PROYECTO PILOTO
MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD VIVIENTE

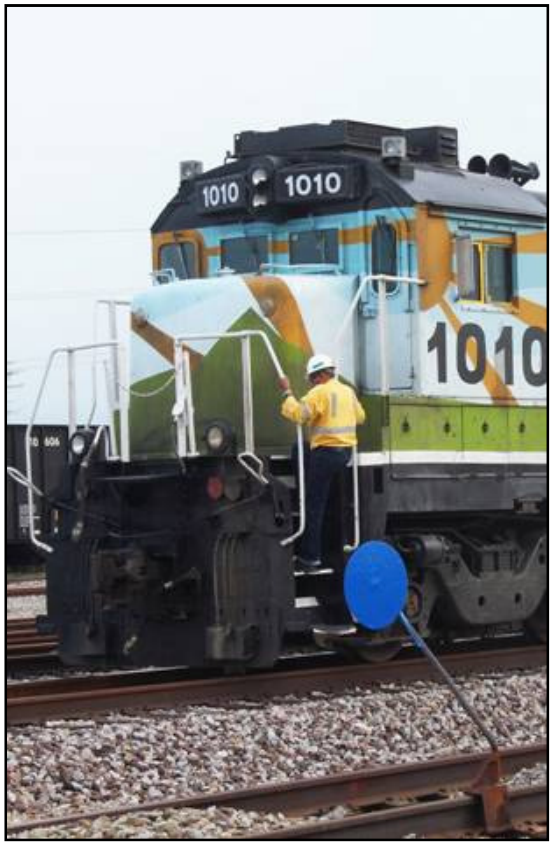
Gerardo Arturo Vargas Cruz
Especialista de Ingeniería de Confiabilidad
Grupo de Inspecciones y Tecnología
Departamento de Mantenimiento
Carbones del Cerrejón Limited - Colombia

Distancias desde La Mina:
Riohacha: 100km
Santa Marta: 290 km.
Barranquilla: 400 km.

» Mina

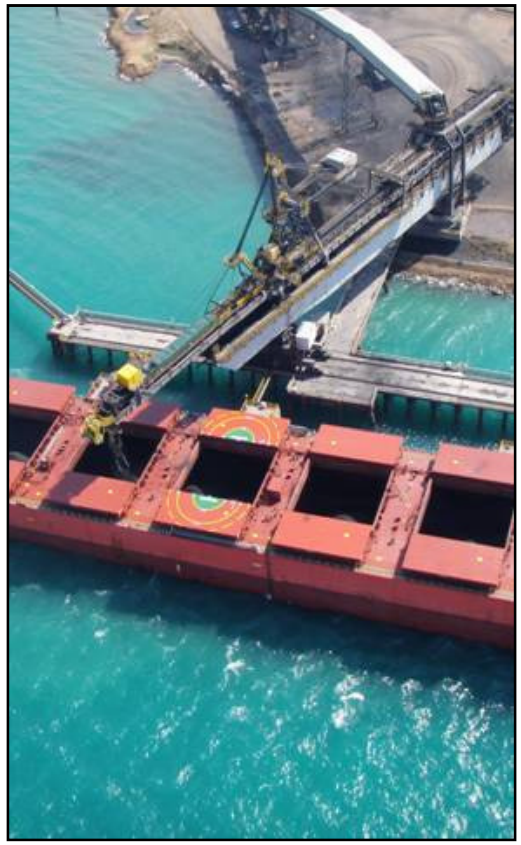
Producción planeada 2012:
*Carbón: **33.3** Millones de toneladas.*
*Estéril: **248** Millones de metros cúbicos.*

» Ferrocarril



***150 Kilómetros** de línea férrea entre La Mina y Puerto Bolívar.*

» Puerto



*El Puerto cuenta con capacidad para buques de hasta **180.000** toneladas.*

Proceso productivo del carbón

Cerrejón
Minería Responsable

1. Rescate y relocalización de fauna.

2. Deforestación y remoción del suelo.

3. Perforación y voladura.

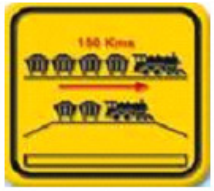
4. Cargue de material estéril.

5. Transporte y disposición de material estéril.

6. Remoción, cargue y transporte de carbón.

7. Trituración y/o alojamiento de carbón.

8. Cargue del tren.



9. Estación de descargue en Puerto Bolívar.

10. Apiladores / Reclamadores.

11. Embarque del carbón.

12. Rehabilitación de tierras.

Cargue de estéril y carbón

Equipo de cargue

Palas Eléctricas de Cable
- 7 P&H 2800XP, 27.5m3
- 6 P&H 2800XPC, 34 m3

Palas Hidráulicas Eléctricas
- 6 Komatsu PC8000 Frontal, 42m3

Palas Hidráulicas Diésel
- 5 Hitachi EX5500, 27m3 Retro

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

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

P&H 2800XPC

- **Capacidad:** 34 metros cúbicos
- **Altura:** 19 metros

Acarreo

Camiones

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

Tractores

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

Equipos de Perforación

11 Taladros Ingersoll Rand DMLSP
2 Taladros Ingersoll Rand DML

Reforestación de tierras

Equipo

Traíllas
- 7 CAT 631E
- 3 CAT 651E

Moto niveladoras
- 1 CAT 16H

Tractores
- 2 CAT D9L + 1 CAT D6H

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

Control de polvo en vías de acarreo

Equipo de Control de Polvo

Tanqueros de agua
- 23 de 20k galones

Equipo de mantenimiento de vías

Motoniveladoras
- 25 Cat. 16G/H/M
- 3 Cat. 24M.

Uso de agua anual: 5.9M m^3
Vías intervenidas: 160 km.

Objetivo general

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

Antecedentes

- **En los últimos años se ha fortalecido en Mantenimiento la utilización del Mantenimiento Basado en Condición o Mantenimiento Predictivo (PdM).**

- **Se han introducido varias aplicaciones y técnicas de PdM, y se ha preparado al personal requerido para su manejo.**

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

Antecedentes

El mejoramiento de la información requería básicamente que:

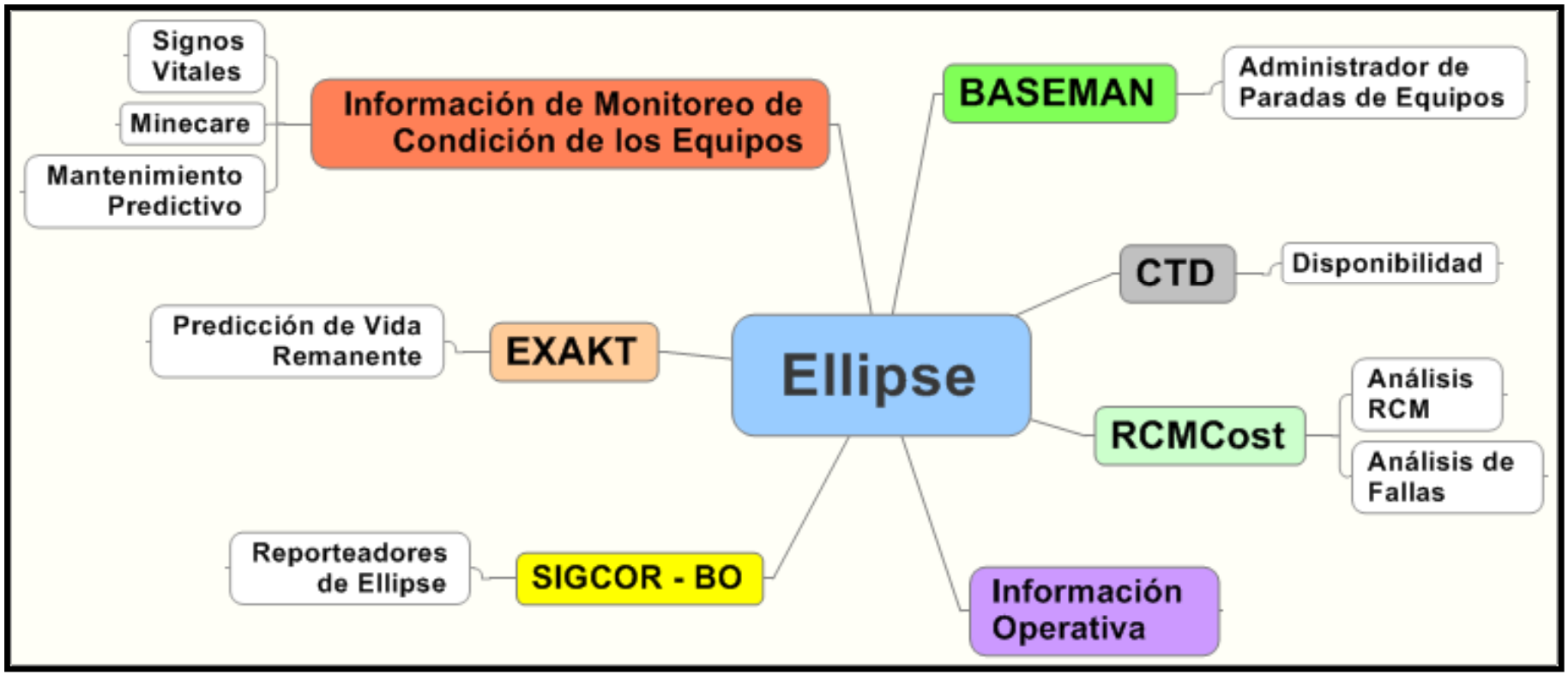
- **Se identificaran los sistemas y componentes en los cuales se realizaron las actividades de mantenimiento.**
- **Se llenaran y registraran apropiadamente lo reportes de las inspecciones.**
- **Se registraran los modos de falla encontrados y las soluciones dadas.**

Antecedentes

Los análisis de confiabilidad son direccionados por tres fuentes principales de información:

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

Sistemas y aplicaciones utilizadas



Proceso LRCM

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

El LRCM tiene como objetivos principales:

- **La mejora en la efectividad de la gestión de mantenimiento a través de la construcción y optimización de modelos de decisión.**

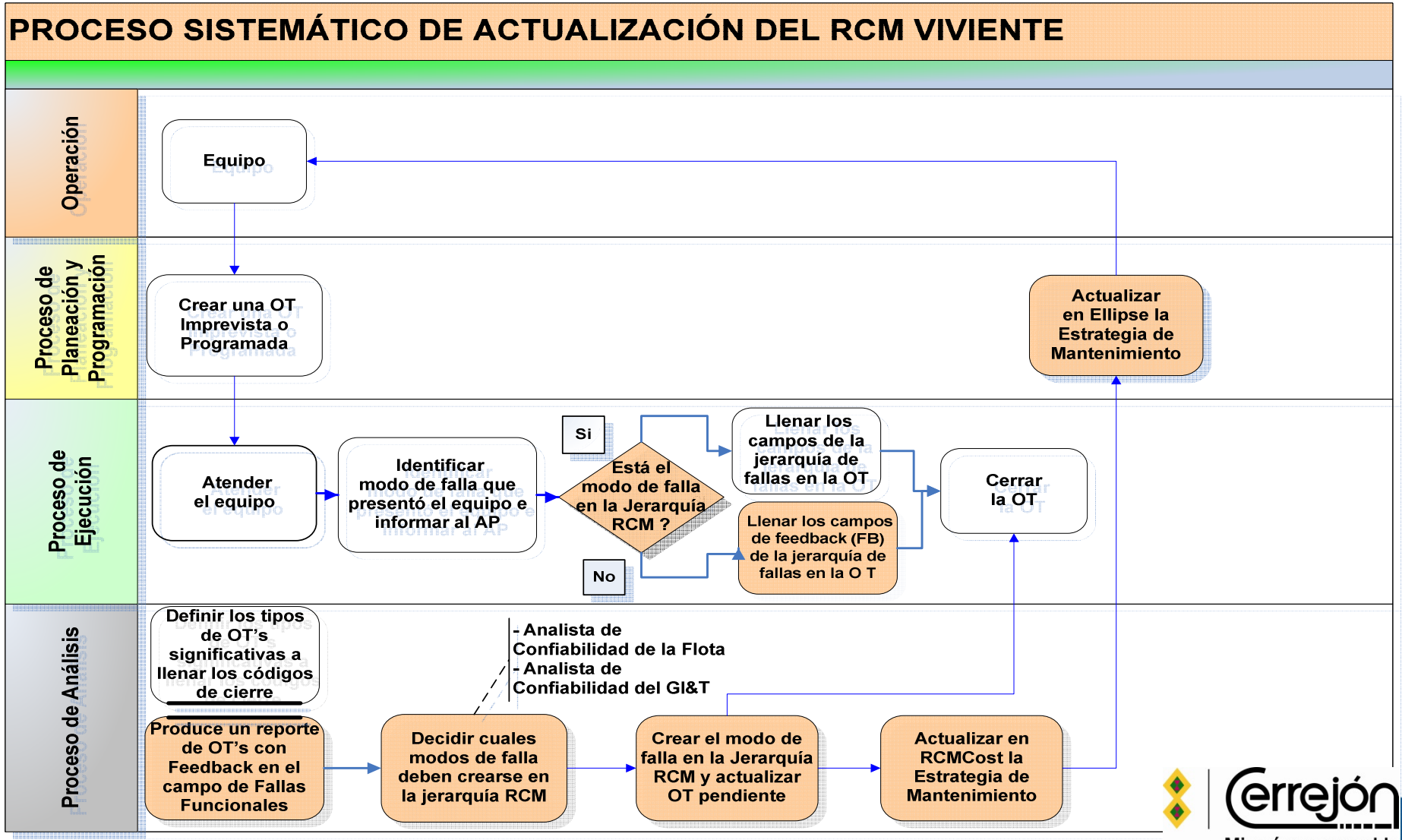
- **La actualización dinámica de la base de conocimiento de mantenimiento (RCM) que optimice periódicamente los planes de mantenimiento.**

Proceso LRCM

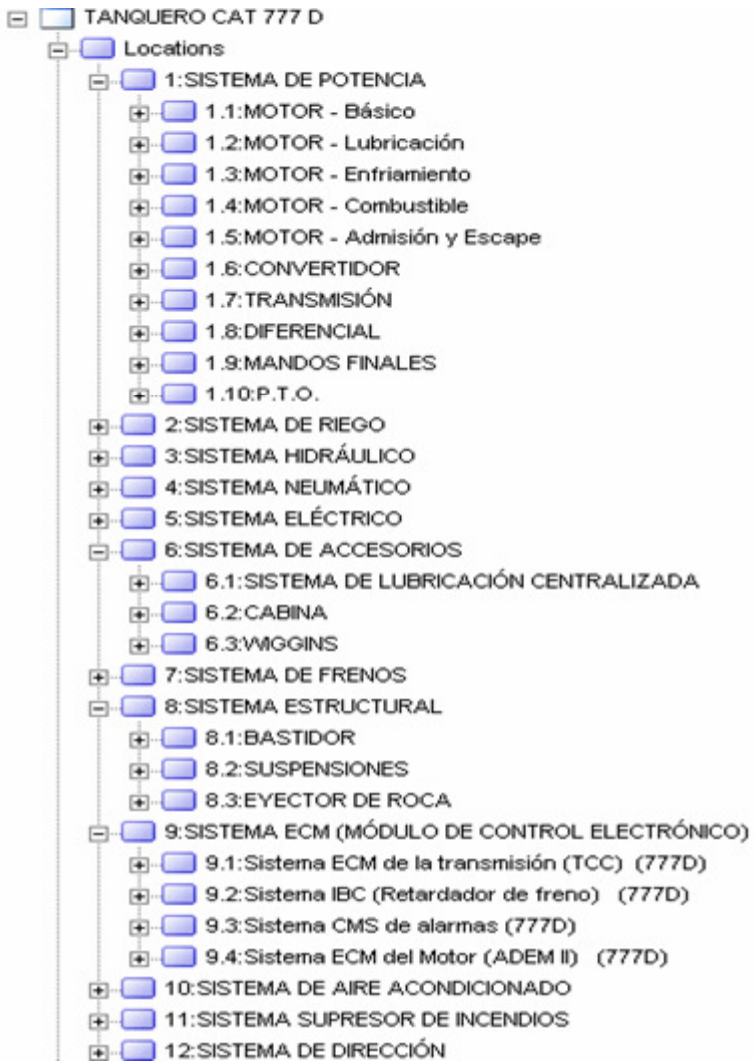
Los retos a enfrentar durante este proceso incluyen:

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

Proceso LRCM



Análisis RCM



Actualizar análisis RCM de algunas flotas y realizar los de las que no lo tenían.

Jerarquía de Sistemas y Componentes RCM de la Flota de Tanqueros Cat 777D.

Documentación análisis RCM

Documentación de los análisis RCM en el software RCMCost.

Análisis RCM de los Tanqueros Cat 777D.

Estado y plan de análisis RCM

ESTADO DE ANÁLISIS RCM					
	Flota	No. Equipos	RCM Elaborado	RCM Revisado	Necesidades 2010
Palas Eléctricas	P&H2800XP	12	OK	OK	Actualizar
	P&H2800XPC	2			Elaborar
Palas Hidráulicas	PC4000	5	OK		Implementación
	EX3600	3	OK		Implementación
Cargadores	L1100	5	OK		X
	L1350	5	OK		Actualizar
Camiones Mecánicos	Cat240	63	OK	OK	Actualizar
	Cat789	40	OK		Terminar
Camiones Eléctricos	EH5000	121	OK		Actualizar
Motoniveladoras	Motos 16H/M	25	OK	OK	Implementar revisión
	24M	2			Elaborar
Tanqueros	777B/C/	22	OK		Actualizar
Tractores de Llantas	854G	11	OK		Actualizar
	834B	8			X
	834G	7	OK		Actualizar
	834H	4			Elaborar
Traillas	631E	3	OK		Actualizar
	651E	3	OK		Actualizar
Tractores de Orugas	D11N	6	OK		X
	D11R	7			Elaborar
	D10N	3			Elaborar
	D10R	11	OK		Actualizar
	D10T	12			Elaborar
	D9L	9	OK		X
	D9T	2			Elaborar
	D8T	2			Elaborar
Taladros	DMLSP	10			Elaborar

Codificación y actualización

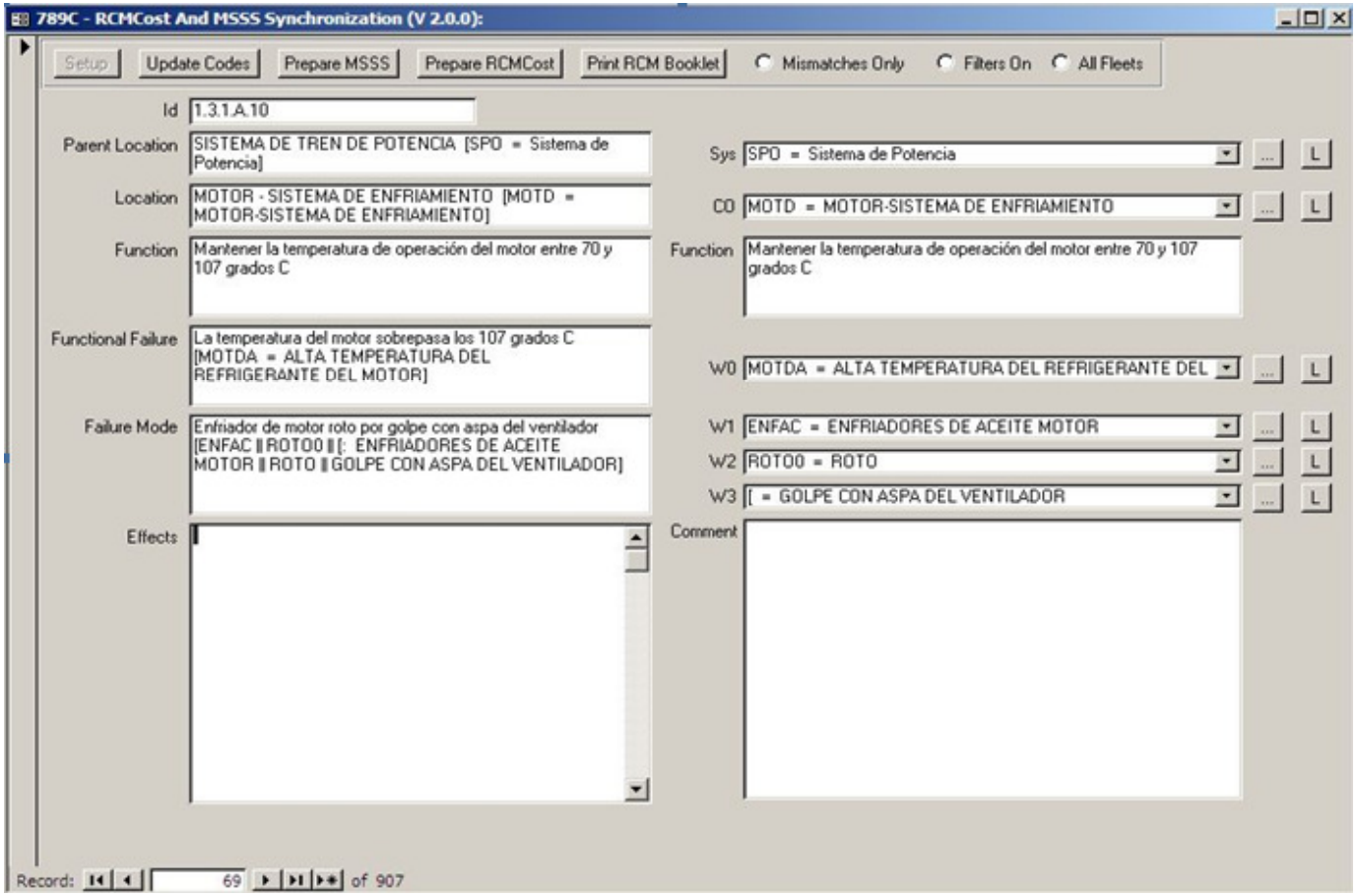
EQUIP_GRP_ID	FAILURE_MODI	FAILURE_CODE	FUNCTION_COD
789C	CSAEE	ABRAZ	FLOJO
789C	CSAEE	ABRAZ	ROTO
789C	LUBCD	ABRTT	DETER
789C	ACONT	ACECO	DEGRA
789C	CONVG	ACECO	DEGRA
789C	CFREF	ACEFP	BAPRE
789C	ACONT	ACEHI	DEGRA
789C	CDIRD	ACEHI	DEGRA
789C	CSHIA	ACEHI	CONTA
789C	CSHIF	ACEHI	DEGRA
789C	CSHIG	ACEHI	EXCES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

Codificación de Fallas Funcionales, Partes y Modos de Falla.

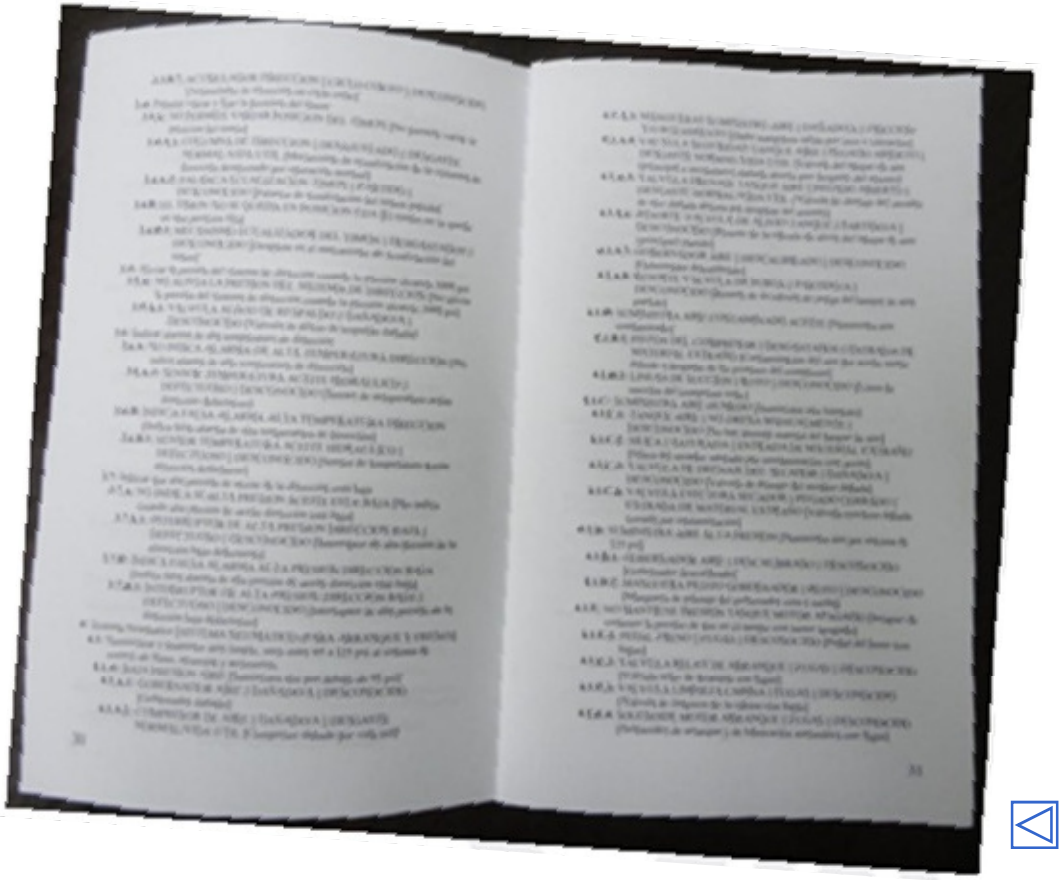
Id	SysCode	CompCode	W0	W1	W2	W3
1.1.1.A.1	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DESGA	J
1.1.1.A.10	SPO	MOTR	MOTRA	SISAE	DANAD	N
1.1.1.A.11	SPO	MOTR	MOTRA	SISCO	DANAD	N
1.1.1.A.12	SPO	MOTR	MOTRA	ANILL	DESGA	J
1.1.1.A.13	SPO	MOTR	MOTRA	PISTN	DESGA	J
1.1.1.A.14	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DESGA	<
1.1.1.A.15	SPO	MOTR	MOTRA	PISTN	DESGA	>
1.1.1.A.16	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DANAD	N
1.1.1.A.2	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DESGA	>
1.1.1.A.3	SPO	MOTR	MOTRA	PISTN	DESGA	X
1.1.1.A.4	SPO	MOTR	MOTRA	CAMIS	DESGA	X
1.1.1.A.5	SPO	MOTR	MOTRA	TREVA	DESGA	J
1.1.1.A.6	SPO	MOTR	MOTRA	TREVA	DESGA	<
1.1.1.A.7	SPO	MOTR	MOTRA	GUIA0	DESGA	J
1.1.1.A.8	SPO	MOTR	MOTRA	MOTOR	DECAL	K

Tablas para Creación y Actualización en Ellipse de los Análisis RCM y sus Actualizaciones.

Herramienta de sincronización



Folleto de la jerarquía RCM



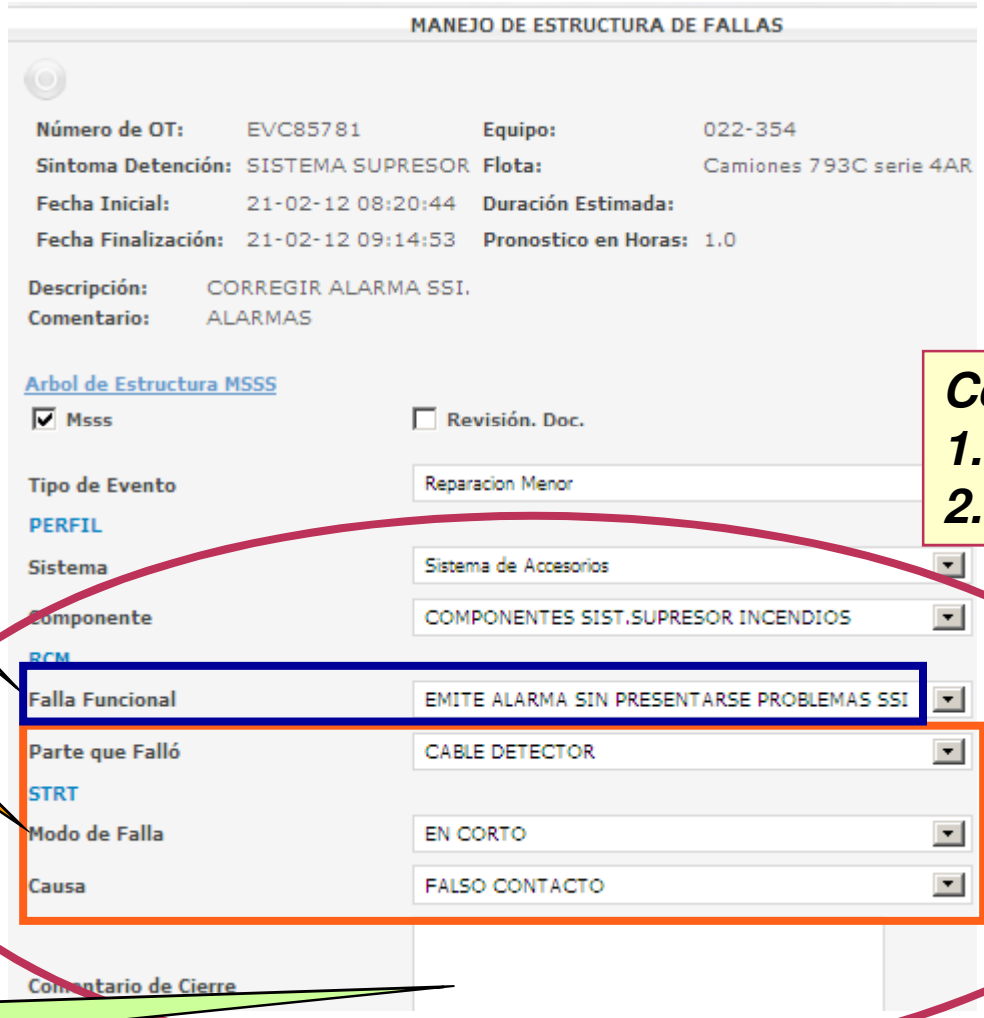
Entrenamiento RCM y LRCM

FLOTA / ÁREA	AP's	TÉCNICOS	SUPERVISORES / ANALISTAS	PLANEADORES / PROGRAMADORES	OTROS	TOTAL
CAMIONES MECÁNICOS	6	55	11	3		75
CAMIONES ELÉCTRICOS	5	3	1	1	1	11
CARGUE	5		2		1	8
PALAS HIDRÁULICAS		34	5	5		44
CARGADORES		8	3	1		12
PALAS ELÉCTRICAS		7				7
EALL-TOR	7	2				9
EALL		9	2	4		15
TOR		12	1	4		17
RECONSTRUCCIÓN - ELECTRÓNICA		9	4	1		14
GI&T			6			6
CONTRATOS			1		1	2
HERRAMIENTAS - LOG			1		1	2
CUMMINS					1	1
CHANEME					9	9
GECOLSA					6	6
TECPALSA					4	4
MASA - SOLDADURA					1	1
CAPITAL HUMANO - INSTRUCTORES					8	8
EPROQMECÁNICA					3	3
AIRECARIBE					1	1
BLASTINGMAR					2	2
LUNA HERMANOS					1	1
TOTAL	23	139	37	19	40	258

Aplicación BASEMAN

ID	EQUIPO	SINT.	INICIO	FIN	OT	DESCRIPCIÓN	ESTADO	LUGAR	PERFIL	OPERARIO	OTR	MSSS	CC	LB
219593	0220346	004	21-02-12 15:33:40		KE187872 EVC85938	EJECUTAR TAREAS DE BACKLOG CAT2401	Reparando	Taller L.DOWN_PTE	Mantenimiento Preventivo -	-	2	NO		
219715	0220359	034	22-02-12 08:21:28		EVC86244		Esperando Respuesta	Enlace L.LISTO COTORRA	-	-	0	SI		
219713	0220454	004	22-02-12 08:19:23		EVC86242		Esperando Respuesta	Pto. LLamada PCX122	-	-	0	SI		
219709	0220427	004	22-02-12 08:02:17		KE187887 EVC86238	EJECUTAR INSPECCION PRE-PM	Reparando	Enlace L.LISTO OREGANAL	-	LUIS BONILLA, ONATE	1	SI		
219699	0220379	700	22-02-12 07:39:24		EVC86228	CALIBRAR BASCULA	Reparando	Enlace L.LISTO L_8	-	SEDIEL MOLINA, JIMENEZ	0	SI		
219592	0220339	700	22-02-12 05:54:09		EVC86195	REPARAR FUGA DE ACEITE CONVERTIDOR	Reparando	Enlace L.LISTO EL 100	Sistema de Potencia - CONVERTIDOR	-	1	SI		
219601	0220391	004	22-02-12 03:24:27		KE187637 EVC86156	EJECUTAR SEIS DE 600 HORAS	PM (Seis/PrePM)	Taller L.DOWN_PTE	Mantenimiento Preventivo -	-	2	NO		
219598	0220377	021	22-02-12 03:24:22		EVC86155	EVALUAR LLANTAS #1 PINCHADA	Reparando	Pto. LLamada PCP78	Sistema de Llantas - LLANTAS	-	1	SI		
219600	0220385	009	22-02-12 00:38:33		EVC86113	CORREGIR FUGA DE REFTE	Reparando	Enlace L.LISTO EL 100	Sistema de Potencia - MOTOR-SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	-	0	SI		
	0220437	004	21-02-12 11:42:03		KE187763 EVC85878	EJECUTAR TAREAS DE BACKLOG CAT2401	Reparando	Taller L.DOWN_PTE	Mantenimiento Preventivo -	-	2	NO		
219599	0220380	021	21-02-12 08:23:51		EVC85782	CAMBIAR MANDO FINAL DERECHO	Demora por componentes	Taller LLANTERIA	Sistema de Llantas - LLANTAS	-	1	SI		
219596	0220371	500	20-02-12 11:17:58		EVC85394	REPARAR TOLVA/MAL ESTADO	Reparando	Taller L.DOWN_PTE	Sistema Estructural - TOLVA	-	0	SI		
	0220358	700	20-02-12 06:41:38		EVC85280	EVALUAR PASO DE AGUA AL SIST. HCO.	Reparando	Taller L.DOWN_PTE	Sistema de Levante - COMPONENTES	ARNULFO PELUFFO,	0	SI		

Aplicación BASEMAN – documentación



Falla

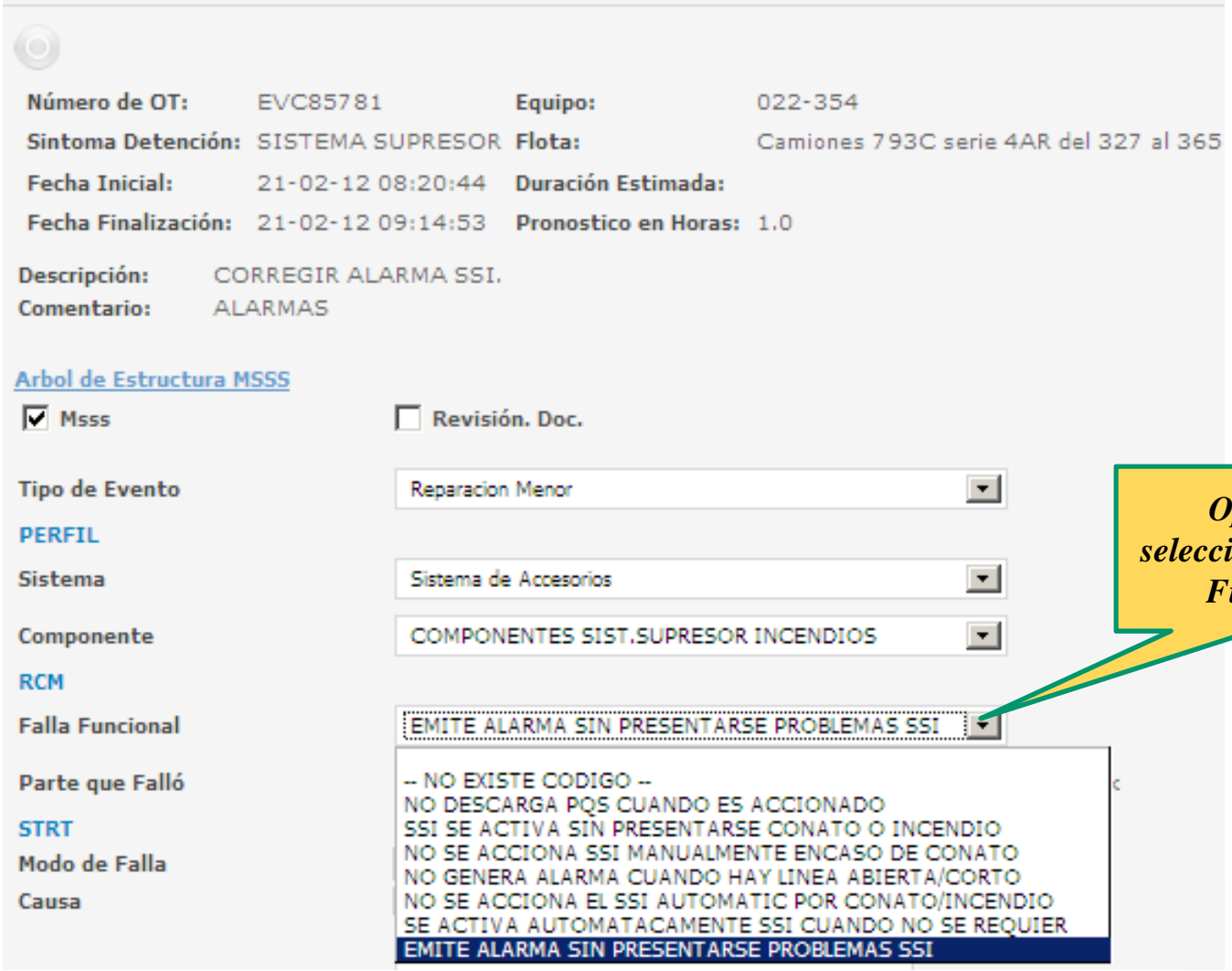
Modo de Falla

Recolectar para Efectos RCM

Conexión entre:
1. Teoría (RCM) y
2. Realidad (OT's)

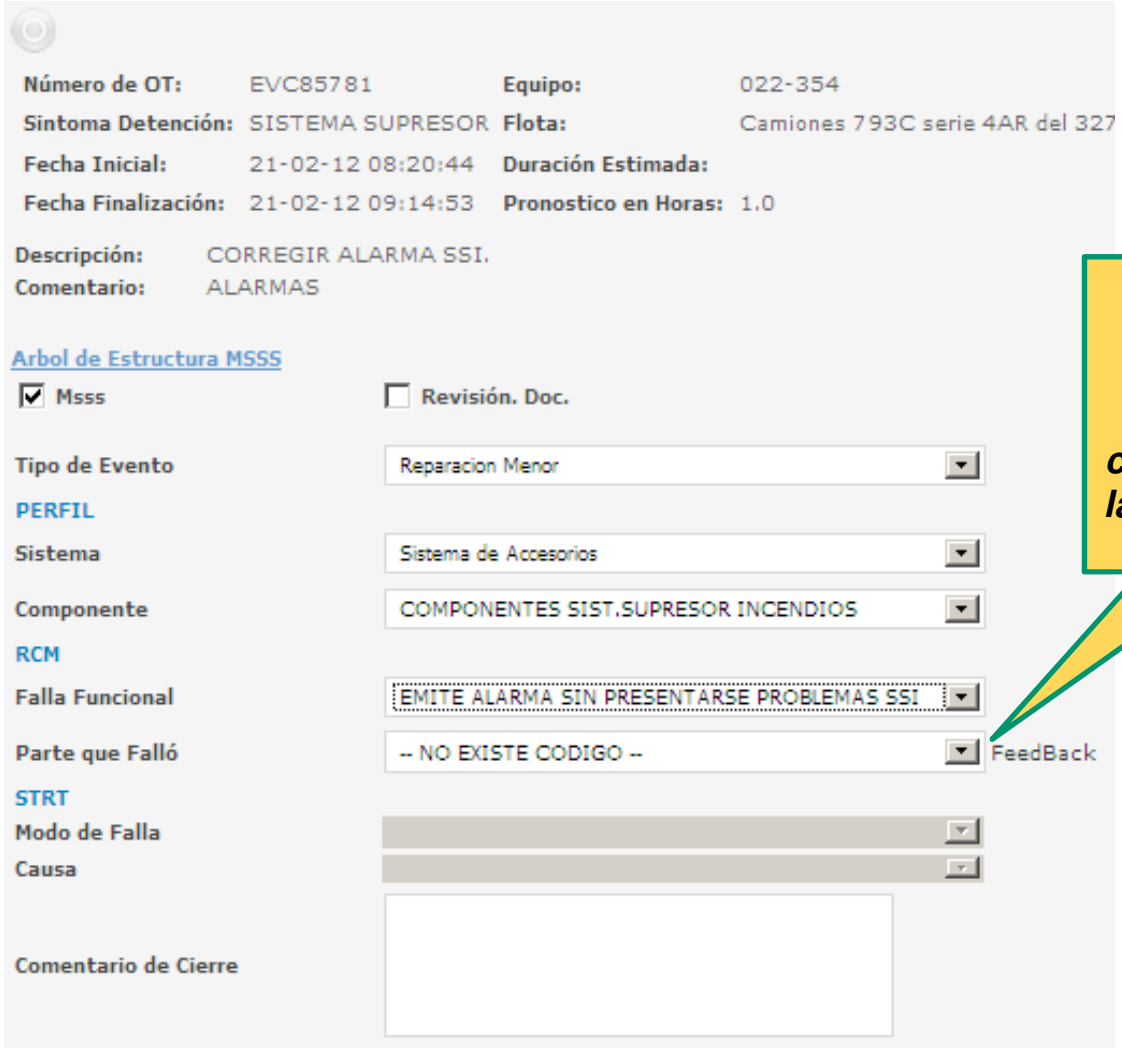
Cerrejón Minería responsable

Aplicación BASEMAN



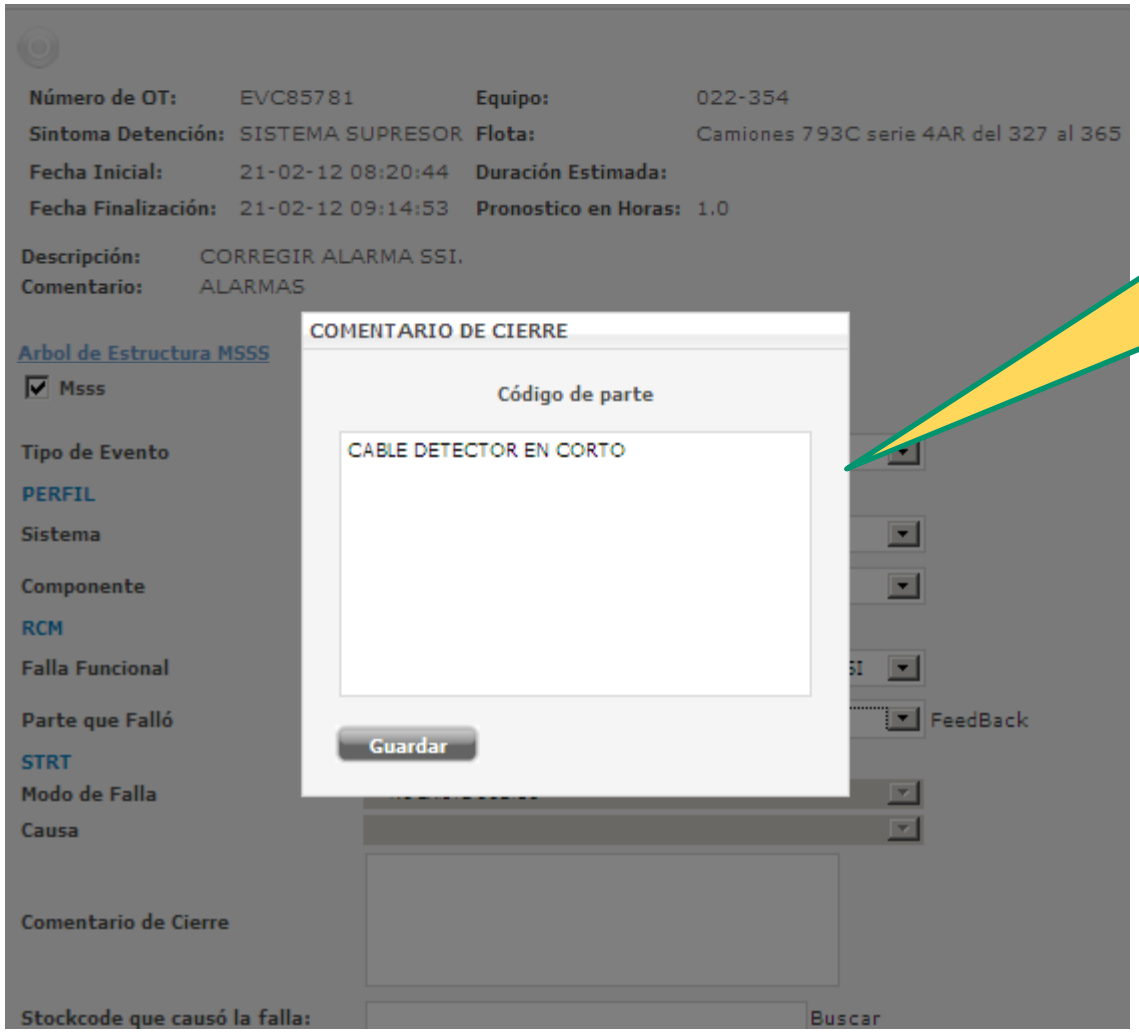
Opción de seleccionar la Falla Funcional

Aplicación BASEMAN



Opción de seleccionar Feedback cuando no existe la parte que falló.

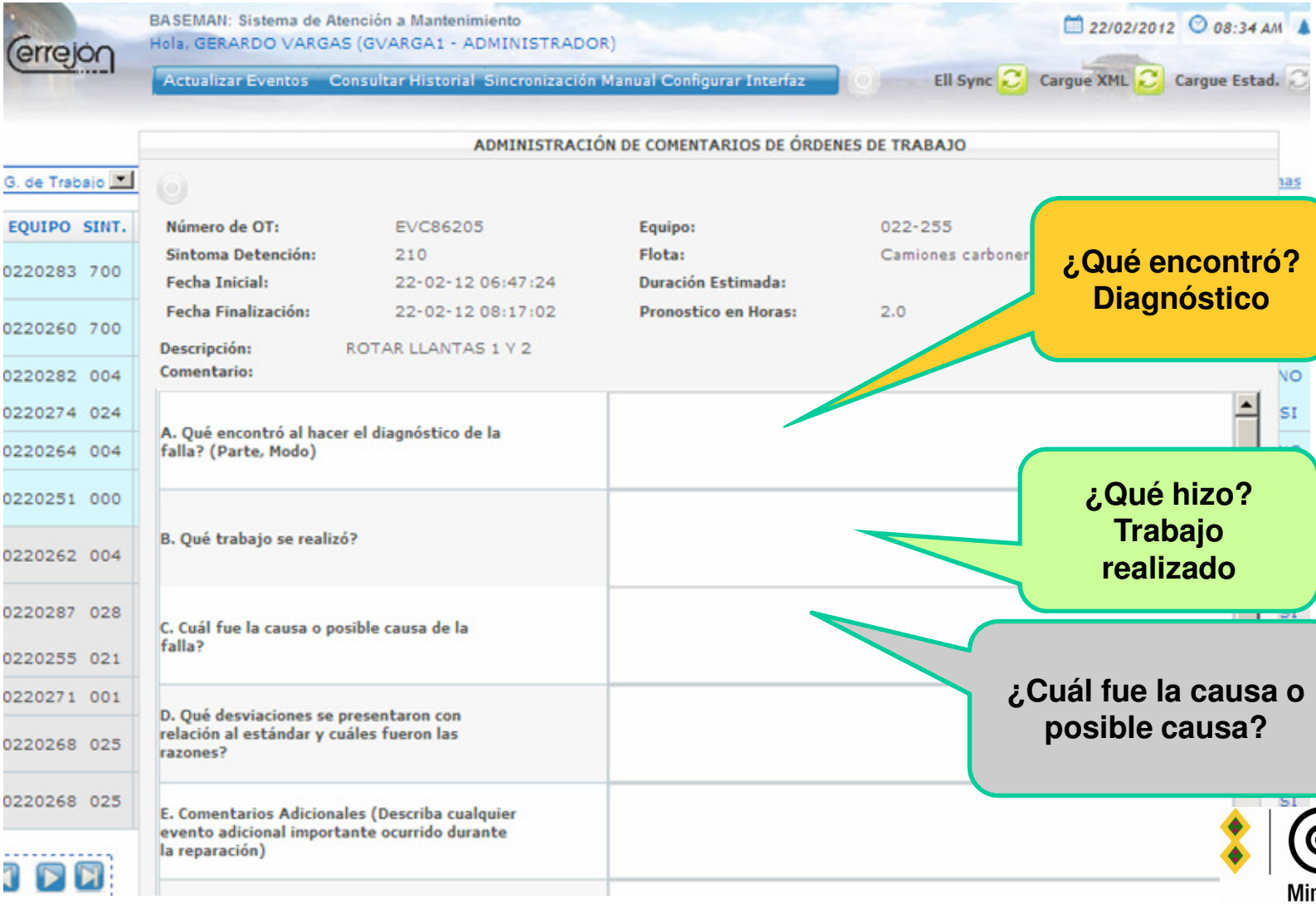
Aplicación BASEMAN



Opción de documentar la información no encontrada en la jerarquía RCM.

Cerrejón Minería responsable

Aplicación BASEMAN – Comentarios



Actualizaciones con base en FEEDBACK

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

Estadísticas Originales

Actualizaciones Sucesivas

Beneficios y KPI's

BENEFICIOS PARA EL PROCESO

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

Beneficios y KPI's

BENEFICIOS PARA EL NEGOCIO

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

Beneficios y KPI's

INDICADORES DE PROCESO

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

Beneficios y KPI's

INDICADORES DE RESULTADOS

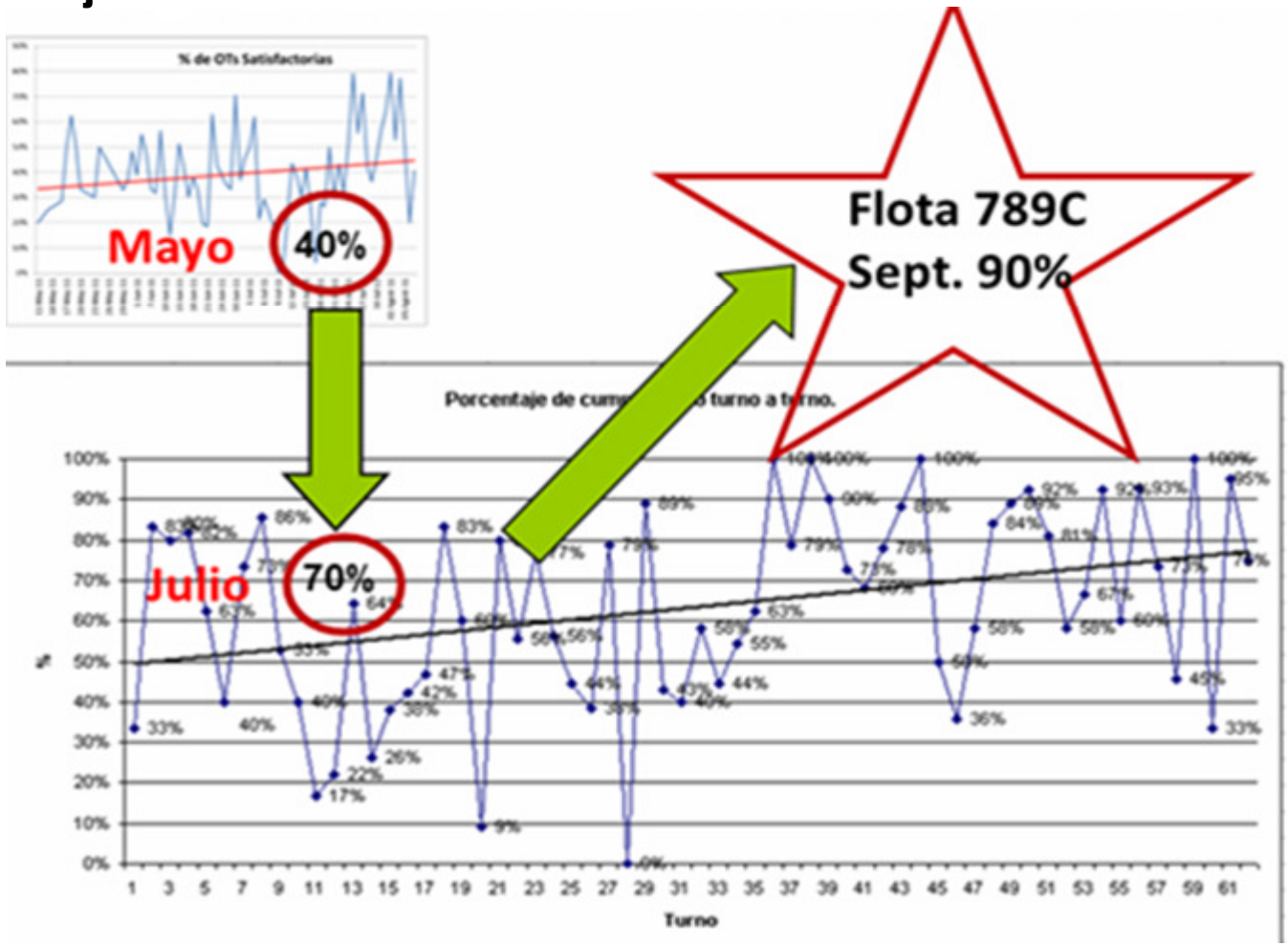
- **Tiempo medio entre fallas.**
- **Costo de Reconstrucción de los componentes considerados.**
- **Vida media de componentes principales.**

Monitoreo de la calidad de la información

FECHA	SHIFT	WORK_ORDER	WO_DESC	COMENTARIOS	TIPO_EVENTO	COMP_CODE	FALLA FUNC.	PARTE	MODO	CAUSA	S_DESC	QUE ENCONTRO	QUE HIZO	CUAL FUE LA CAUSA	PREGUNTAS
20111115	D	EVC43983	COMPLETAR NIVEL REFRIGERANTE		Falla Funcional	MOTD	BAJO NIVEL DE REFRIGERANTE	----------Codigo de parte SISTEMA DE REFRIGERANTE BAJO NIVEL			Sistema de Potencia				Porque el bajo nivel ?
20111115	D	EVC44097	REPARAR BAJA POTENCIA		Falla Potencial	MOTC	NO SUMINISTRA AIRE DE ADMISION	FILTRO DE AIRE DEL MOTOR	OBSTRUIDO	----------Codigo de causa FILTROS TAPONADOS TIERRA CAMBIAR FILTROS	Sistema de Potencia		Que trabajo se realizo? SE CAMBIARON LOS FILTROS PRIMARIOS DE AIRE		OK
20111115	N	EVC44198	SUMINISTRAR AIRE PARA ARRANQUE		Falla Funcional	CNEU	SUMINISTRA AIRE ALTA PRESION	----------Codigo de parte TK DEL SISTEMA NEUMATICO CON BAJAPRESION DE AIRE			Sistema Neumatíco				X
20111115	D	EVC44079	REALIZAR PM DE 250 HRS								INSPECCIONES Y SERVICIOS(*)				X
20111115	D	EVC43926	REPARAR FUGA DE ACEITE HDCO.		Falla Funcional	SUSP	ACEITE SUSPENSION CONTAMINADO / FUGA	----------Codigo de parte VALVULA DE LLENADO GOLPEADA			Sistema Estructural	Que encontro al hacer el diagnostico de la falla? (Parte, Modo) SE ATENDIO POR RADIO	Que trabajo se realizo? SEACORDO CON OPERADOR DE TRAERLO MAS TARDE PARA IDENTIFICAR LA		OK
20111115	N	EVC44211	REP.X TOLVA GOLPEA AL BAJAR		Falla Funcional	CSLE	TOLVA GOLPEA AL BAJAR	MATERIAL	PEGADO A LA TOLVA	DESCONOCIDO	Sistema de Levante	Que encontro al hacer el diagnostico de la falla? (Parte, Modo) TOLVA GOLPEA AL BAJAR	Que trabajo se realizo? SE DESCARGO CARBON PEGADO EN LA	Cual fue la causa oposible causa de la falla? CARBON	OK
20111115	D	EVC44105	REPARAR X FRENADO								SISTEMA NEUMATICO(*)				CODIGOS ?
20111115	D	EVC44011	AJUSTAR ESPEJO RETROVISOR		Falla Funcional	CABI	POCA VISIBILIDAD AL OPERADOR	ESPEJO RETROVISOR	DESAJUSTADO	----------Codigo de causa VIBRACION	Sistema de Accesorios		Que trabajo se realizo? SE AJUSTO ESPEJO		OK
20111115	N	EVC44301	EVALUAR FUGA HCA X M.FINALE DERECHO		Falla Funcional	MFIN	----------Codigo de falla FUGA HCA X MFD				Sistema de Potencia	Que encontro al hacer el diagnostico de la falla? (Parte, Modo) FUGA HCA X PAQUETE DE	Que trabajo se realizo? SE EVALUO LA FUGA X EL MF		OK

Monitoreo de la calidad de la información

Mejoramiento de la información en las OT's



Análisis de llamadas por sistemas

SIST	COMP_CODE	WO_JOB_CODEX1	Total
SPO	MOTR	ENFRIAMIENTO - BAJO NIVEL REFRIGERANTE	187
		MOTOR BASICO - BAJA POTENCIA	126
		COMBUSTIBLE - BAJO NIVEL	16
		ESCAPE - FUGA GASES	7
		LUBRICACION - FUGAS	5
		LUBRICACION - CONTAMINACION	3
		ENFRIAMIENTO - CONTAMINACION	3
		LUBRICACION - ALTO NIVEL	2
		LUBRICACION - BAJA PRESION	2
		COMBUSTIBLE - CONTAMINACION	1
		ENFRIAMIENTO - RECALENTAMIENTO	1
	TRAN	BAJO NIVEL DE ACEITE	18
		SIN POTENCIA A VELOCIDAD REQUERIDA	11
		SIN POTENCIA	7
		ACEITE CONTAMINADO	3
		TRANSMISION DESLIZA	1
		(blank)	
	CONV	BAJO NIVEL ACEITE	21
	MFIN	NO TRANSFIERE POTENCIA	19
		BAJO NIVEL DE ACEITE	1
	DIFE	BAJA PRESION ACEITE DIFERENCIAL	1
		ACEITE CONTAMINADO	1

Análisis de llamadas por falla funcional

SIST	COMP_CODE	WO_JOB_CODEX1	Total
SPO	(blank)	(blank)	266
	MOTD	NO CONTIENE REFRIGERANTE	160
		=	49
		BAJA PRESION EN EL SISTEMA	43
		ALTA TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE DEL MOTOR	6
		REFRIGERANTE CONTAMINADO	3
		ALTA PRESION DEL REFRIGERANTE	2
	CONV	NO CONTIENE EL ACEITE EN EL NIVEL REQUERIDO	100
		=	16
		PAQUETE DE BOMBAS SIN ACCIONAMIENTO	5
		SIN POTENCIA EN MANDO HIDRÁULICO	3
		SIN POTENCIA EN MANDO DIRECTO	3
		DESLIZAMIENTO EMBRAGUE DE TRABA CONVERTIDOR	3
		NO FILTRA LAS PARTICULAS GRANDE	3
		NO MANTIENE TEMP CONV Y TRANS POR DEBAJO DE XX C	1
		(blank)	1
	TRAN	SIN POTENCIA - NEUTRALIZADO	46
		=	38
		TRANSMISION	5
		ACEITE CONTAMINADO	4
		SIN POTENCIA A VELOCIDAD REQUERIDA	4
		TRANSMISION DESLIZA	3
		NO REALIZA CAMBIOS DE MARCHA MODULADAMENTE	3
		BAJA PRESION ACEITE	3
		NO PREVIENE ENTRADA DE PARTICULAS A TRANSMISION	2
		(blank)	2
		NO NEUTRALIZA SI PALANCA TOLVA POSICION LEVANTAR	2
		NO FUNCIONA ALARMAS RETROCESO	1

Conclusiones

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

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

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

Cerrejón
Minería responsable

¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!