Portete, a 75 Km al norte de Uribia y a 166 Km de Riohacha en el Departamento de La Guajira, en un área de baja pluviosidad y vientos permanentes, considerado el puerto más grande de Colombia.

Ilustración 6. Cargador lineal para el cargue de los barcos



Fuente: www.cerrejón.com

⁵ Informe de Sostenibilidad de Cerrejón. Bogotá, 2008. p.5.

El puerto recibe barcos hasta de 180.000 toneladas de peso muerto, con 300 metros de eslora y 45 de manga. Su canal navegable tiene 19 metros de profundidad, 225 de ancho y cuatro kilómetros de largo.

Desde sus inicios, se realiza el cargue directo a los buques, mitigando los impactos ambientales. Las instalaciones principales del puerto son: la estación de descargue del tren, tres apiladores - recolectores y el cargador lineal de barcos que deposita el carbón en las bodegas de los buques⁶.

Ilustración 7. Ubicación geográfica de la mina Cerrejón



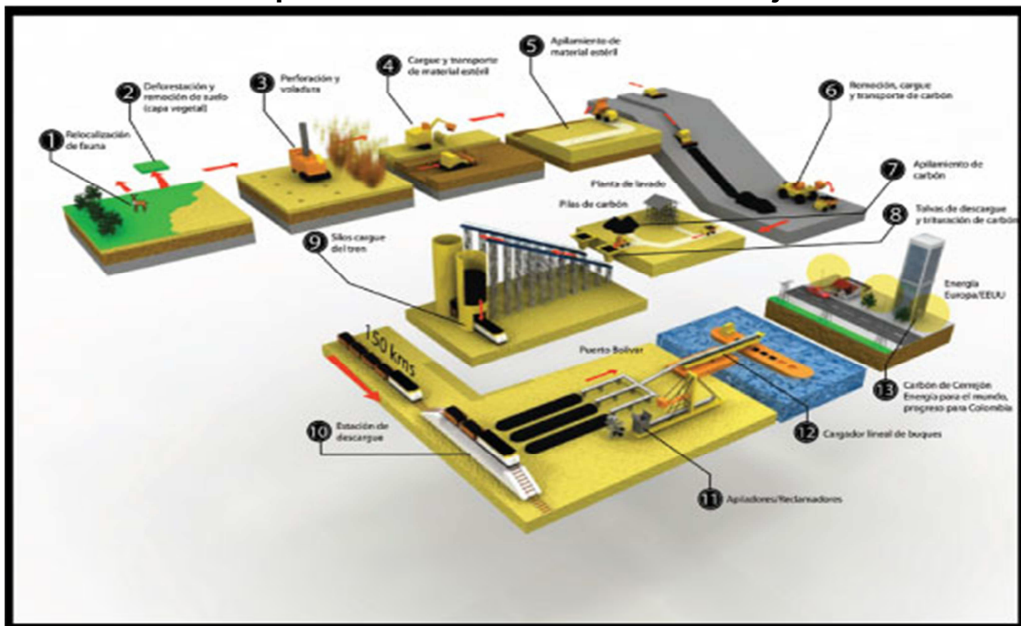
Fuente: www.cerrejón.com

1.5 PROCESO DE EXTRACCIÓN, CARGUE Y TRANSPORTE DEL CARBÓN

El carbón es un valioso y abundante recurso natural que cumple un importante papel en la vida cotidiana; es una de las principales fuentes para la producción de energía eléctrica. Como fósil natural, el carbón ha sido el primer combustible mineral que la humanidad comenzó a explotar industrialmente.

⁶ Localización de Cerrejón. http://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_Bol

Ilustración 8. Proceso productivo del carbón en el Cerrejón



Fuente: www.cerrejón.com

1.5.1 Rescate y relocalización de fauna. Se hace un inventario de los ejemplares de fauna más vulnerables presentes en las áreas a intervenir, se les rescata y se relocalizan en áreas evaluadas y aprobadas como sitios de recepción.

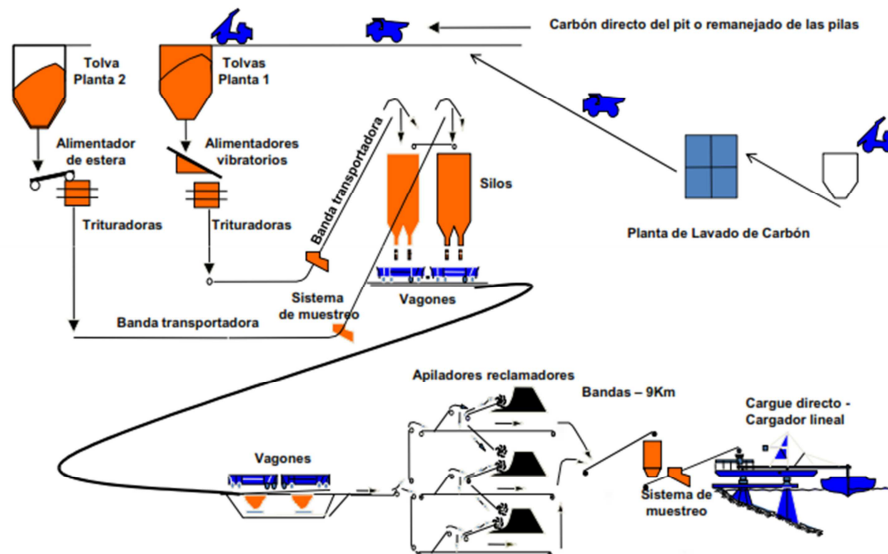
1.5.2 Deforestación y remoción del suelo. Se extrae la madera aprovechable y se derriba la vegetación arbórea remanente, se remueve y preserva en bancos de acopio las capas o materiales de suelo aptos para posterior rehabilitación de las tierras intervenidas.

1.5.3 Perforación y voladura. Los taladros perforan los pozos que serán cargados con agente de voladura para luego realizar la fragmentación del material estéril. Diariamente se realizan detonaciones de acuerdo al avance del plan minero.

1.5.4 Cargue de material estéril. Palas hidráulicas y eléctricas realizan el cargue de material en camiones de 320 o 240 toneladas, hasta dejar expuestos los mantos de carbón.

1.5.5 Transporte y disposición de material estéril. Una vez cargados los camiones de 320 o 240 toneladas con material estéril, son dirigidos hacia los botaderos para su disposición final formando montañas que luego serán rehabilitadas con vegetación.

Ilustración 9. Proceso productivo del carbón



Fuente: www.cerrejon.com

1.5.6 Remoción, cargue y transporte de carbón. Cargadores frontales y palas hidráulicas entran a cargar el carbón, el cual es transportado en camiones de 190 toneladas hacia el área de las pilas o hacia las trituradoras.

1.5.7 Trituración y/o apilamiento de carbón. El carbón debe triturarse hasta quedar pulverizado para facilitar su combustión, en algunas ocasiones la fragmentación por acción de la voladura no es tan lesiva y debe procesarse en la

planta de trituración, luego es apilado para esperar a ser cargado en el tren a través de los silos.

1.5.8 Cargue del tren. El carbón es cargado automáticamente en los vagones cuando el tren pasa por debajo de los silos. Para reducir las emisiones de polvo durante su transporte, la carga es previamente nivelada, humectada y compactada.

1.5.9 Estación de descargue en Puerto Bolívar. El carbón llega al puerto en el ferrocarril traído desde La Mina, en Puerto Bolívar inicia el proceso en la estación de descarga operada automáticamente y monitoreada por personal calificado, se define si el mineral va hacia una de las tres apiladoras o a la carga directa del buque, esta última se realiza casi permanentemente para aumentar la productividad del cargue el mineral y evitar su auto combustión por apilamiento, además de la gran demanda de cuidado que requiere mantenerlo almacenado y controlado.

1.5.10 Apiladores reclamadores. Se encargan de recibir el carbón proveniente del tren y de apilarlo para su almacenaje a una tasa de 7200 toneladas por hora, el carbón puede distribuirse en 3 patios con capacidad de almacenar 750.000 toneladas, la separación en pilas depende de la calidad solicitada por el cliente y la permanencia en los patios, además de prevenir un sobrecalentamiento y auto combustión.

1.5.11 Embarque del carbón. El mineral es llevado desde las pilas a través de bandas transportadoras totalmente cubiertas hasta el cargador lineal, quien lo deposita al interior de los buques evitando así, contaminar el medio ambiente por partículas de carbón.

1.5.12 Rehabilitación de tierras. Sobre la superficie de los botaderos de estéril ó áreas de retro llenado liberados por la minería, se conforma y estabiliza un nuevo suelo, con el objeto de construir en unos pocos años, bosques similares a los existentes en los alrededores de la minería.

1.6 DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

El departamento de mantenimiento es considerado de gran magnitud, ya que es el responsable del cuidado de una variedad de flotas numerosas al servicio de la operación minera, la cual asciende a un total de 458 equipos entre los que se encuentran: Palas eléctricas e Hidráulicas, Tractores de oruga y de llantas, Motoniveladoras, Camiones de acarreo, entre otros⁷.

A fecha Enero del 2012 se ha alcanzado un acumulado de exportación de 495 millones de toneladas y Cerrejón se encuentra ubicada entre las diez empresas más grandes del país.

Con la ayuda de todos estos equipos se deben remover para este año 248 millones de metros cúbicos banco (BCM) de material estéril y transportarlo hasta los sitios establecidos para su disposición final y posterior rehabilitación de tierras.

Además, extraer 33,3 millones de toneladas de carbón, transportarlas hasta las plantas de silos, para luego ser depositadas en el tren y llevarlas finalmente al puerto para realizar el cargue de los buques.

⁷ Revista Mundo Cerrejón. 2008. Edición 56. p.34.

Tabla 1. Equipos para la operación minera

FLOTAS	MARCA	MODELO	CANTIDAD	CAPACIDAD DE CARGA
CARGUE MATERIAL ESTERIL m³				
Palas Eléctricas de Cable	P&H	2800XP	4	27,5
	P&H	2800XPC	8	34
Palas Hidráulicas Eléctricas	Komatsu	PC8000	6	42
Palas Hidráulicas Diesel	Hitachi	EX5500	5	27
Retroexcavadoras Hidráulicas Diesel	Hitachi	EX3600	3	23
	Komatsu	PC4000	5	23
	O&K	RH340B	1	32
CARGUE DE CARBÓN y³				
Cargadores Frontales Marathon	Le Tourneau	L1100	3	17
	Le Tourneau	L1350	8	30
ACARREO				
Camiones	Caterpillar	793D	94	94 BCM
	Caterpillar	789C	40	180 Ton
	Hitachi	EH5000	121	126 BCM
MANTENIMIENTO DE VIAS Y REFORESTACIÓN DE TIERRAS				
Tractores de Oruga	Caterpillar	D11R/T	16	
	Caterpillar	D10N/R/T	24	
	Caterpillar	D9L/T	20	
	Caterpillar	D9L	2	
	Caterpillar	D6H	1	
	Caterpillar	D8T	5	
Tractores de Llantas	Caterpillar	834B/G/H	19	
	Caterpillar	854G	11	
Traíllas	Caterpillar	631E	7	
	Caterpillar	651E	3	
Motoniveladoras	Caterpillar	16G/H/M	25	
	Caterpillar	24M	3	
	Caterpillar	16H	1	
CONTROL DE POLVO EN VÍAS DE ACARREO				
Tanqueros de Agua	Caterpillar		23	20K Galones

Fuente: VARGAS, Gerardo. Mantenimiento centrado en confiabilidad viviente

La colosal operación de mantenimiento de los equipos sobre llantas y oruga en Cerrejón, cuenta con un área de 26.000 m², 1.187 trabajadores directos y cerca de 1.000 contratistas que son los responsables de que el equipo de producción minera se encuentre en óptimas condiciones, para así garantizar el normal y eficiente desempeño de la actividad en el complejo carbonífero.

Ilustración 10. Taller de mantenimiento de equipo minero



Fuente: www.cerrejón.com

Son en total 42 hangares, 23 de ellos con un área total de 8.200m², donde reciben atención las flotas de camiones y de cargadores. Una segunda zona con 2.800 m² conforman el área para los equipos auxiliares y los casi 15.000 m² restantes son utilizados en las áreas de soldadura y de reconstrucción de componentes⁸.

El mantenimiento a los equipos de carga debe realizarse en el campo de trabajo, es decir, en áreas de mina. Debido a la magnitud de su tamaño y peso no es productivo trasladarlos hasta los hangares, puesto que implica demasiado tiempo y recursos. Para hacer una ilustración, las palas eléctricas P&H 2800XPC miden 19 metros de altura medidos desde el piso de trabajo hasta la punta del boom que es el punto más alto, pesan aproximadamente 1200 toneladas y su velocidad de traslado es relativamente baja entre 5 y 10 Km/hora. Por ello la intervención, se realiza en su sitio de trabajo para lo cual se dispone un área nivelada libre de circulación de equipos mineros y voladuras, hasta el lugar se trasladan equipos de soporte y personal técnico calificado.

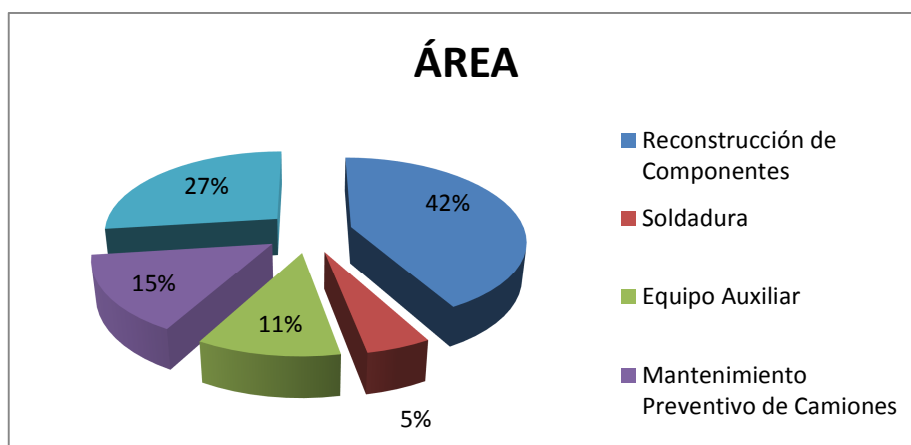
⁸ Revista Mundo Cerrejón. 2008. Edición 56. p.35.

Tabla 2. Distribución taller de mantenimiento

TALLER	ÁREA
Reconstrucción de Componentes	42%
Soldadura	5%
Equipo Auxiliar	11%
Mantenimiento Preventivo de Camiones	15%
Camiones	27%

Fuente: Revista Mundo Cerrejón. Edición 56

Ilustración 11. Distribución áreas taller de mantenimiento



Fuente: Revista Mundo Cerrejón. Edición 56

Por la complejidad, la ubicación geográfica y las características de la operación minera las labores de mantenimiento han estado siempre integradas al desarrollo de la misma de sus inicios. La demanda de este departamento crece a medida que lo hace la producción de volúmenes de estéril y carbón, al igual que otros procesos, existen diferentes tipos de tareas de mantenimiento que se realizan a las flotas de equipos (preventivo, correctivo, predictivo y proactivo). Cada una de las actividades esta garantizada con personal y equipos de ultima tecnología para que la mina que opera las 24 horas del día y los 364 días del año no sufra ningún contratiempo.

Ilustración 12. Vista aérea del taller de mantenimiento de Cerrejón



Fuente: <http://earth.google.com>

1.6.1 Sección palas eléctricas. La Sección de Palas Eléctricas es una Unidad Autónoma de Servicio (UAS), adscrita a la Superintendencia de Pala Cable quien a su vez reporta a la Gerencia de Mantenimiento. Desde el inicio de la operación minera se encuentra brindando apoyo a la operación, ayudando en la consecución de las metas de remoción de material estéril. Es una de las flotas de cargue más importante y estable dentro del complejo carbonífero del Cerrejón.

Su labor se inicia en el período comprendido entre 1985 – 1987 cuando se realiza el ensamble de 12 palas eléctricas P&H modelo 2800XP diseñadas inicialmente para 120.000 horas de operación con capacidad de balde de 27.5 m³ y productividad igual a 1280 m³/h. Alcanzado el rango de operación entre 65.000 y 85.000 horas para el período (1997 – 2000) se realiza el primer *overhaul* (reparación estructural) por recomendación de fábrica al cumplir las primeras 60.000 horas de trabajo.

Para el período 2006 – 2008 la flota había alcanzado entre 115.000 y 130.000 horas en la actividad minera, excediendo el tiempo de operación máximo pronosticado por el fabricante, siendo la única flota en el mundo en alcanzar 135.000 horas de trabajo y a la vez ser la única en lograr en varias oportunidades el cumplimiento del plan de disponibilidad anual (*Budget*). Pero dado que las máquinas hasta el momento presentaban resultados favorables a la operación se decide realizar a 9 de ellas un segundo *overhaul*, seleccionando aquellas con menor impacto estructural.

A partir del año 2009 la organización decide renovar la flota progresivamente y realiza la compra de diez palas eléctricas modelo 2800XPC, que se comienzan a ensamblar en el año 2010. A la fecha cuatro de las palas 2800XP aún siguen en la operación.

Ilustración 13. Pala eléctrica modelo 2800XPC



Fuente: Mina cerrejón

Para el período 2010 – 2013 la organización decide reemplazar la flota de palas eléctricas 2800 XP únicas en el mundo en alcanzar más de 135.000 de operación

ofreciendo buen nivel de desempeño, por la flota de palas eléctricas 2800 XPC con capacidad de balde de 34 m³ y con una productividad de 1450 BCM/h⁹.

Las nuevas palas cuentan con mayor potencia y velocidad de trabajo, obteniendo un aumento considerable en los indicadores de productividad dado que cuenta con tecnología de punta: sistema de control Centurión basado en drivers, conexiones a través de fibra óptica, comunicación Profibus y Ethernet. A la fecha cuatro de las palas 2800XP aún siguen en la operación.

Debido a que el equipo es relativamente nuevo en la actividad en sus inicios se contó con poca información acerca de sus modos de falla y mantenimiento preventivo, tras aproximadamente tres años de operación e ingreso gradual de las otras palas, en promedio tres por año, se han ido recopilando datos acerca de su comportamiento y se han tomado algunos correctivos, aunque los indicadores de gestión muestran opciones de mejora a fin de garantizar resultados eficaces y eficiente.

En las palas 2800 XP se ganó un terreno importante puesto que muchos de los componentes que hacen parte del sistema de apertura del cucharón se cambian en la parada de mantenimiento, eliminando así un sin número de intervenciones imprevistas, estas tardan mucho más si se tiene en cuenta el tiempo de traslado del equipo técnico y de los equipos de soporte (gruas, camión pto, camión canasta, etc), los cuales hay que solicitar con anterioridad para poder obtener el servicio previo a la parada del equipo y evitar el lucro cesante de la maquina.

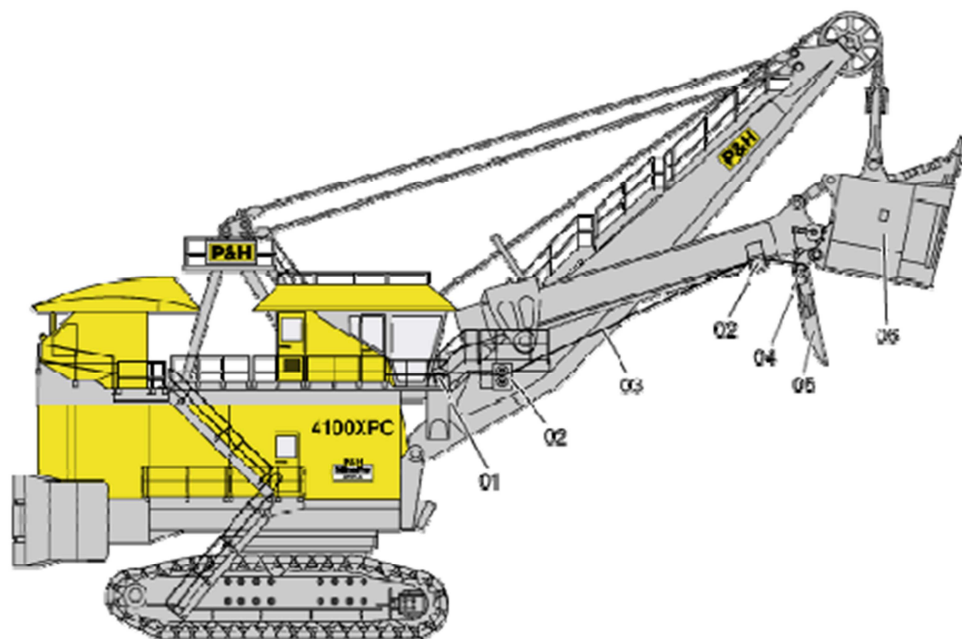
Si se detecta una falla a tiempo o sea falla potencial tenemos un margen para realizar el alistamiento e intervenirla antes de que llegue a la falla funcional, pero el verdadero reto del plan de mantenimiento esta en hacer que la vida de cada uno de los componentes del sistema de apertura alcancen una vida tal que pueda

⁹ P&H. Manual de Sistemas Eléctricos. Milwaukee, 2010. 1090p.

realizarse su cambio en la parada de mantenimiento preventivo, ya que en ese momento se cuenta con muchos recursos.

1.7 COMPONENTES DEL SISTEMA DE APERTURA DE LA PALA 2800XPC

Ilustración 14. Componente del sistema de apertura



Fuente: Manual de sistemas eléctricos P&H

1.7.1 Motor dipper trip. Es un motor conmutado electrónicamente para accionar una transmisión de reducción de engranaje compacta y un tambor bobinado, también llamado TripRite. Cuenta con una resistencia pequeña de frenado dinámico, lo cual significa una generación de calor considerablemente inferior. Un drive digital controla las dinámicas del motor y produce una rampa suave con el fin de evitar producir cargas de choque mecánicas repentinas que pueden dañar el cable de apertura. Un freno integral elimina la holgura del cable cuando el operador detiene la pala.

Debido a que el sistema TripRite es digital, el controlador se puede comunicar con otros dispositivos digitales, incluyendo los Controladores de Lógica Programable, ó PLC, y las pantallas sensibles al tacto para mejorar el funcionamiento en general.

La capacidad de registro de datos avanzada proporciona un acceso expedito a la información del Drive y agiliza el proceso de diagnóstico de fallas.

1.7.2 Poleas. Son una especie de rueda guía para el cable de apertura, ayudan a mantener el cable centrado, para que el enrollamiento en el motor sea el adecuado, además de garantizar el alineamiento con el péndulo para su correcta operación.

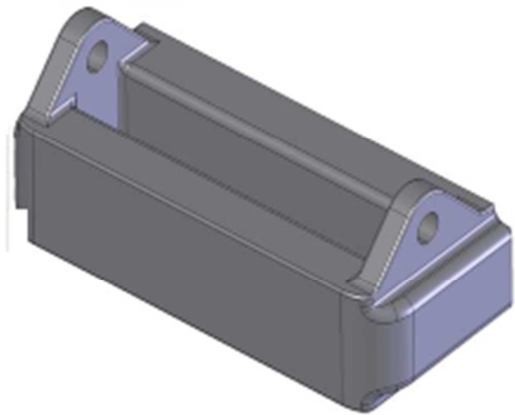
1.7.3 Cable de apertura. Este es un cable acerado, que se acopla al tambor del motor dipper trip y se ancla al péndulo, pasando por las poleas guías. Su función es transmitir la fuerza ejercida por el motor hacia el péndulo, una vez el operador acciona el botón de apertura el motor enrolla el cable y tira del péndulo.

1.7.4 Cadena de apertura. Constituida por varios eslabones de hierro, se acopla al péndulo a través de un grillete al igual que a la barra de apertura. Se encarga de transmitir la fuerza proveniente del péndulo y canalizarla hacia la barra de apertura.

1.7.5 Barra de apertura. Es una barra de metal ubicada horizontalmente sobre la tapa del cucharón y apoyada en su extremo sobre la caja de shims cuenta con dos lóbulos inferior y superior, hacen contacto con el pestillo para levantarlo y abrir la tapa.

1.7.6 Caja de shims. Es un alojamiento donde se guardan los shims para realizar la calibración de la altura del pestillo y establecer la longitud de contacto entre este y el inserto.

Ilustración 15. Caja de shims



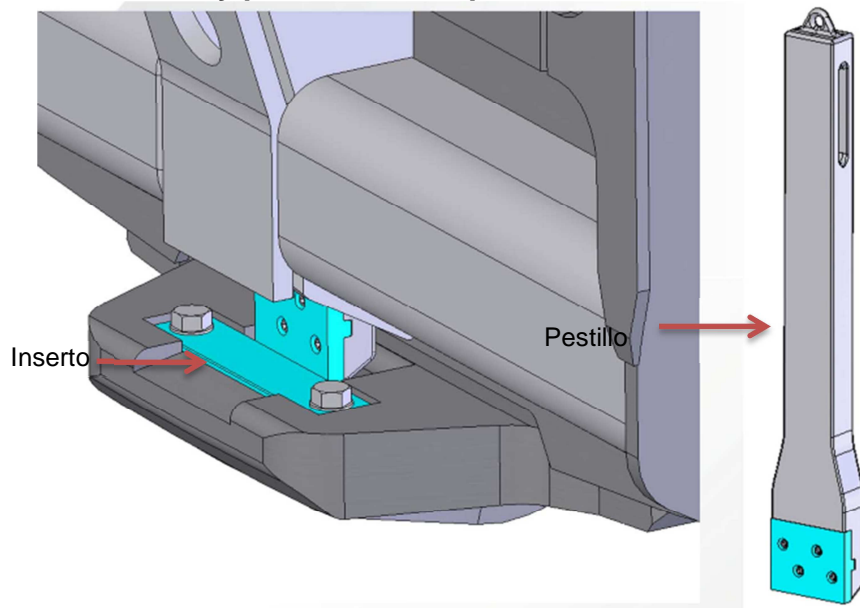
Fuente: Mincom linkone P&H

1.7.7 Shims. Son unas cuñas metálicas que se instalan en la parte baja y alta de la caja de shims para regular la altura del pestillo, tienen forma en Y, se aseguran con tornillo que las fija para evitar su expulsión por parte de la barra.

1.7.8 Pestillo. Es un pasador largo metálico montado sobre la tapa, se desliza a través de un túnel que en su parte baja consta de una placa de respaldo y una placa de desgaste, que con la ayuda del retenedor superior o “C” del pestillo ayudan a mantener el pestillo centrado.

1.7.9 Inserto. Es una barra gruesa ubicada en la parte inferior del cucharón, es el seguro del pestillo e impide que la tapa se abra cuando este se desgasta. El pestillo debe descender para mejorar el contacto, que debe ser de 1” a 3/4”. Cuando el desgaste llega al límite este puede ser cambiado quitando dos tornillos que posee en su parte inferior.

Ilustración 16. Inserto y pestillo de la tapa



Fuente: Mincom linkone P&H

1.8 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las Palas de Cables Eléctricas modelo 2800XPC marca P&H son equipos mineros utilizados en minas a cielo abierto, y se emplean en la remoción de la capa estéril que cubre los mantos de carbón, su deficiente disponibilidad con respecto al Budget crea impacto en la producción de gran consideración debido a su gran volumen de carga. Su aporte es del 27% de la producción/hora del total de material estéril removidos por los equipos de cargue.

La empresa Carbones del Cerrejón Limited adquirió diez palas de este tipo, de las cuales se encuentran actualmente trabajando siete de ellas, 1 en ensamble y otras dos que están previstas integren la flota en el año 2013, para el remplazo de las 12 palas 2800XP que iniciaron la operación minera hace más de 20 años y que a la fecha se han ido dando de baja con permanencia en la actualidad de solo 4 de ellas que están planeadas para salir del complejo el próximo año.

Estas máquinas son de funcionamiento electromecánico, con capacidad de remoción de 34 metros cúbicos de material estéril (44 yardas cúbicas) 60 toneladas de material estéril aproximadamente, cuentan con un sistema de control Centurión basado en drivers con comunicación Profibus y Ethernet, el cual permite mayor desempeño de la máquina, su potencia de consumo asciende a 2 Mw y su voltaje de alimentación es de 7200 voltios, su productividad promedio es de 1600 BCM's/hora, alcanzando picos de hasta 2000 BCM's/hora de acuerdo al tipo de material removido.

Los continuos reportes y atención por apertura súbita, no abre el balde, ruptura de la barra de apertura, inserto o pestillo desgastado, entre otros, generan múltiples llamadas para reparar, lo que trae consigo baja disponibilidad e inestabilidad en el sistema afectando la confiabilidad del equipo. La integridad operacional de nuestros operadores de camiones se ve seriamente comprometida, puesto que al abrirse la tapa del balde sin control, puede descargar material incontroladamente levantando abruptamente la tolva del camión o golpeándola con la tapa del cucharón de la pala, afectando la salud de los operadores.

En procura de obtener mejores resultados en materia de disponibilidad, confiabilidad y seguridad operacional se hace necesario el diseño de un modelo de mantenimiento aplicado al sistema de apertura del cucharón de las Palas Eléctricas de Cable modelo 2800XPC, que garantice su óptimo funcionamiento. Por lo tanto se opta por aplicar una estrategia de mantenimiento basado en la filosofía del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).

1.9 OBJETIVOS

1.9.1 Objetivo general

Diseñar un plan de mantenimiento aplicado al sistema de apertura del cucharón de las Palas Eléctricas P&H modelo 2800XPC basado en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).

1.9.2 Objetivos específicos

- Evaluar la situación existente del mantenimiento aplicado a la flota de Palas P&H modelo 2800XPC.
- Realizar el análisis funcional y falla funcional de los componentes del sistema de apertura de Palas de Cable 2800XPC.
- Realizar un AMFE de los diferentes sistemas analizados.
- Realizar la selección de las tareas de mantenimiento, utilizando la técnica de Diagrama Lógico de Decisiones de RCM.
- Realizar las rutas de mantenimiento con los intervalos adecuados.

2. JUSTIFICACIÓN

La flota de palas eléctricas 2800XPC está conformada por 7 equipos en operación, actualmente se encuentra en ensamble una pala y 2 más llegarán en el 2013 para unirse al grupo. Una hora de tiempo down de uno de estos equipos equivale al 3,88% de la producción total de los equipos de cargue, de manera que por su capacidad de remoción de volúmenes se considera de gran importancia.

El 81% de la producción total de los equipos de cargue de material estéril por hora, está concentrada en 4 flotas: 2800XPC con 27%, PC8000 aportan el 26%, Hitachi 5500 responden por el 15% y el 13% restante corresponde a las palas 2800XP, como puede observarse las palas materia de estudio deben generar el menor número de fallas para que la operación no sufra bajas en la producción de volúmenes de estéril.

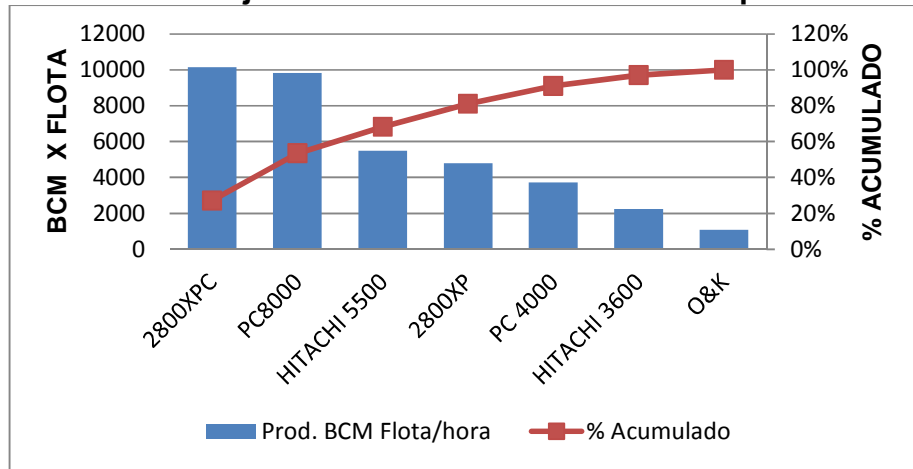
Las palas 2800XPC son líderes en la remoción de material estéril, aunque como flota se ubican en el primer lugar, la importancia por equipo la tienen las PC8000, cada una de estas palas contribuye con el 4,39% de la producción total de los equipos de cargue pues poseen mayor capacidad de carga, en segundo orden se encuentran las palas materia de estudio con un aporte por equipo del 3,88% de la producción total por hora equivalente a 37.323 BCM/hora.

Tabla 3. Volumen/hora de material estéril removidos por equipos de cargue

	2800XPC	PC8000	HITACHI 5500	2800XP	PC4000	HITACHI 3600	O&K
Prod. BCM Flota/Hora	10150	9828	5500	4800	3725	2250	1100
% Acumulado	27%	53%	68%	81%	91%	97%	100%

Fuente: lmnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 17. Porcentaje remoción volumen/hora estéril por flota



Fuente: Imnweb01.cerrejoncoal.com/boproductivo

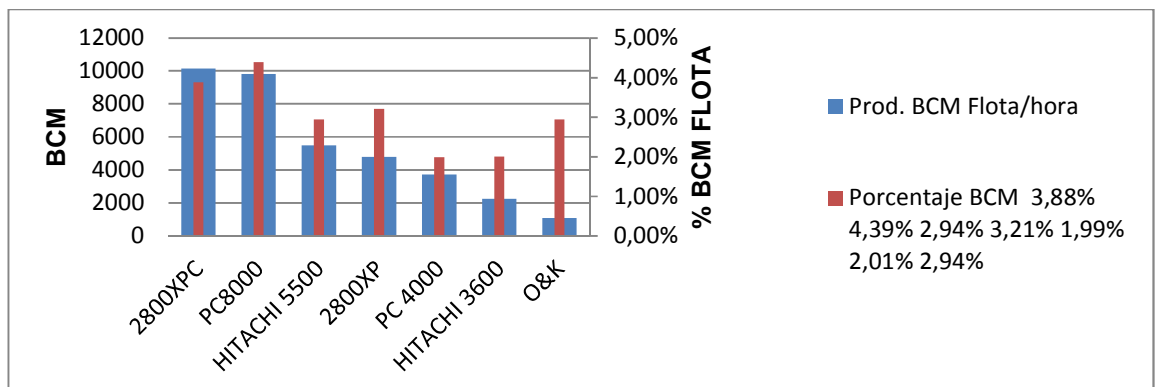
Las flotas 2800XPC y PC800 son las que generan mayor aporte significativo a la remoción de estéril. Aquí se observa la contribución a la meta de volúmenes por equipo.

Tabla 4. Porcentaje de aporte del total producción/hora por equipo

Flota	2800XPC	PC8000	HITACHI 5500	2800XP	PC 4000	HITACHI 3600	O&K
BCM Flota/hora	10150	9828	5500	4800	3725	2250	1100
% BCM	3,88%	4,39%	2,94%	3,21%	1,99%	2,01%	2,94%

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 18. Porcentaje remoción estéril por equipo - flota



Fuente: Imnweb01.cerrejoncoal.com/boproductivo

Debido a la baja disponibilidad y confiabilidad del sistema de apertura del cucharón de las Palas de Cable 2800XPC, generada a causa de los continuos reportes para reparar, se hace necesaria la creación de un plan de mantenimiento a sus componentes, que permita conservar la funcionalidad de estos elementos; optimizando el tiempo de mantenimiento preventivo y la gestión de inventario.

La identificación de dichos componentes y sus modos de falla pretende generar una estrategia que logre evitar la apertura incontrolada de la tapa del cucharón protegiendo al operador del camión de lesiones por impactos en la tolva del equipo, mejorar los tiempos de atención de las fallas, lo que trae consigo menores horas down, por ende mayor confiabilidad y disponibilidad de la pala, lo que a su vez permite la remoción de mayor cantidad de capa estéril y mayor extracción de volumen de carbón, posicionando a Carbones del Cerrejón Limited como un proveedor confiable.

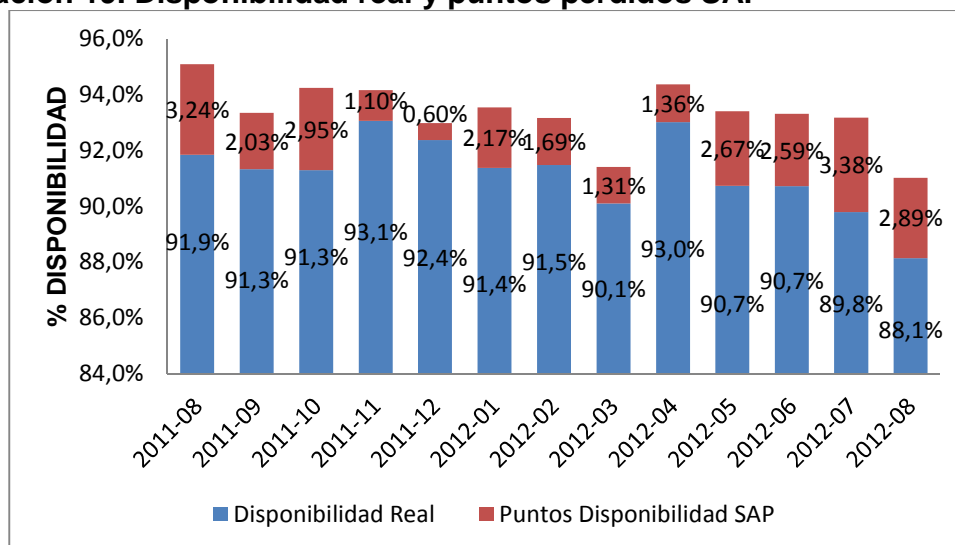
Este año con corte agosto de 2012 hemos acumulado 838,68 horas down y en promedio 2,25% de disponibilidad por concepto del Sistema de Apertura del cucharón. Teniendo en cuenta que una pala 2800XPC carga 17 camiones de 320 toneladas en una hora, se tiene un lucro cesante equivalente a 5440 toneladas de material estéril, haciendo uso de la relación de descapote del suelo, que para el caso de la mina de Carbones del Cerrejón Limited es de 7:1 (estéril vs. Carbón), significa que se han dejado de extraer 651.245 toneladas de carbón, lo que representa el 1,95% de la meta anual fijada en 33,3 millones de toneladas para el año 2012.

Tabla 5. Disponibilidad real y puntos perdidos SAP

	ago-11	sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12
Budget	90,5%	90,5%	90,5%	90,5%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%
Disponibilidad Planeada	88,6%	91,1%	89,5%	91,1%	92,0%	89,1%	90,7%	89,7%	91,0%	89,9%	90,0%	90,6%	89,8%	89,2%
Disponibilidad Real	91,9%	91,3%	91,3%	93,1%	92,4%	91,4%	91,5%	90,1%	93,0%	90,7%	90,7%	89,8%	88,1%	89,9%

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 19. Disponibilidad real y puntos perdidos SAP



Fuente: lmnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

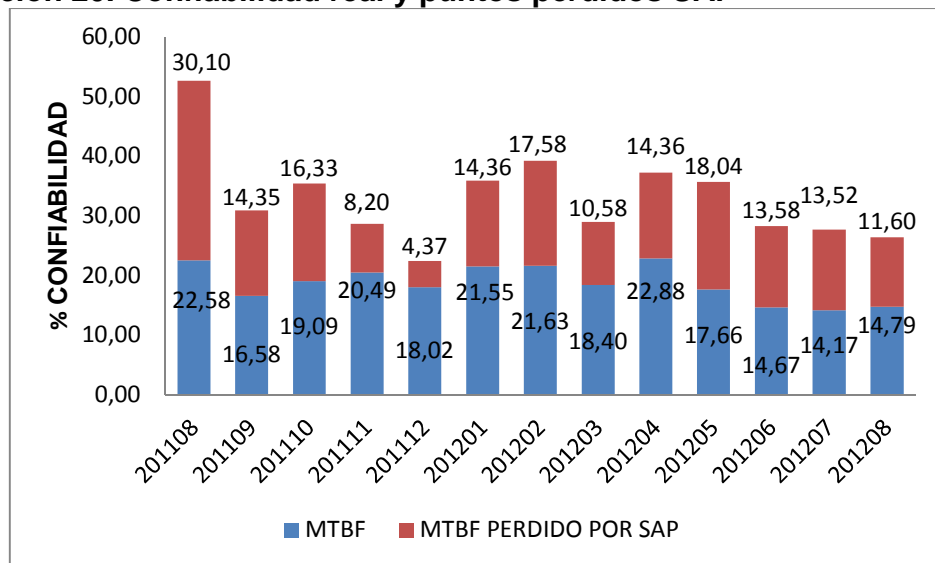
Debido a la inestabilidad del sistema de apertura del cucharón la confiabilidad de la flota a descendido, y se encuentra por debajo de la meta establecida, se han realizado esfuerzos y planes de contingencia para mitigar el tiempo down de la máquina por este concepto, vinculando a los operadores del tractor de llantas que sirven como apoyo a la pala eléctrica en el mantenimiento del piso de trabajo, para que sean quienes realicen la extracción o instalación de los shims para ajustar la apertura o cierre de la tapa del cucharón, previo entrenamiento por parte del equipo técnico de la flota.

Tabla 6. Confiabilidad real y puntos perdidos SAP

Periodo	2011-08	2011-09	2011-10	2011-11	2011-12	2012-01	2012-02	2012-03	2012-04	2012-05	2012-06	2012-07	2012-08
MTBF	22,58	16,58	19,09	20,49	18,02	21,55	21,63	18,4	22,88	17,66	14,67	14,17	14,79
MTBF/SAP	30,1	14,35	16,33	8,2	4,37	14,36	17,58	10,58	14,36	18,04	13,58	13,52	11,6

Fuente: lmnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 20. Confiabilidad real y puntos perdidos SAP



Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Con la ayuda de un plan de mantenimiento aplicado al sistema de apertura, es posible mejorar los puntos de disponibilidad perdidos por este concepto y aumentar la confiabilidad del sistema lo que generaría un mayor aumento de la producción de carbón y crear estabilidad en la operación minera. Con este fin se recurre al diseño de un plan de mantenimiento basado en la filosofía RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad). A la vez que se pretende que el estudio sirva de referencia para implementar las rutinas de acciones y tareas en los demás sistemas de la flota.

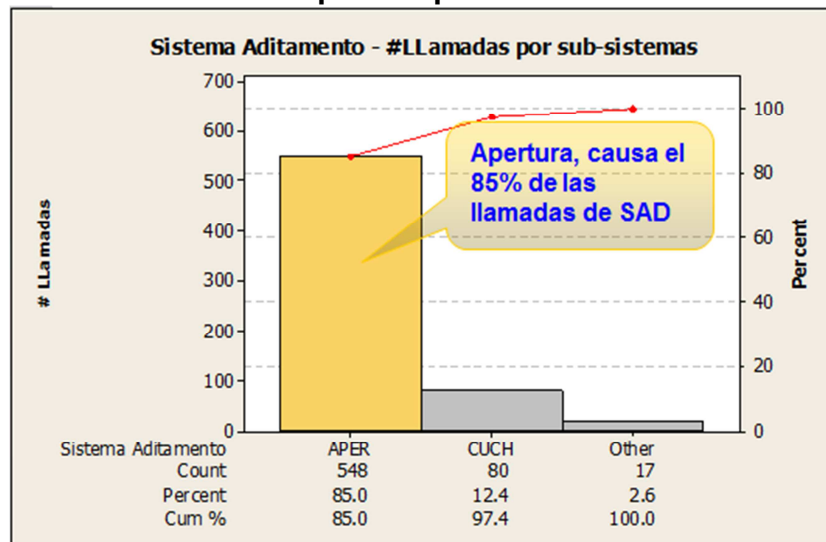
3. ANTECEDENTES

3.1 MARCO TEÓRICO

En el año 2005 la división de mejoramiento de la empresa Carbones del Cerrejón Limited desarrolló un estudio al sistema de apertura de las palas eléctricas 2800XP de similares características a las palas modelo 2800XPC. Dentro de los sistemas que conformaban la pala el sistema de apertura contenido dentro del de aditamento se encontraba dentro de los pocos vitales y decidió incluirse dentro de los planes de mejoramiento de la flota.

La apertura representaba el 85% del sistema de aditamento que correspondía al 5,3% del total de horas down de la flota, su manifestación fue recurrente durante varios períodos¹⁰.

Ilustración 21. Pareto sistema apertura palas 2800XP



Fuente: lmnwebo1.cerrejoncoal.com

¹⁰ Proyecto six sigma división de mejoramiento Cerrejón

El 13% de las llamadas eran causadas por el sistema de aditamento, el 84% de las llamadas de este sistema eran causadas por el sistema de apertura del cucharón. La pérdida de disponibilidad por este concepto era de 0,87 puntos, el plan desarrollado consistió en disminuirla en 0,44 puntos lo que equivalía a 499KBCM.

La confiabilidad Post-seis del sistema de apertura ó primera llamada después del seis ocurre medianamente cada 63 horas y es menor a la línea base de confiabilidad calculada para el año 2005 en 143 horas. El 32% de las llamadas se producen en las primeras 25 horas de operación del equipo y 54% acumulado dentro del rango de 75 horas de trabajo.

La distribución de fallas post-seis por el sistema de apertura es contraria a lo esperado para un proceso de seis efectivo y confiable, para lo cual se recomienda mejorar la calidad y precisión de estándares de mantenimiento y reconstrucción del sistema de apertura, revisar y actualizar estrategia de seguimiento, control y cambio para cada componente y parte del sistema de apertura.

El nivel de conocimiento sobre la función de los componentes de apertura es del orden del 64% que puede considerarse deficiente teniendo en cuenta que un buen nivel deber ser mayor al 80%. Se recomienda mejorar competencias de personal técnico cargue y del taller de soldadura en el sistema de apertura.

Durante el estudio se encontraron defectos en la reparación de componentes y recomiendan algunas acciones, tales como: en el pestillo se debe mejorar su geometría y acabado de leva de izaje al igual que el acabado sub-estándar de la punta y se recomienda fabricar galga patrón para garantizar la reconstrucción de la geometría de leva del pestillo, en cuanto a la barra su geometría y acabado son irregulares, se encontró desalineamiento de los topes de apoyo y falta de amortiguadores inferior y superior.

Pérdida de cushion y placa de desgaste hacen que el pestillo se desalinee y se acelere el deterioro de la condición del tunel y por consiguiente incrementen los reportes por apertura.

Ilustración 22. Túnel del pestillo pala 2800XP



Fuente: lmnwebo1.cerrejoncoal.com

La empresa P&H teniendo en cuenta las múltiples fallas que se han presentado en otras minas realizó un estudio sobre el sistema de apertura entre los que se observan fallas muy similares a las que se han venido presentando en la empresa Cerrejón. Ha encontrado algunos hallazgos que son de importancia para el buen desempeño del sistema en mención.

Actualmente se cuenta con una caja de *shims* pequeña lo que impide que la altura del pestillo pueda graduarse de forma milimétrica.

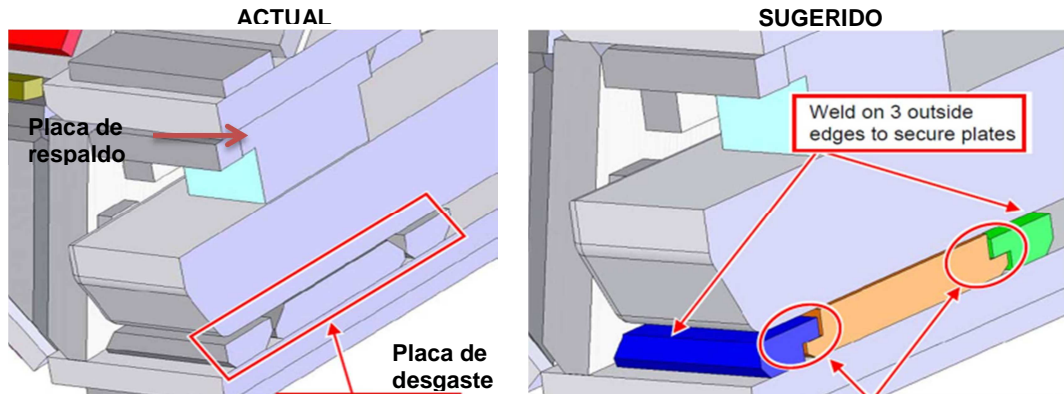
P&H ha diseñado una caja de *shims* más grande con lo cual se pueden hacer mejores ajustes del pestillo ya que en su interior se puede almacenar más cantidad de cuñas para proveer una calibración más ajustada y de esta forma prolongar la vida útil del pestillo, de manera que los cambios puedan hacerse entre

mantenimientos preventivos (paradas largas) y no en tiempo imprevisto puesto que cambiar el pestillo toma un tiempo de 2 horas.

La placa de desgaste en algunas oportunidades pierde el soporte de ella, lo que ocasiona su caída, causando el atascamiento del pestillo, esta placa está ubicada en la parte interna del túnel por donde se desliza el pestillo, lo que dificulta su acceso y por ende, los reportes por este concepto son de larga duración, además que se necesitan otros recursos de soldadura para poder remover las partes atascadas.

Para ello se ha dispuesto de dos soportes en forma de grapa que sujetan la pieza, permitiendo que el pestillo se deslice libremente y la placa no se caiga, lo que representa mayor duración del componente¹¹.

Ilustración 23. Placa de desgaste del pestillo



Fuente: Mincom linkone P&H

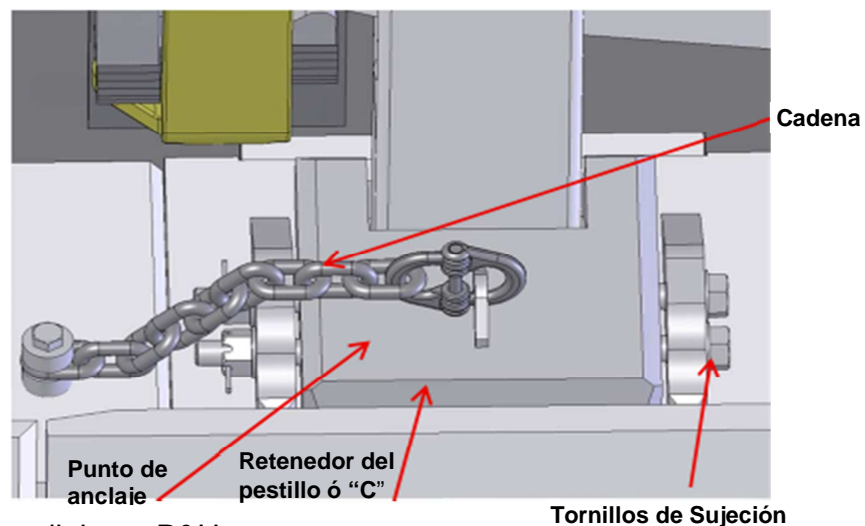
El pestillo además de la placa de respaldo y la placa de desgaste, cuenta con un punto de apoyo superior llamado, retenedor ó “C” del pestillo, usualmente se sujeta o ancla con un solo tornillo lo que permite que este se mueva y se desgaste más rápidamente perdiendo así el pestillo su alineamiento, adicionalmente por el

¹¹ SCHEUERMAN, Adam. Cerrejón Dipper Latch System Initiative. Memorias. La Mina, 2012.

movimiento ejercido el tornillo de sujeción se parte expulsando el retenedor y quedando el pestillo si punto de apoyo superior.

P&H diseño un nuevo retenedor con dos orificios, con el fin de ser sujetado por dos tornillos, esto elimina el juego que se tenía y a las vez distribuye la fuerza ejercida por acción del pestillo en dos puntos de apoyo. Adicionalmente para evitar la pérdida del retenedor en caso de fuertes impactos se diseño una cadena como elemento de anclaje, de manera que en caso de que los tornillos se rompan el retenedor queda colgado de la cadena.

Ilustración 24. Retenedor del pestillo



Fuente: Mincom linkone P&H

3.2 MARCO CONCEPTUAL

3.2.1 El Cambiante Mundo del Mantenimiento

Durante los últimos veinte años, el Mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos (planta,

equipamiento, edificaciones) que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento y sus responsabilidades.

El Mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan a la seguridad y al medio ambiente; conciencia de la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo.

Estos cambios están llevando al límite las actitudes y habilidades en todas las ramas de la industria. El personal de Mantenimiento se ve obligado a adoptar maneras de pensar completamente nuevas, y actuar como ingenieros y como gerentes. Al mismo tiempo las limitaciones de los sistemas de mantenimiento se hacen cada vez mas evidentes, sin importar cuanto se hayan computarizado.

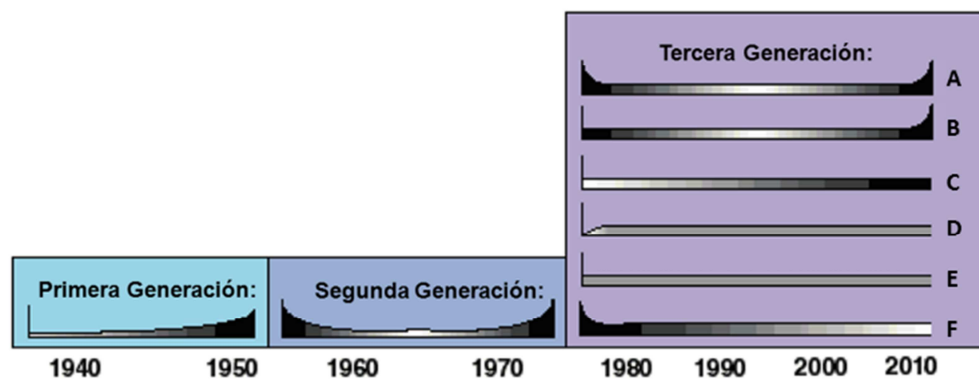
Frente a esta sucesión de grandes cambios, los gerentes en todo el mundo están buscando un nuevo acercamiento al Mantenimiento. Quieren evitar arranques fallidos y callejones sin salida que siempre acompañan a los grandes cambios.

El Mantenimiento a lo largo de la historia ha evolucionado a través de tres generaciones en las que ha logrado avances significativos en el desarrollo de las labores.

3.2.1.1 La primera generación. Cubre el período que se extiende hasta la segunda Guerra Mundial. En esos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de parada de las máquinas no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez la mayor parte de los equipos era simple, y la gran mayoría estaban sobredimensionados. Esto los hacia confiables y fáciles de reparar. Como resultado no había necesidad de un

mantenimiento sistemático más allá de una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación. Se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día¹².

Ilustración 25. Patrones de falla

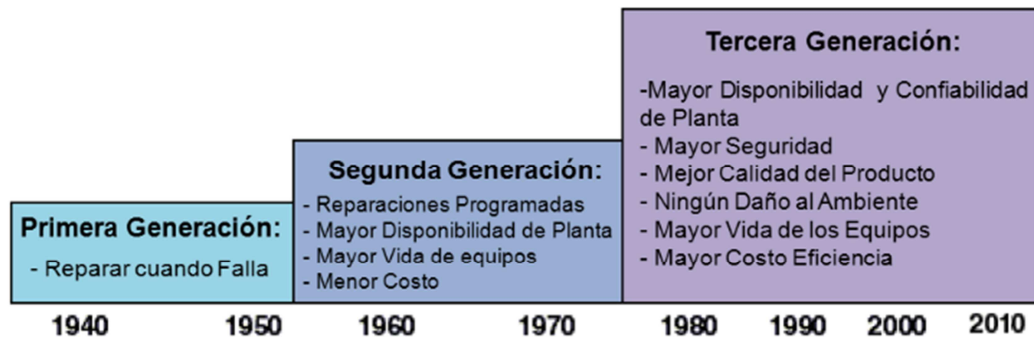


Fuente: Mantenimiento centrado en confiabilidad. John Moubray

3.2.1.2 La Segunda Generación. Durante la Segunda Guerra Mundial todo cambió drásticamente. La presión de los tiempos de guerra aumento la demanda de todo tipo de bienes, al mismo tiempo que decaía abruptamente el número de trabajadores industriales. Esto llevó a un aumento en la mecanización. Ya en los años 50 había aumentado la cantidad y complejidad de todo tipo de maquinas. La industria estaba empezando a depender de ellas.

¹² MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. México: Aladon.

Ilustración 26. Expectativas de mantenimiento



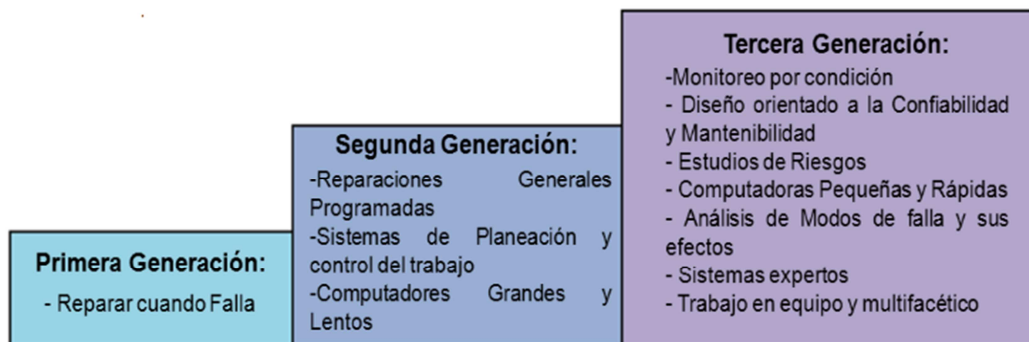
Fuente: Mantenimiento centrado en confiabilidad. John Moubray

Al incrementarse esta dependencia, comenzó a concentrarse la atención en el tiempo de parada de máquina. Esto llevó a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo. En la década de los sesenta esto consistió principalmente en reparaciones mayores a intervalos regulares planeados.

El costo del mantenimiento comenzó a crecer rápidamente con relación a otros costos operacionales. Esto llevó al desarrollo de sistemas de planeamiento y control del mantenimiento. Estos ciertamente ayudaron a tener el mantenimiento bajo control y han sido establecidos como parte de la práctica del mantenimiento.

3.2.1.3 La Tercera Generación. Desde mediados de la década del setenta el proceso de cambio en la industria ha adquirido aún más impulso. El tiempo de parada de la máquina afecta la capacidad de producción de los activos físicos al reducir la producción, aumentar los costos operacionales, y afectar el servicio al cliente. En la Segunda Generación esto ya era una preocupación por parte de diferentes sectores.

Ilustración 27. Técnicas de mantenimiento



Fuente: Mantenimiento centrado en confiabilidad. John Moubray

Los efectos del tiempo de parada de máquina fueron agravados por la tendencia mundial hacia los sistemas “*just-in-time*”, donde los reducidos inventarios de material en proceso hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda la planta.

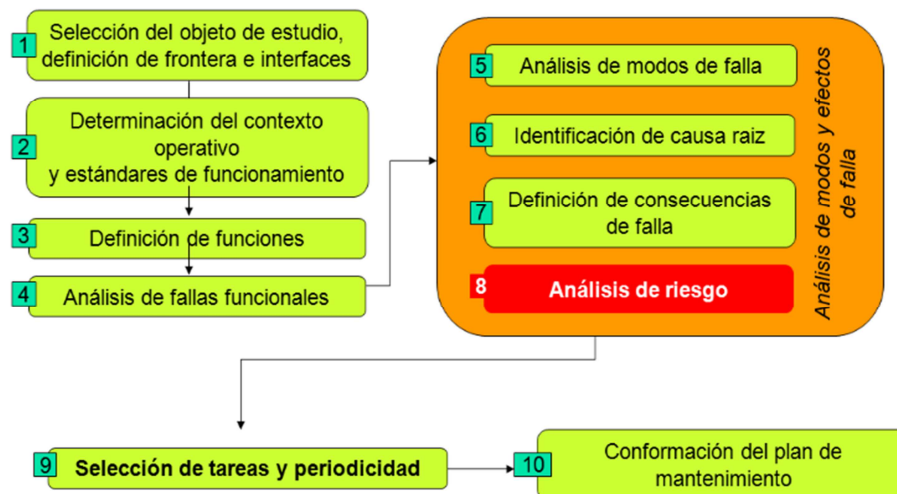
Más allá de la existencia de mayores expectativas, las nuevas investigaciones están cambiando muchas de nuestras creencias más profundas referidas a la edad de la mayoría de los activos y la probabilidad de que estos fallen. La idea inicial era simplemente que a medida que los elementos envejecían eran más propensos a fallar. Una creciente conciencia de la “mortalidad infantil” llevó a la Segunda Generación a creer en la curva de la bañera.

Sin embargo, investigaciones en la Tercera Generación revelan no uno, ni dos sino seis patrones de fallas que realmente ocurren en la falla. Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento.

3.2.2 RCM y Las siete preguntas básicas. El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

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

Ilustración 28. Diagrama de flujo del proceso RCM



Fuente: Memorias curso RCM. Daniel Ortiz

3.2.3 Funciones y parámetros de funcionamiento. Antes de poder aplicar un proceso para determinar qué debe hacerse para que cualquier activo físico continúe haciendo aquello que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional, se necesitan hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que sus usuarios quieren que haga
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que sus usuarios quieren que haga

Por esto el primer paso en el proceso de RCM es definir las funciones de cada activo en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Lo que los usuarios esperan que los activos sean capaces de hacer puede ser dividido en dos categorías:

3.2.3.1 Función primaria. En primera instancia resumen el por qué de la adquisición del activo. Esta categoría de funciones cubre temas como velocidad, producción, capacidad de almacenaje o carga, calidad de producto y servicio al cliente.

3.2.3.2 Función secundaria. La cual reconoce que se espera de cada activo que haga más que simplemente cubrir sus funciones primarias. Los usuarios también tienen expectativas relacionadas con las áreas de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, cumplimiento de regulaciones ambientales, y hasta de apariencia del activo.

La definición de una función consiste de un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario.

3.2.4 Fallas funcionales. Los objetivos del mantenimiento son definidos por las funciones y expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. Pero, ¿Cómo puede el mantenimiento alcanzar estos objetivos?

El único hecho que puede hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, necesitamos identificar qué fallas pueden ocurrir.

El proceso de RCM lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el activo falle

En el mundo del RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable.

Sumado a la incapacidad total de funcionar, esta definición abarca fallas parciales en las que el activo todavía funciona pero con un nivel de desempeño inaceptable (incluyendo las situaciones en las que el activo no puede mantener los niveles de calidad o precisión). Evidentemente estas sólo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo.

3.2.5 Modos de falla. Los hechos que de manera razonablemente posible puedan haber causado estado de falla, son denominados modos de falla, incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existentes, así como fallas que aún no han ocurrido pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión¹³.

¹³ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. México: Aladon. 2004. P. 9.

La mayoría de las listas tradicionales de modos de falla incorporan fallas causadas por el deterioro o desgaste por uso normal. Sin embargo, para que todas las causas probables de fallas en los equipos puedan ser identificadas y resueltas adecuadamente, esta lista debería incluir fallas causadas por errores humanos (por parte de los operadores y el personal de mantenimiento) y errores de diseño. También es importante identificar la causa de cada falla con suficiente detalle para asegurarse de no desperdiciar tiempo y esfuerzo intentando tratar síntomas en lugar de causas reales.

3.2.6 Efectos de falla. Este tiene que ver con la elaboración de un listado de los efectos de falla, que describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debería incluir toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla, tal como:

- Qué evidencias existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente
- De qué manera afecta a la producción o a las operaciones
- Qué daños físicos han sido causados por la falla
- Qué debe hacerse para reparar la falla

3.2.7 Consecuencias de la falla. Un análisis detallado de la empresa industrial promedio probablemente muestre entre tres mil y diez mil posibles modos de falla. Cada una de estas fallas afecta a la organización de algún modo, pero en cada caso, los efectos son diferentes. Pueden afectar operaciones. También pueden afectar a la calidad del producto, el servicio al cliente, la seguridad o el medio ambiente.

Son estas consecuencias las que más influyen el intento de prevenir cada falla. En otras palabras, si una falla tiene serias consecuencias, haremos un gran

esfuerzo para intentar evitarla¹⁴. Por otro lado, si no se tiene consecuencias o tiene consecuencias leves, quizás decidamos no hacer más mantenimiento de rutina que una simple limpieza y lubricación básica.

Un punto fuerte del RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que sus características técnicas. De hecho reconoce que la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas per se sino evitar o reducir las consecuencias de la fallas. El proceso de RCM clasifica estas consecuencias en cuatro grupos, de la siguiente manera:

3.2.7.1 Consecuencias de fallas ocultas. Las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas.

3.2.7.2 Consecuencias ambientales y para la seguridad. Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringe alguna normativa o reglamento ambiental tanto corporativo como regional, nacional o internacional.

3.2.7.3 Consecuencias operacionales. Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente, o costos operacionales además del costo directo de la reparación).

3.2.7.4 Consecuencias no – operacionales. Las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, sólo implican el costo directo de la reparación.

El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida. De esta manera focaliza

¹⁴ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. México: Aladon. 2004. P. 10.

la atención sobre las actividades de mantenimiento que tienen el mayor efecto sobre el desempeño de la organización, y resta importancia aquellas que tienen escaso resultado. También nos alienta a pensar de una manera más amplia acerca de diferentes maneras de manejar las fallas, más que concentrarnos en prevenir fallas. Las técnicas de manejo de fallas se dividen en dos categorías:

- **Tareas proactivas:** Estas se emprenden antes de que ocurra una falla, para prevenir que el ítem llegue al estado de falla. Abarcan lo que se conoce tradicionalmente como mantenimiento “predictivo” o “preventivo”.
- **Acciones a falta de:** Estas tratan directamente con el estado de la falla, y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño, y mantenimiento a rotura.

Algunos descubrimientos contradicen la creencia de que siempre hay conexión entre la confiabilidad y la edad operacional. Esta creencia dio origen a la idea de que cuanto más seguido un ítem es reparado, menos posibilidades tiene de fallar. Actualmente esto es cierto en muy pocos casos. A menos que exista un modo de falla dominante relacionado con la edad, los límites de edad tienen que ver poco o nada con mejorar la confiabilidad de los componentes complejos. De hecho las reparaciones pueden en realidad aumentar los promedios de fallas generales al introducir la mortalidad infantil en sistemas que de otra manera serían estables.

La toma de conciencia de estos hechos ha llevado a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea de mantenimiento proactivo. Y esto puede que sea lo más acertado para fallas con consecuencias menores. Pero cuando las consecuencias de las fallas son importantes, algo debe hacerse para prevenir o predecir las fallas, o al menos para reducir las consecuencias.

Esto nos lleva nuevamente a la cuestión de las tareas proactivas. Como ya mencionamos anteriormente el RCM divide a las tareas proactivas en tres categorías:

- **Tareas de reacondicionamiento:** El reacondicionamiento cíclico implica refabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento.
- **Tareas de sustitución cíclicas:** Implican sustituir un componente antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento.

En conjunto estos dos tipos de tarea son conocidos generalmente como mantenimiento preventivo.

- **Tareas a condición:** El crecimiento de nuevos tipos de manejo de falla se debe a la continua necesidad de prevenir ciertos tipos de falla, y la creciente ineficacia de las técnicas clásicas para hacerlo. La mayoría de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia de que están por ocurrir. Estas advertencias se denominan fallas potenciales, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir o están en el proceso de ocurrir.

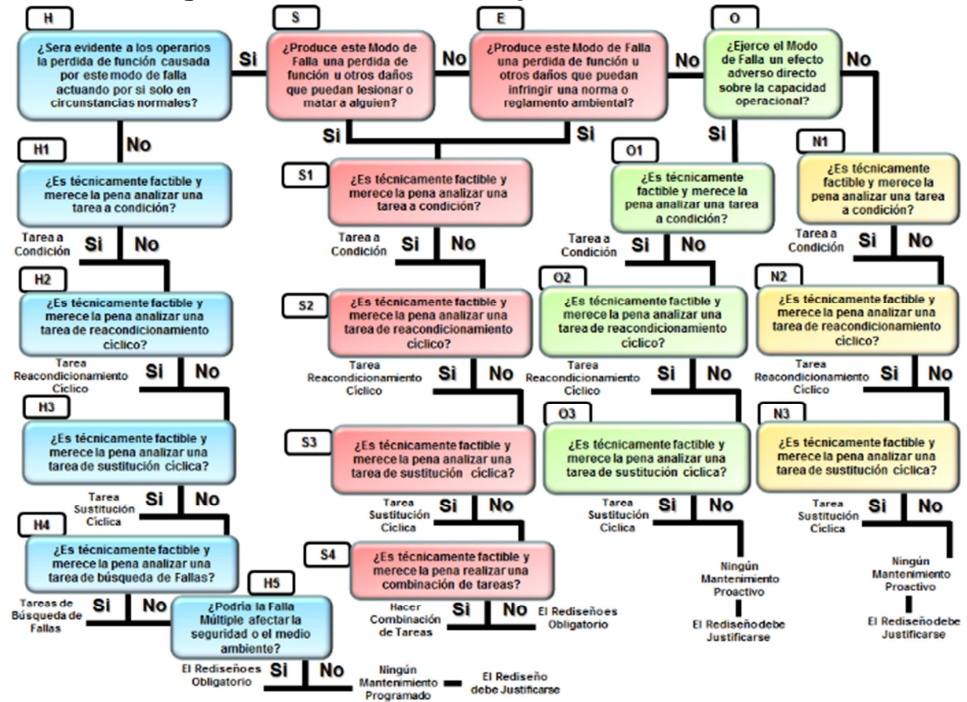
Las nuevas técnicas son utilizadas para detectar fallas potenciales y permitir actuar evitando las posibles consecuencias que surgirían si se transformaran en fallas funcionales. Se llaman tareas a condición porque los componentes se dejan en servicio a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados. El mantenimiento a condición incluye el mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en la condición y monitoreo de condición.

Para las acciones a falta de, el RCM reconoce tres grandes categorías de acciones a falta de:

- **Búsqueda de fallas:** Estas tareas implican revisar periódicamente funciones ocultas para determinar si han fallado (mientras que las tareas basadas en la condición implican revisar si algo está por fallar).
- **Rediseño:** Rediseñar implica hacer cambios de una sola vez a las capacidades de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo y también cubre los cambios de una sola vez a los procedimientos.
- **Ningún mantenimiento programado:** Como su nombre lo indica, aquí no se hace esfuerzo alguno en tratar de anticipar o prevenir los modos de falla y se deja que la falla simplemente ocurra, para luego repararla. Esta tarea a falta de también es llamada mantenimiento “a rotura”.

3.2.8 Generación del informe de RCM. Después de recolectar toda la información de la situación actual, se diligenció la hoja de información, donde se realiza el análisis de los modos de falla y sus efectos, el paso siguiente es realizar la evaluación de las consecuencias ocasionadas por las fallas, para evaluar su criticidad se cuenta con una hoja de decisión que al desarrollarla nos da como resultado las tareas necesarias para atacar la falla, su frecuencia de intervención y el responsable, cada uno de estos datos deben ser consignados en el formato de decisión.

Ilustración 29. Diagrama de decisión del proceso RCM



Fuente: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. John Moubray

4. ANALISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA FLOTA DE PALAS ELÉCTRICA MODELO 2800XPC

4.1 ANALISIS DE LOS REPORTES EXTRAÍDOS DEL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE EQUIPOS DE CARGUE (BASEMAN)

Actualmente las palas 2800XPC son equipos relevantes dentro del complejo carbonífero por su buena productividad y disponibilidad, a pesar de ser equipos relativamente nuevos en la mina y por consiguiente contar con poca experticia en sus modos de falla, puesto que su avance en materia estructural y de comunicación es mucho mas avanzado que el de las palas 2800XP similares entre si, aun así han mantenido su indicador de gestión de disponibilidad dentro de los planes establecidos.

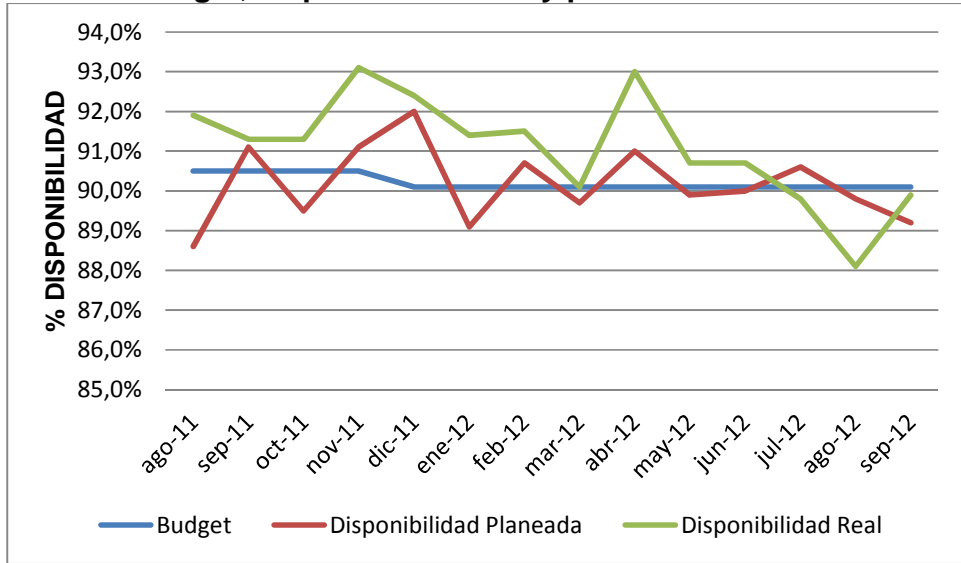
El Budget para el presente año es de 90,1% de disponibilidad, este trata de la meta anual fijada el año inmediatamente anterior, y sirve para medir la gestión del activo, a final de año se promedian los datos de disponibilidad real y se determina si se cumplió o no el plan presupuestado. A fecha agosto de 2012 el promedio de la disponibilidad real se encuentra por encima del plan anual.

Tabla 7. Disponibilidad planeada, real y budget

	ago-11	sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12	sep-12
Budget	90,5%	90,5%	90,5%	90,5%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%	90,1%
Disponibilidad Planeada	88,6%	91,1%	89,5%	91,1%	92,0%	89,1%	90,7%	89,7%	91,0%	89,9%	90,0%	90,6%	89,8%	89,2%
Disponibilidad Real	91,9%	91,3%	91,3%	93,1%	92,4%	91,4%	91,5%	90,1%	93,0%	90,7%	90,7%	89,8%	88,1%	89,9%

Fuente: lmnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 30. Budget, disponibilidad real y planeada



Fuente: Imnweb01.cerrejoncoal.com/misaplicaciones/boproductivo

Durante el presente año los tiempos down por apertura se han incrementado son muchas las llamadas recibidas para reparar por este concepto, lo que crea baja confiabilidad en el equipo, ya que se rompe la cadena productiva constantemente, afectando la producción de volúmenes de estéril. El período actual comprendido entre enero y agosto de 2012, lleva un total acumulado de 838,68 horas solo por concepto del sistema de apertura del cucharón.

Ilustración 31. Reporte de fallas

Flota	Equip No	Down Time Code	Work Order	Wo Desc	Fecha Inicial	Hora Inicial
XPC	0050021	056	EVC63018	INSPECCIONAR CIRCUITO DIPPER-TRIP	20120102	08:55
XPC	0050021	100	EVC63085	CALIBRAR TORQUE MOTOR DIPPER-TRIP	20120102	11:40
XPC	0050021	063	EVC63401	ENERGIZAR EQUIPO /FLUCTUACION FOSO NORTE	20120102	04:45
XPC	0050021	004	EVC63476	REALIZAR SEIS TIPO"B2"(5000 HRS)+BACKLOG	20120103	07:51
XPC	0050021	102	EVC63786	RESETEAR SWITCH CONTROL SIST.CTD	20120103	00:37
XPC	0050021	056	EVC64731	AJUSTAR TORQUE A MOTOR DIPPER TRIP	20120106	07:32
XPC	0050021	056	EVC64789	INSTALAR GRILLETE X POLEA DIPPER TRIP	20120106	10:19
XPC	0050021	056	EVC64956	CAMBIAR JOYSTICK DERECHO / PARTES	20120106	19:15
XPC	0050021	100	EVC65035	CAMBIAR BOTON CONTRL.DISPARO DIPPER-TRIP	20120106	23:07
XPC	0050021	102	EVC65054	RESETEAR SWITCH CIRC.SENAL ALIM.CTD	20120106	00:35
XPC	0050021	700	EVC65947	CAMBIAR COMPRESOR NEUMAT./11,467.35 HRS	20120108	01:15
XPC	0050021	014	EVC66246	RESETEAR TERMICO COMPRES.NEUMATICO	20120109	14:59
XPC	0050021	014	EVC66290	RESETEAR CIRC ENCEND.COMPR.NEUM./EL OP.	20120109	16:41
XPC	0050021	014	EVC66297	AJUSTAR SETTING PROT.SOBRECTE.COMPR.N.	20120109	17:16
XPC	0050021	100	EVC66328	REPARO CORREA	20120109	19:03
XPC	0050021	056	EVC67404	CAMBIAR CABLE SIST.APERT.CUCHARON	20120111	02:58
XPC	0050021	100	EVC67779	CAMBIO CABLE LEVANTE	20120112	22:14
XPC	0050021	063	EVC68035	HABILITAR CIRC.ALIMENT.(SIN ENERGIA)	20120113	14:07
XPC	0050021	019	EVC69893	CALIBRAR CICLO DE LUBRICACION BRAZOS	20120117	16:19
XPC	0050021	056	EVC72212	SACAR SHIN AL SISTEMA DE APERTURA	20120122	15:28
XPC	0050021	056	EVC72282	CAMBIAR BARRA HORIZONTAL SIST.APERT.CUCH	20120122	18:44
XPC	0050021	014	EVC72757	RETEAR ALARMA FALLA RESOLVER DE EMPUJE	20120123	18:33

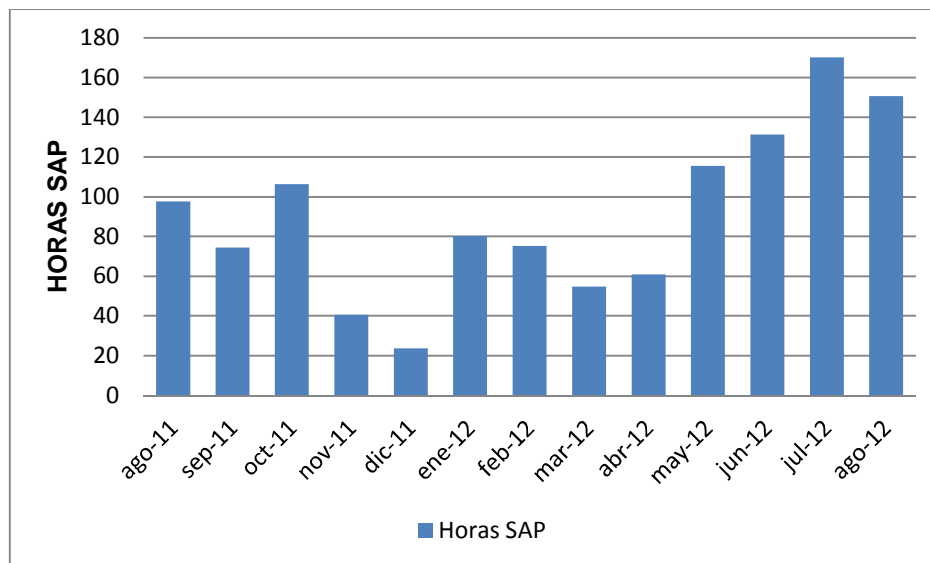
Fuente: Imnweb01.cerrejoncoal.com

Tabla 8. Horas down SAP enero - agosto 2012

Período	ago-11	sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12	ago-12
Horas SAP	97,55	74,45	106,36	40,77	23,78	80,15	75,21	54,79	60,94	115,47	131,27	170,23	150,62

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 32. Horas down SAP enero - agosto 2012



Fuente: Imnweb01.cerrejocoal.com/boproductivo

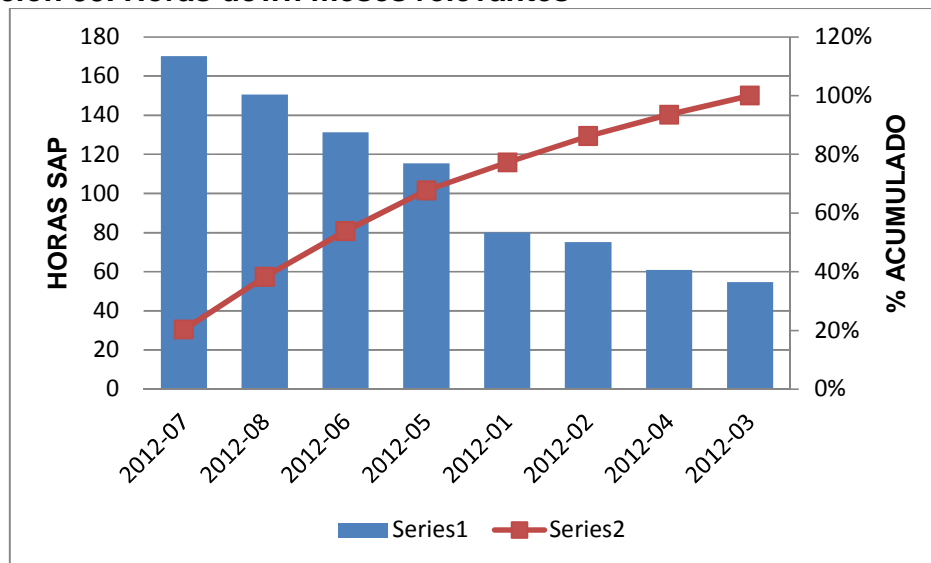
El mayor impacto de las horas down por apertura, está centrado en los meses de junio, julio y agosto de 2012, lo que indica que si se eliminan los modos de fallas predominantes en esos meses, se minimizan las llamadas para reparar el equipo por este concepto. Para determinar cual fue el impacto en los meses en mención se realizó un estudio de los reportes realizados durante este período por equipo.

Tabla 9. Pareto horas down SAP enero - agosto 2012

Período	2012-07	2012-08	2012-06	2012-05	2012-01	2012-02	2012-04	2012-03
Horas SAP	170,23	150,62	131,27	115,47	80,15	75,21	60,94	54,79
% Acumulado	20%	38%	54%	68%	77%	86%	93%	100%

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 33. Horas down meses relevantes



Fuente: Imnweb01.cerrejoncoal.com/boproductivo

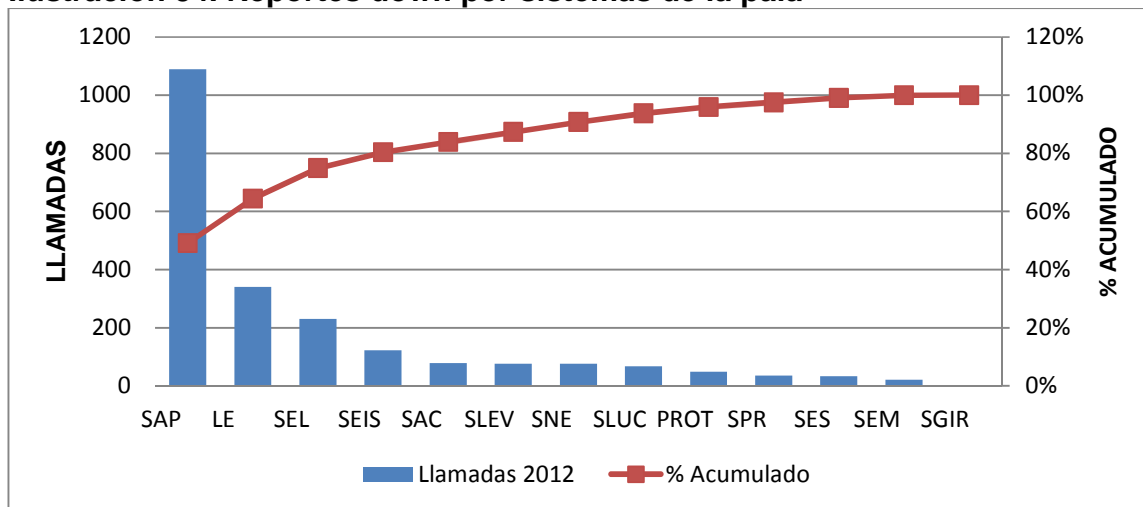
Se pudo observar que las fallas por sistemas que conforman la pala eléctrica 2800XPC son responsabilidad de cuatro de ellos, dentro de los pocos vitales sobresale el sistema de apertura, con 1089 llamadas lo que representa el 49% de los reportes de la flota en general con corte agosto de 2012.

Tabla 10. Reporte llamadas por sistemas

Descripcion Sistemas	Cod Sistemas	Llamadas 2012	% Acumulado
Sistema de Apertura	SAP	1089	49%
Linea de Potencia Electrica	LE	340	64%
Sistema Eléctrico	SEL	231	75%
Servicios e Inspecciones	SEIS	122	80%
Sistema de Accesorios	SAC	78	84%
Sistema de Levante	SLEV	76	87%
Sistema Neumático	SNE	76	91%
Sistema Centralizado de Grasa	SLUC	67	94%
Sistema de Protecciones	PROT	48	96%
Sistema de Propulsión Mecánica	SPR	36	98%
Sistema Estructural	SES	33	99%
Sistema de Empuje	SEM	21	100%
Sistema de giro	SGIR	1	100%

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 34. Reportes down por sistemas de la pala



Fuente: Imnweb01.cerrejoncoal.com/boproductivo

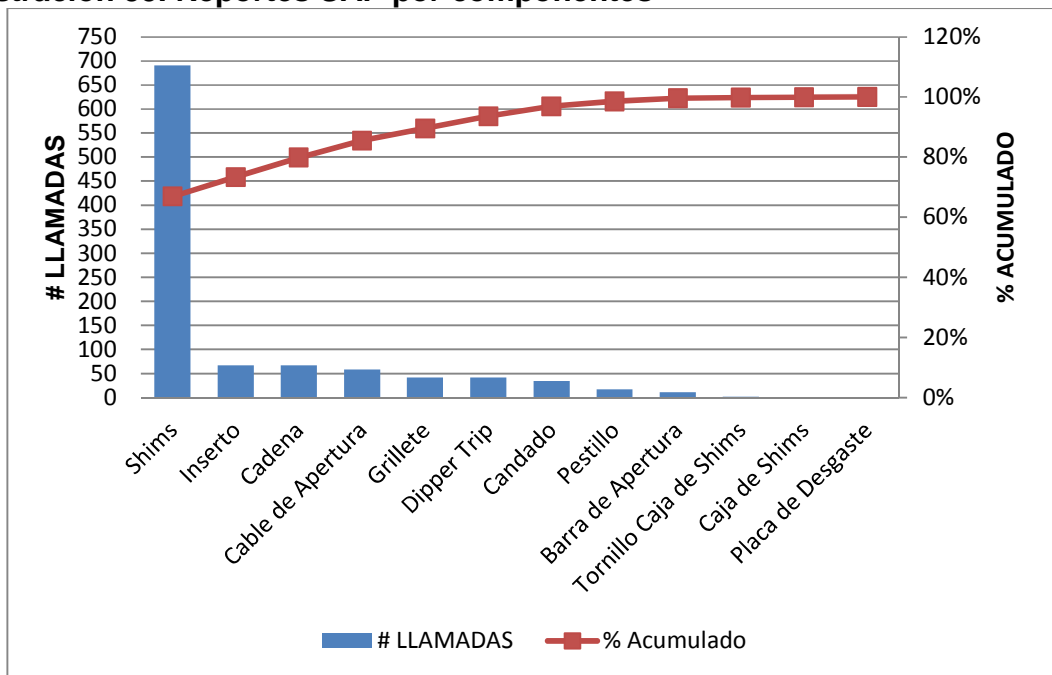
Las causas de falla del sistema de apertura más importantes son ocasionadas por la cadena, el inserto y los shims, siendo este último el de mayor importancia con 691 reportes para el período comprendido entre enero y agosto de 2012. Dentro de las acciones más frecuentes se encuentra la instalación o extracción de los shims.

Tabla 11. Llamadas por componentes SAP

Componente SAP	Shims	Inserto	Cadena	Cable apertura	Grillete	Dipper Trip	Candado	Pestillo	Barra apertura	Tornillo Caja Shims	Caja shims	Placa de desgaste
# de Llamadas	691	67	67	58	42	42	34	17	11	2	1	1

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 35. Reportes SAP por componentes



Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

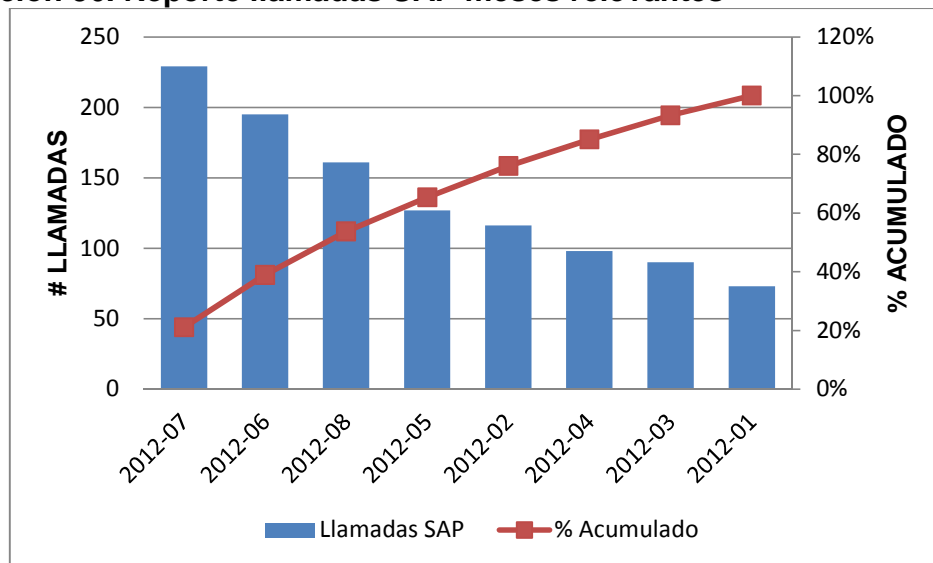
Al realizar el Pareto de acuerdo a las fallas generadas por el sistema de apertura del cucharón mes a mes, se observa que la mayor importancia del análisis de las causas generadas por las 1089 llamadas realizadas entre los meses de enero y agosto, se centran en los meses de junio, julio y agosto de 2012, tal cual se observó en el Pareto de las horas down ocasionadas para reparar este sistema.

Tabla 12. Llamadas SAP por mes

Meses	Llamadas SAP	% Acumulado	
2012-07	229	21%	229
2012-06	195	39%	424
2012-08	161	54%	585
2012-05	127	65%	712
2012-02	116	76%	828
2012-04	98	85%	926
2012-03	90	93%	1016
2012-01	73	100%	1089

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 36. Reporte Llamadas SAP meses relevantes



Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

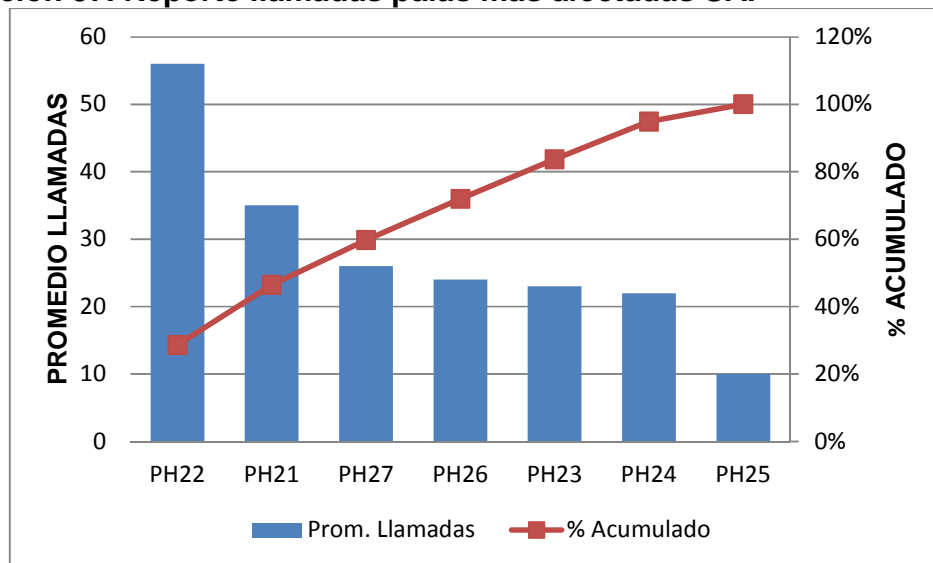
Al realizar el análisis del promedio de fallas por componente del sistema de apertura en los meses de junio, julio y agosto de 2012, se observó que los pocos vitales de las causas del problema están concentradas en las palas 21 y 22 con mayor incidencia en esta última.

Tabla 13. Llamadas SAP por palas

Equipo	Prom. Llamadas	% Acumulado
PH22	56	29%
PH21	35	46%
PH27	26	60%
PH26	24	72%
PH23	23	84%
PH24	22	95%
PH25	10	100%

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 37. Reporte Llamadas palas más afectadas SAP



Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

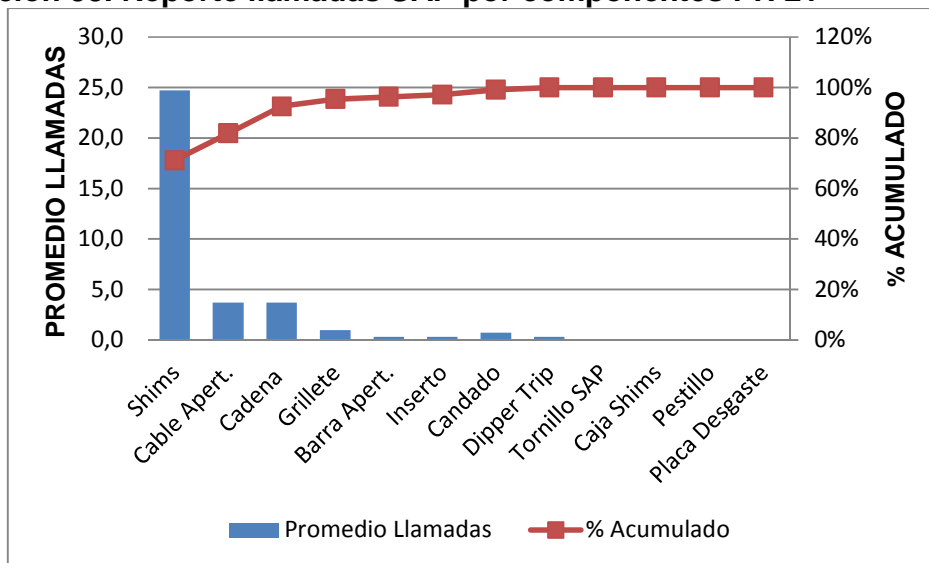
Al observar que la mayor parte del problema de los reportes ocasionados por el sistema de apertura del cucharón se concentran en las palas 21 y 22, se optó por realizar un estudio de las fallas ocasionadas por sus componentes, teniendo como eje central los meses de junio, julio y agosto de 2012. Al calcular el promedio de fallas para los tres meses anteriores, se observó que los reportes más significativos por apertura de la PH 21 son ocasionados por el ajuste de shims.

Tabla 14. Promedio Llamadas SAP

PH 21	Promedio Llamadas	% Acumulado
Shims	24,7	71%
Cable Apert.	3,7	82%
Cadena	3,7	93%
Grillete	1,0	95%
Barra Apert.	0,3	96%
Inserto	0,3	97%
Candado	0,7	99%
Dipper Trip	0,3	100%
Tornillo SAP	0,0	100%
Caja Shims	0,0	100%
Pestillo	0,0	100%
Placa Desgaste	0,0	100%

Fuente: Imnweb.cerrejocoal.com/boproductivo

Ilustración 38. Reporte Llamadas SAP por componentes PH 21



Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

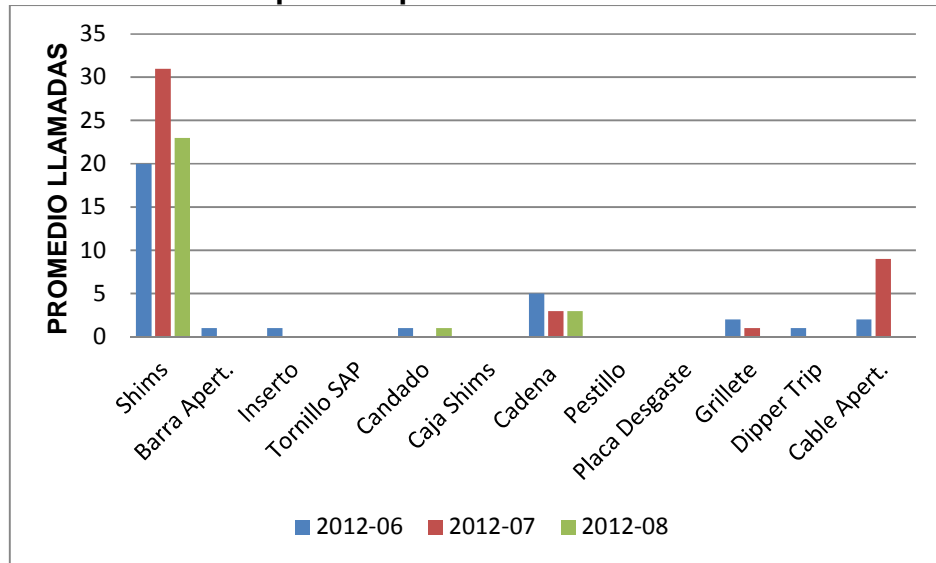
El comportamiento del elemento shims en la PH 21 describe una tendencia a la disminución de reportes por este concepto, la ayuda de la intervención de los operadores y mayor conocimiento del sistema han sido importantes en la consecución de este objetivo.

Tabla 15. Llamadas por shims meses relevantes

PH 21	2012-06	2012-07	2012-08
Shims	20	31	23
Barra Apert.	1	0	0
Inserto	1	0	0
Tornillo SAP	0	0	0
Candado	1	0	1
Caja Shims	0	0	0
Cadena	5	3	3
Pestillo	0	0	0
Placa Desgaste	0	0	0
Grillete	2	1	0
Dipper Trip	1	0	0
Cable Apert.	2	9	0

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 39. Llamadas por componentes SAP PH 21



Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

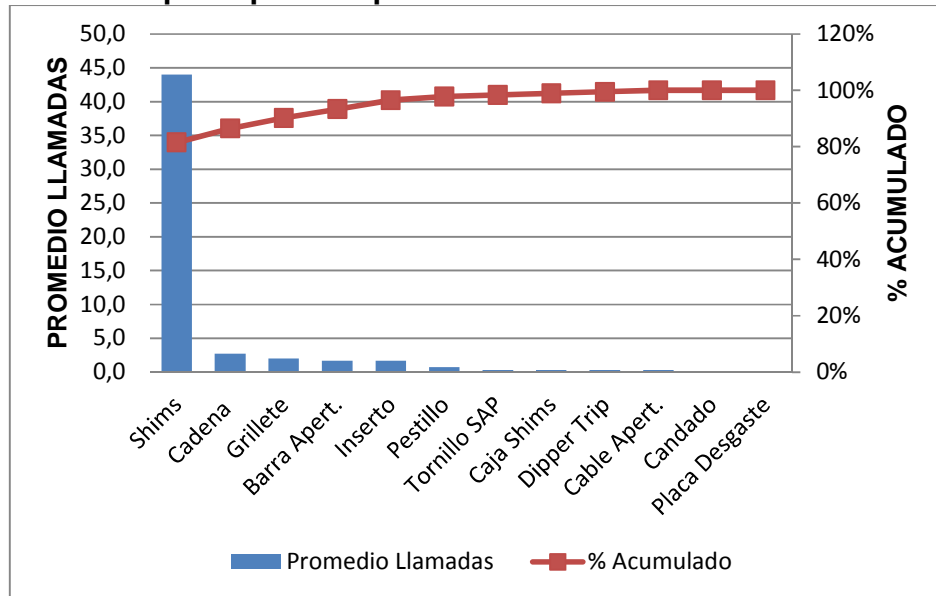
Al realizar el Pareto de la PH 22, se observa que los pocos vitales se centran en el componente shims al igual que se determinó en la PH 21, la instalación y extracción de este elemento es muy repetitivo y se hace necesario a medida que el pestillo y el inserto se desgastan.

Tabla 16. Promedio llamadas SAP PH 22

PH 22	Promedio Llamadas	% Acumulado
Shims	44,0	81%
Cadena	2,7	86%
Grillete	2,0	90%
Barra Apert.	1,7	93%
Inserto	1,7	96%
Pestillo	0,7	98%
Tornillo SAP	0,3	98%
Caja Shims	0,3	99%
Dipper Trip	0,3	99%
Cable Apert.	0,3	100%
Candado	0,0	100%
Placa Desgaste	0,0	100%

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 40. Reporte por componentes SAP PH 22



Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

El panorama en esta pala es más significativo que en la anterior, la disminución de los reportes por ajuste de shims frente a otros períodos ha sido de gran consideración.

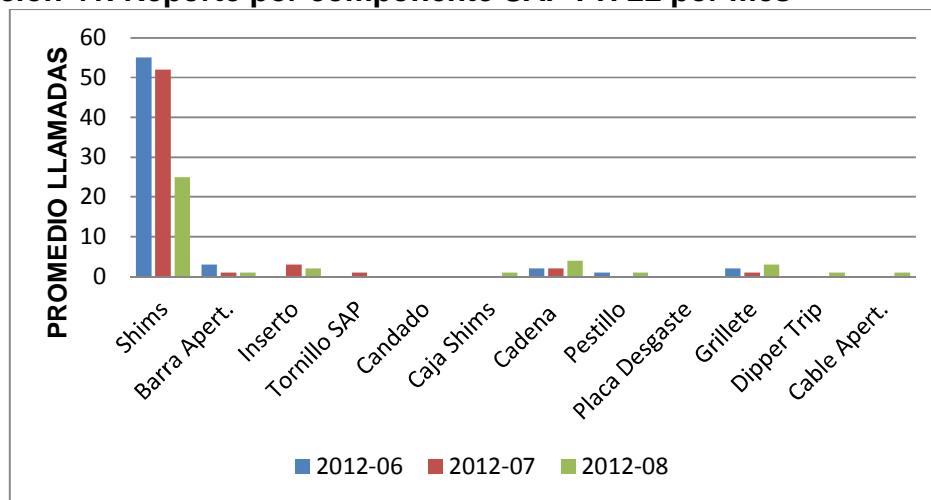
Además de las intervenciones realizadas por los operadores y por el resto de personal de producción, se le realizó un mantenimiento correctivo al túnel de la tapa del cucharón cambiando el cushion y la placa de desgaste, lo que ocasionaba inestabilidad en el pestillo que se aloja en esta cavidad, además se inició un piloto instalando un inserto más grande que reduce la distancia entre el pestillo y este, minimizando el impacto entre ambos componente y por ende frenando el desgaste acelerado que esto ocasionaba, lo que trae consigo menor ajuste del sistema por shims.

Tabla 17. Promedio llamadas por componentes SAP PH 22

PH 22	2012-06	2012-07	2012-08
Shims	55	52	25
Barra Apert.	3	1	1
Inserto	0	3	2
Tornillo SAP	0	1	0
Candado	0	0	0
Caja Shims	0	0	1
Cadena	2	2	4
Pestillo	1	0	1
Placa Desgaste	0	0	0
Grillete	2	1	3
Dipper Trip	0	0	1
Cable Apert.	0	0	1

Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

Ilustración 41. Reporte por componente SAP PH 22 por mes



Fuente: Imnweb.cerrejoncoal.com/boproductivo

4.2 HALLAZGOS ENCONTRADOS EN CAMPO

Durante las visitas realizadas a diferentes equipos de la flota de palas eléctricas se detectaron varias irregularidades que afectan el sistema de apertura, entre ellas

están modos de fallas y condiciones fuera de las condiciones normales de operación.

Ilustración 42. Retenedor de la barra de apertura desgastado



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 43. Pestillo desgastado



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 44. Cucharon sin inserto



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 45. Inserto desgastado



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 46. Barra agrietada por fatiga



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 47. Barra rota por fatiga



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 48. Inserto desmontado por desgaste



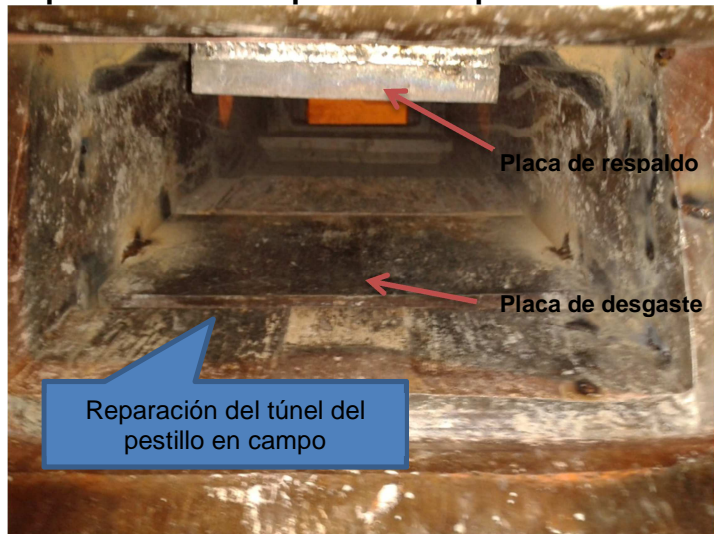
Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 49. Cadena larga, genera apertura del balde



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 50. Reparación en campo túnel del pestillo



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 51. Espacio superior caja de shims



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 52. Reparaciones hechas en campo barra de apertura



Fuente: Mina Cerrejón

Ilustración 53. Caja de shims caída, por falta de soldadura



Fuente: Mina Cerrejón

4.3 DESARROLLO DEL RCM PALAS DE CABLE MODELO 2800XPC

Tabla 18. Análisis de función y modos de fallas palas eléctricas 2800XPC

Sistema: Apertura del Cucharón		Fecha:	Realizado por:	Hoja
		Fecha:	Revisado por:	de
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA
Dipper Trip	1 Recoger el cable de apertura con la potencia requerida para abrir la compuerta	A No recoge el cable o lo hace con dificultad	1 Tambor desgastado por operación normal 2 Motor con bajo aislamiento 3 Base del motor del dipper agrietada 4 Tornillos de anclaje de la base del motor dipper suelto o partidos 5 Rodamientos del motor de dipper defectuosos por vida útil 6 Reductor desgastado por falta de lubricación 7 Rodamientos del motor del dipper dañados por falta de lubricación	El tambor enrolla y desenrolla el cable de apertura del balde, a medida que lo hace se va desgastando. Su deterioro puede ocasionar que el cable se enrede o se dañe más rápido. El motor esta constituido internamente por un bobinado que se deteriora con el tiempo o a causa de humedad dentro del motor, rompiendo el aislamiento de las bobinas y cortocircuitandose El motor está montado sobre una base metálica, por acción de los impactos y la corrosión se agrieta, cuando sucede el tambor se desnivela y roza con el motor reduciendo su fuerza A causa del impacto del dipper trip generado al tirar del cable, se generan movimientos en la base del motor aflojando los tornillos o partiendolos. El motor está constituido por unos rodamientos que permiten deslizarse libremente, a medida que se genera trabajo sobre ellos se van deteriorando o desgastando. El reductor permite acoplar al motor con el tambor, que a su vez enrolla el cable de apertura, está constituido por dos partes en movimiento si no se lubrica se puede fracturar o desgastar Los rodamientos del dipper trip permiten que se deslice libremente, si no se lubrican periódicamente se deterioran y motor no puede enrollar el cable de apertura para abrir la tapa
	2 Mantener una tensión constante en el cable	A No mantiene una tensión constante en el cable	1 Mala calibración del torque	El motor tiene una corriente de retención del cable, si no se ajusta correctamente el cable se descuelga.
Cable de apertura	3 Ser capaz de transmitir la fuerza del dippertrip para mover el péndulo y abrir la compuerta del cucharón	A No transmite la fuerza al péndulo para abrir la compuerta	1 Cable roto por vida útil 2 Cable roto por vida útil	El cable sirve para accionar el pendulo, por acción del rozamiento con el tambor, los hilos se van desgastando hasta deshilacharse y romperse dejando sin posibilidad de accionar el pendulo El cable sirve para transmitir fuerza al pendulo y al final el objetivo es tirar del pestillo hacia arriba para que la compuerta se abra, si rompe no se puede abrir la tapa del cucharón y no puede cargar el camion
Pendolo	4 Recibir el movimiento y la potencia del cable de apertura y transmitirlo a la cadena para levantar	A No transmite movimiento y potencia a la cadena de apertura para levantar la barra	1 Bujes deteriorado por falta de lubricación 2 Pasador del brazo del péndulo desgastado por operación normal 3 Ojo unión cable - péndulo deteriorado por buje desgastado 4 Ojo unión péndulo - cadena roto por desgaste normal	Los bujes sirven para evitar el desgaste del orificio del pendulo, si se deterioran el ojo se puede partir y la cadena se cae impidiendo la transferencia de potencia a la cadena Al desgastarse el pasador el pendulo presenta juego lo que puede ocasionar atascamiento Si se desgasta y se llega a partir el cable se suelta enredandose en el tambor del dipper trip y el sistema no puede abrir la tapa del cucharón Al desgastarse el ojo del pendulo puede llegar a partirse por no tener un punto de anclaje fuerte cayendose la cadena

Fuente: Mina cerrejón

Tabla 19. Análisis función y modos de fallas palas eléctricas 2800XPC

Sistema: Apertura del Cucharón		Fecha:	Realizado por:	Hoja
		Fecha:	Revisado por:	de
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA
			5 Tornillos de la base del péndulo suelto o ausente 6 Ojo unión cable - péndulo desgastado o suelto	Con los impactos recibidos cada vez que se tira del cable de apertura y el esfuerzo que realiza sobre la barra el pendulo es El ojo del superior del pendulo sirve para acoplar el cable de apertura si se desgasta puede romperse y soltarse el cable lo que impide que transmita fuerza al pendulo
Polea guía del cable	5 Proveer una guía para el cable de apertura sin atascamiento del cable	A No da guía al cable de apertura o se atasca	1 Rodamientos de las poleas deteriorados 2 Seguro del pin suelto o partido 3 Polea desgastada por operación normal 4 Tornillos de soporte de la polea flojos o partidos	Los rodamientos de la polea permiten que se mueva libremente para que pueda guiar el cable de apertura si el rodamiento se daña la polea se frena y el cable se desgasta mas rápido Si el pin se suelta o se parte la polea se cae o se trava acelerando el deterioro del cable de apertura Por la fricción entre el cable y la polea esta se desgasta, si su deterioro es mucho impide guiar el cable Los tornillos permiten fijar la polea al boom, si afloja o se parten la polea se puede caer y no guía el cable
Cadena de apertura	6 Transmitir movimiento del péndulo a la barra de apertura	A No transmite movimiento del péndulo a la barra de apertura	1 Cadena partida por eslabón desgastado 2 Argolla de unión de cadenas del péndulo partida por desgaste normal 3 Grilletes de la cadena partido por desgaste normal	Por la fricción entre eslabones unos con otros se desgastan hasta romperse lo que genera ruptura de la cadena de apertura Al sufrir desgaste puede ocasionarse la ruptura del componente lo que impide que el operador abra la tapa del cucharón Grillete acopla la cadena con la barra de apertura, por estar en constante movimiento y sometido a esfuerzos se desgasta, si parte el sistema no puede abrir el balde
Barra de apertura	7 Levantar el pestillo para abrir la compuerta del cucharón	A No levanta el pestillo o no lo hace lo suficiente para abrir	1 Barra rota por desgaste 2 Barra rota por desgaste 3 Candado partido o desacoplado 4 Candado partido o desacoplado 5 Candado partido o desacoplado 6 Candado partido o desacoplado	Debido a la fricción con el pestillo al levantar y descender, la barra se desgasta lo que puede llegar a ocasionar su ruptura e impedir que levante el pestillo para abrir la tapa El continuo esfuerzo al que es sometida la barra de apertura produce esfuerzos que se traducen en grietas cercanas al pestillo ocasionando su ruptura y problemas para abrir la tapa del cucharón El pasador que une las dos partes del candado se desgata cada vez que la cadena tira de él y puede llegar a desacoplarse si esto sucede la cadena se separa y no puede levantar la barra Cada vez que la cadena tira del candado realiza esfuerzos sobre este que la van agrietando hasta llegar a partirse y desacoplar la cadena de la barra de apertura El candado puede llegar a expulsar el pasador por desgaste del mismo y desacoplarse Si el candado se desacopla la transferencia de fuerza se interrumpe y la compuerta no puede abrir

Fuente: Mina cerrejón

Tabla 20. Análisis función y modos de falla palas eléctricas 2800XPC

Sistema: Apertura del Cucharón		Fecha:	Realizado por:	Hoja
		Fecha:	Revisado por:	de
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA
			7 Grillete roto por desgaste 8 Grillete roto por desgaste 9 Grillete roto por desgaste 10 Barra agrietada por fatiga 11 Barra agrietada por fatiga 12 Barra agrietada por fatiga 13 Seguro de barra de apertura caja de Shines "C" desgastado 14 Grillete suelto o desajustado 15 Grillete suelto o desajustada 16 Grillete suelto o desajustado	Si el grillete se rompe se desacopla la cadena de la barra y no puede levantarla El roce de la cadena con el grillete hace que se desgaste
Pestillo	8 Asegurar la compuerta del	A No asegura compuerta o se queda asegurada	1 Desgaste en la punta inferior del pistillo por 2 Inserto desgastado por operación normal 3 Rotura o desgaste del ojal del pestillo 4 Daño en canal de rodadura 5 Pestillo agrietado por fatiga 6 Cushion (wear plate) desgastado por operación normal	Si el pestillo se agrieta puede partirse e impedir que la tapa del balde se abra Si no se calibra bien el punto de contacto entre el pestillo y el inserto, la tapa puede abrirse si control o presentar problemas para abrir ya que el pestillo no alcanza a salir del inserto Si el cushion se desgasta el pestillo baila y se desgasta aceleradamente, tambien hay que ajustar varias veces la altura por desgaste de las partes La contaminación alojada en el tunel impide que el pestillo se deslice libremente lo que ocasiona problemas para cerrar la tapa Si el inserto se cae el pestillo tiene mayor recorrido, su desgaste es mas acelerado y puede presentar problemas de apertura incontrolada ya que no tiene un buen punto de apoyo Al desgastarse el inserto el pestillo no cuenta con un buen punto de apoyo y se desliza, la tapa se abre sola

Fuente: Mina Cerrejón

Tabla 21. Evaluación de consecuencias y tareas propuestas palas 2800XPC

Sistema:										Realizado por:				Fecha:	
Componente:										Revisado por:				Fecha:	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"				Frecuencia (Horas)	A realizar por
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual del tambor en busca de desgaste, grietas o alguna evidencia de deterioro	500	Técnico Mecánico
1	A	2	S	N	N	S	S						Medir aislamiento a motor con baker	500	Técnico electricista
1	A	3	S	N	N	S	S						Inspeccionar visualmente base dipper trip por grietas	2000	Grupo Inspecciones y Tecnología
1	A	4	S	N	N	S	S						Inspeccionar presencia y ajuste de la tornillería de anclaje de la base motor dipper	2000	Técnico Mecánico
1	A	5	S	N	N	S	S						Análisis AV de los rodamientos del dipper trip	500	Grupo Inspecciones y Tecnología
1	A	6	S	N	N	S	S						Inspeccionar nivel de aceite del reductor y completar si se requiere	1000	Técnico Mecánico
1	A	7	S	N	N	S	N	S					Lubricar manualmente el rodamiento del motor del dipper	500	Técnico Mecánico
2	A	1	S	N	N	S	S						Revisar calibración del torque del motor de dipper trip	12	Operador de la Pala
3	A	1	S	N	N	S	N	S					Cambio programado de cable	250	Técnico Mecánico
3	A	2	S	N	N	S	S						Inspección visual del estado del cable de apertura	12	Operador de la Pala
4	A	1	S	N	N	S	N	S					Engrasar manualmente el pin y bujes del péndulo	500	Técnico Mecánico
4	A	2	S	N	N	S	N	S					Engrasar manualmente el pasador y bujes del péndulo	250	Técnico Mecánico
4	A	3	S	N	N	S	S						Inspección del desgaste del buje del acople cable de apertura. En caso de que el diámetro del buje se reduzca a la mitad, cambiar el buje.	1000	Técnico Mecánico
4	A	4	S	N	N	S	S						Inspección del desgaste alrededor del ojo del péndulo y el grillete	1000	Técnico Mecánico
4	A	5	S	N	N	S	S						Inspección de la presencia y ajuste de los tornillos de la base del péndulo	1000	Técnico Mecánico
4	A	6	S	N	N	S	S						Inspección del desgaste alrededor del ojo del péndulo y cadena	1000	Técnico Mecánico
5	A	1	S	N	N	S	S						Inspección del juego del rodamiento de la polea. En caso de evidencias juego anormal o ruido, cambiar polea	1000	Técnico Mecánico
5	A	2	S	N	N	S	S						Inspección del estado del seguro del pin de la polea guía cable de apertura	1000	Técnico Mecánico
5	A	3	S	N	N	S	S						Inspección del desgaste de las poleas guías para el cable de apertura	2000	Técnico Mecánico
5	A	4	S	N	N	S	S						Inspección del estado y ajuste de los tornillos de soporte de la polea guía del cable de apertura	1000	Técnico Mecánico
6	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado de los eslabones y longitud de la cadena de apertura del cucharón	1500	Técnico Mecánico
6	A	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado de las argollas de la cadena del dipper trip	1500	Técnico Mecánico
6	A	3	S	N	N	S	S						Inspeccionar grado de desgaste del grillete	1500	Técnico Mecánico
7	A	1	S	N	N	S	N	S					Cambio de posición de la barra (voltearla)	1500	Técnico Mecánico
7	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar barra del movimiento de apertura	2000	Técnico Mecánico
7	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Cambio programado de candado	2000	Técnico Mecánico
7	A	4	S	N	N	S	S						Inspeccionar presencia y estado del candado	500	Técnico Mecánico
7	A	5	S	N	N	S	S						Inspeccionar presencia y estado del candado	12	Operador de la Pala
7	A	6	S	N	N	S	S						Inspeccionar presencia y estado del candado	24	Técnico Mecánico
7	A	7	S	N	N	S	S						Inspeccionar visualmente del estado del grillete	500	Técnico Mecánico
7	A	8	S	N	N	S	S						Inspeccionar visualmente del estado del grillete	12	Operador de la Pala
7	A	9	S	N	N	S	S						Inspeccionar visualmente del estado del grillete	24	Técnico Mecánico
7	A	10	S	N	N	S	S						Realizar inspección por grietas	500	Grupo Inspecciones y Tecnología

Fuente: Mina cerrejón

Tabla 22. Evaluación de consecuencias y tareas propuesta en las palas 2800XPC

Sistema:										Realizado por:					Fecha:	
Componente:										Revisado por:					Fecha:	
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por	
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
7	A	11	S	N	N	N	S						Realizar inspección por grietas	12	Operador de la Pala	
7	A	12	S	N	N	S	S						Realizar inspección por grietas	250	Grupo Inspecciones y Tecnología	
7	A	13	S	N	N	S	S						Inspección visual por juego. En caso de haber juego superior a 1" cambiar	1500	Técnico Mecánico	
7	A	14	S	N	N	S	S						Inspección visual del grado de desgaste de los grilles	500	Técnico Mecánico	
7	A	15	S	N	N	S	S						Inspección visual del grado de desgaste de los grilles	12	Operador de la Pala	
7	A	16	S	N	N	S	S						Inspección visual del grado de desgaste de los grilles	24	Técnico Mecánico	
8	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar pestillo y calibrar (3/4 in afuera de la tapa)	1500	Técnico Mecánico	
8	A	2	S	N	N	S	S						Inspección visual del grado de desgaste del inserto	250	Técnico Mecánico	
8	A	3	S	N	N	S	S						Inspección visual del estado de desgaste del ojal del pestillo	250	Técnico Mecánico	
8	A	4	S	N	N	S	S						Medir el desgaste de canal del pestillo. En caso de encontrar desgaste superior a 3/8 in), cambiar placa de desgaste y "c"guia del pestillo	500	Técnico Mecánico	
8	A	5	S	N	N	S	S						Inspección visual del cuerpo del pestillo. En caso de encontrar deteriorado o agrietado , cambiar	500	Técnico Mecánico	
8	A	6	S	N	N	S	S						Medición del juego del pestillo	3000	Técnico Mecánico	

Fuente: Mina cerrejón

5. PROPUESTA DE LA ESTRATEGIA DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

ACCIONES PREVENTIVAS

TAREAS	FRECUENCIA (HORAS)							A REALIZAR POR
	12	250	500	1000	1500	2000	3000	
Inspección visual cable de apertura	x							Operador de la pala
Cambiar cable de apertura		x						Técnicos mecánicos
Inspeccionar presencia y estado candado	x							Operador de la pala
Cambiar candado de apertura			x					Técnicos mecánicos
Inspeccionar desgaste grilletes	x							Operador de la pala
Cambiar grilletes (unión pendulo - cadena - barra)			x					Técnicos mecánicos
Inspeccionar barra de apertura en busca de grieta	x							Operador de la pala
Detección de grieta en barra de apertura		x						Grupo inspección y tecnología
Voltear barra de apertura					x			Técnicos mecánicos
Cambiar barra de apertura							x	Técnicos mecánicos
Inspeccionar tornillería base motor dipper trip						x		Técnicos mecánicos
Engrasar manualmente el pin y bujes del pendulo		x						Técnicos mecánicos
Inspección del ojo del pendulo			x					Grupo inspección y tecnología
Inspección de los rodamientos de la polea guía				x				Grupo inspección y tecnología
Inspección del pin seguro de la polea				x				Grupo inspección y tecnología
Inspección visual del estado del tunel del pestillo					x			Grupo inspección y tecnología
Medir espesor de la placa de desgaste					x			Grupo inspección y tecnología
Cambiar placa de desgaste							x	Técnicos mecánicos
Medir desgaste del retenedor del pestillo				x				Grupo inspección y tecnología
Cambiar retenedor del pestillo						x		Técnicos mecánicos
Medir desgaste del pestillo		x						Grupo inspección y tecnología
Cambiar pestillo							x	Técnicos mecánicos

Adicional a las tareas descritas en la hoja de decisión se sugieren algunas acciones inmediatas a seguir, a fin de mejorar los reportes por sistema de apertura:

- Reducir el espacio entre el inserto y el pestillo, esto logra que el recorrido del pestillo sea mas corto y por ende no golpee con tanta fuerza el inserto, para disminuir su desgaste y prolongar la vida del pestillo. Esto conlleva a disminuir drásticamente las llamadas por shims, requeridas para realizar ajuste del contacto pestillo – inserto (ver anexo E).

- Realizar entrenamiento a operadores de tractor de llantas en ajuste del sistema de apertura (extracción e instalación de shims). Después de realizar el análisis de tiempo de intervención del ajuste, los operadores tardan en promedio 12 minutos Vs. 40 minutos que tienen que emplear los técnicos debido al desplazamiento desde el taller hasta el equipo.
- Garantizar que el contacto entre el pestillo y el inserto sea entre 3/4" y 1". (Ver Anexo C).
- Implementar la realización de la inspección preoperacional del equipo por parte del operador de la pala. Esto permite identificar fallas potenciales y su frecuencia de monitoreo es más ajustada debido a que debe realizarse cada turno de trabajo (Ver Anexo D).
- Garantizar que la cadena de apertura este constituida por 48 eslabones, para evitar que se enrede en la barra (Ver ilustración 49).
- Instalar en la parte inferior de la cadena una manguera de 3 pulgadas de diámetro interno y 60 cms de largo, esto impide que la cadena se enrede en la barra de apertura, ya que a medida que se van desgastando los eslabones esta se alarga.
- Estandarizar componentes del sistema e implementar mejoras realizadas por la empresa P&H en cuanto a modificaciones de componentes para mejorar la sujeción de elementos.
- Mejorar la calidad y precisión de estándares de mantenimiento y reconstrucción del sistema de apertura.

- Mejorar competencias del personal técnico de palas eléctricas y del taller de soldadura en el sistema de apertura e involucrar a los operadores en el ajuste del sistema por medio de los shims.
- Realizar periódicamente un monitoreo, medición y registro del sistema de apertura.
- Revisar la estrategia de seguimiento, control y cambio, para cada componente del sistema de apertura.
- Incluir en la ruta del mantenimiento preventivo la inspección de grietas en la barra de apertura con tinta reveladora por parte del grupo de Inspecciones y Tecnología.

6. CONCLUSIONES

Realizado el análisis de la situación existente con respecto al desempeño del sistema de apertura se pudo obtener un panorama más claro del comportamiento del mismo y las acciones a seguir para mitigar su impacto, a la vez que servirá como modelo de desarrollo para otros estudios del resto de los sistemas que forman parte de la máquina.

Después de realizar el análisis de los modos de fallas y sus efectos (AMFE), se aplicó el diagrama de decisión propuesto por Jhon Moubray, arrojando las tareas a desempeñar para atacar las fallas más recurrentes y a la vez realizar un control de los componentes más relevantes del sistema de apertura.

Se establecieron las rutas de mantenimiento y se asignaron los responsables de cada una de las tareas. Es conveniente para que el sistema siga operando de forma confiable, hacer el seguimiento al desarrollo de la implementación del presente plan de mantenimiento, lo que permitirá detectar nuevas fallencias y oportunidades de mejora.

7. RECOMENDACIONES

Realizar entrenamiento a los operadores de tractor de llantas, en el proceso de instalación y extracción de shims. Los operadores son las personas más cercanas a las palas eléctricas ya que brindan soporte en la adecuación del área de cargue de la pala, para mantenerla libre de rocas. En promedio un operador demora 12 minutos en atender el reporte con las instrucciones dadas hasta el momento, mientras que los técnicos realizan la labor en 40 minutos, ya que tienen que invertir tiempo en traslado.

Implementar hoja de inspección preoperacional a las palas eléctricas 2800XPC por turno de trabajo, realizada por el operador. Al desarrollar esta hoja se pueden detectar fallas potenciales, que pueden ayudar en la disminución de tiempos down al realizar la intervención planeada de la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

JUNGUITO POMBO, Roberto. Revista mundo cerrejón. Bogotá: Zetta comunicadores, 2012. Ed. 65. 23p.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM. México: Aladon, 2004. 433p.

ORTIZ, Daniel. Mantenimiento centrado en confiabilidad. En: Especialización en gerencia de mantenimiento. Memorias. Barranquilla, 2012.

P&H, Mining. Manual de sistemas eléctricos. Milwaukee, 2008. 842p.

P&H, Mining. Manual de sistemas mecánicos. Milwaukee, 2008. 1090p.

SANTAMARIA, Mario. Reducción de pérdidas de disponibilidad por sistema de apertura del cucharón en las palas eléctricas P&H 2800XP. En: División de mejoramiento, Carbones del Cerrejón Limited. Memorias. La Mina, 2005.

SCHEUERMAN, Adam. Iniciativa sistema de apertura del cucharon palas 2800XPC. En: Carbones del Cerrejón Limited. Memorias. La Mina, 2012.

TEICHER, León. Informe de sostenibilidad. Bogotá: Zetta comunicadores, 2008. 84p.

TEICHER, León. Informe de sostenibilidad. Bogotá: Zetta comunicadores, 2005. 158p.

TEICHER, León. Revista mundo cerrejón. Bogotá: Zetta comunicadores, 2010. Ed. 56. 35p.

VARGAS CRUZ, Gerardo Arturo. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad Viviente. En: XIV Congreso Internacional de Mantenimiento. Memorias. Bogotá, 2012.

ANEXOS

Anexo A. Hoja de información RCM

Sistema:		Fecha:	Realizado por:	Hoja
		Fecha:	Revisado por:	de
COMPONENTE	FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA

Anexo B. Hoja de decisión RCM

Sistema:										Realizado por:										Fecha:		
Componente:										Revisado por:										Fecha:		
Referencia de Información			Evaluación de las Consecuencias				H1 S1 O1			H2 S2 O2			H3 S3 O3			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por

Anexo C. Procedimiento instalación y extracción de shims

PROCEDIMIENTO PARA CAMBIO DE SHIMS POR EL OPERADOR DEL TRACTOR DE LLANTAS

Fecha: _____ Operador _____

Pala No. _____

Nota: Para esta maniobra debe existir buena comunicación entre el operador y el tractorista. Cada vez que el tractorista se dirija a sacar o instalar un shims, después de que la caja de shims quede libre, el operador de la pala debe apagar la máquina y como señal de que ocurrió el cable de apertura se descuelga además de la señal de autorización que le da el operador de la pala y solo debe encenderla hasta que el tractorista le indique.



Para garantizar el ajuste del sistema de apertura el contacto entre el pestillo y el inserto debe ser entre $\frac{3}{4}$ y 1 pulgada, debe buscarse que las dos parte en contacto estén lo mas paralelas posible.



Si la tapa del cucharon se abre: (Debe buscarse que el pestillo baje), para ello:

1. El operador de la pala informa al tractorista que se esta abriendo el cucharon
2. El operador de la pala apoya el cucharon en el piso y lo desliza hasta que el pestillo suba 1 pulgada para que los shims de la parte inferior queden libre y apaga la pala.
3. Se saca un shims de la parte de abajo, enciende la pala y se levanta un poco el cucharon del suelo para que el pestillo caiga junto con la caja de shims, apaga la pala.
4. Se coloca el shims que se sacó de abajo en la parte de arriba, el tractorista informa al operador el inicio del cargue y se retira del área de la pala.

5. Se carga el balde y se realiza giro y contra rotación a la pala para verificar que el balde no se abra solo, luego se tira del gatillo para probar que el ajuste se el adecuado. Si la tapa del cucharón se continua abriendo, realice nuevamente los pasos 2, 3, 4 y 5 hasta lograr el ajuste deseado.

Si el caso es que la tapa del cucharón no abre: (Debe buscarse que el pestillo suba):

1. El operador de la pala informa al tractorista de la condición y apoya el cucharón vacío en el piso en forma horizontal, para que la caja de shims suba y los shims queden libres y apaga la pala.

2. El tractorista saca un shims de la parte de arriba y pide al operador de la pala que la encienda y deslice el cucharón para que el pestillo y la caja de shims suban dejando un espacio libre en la parte abajo, apaga la pala.

3. Se instala el shims sacado de arriba en el espacio de abajo, el tractorista informa al operador del inicio del cargue y se retira del área de la pala.

4. Se carga el cucharón en el talud y se realizan giros y contra rotación para revisar que no se abra el balde solo, luego se acciona el gatillo y se prueba la apertura de la tapa. Si aun tiene problemas para abrir repita los pasos 1, 2, 3 y 4 hasta lograr el ajuste deseado.

Anexo D. Hoja de inspección preoperacional para entrenamiento operadores

**HOJA DE INSPECCION PREOPERACIONAL PALAS ELECTRICAS P&H
2800XPC**

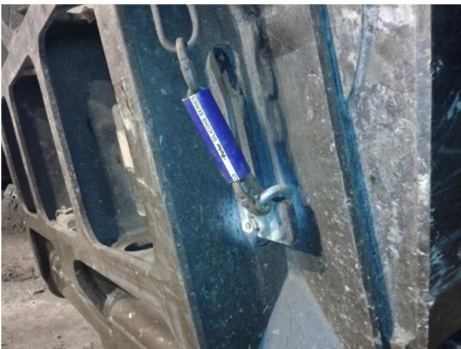
Fecha: _____ Operador _____ Pala No. _____

1. Le faltan dientes al cucharón Si___ No___ Indique cuantos_____



Le faltan adaptadores Si___ No___ Indique cuantos_____

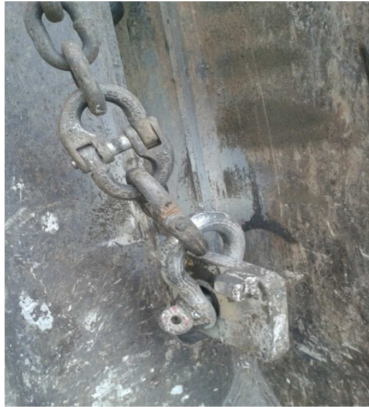
2. La cadena de apertura tiene instalada la manguera Si___ No___



3. El Grillete que une la cadena con la barra:

Esta agrietado Si___ No___

El pasador se gira Si___ No___



4. La barra de apertura esta agrietada Si___ No___



6. El ojete del pestillo esta agrietado Si___ No___

7. Revise los shims en la parte inferior si tiene solo dos informe a mantenimiento



- Verifique que no quede espacio en la parte de arriba de la caja de shims, si lo tiene complete _____

8. El cable de apertura esta deshilachado Si___ No___

9. Los brazos se encuentren lubricados Si_____ No_____

10. Le faltan pines a la zapata, escriba cuantos y de que lado



11. Revise que no haya rastros de grasa abundante en el piso de la pala

12. Revise niveles de aceite de las transmisiones de giro_____ y levante_____

13. Verifique que el compresor de aire esté en modo automático _____

14. Apague y encienda el GUI del cuarto de control _____

15. El aire acondicionado del cuarto de control esta encendido y refrigerando
Si___ No___

16. Apague y encienda el GUI de la cabina del operador _____

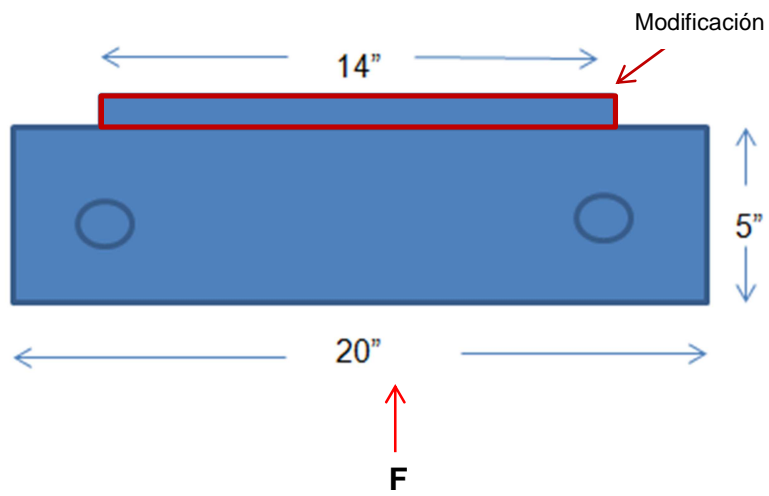
17. Verifique que el aire acondicionado de la cabina del operador este refrigerando

15. Cargue el cucharón y verifique el estado de la apertura del cucharón, en caso de requerir ajuste informe al tractorista, si persiste la falla informe a mantenimiento. _____

16. Verifique niveles de tanque de grasa en el GUI, si es igual o inferior a el 25% informe a mantenimiento, se tiene aproximadamente 96 horas para realizar el tanqueo antes de que dé apagado por grasa. _____

Anexo E. Dimensiones del inserto modificado para reducir espacio con el pestillo

VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL DERECHA

