

**METODOLOGÍA RCA, PARA IDENTIFICAR CAUSA RAÍZ DE LAS FALLAS
GENERADAS EN EQUIPOS CRÍTICOS DE HALLIBURTON S.A**

**OLIMPO EBDER CÁRDENAS
FABIO LEONEL GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2016

**METODOLOGÍA RCA, PARA IDENTIFICAR CAUSA RAÍZ DE LAS FALLAS
GENERADAS EN EQUIPOS CRÍTICOS DE HALLIBURTON S.A**

**OLIMPO EBDER CÁRDENAS QUINTERO
FABIO LEONEL GONZÁLEZ ALMEIDA**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el Título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

Director

**CARLOS BORRÁS PINILLA
Ph.D en Ingeniería Mecánica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

Este es uno más de mis logros planeados en mi carrera profesional. Doy gracias al ser supremo que me brindó la oportunidad de estar con vida y culminar con éxito este objetivo trazado en mi vida. Gracias por darme la mano y levantarme en los momentos más difíciles cuando se cree no poder salir de tantas dificultades, este triunfo es dedicado a ti señor Jesús.

A mi esposa Ginna Marcela Ardila, le doy las gracias por ese apoyo incondicional y dedicado que siempre he recibido de ti. Eres la mujer más maravillosa que puede existir, gracias por ese amor, acompañamiento y comprensión.

A mis padres Juan de Jesús Cárdenas Vivas y Aurora Quintero Jiménez, quienes forjaron en mí todos los principios y valores para que fuera un hombre de bien, con vocación de servicio a los demás. Gracias padres por ser los seres más hermosos que tengo en la vida, este nuevo triunfo es de ustedes.

Olimpo Edber Cardenas Quintero

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

A Dios por habernos permitido alcanzar un nuevo logro de nuestras vidas.

A nuestras familias: padres, hermanos, esposa y demás que nos apoyaron en los momentos difíciles.

El ingeniero Carlos Borrás Pinilla, director de monografía por su apoyo y observaciones que enriquecen nuestros conocimientos.

A la Universidad Industrial de Santander y profesores por impartir conocimiento.

A Unisangil por prestar sus instalaciones y personal que ayudaron a construir nuestra meta.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. ASPECTOS GENERALES	24
1.1 HISTORIA DE HALLIBURTON	24
1.1.1 Halliburton en Colombia	25
1.1.2 PSL´s - Líneas de Servicio	26
1.2 PERFIL CORPORATIVO HALLIBURTON	27
1.2.1 Misión	27
1.2.2 Visión	27
1.2.3 Líneas de Negocio	27
1.2.3.1 Perforación y Evaluación	28
1.2.3.2 Completion and Production	29
1.3 ESTRUCTURA REGIONAL	31
1.3.1 Organigrama Colombia	31
1.4 LÍNEA DE SOPORTE DE MANTENIMIENTO	32
1.4.1 Internal Equipment Maintenance (IEM).	32
1.4.2 Misión	33
1.4.3 Visión	33
1.4.4 Organigrama IEM Colombia	33

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA IEM	35
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	35
2.2 JUSTIFICACIÓN	35
2.3 OBJETIVOS	37
2.3.1. Objetivos generales.	37
2.3.2 Objetivos específicos.	37
3. MARCO TEÓRICO	38
3.1 RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD)	38
3.1.1 Conceptos del RCM	39
3.1.2 El contexto operacional	40
3.1.3 Funciones	40
3.1.4 Fallas funcionales o estados de falla	40
3.1.5 Modos de falla	40
3.1.6 Los efectos de falla	41
3.1.7 Categoría de consecuencias	41
3.1.8 Diferencia entre efectos y consecuencias de falla	42
3.1.9 Diferencia entre falla funcional y modos de falla	43
3.1.10 Fallas ocultas	43
3.2 CONFIABILIDAD OPERACIONAL	44
3.2.1. Confiabilidad de Equipos	44
3.2.2 Herramientas para la Optimización de la Confiabilidad en Equipos	45
3.3 RCA (ANÁLISIS CAUSA RAÍZ)	46
3.3.1 Cuando utilizar RCA	47

3.3.2 Metodología del RCA	47
3.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE FALLAS EN MANTENIMIENTO	51
3.4.1 Método Cuantitativo para el Análisis de Falla.	51
3.4.2 Análisis de Pareto	51
3.3.3 Objetivos del Análisis de Pareto	53
3.4.4 Método Cualitativo para el Análisis de Falla	54
3.5 METODOLOGÍA TAPROOT	54
3.5.1 Causa & Efecto	55
3.5.2 Causitis Favoritus	56
3.4.3 TapRoot® Supera la Causitis Favoritus	57
3.5.4 Escalamiento de una Investigación	57
4. DIAGNOSTICO SITUACIÓN ACTUAL EN EIM	59
4.1 APLICACIÓN DE RCM – EQUIPOS CRITICOS	60
4.1.1 Análisis de Criticidad	60
4.1.2 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad	60
4.1.3 Frecuencia de la falla funcional	61
4.1.4 Cálculo del nivel de criticidad	66
4.1.5 Análisis y Validación de los resultados	66
4.2. EVALUACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS	66
4.2.1 Desarrollo de la evaluación de equipos críticos.	69
5. DESERROLLO DE LA APLICACIÓN	72
5.1 EQUIPO DE COILED TUBING	72
5.1.1 Tipos unidad de tubería flexible	72

5.1.1.1 Primera Generación de CT	73
5.1.1.2 Segunda Generación de CT	74
5.1.1.3 Tercer Generacion CT. The 60K Coiled Tubing Unit	75
5.1.1.4 Cuarta Genracion de CT.	77
5.1.1.5 Quinta Generación de CT	78
5.1.2 Componentes de una unidad de tubería flexible	81
5.1.2.1 Inyector	82
5.1.2.2 Guía de radio variable tubería arcos	85
5.1.2.3 Carrete	87
5.1.2.4 Power Pack	87
5.1.2.5 Blow Out Preventors (BOP)	92
5.1.2.6 Control House	93
5.1.2.6. Caseta de Operación	94
5.1.2.7 Consola de control del operador	95
5.2 TEST DE PRUEBA POWER PACK - CAT C11- COILED TUBING CRANE TRAILER	95
6. FALLAS ENCONTRADAS Y REPORTADAS POR EL OPERADOR	97
6.1 INGRESAR AL APLICATIVO PPC:	97
6.2 PROCESO PARA ADMINISTRAR CORRECTAMENTE LA INFORMACIÓN DEL PPC	100
6.2.1 Titulo de la notificación.	100
6.2.2 Reporte.	101
6.2.3 Se reporta la falla	101
6.2.4. Orden de Mantenimiento	102

6.2.4 Asignación tempario.	102
6.3 PROCEDIMIENTO PARA EL DILIGENCIAMIENTO DE INSPECCIONES MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM).	103
6.3.1 Diligenciamiento inspección PM	103
6.3.2 Datos Primarios	103
6.3.3 Seguridad	106
6.4 INSPECCIÓN DEL EQUIPO	107
6.5 DESCRIPCIÓN GENERAL RPM	108
6.6. DESCRIPCIÓN DETALLADA RPM.	109
6.7 FORMATO PM A REALIZAR PARA EQUIPO POWER PACK	113
7. DATOS DE LAS RPM CREADAS EN SAP DEL POWER PACK	116
7.1 PLATAFORMA DE ADMINISTRACIÓN DE DATOS SAP	116
7.1.1 Data descargada de SAP para el análisis	118
7.1.2 Data de las MO creadas para el Power Pack.	119
7.2 FALLAS POR SISTEMA.	133
7.3 DIAGRAMA DE PARETO FALLAS POR SISTEMA	133
7.4 IDENTIFICACION DEL MAL ACTOR	134
7.4.1 Clasificación modos de Fallas.	135
8. APLICACIÓN DEL ANALISIS DE CAUSA RAIZ	137
8.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS CAUSA RAIZ	137
8.1.1 Análisis de eventos y factor causal	142
8.1.2 Árbol de fallas	142
8.2 CONSTRUCCIÓN DEL ÁRBOL DE FALLAS PAR EL MAL ACTOR	143

8.3 ESTRATEGIAS PARA EVITAR LAS FALLAS	144
9. PRM PROGRAMADAS VS RPM CORRECTIVAS	146
10. BEACHMARKING DE LAS METODOLOGÍAS	149
10.1 RCA VS TAPROOT.	150
10.2 DOFA ORGANIZACIONAL	151
11. METODOLOGÍA PROPUESTA	152
11.1 WORK METHOD PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL CON SISTEMAS HIDRÁULICA	152
12. CONCLUSIONES	165
13. RECOMENDACIONES	166
BIBLIOGRAFÍA	167

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Halliburton en Colombia	26
Figura 2. Líneas de Negocio	31
Figura 3. Organigrama Colombia	32
Figura 4. Organigrama IEM Colombia	34
Figura 5. Áreas Fundamentales de la Confiabilidad Operacional	44
Figura 6. Confiabilidad operacional	46
Figura 7. Estructura del árbol Lógico	50
Figura 8. Diagrama de Pareto	53
Figura 9. TapRoot	55
Figura 10. Matriz de criticidad	61
Figura 11. Cinco criterios	63
Figura 12. 15K Body Load Truck	73
Figura 13. The 30K and 38K Coiled Tubing Unit	74
Figura 14. The 60K Coiled Tubing Unit	76
Figura 15. V95HP Quick Rig-up unit.	78
Figura 16. Inyector V95HP	84
Figura 17. Guía de tubería	86
Figura 18. Configuraciones de arco	86
Figura 19. Carrete	87

Figura 20. Power Pack	89
Figura 21. Motor del Power Pack - CAT C11	89
Figura 22. BOP	93
Figura 23. Caseta de Operación	94
Figura 24. Consola de control del operador	95
Figura 25. Captura de pantalla aplicación PPC	97
Figura 26. Captura de pantalla aplicación PPC	98
Figura 27. Lista de chequeo	99
Figura 28. Notificación	100
Figura 29. Reporte	101
Figura 30. Reporte de falla	101
Figura 31. Orden de Mantenimiento	102
Figura 32. Asignación hora a operación	102
Figura 33. Formato Inspecciones Mantenimiento Preventivo	103
Figura 34. Formato Inspecciones Mantenimiento Preventivo	105
Figura 35. Formato Inspecciones Mantenimiento Preventivo - Seguridad	106
Figura 36. Formato Inspecciones de Motor	107
Figura 37. Descripción de la RPM	108
Figura 38. Descripción detallada de la RPM	109
Figura 39. Formato de Mantenimiento Preventivo Power Pack	113
Figura 40. Formato mantenimiento de equipo interno orden de trabajo	117
Figura 41. Orden de Mantenimiento	118
Figura 42. Diagrama de Pareto Power Pack	134

Figura 43. Diagrama de Pareto del Sistema Hidráulico Power Pack	136
Figura 44. Árbol de falla en el embrague de una centrifuga	143
Figura 45. Árbol de Fallas Power Pack	144
Figura 46. RPM Programada vs correctiva (2014-2016)	147
Figura 47. RPM Programadas VS Correctivas (Porcentaje últimos años)	148
Figura 48. DOFA	151

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF)	62
Tabla 2. Categoría de los Impactos	64
Tabla 3. Calculo del nivel de criticidad	66
Tabla 4. Equipos asignados a Yopal – IEM	67
Tabla 5. Equipos asignados a Yopal - IEM	70
Tabla 6. Especificaciones Inyector 15K	74
Tabla 7. Especificaciones Inyector 30K	75
Tabla 8. Especificaciones Inyector 38K	75
Tabla 9. Especificaciones Inyector 60K	76
Tabla 10. Especificaciones Inyector 80K	77
Tabla 11. Dimensiones chasis T800W	79
Tabla 12. Motor y Datos Tren de fuerza	80
Tabla 13. Especificaciones del Inyector	84
Tabla 14. Test de Prueba Power Pack	95
Tabla 15. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo	105
Tabla 16. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo - Seguridad	106
Tabla 17. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo - Motor	107
Tabla 18. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo – Descripción de la RPM	108

Tabla 19. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo – Descripción detallada de la RPM	110
Tabla 20. Fallas por sistema del Power Pack	133
Tabla 21. Clasificación modos de Fallas	135
Tabla 22. Metodología para el análisis Causa Raíz	140
Tabla 23. Costo por años RPM Preventiva	146
Tabla 24. Costos por año RPM correctiva	146

RESUMEN

TITULO: METODOLOGÍA RCA, PARA IDENTIFICAR CAUSA RAÍZ DE LAS FALLAS GENERADAS EN EQUIPOS CRÍTICOS DE HALLIBURTON S.A.*

AUTORES: OLIMPO EBDER CÁRDENAS
FABIO LEONEL GONZÁLEZ**

PALABRAS CLAVES: Eficiencia, Fallas, Metodología Análisis Causa Raíz, Procesos, RCA, Criticidad.

DESCRIPCIÓN

Todos los trabajos de mantenimiento deben tener una trazabilidad y deben estar sustentados con indicadores de rentabilidad y eficiencia que puedan garantizar la disponibilidad y eficiencia de los equipos cuando sean requeridos.

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de identificar causa raíz de las fallas generadas en equipos críticos de HALLIBURTON S.A., el cual se basa en la falta de calidad y eficiencia en el trabajo que realizan los técnicos, en las fallas repetitivas y en la falta de documentación para solucionar problemas de esta índole.

Se muestra la aplicación de la metodología de análisis causa raíz como medio para eliminar averías recurrentes, descubrir la causa que ocasiona la falla y el aumento de la confiabilidad para optimizar recursos y procesos, disminuyendo costos de mantenimiento.

Se logra analizar la causa raíz de equipos críticos asignados a la base de Halliburton en Yopal, por lo tanto se está trabajando en la implementación de la metodología para poner en prácticas en todos los equipos que tengan fallas críticas.

El trabajo demostró que al analizar los equipos asignados a IEM, se detectaron los equipos críticos y al ejecutar el análisis causa raíz, disminuyen los costos de mantenimiento, lo cual garantiza mayor disponibilidad y genera confianza en la operación de los equipos en una industria que es altamente competitiva.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director. Carlos Borrás Pinilla

SUMMARY

TITLE RCA METHODOLOGY TO IDENTIFY THE ROOT CAUSE OF EQUIPMENT FAILURES GENERATED IN CRITICAL OF HALLIBURTON S.A^{*}

AUTHORS EBDER OLIMPO CARDENAS
FABIO LEONEL GONZALEZ^{**}

KEY WORDS: Efficiency, Fallas, Root Cause Analysis Methodology, Processes, ACR.

DESCRIPTION

All maintenance work must be traceable and must be supported with profitability and efficiency that can ensure the availability and efficiency of equipment when required.

This work is part of the project to identify the root cause of failures generated in critical equipment HALLIBURTON SA, which is based on the lack of quality and efficiency in the work done by technicians, repetitive failures and lack documentation to solve such problems.

the application of root cause analysis methodology as a means shown to eliminate recurring failures, discover the cause that causes the failure and increased reliability to optimize resources and processes, reducing maintenance costs.

It is achieved analyze the root cause of critical equipment assigned to the base of Halliburton in Yopal, therefore we are working on the implementation of the methodology to put into practice in all computers that have critical flaws.

The work showed that when analyzing the teams assigned to IEM, critics and run the root cause analysis equipment were detected, decrease maintenance costs, ensuring greater availability and generates confidence in the operation of equipment in an industry that is highly competitive.

^{*} Draft Grade

^{**} Physico-mechanical engineering faculty. School of Mechanical Engineering Maintenance Management Specialization. Director: Carlos Borrás Pinilla

INTRODUCCIÓN

La empresa Halliburton es uno de los mayores proveedores del mundo en cuestión de productos y servicios de la industria de la energía; es por esto que día a día está en búsqueda de mejorar los procesos de operación en sus campos. Los procesos deben ser competitivos y mejorar los sistemas productivos y administrativos para detectar problemas repetitivos, garantizando mayor disponibilidad reduciendo costos de operación y mantenimiento.

Durante este camino de estudio, se enfatiza en encontrar soluciones viables y más aplicables, por lo que se presenta la importancia del análisis de Causa Raíz (RCA) como herramienta para la mejora de la Confiabilidad, a la hora de llevar adelante una Estrategia de mantenimiento. En este contexto, Internal Equipment Maintenance (IEM), línea de soporte de mantenimiento interno de equipos e instalaciones de Halliburton, debe velar por el óptimo funcionamiento de los equipos de la compañía que se encuentran bajo la responsabilidad de las diferentes áreas de operación como son: Cementación (CMT), Coild Tubing (HPS), Fracturamiento (PE), Registro (WP).

Teniendo en cuenta los resultados más sobresalientes, se detectaron fallas repetitivas en equipos críticos y surge la necesidad de garantizar a los clientes (PSL) un equipo más Confiable y disponible para operar en cualquier lugar de Colombia. Se tiene como propósito implementar la Metodología Análisis de Causa Raíz (RCA) a los equipos críticos donde se han presentado dichas fallas, en los equipos de la base Yopal.

En el primer y segundo capítulo se encuentra los aspectos generales de la compañía, la reseña histórica, la estructura organizacional, las líneas de negocio, la descripción del planteamiento del problema y los objetivos del proyecto.

En el capítulo III se encuentra el marco teórico de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Análisis de Causa Raíz (RCA) para la solución de problemas y metodología TapRoot acogida por Halliburton.

Posteriormente, en los siguientes capítulos se muestra el análisis y selección de equipos críticos, estadística de RPM programadas Vs RMP correctivas y desarrollo detallado de la metodología de Análisis de Causa Raíz

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 HISTORIA DE HALLIBURTON

Fundada en 1919, Halliburton es uno de los mayores proveedores mundiales de productos y servicios a la industria de la energía. Con más de 55.000 empleados, lo que representa 140 nacionalidades en aproximadamente 70 países¹.

La historia fascinante de Halliburton revela un enfoque continuo en la innovación y la expansión que comenzó con el fundador de la compañía, Erle P. Halliburton. Después de tomar prestado un carro, un equipo de mulas y una bomba, se construyó una caja de mezcla de madera y comenzó el negocio con un aceite para cementación de pozos en Duncan, Oklahoma.

En la década de 1930, Halliburton estableció sus primeros laboratorios de investigación donde la compañía probó mezclas de cemento, comenzó a ofrecer acidificación, servicios para romper la resistencia de las formaciones de piedra caliza y aumentar la producción de petróleo y gas, y llevó a cabo su primer trabajo de cementación en alta mar utilizando una unidad de cementación en una barcaza montada en una plataforma en el campo Criolla en el Golfo de México. Este fue el inicio de lo que sería el más amplio servicio offshore del mundo.

Halliburton dio los primeros pasos para convertirse en una empresa a nivel mundial en el año 1926. Venden cinco unidades de cementación a una compañía inglesa en Birmania, el inicio de las operaciones del hemisferio oriental, y Erle P. Halliburton envió a sus hermanos para abrir nuevo negocio en Alberta, Canadá.

¹ HALLIBURTON Health, Safety and Environment (HSE) & Service Quality (SQ) [en línea] disponible en: <http://www.halliburton.com/en-US/about-us/hse-sq.page?node-id=hgeyxt64>

Abrió en Venezuela en 1940. En 1946, la empresa - utilizando su tecnología innovadora - se había ampliado en Colombia, Ecuador, Perú y el Medio Oriente y comenzó a realizar servicios para la Compañía petrolera Árabe - Americana, el pionero de Saudi Aramco.

En 1951, Halliburton hizo su primera aparición en Europa como Halliburton Italiana SPA., una filial en Italia. En los próximos siete años, Halliburton había lanzado Halliburton Company Alemania GmbH, establece operaciones en la Argentina y estableció una subsidiaria en Inglaterra.

En 1984, Halliburton proporciona todo el equipo de terminación de pozos para la primera plataforma de pozos múltiples en alta mar de China. Dos años más tarde, Halliburton se convirtió en la primera compañía estadounidense para llevar a cabo un trabajo de servicios petroleros en la parte continental de China.

La última década del siglo XX trajo más cambios y el crecimiento de Halliburton. La compañía abrió una sucursal en Moscú en 1991.

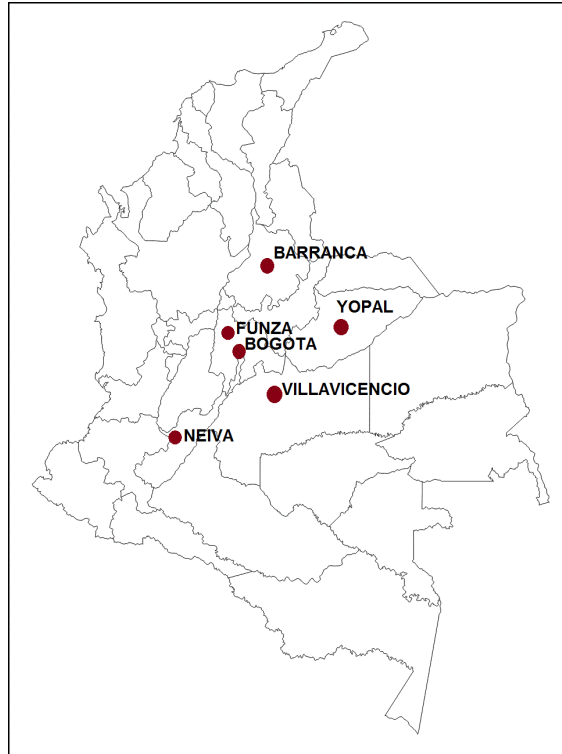
La compañía reorganizó su trabajo en las operaciones de Oriente y del hemisferio occidental en 2006 y en 2007, divide su oferta de servicios en dos divisiones: Finalización, Producción y Perforación, Evaluación.

Hoy en día, Halliburton ofrece la gama más amplia del mundo de productos, servicios y soluciones integradas para la exploración de petróleo y gas, desarrollo y producción.

1.1.1 Halliburton en Colombia. Para 1954 Halliburton inicia su consolidación en Colombia como una compañía de servicios Upstream, inicialmente con servicios de Cementación, para años más tarde suministrar productos, servicios y soluciones integrales para la exploración, desarrollo y producción de petróleo y

gas. El portafolio de servicios va desde la evaluación de las formaciones a perforar hasta la perforación, completamiento, estimulación y mantenimiento del pozo.

Figura 1. Halliburton en Colombia



Hoy en día, la compañía emplea alrededor de 1450 personas lo que corresponde al 2.4% a nivel mundial, posee 6 bases o locaciones cada una en: Yopal, Neiva, Villavicencio, Barrancabermeja, Bogotá y Funza (incluye Cota y Toberín) siendo estas dos últimas locaciones las de mayor impacto e importancia para la compañía.

1.1.2 PSL's - Líneas de Servicio. Halliburton en Colombia se integra por nueve líneas de servicio o PSL's (Product Service line) dentro de las que se encuentran: BSS-Baroid o Fluid Services, CEM-Cementing, HCT-Completion Tools, HDBS-Drill Bits and Service, SDS-Sperry Drilling Services, WP-Wireline and Perforating, PE-

Production Enhancement, LSS-Landmark Software & Services y IEM-Maintenance.

1.2 PERFIL CORPORATIVO HALLIBURTON

La compañía presta servicios a la industria de petróleo y gas en todo el ciclo de vida del depósito - a partir de la localización de los hidrocarburos y la gestión de datos geológicos, a la perforación y evaluación de formaciones, construcción, terminación, y la optimización la producción a través de la vida del campo².

1.2.1 Misión. Halliburton tiene como misión “Crear valor sostenible entregando excelentes productos, servicios y soluciones digitales para activos que contribuyan al éxito de nuestros clientes al: Maximizar la producción y la recuperación y mejorar la eficiencia operacional”.

1.2.2 Visión. Su visión es “Ofrecer al cliente una experiencia insuperable, como líderes de pensamiento mundialmente competitivos, creativos y éticos.

1.2.3 Líneas de Negocio. Halliburton compone de 13 líneas de servicio de productos (PSL). Los PSL operan en dos divisiones: perforación y evaluación, terminación y producción. La consultoría y proyecto de gestión del PSL funciona a través de dos divisiones y es punta de lanza de la estrategia de servicios integrados. Los resultados financieros se incluyen en la división de evaluación y perforación. Esos son principalmente responsables de estrategia, desarrollo de tecnología, desarrollo de procesos, desarrollo de personas y asignación de capital³.

² HALLIBURTON Corporate Profile [en línea] disponible en: <http://www.halliburton.com/en-US/about-us/corporate-profile/default.page?node-id=hgeyxt5p>

³ Ibíd.

1.2.3.1 Perforación y Evaluación. Ofrece modelado de yacimientos, perforación, evaluación y soluciones de colocación muy precisas que le permiten modelar, medir y optimizar sus actividades de construcción de pozos. La división se compone de:

Baroid. Proporciona sistemas de fluidos, aditivos de rendimiento, control de sólidos y servicios de gestión de residuos para la extracción de petróleo y gas, terminación y las operaciones de reparación en perforación.

Drill Bit and Services Proporciona trépano de roca, dientes de corte fijas, y las herramientas de fondo relacionadas y utilizadas en perforación de pozos de petrolero y gas. Además, se proporcionan los equipos y servicios de extracción de muestras para adquirir núcleos de la formación perforada para su evaluación.

Landmark Es el proveedor líder de soluciones de tecnología de datos y análisis, la ciencia, software y servicios para la exploración de petróleo y gas y la industria de producción.

Sperry Drilling Proporciona sistemas y servicios de perforación. Estos servicios incluyen la perforación direccional y horizontal, la medición durante la perforación, registros durante la perforación, los sistemas multilaterales, aplicaciones de bajo balance y los sistemas de información del sitio de perforación. Ofrecen control direccional mientras que proporciona mediciones importantes sobre las características de la sarta de perforación y las formaciones geológicas durante la perforación de pozos direccionales. Capacidad de operar en tiempo real permitiendo el seguimiento de los progresos y procesos de ayuda a la decisión.

Testing and Subsea Proporciona adquisición y análisis de información reservorio dinámico y optimización de presas soluciones utilizando herramientas de pruebas de fondo de pozo, servicios de adquisición de datos mediante telemetría y

grabación de memoria electrónica, toma de muestras de fluidos, ensayo de la superficie de pozos submarinos, sistemas de seguridad, y servicios de ingeniería de yacimientos.

Wireline and Perforating Incluye los servicios de Wireline en pozo abierto que proporcionan información sobre la evaluación de formaciones, incluyendo la resistividad, porosidad y densidad, la mecánica de rocas y toma de muestras de fluidos. También se ofrecen en pozo entubado y servicios de línea de acero, que proporcionan la evaluación de cemento de bonos, el monitoreo de yacimientos, evaluación de tubo, tubo de recuperación, servicios mecánicos, la intervención de pozos, perforación y servicios de sísmica de pozo. Servicios de perforación incluyen servicios y productos de perforación con tubería de transportar. Servicios de sísmica de pozo incluyen el análisis de la fractura y la cartografía.

Consulting and Project Management Proporciona gestión de proyectos de campos petroleros y soluciones integradas a las compañías petroleras independientes, integradas y nacionales. Estas ofertas hacen uso de todos los servicios de yacimientos petrolíferos, productos, tecnologías y capacidades de gestión de proyectos para ayudar a los clientes a optimizar el valor de sus activos de petróleo y gas natural.

1.2.3.2 Completion and Production. Ofrece los servicios de cementación, estimulación, también intervención, control de presión, tuberías y procesos y servicios de terminación.

Artificial Lift. Ofrece tres métodos de elevación; bombas eléctricas sumergibles (ESP), bombas de cavidad progresiva (PCP), y bombas de superficie de varilla (SRP), incluyendo los paquetes superficiales asociados de potencia, control y supervisión de todo el sistema de elevación. También proporciona la instalación, mantenimiento, reparación y servicios de pruebas para cada uno.

Production Solutions Incluyen los servicios de intervención, control de presión, herramientas, alquiler de equipos, tuberías y servicio de procesos.

Cementing Services. Implica la unión del revestimiento del pozo aislando las zonas de fluidos y maximizar la estabilidad del pozo. Esta línea de servicio de cementación también proporciona el equipo de la cubierta.

Completion Tools. Incluyen válvulas superficiales de seguridad y equipo de control de flujo, sistemas de seguridad de la superficie, empacadoras y el equipo de terminación de la especialidad. Sistemas de suspensión de revestimiento expandible, sistemas de terminación inteligentes, sistemas de control de arena y pantallas, herramientas de servicio del pozo, y servicios de rendimiento del yacimiento, incluyen herramientas de prueba, análisis de yacimientos en tiempo real y servicios de adquisición de datos.

Multi-Chem. Ofrece productos químicos de producción, desarrolla soluciones a medida para hacer frente a cuestiones tales como la gestión de la integridad, el aseguramiento del flujo, recuperación mejorada de petróleo y gas, uso de la gestión del agua y la reutilización, fracturando y tratamientos de tuberías.

Production Enhancement. Incluye servicios de estimulación, servicios de procesos de tuberías, servicios de control de arena, y servicios de intervención. Servicios de estimulación para optimizar la producción de petróleo y el depósito de gas a través de una variedad de servicios de bombeo a presión, servicios de nitrógeno y procesos químicos, comúnmente conocido como fracturación hidráulica y acidificación. Los servicios de control de arena incluyen sistemas de fluidos y químicos y servicios de bombeo para la prevención de la producción de arena de formación. Así, los servicios permiten la intervención de pozos en vivo y capacidades de despliegue de tubo continuo a través del uso de sistemas de reparación de pozos hidráulicos, herramientas y servicios de tubería flexible.

Figura 2. Líneas de Negocio

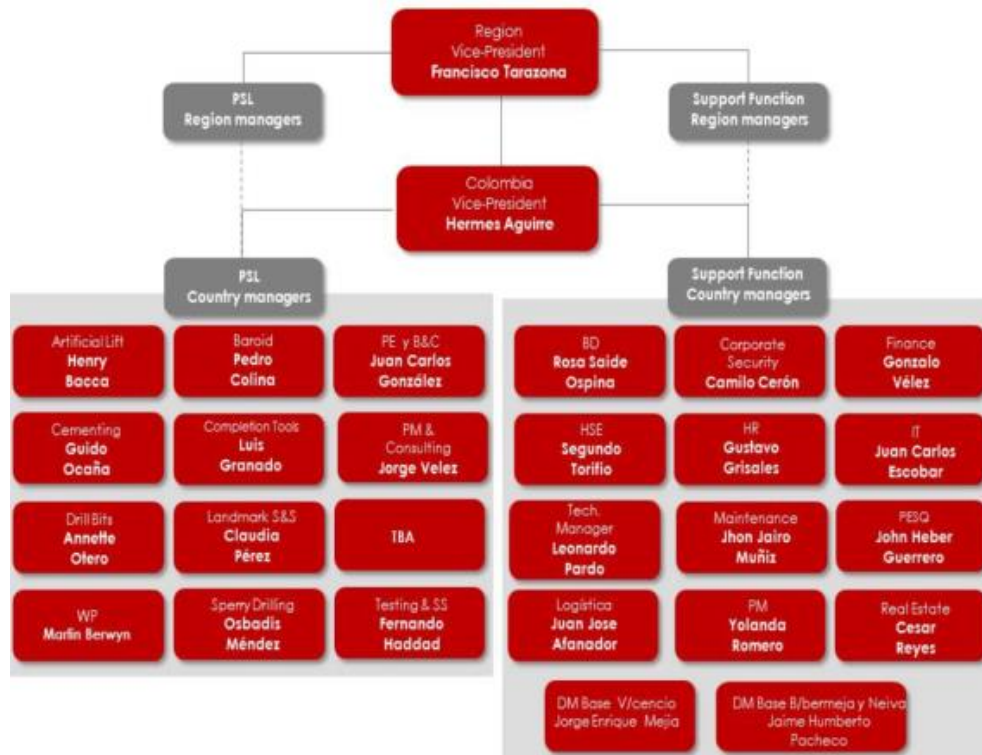


Fuente: HALLIBURTON Corporate Profile [en línea] disponible en: <http://www.halliburton.com/en-US/about-us/corporate-profile/default.page?node-id=hgeyxt5p>

1.3 ESTRUCTURA REGIONAL

1.3.1 Organigrama Colombia. La estructura organizacional de Halliburton Latin America seccional Colombia está definida según la siguiente figura:

Figura 3. Organigrama Colombia



Fuente. Halliburton

1.4 LÍNEA DE SOPORTE DE MANTENIMIENTO

1.4.1 Internal Equipment Maintenance (IEM). Es una línea de soporte de mantenimiento interno a todos los equipos e instalaciones de Halliburton. Encargada de velar por el óptimo funcionamiento de los equipos de la compañía que se encuentran bajo la responsabilidad de las diferentes áreas de operación como son: Cementación (CMT), Coild Tubing (HPS), Fracturamiento (PE), Registro (WP). Estas áreas tienen a su cargo unidades equipadas con motores de aplicación vehicular, industriales y otras cuentan con los dos tipos de motores. En algunos casos los motores son los encargados de proporcionar el movimiento de tracción para el desplazamiento del vehículo, en otros el motor proporciona el poder hidráulico para accionar las bombas que tienen como función mover el rollo

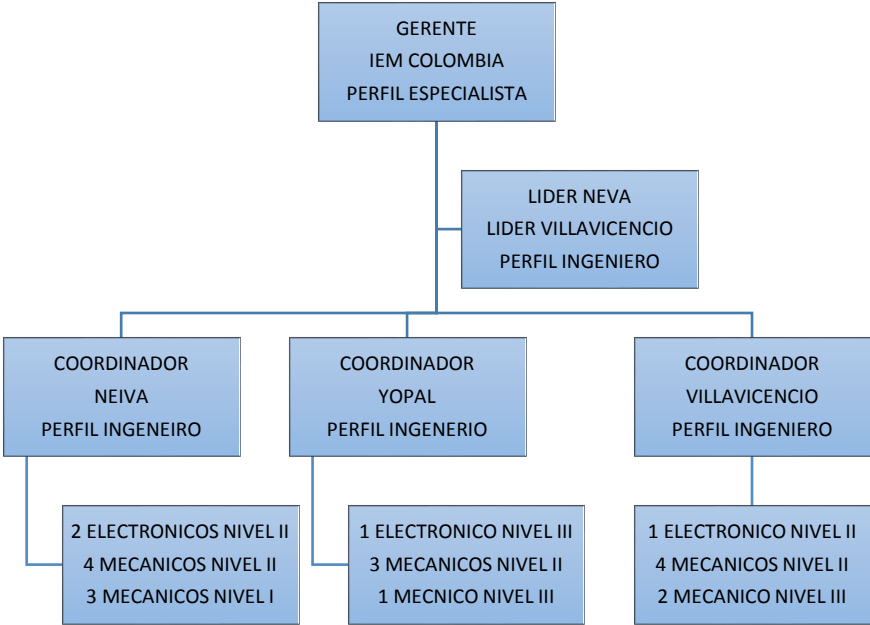
en dirección ascendente y descendente dentro de los pozos productores de crudo, igualmente, está la aplicación en donde los motores industriales son utilizados para accionar la bomba de desplazamiento positivo ya sea para cementar o fracturar, dependiendo del servicio y aplicación que requiera el cliente.

1.4.2 Misión. (IEM), Realizar trabajos de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo. Utilizando los mejores profesionales calificados, con habilidades y destrezas que garantizan un servicio de calidad, confiabilidad, disponibilidad y justo a tiempo. Contamos con la herramienta y tecnología, que permite realizar diagnósticos acertados y efectivos; optimizando recurso y alargando la vida útil de los equipos. Demostrando a nuestro cliente la tasa de retorno a corto, mediano y largo plazo de la inversión en el mantenimiento realizado.

1.4.3 Visión. Ser el principal socio estratégico en las operaciones de nuestro cliente. Garantizando un mantenimiento eficaz; con planeación de calidad, empoderamiento, trabajo en equipo y mejora continua de nuestros procesos. Ofreciendo disponibilidad operativa de los equipos en un 90%. El monitoreo constante y el mantenimiento predictivo impacta positivamente la economía de nuestros clientes.

1.4.4 Organigrama IEM Colombia El organigrama de IEM Colombia se muestra en la siguiente figura:

Figura 4. Organigrama IEM Colombia



2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO EN LA IEM

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

IEM tiene estructurado en SAP un Mantenimiento Preventivo (PM), depende de la aplicación del equipo y pueden ser: horas, Kilómetros, días o meses. Las PM se clasifican de tipo A, B(B1,B2,B3,B4), C(C1,C2,C3,C4) y D. esta clasificación va relacionada con el tiempo de vida útil del equipo. A pesar de este mantenimiento riguroso que se realiza, se observa que los equipos presentan fallas constantes; algunas son recurrentes, ocasionando en la operación NPT (Tiempo No Productivo), y (SQ) bajo nivel de calidad del Servicio; estos factores son generados cuando un equipo falla en una operación. En los 2 últimos años se han presentado fallas en algunas unidades, que han impactado el costo y confiabilidad de los equipos administrados por IEM. A pesar de que la línea cuenta con la mayoría de procesos, procedimientos y/o Word Method (WM) establecidos en el Sistema de Administración de Halliburton para Latinoamérica (HMS) para realizar los mantenimientos de una forma estandarizada, aún continúan las fallas lo que ha generado insatisfacción del cliente y pérdidas considerables de dinero en operación de estos equipos. Se hace necesario identificar el mal actor que las está ocasionando, porque, pese a la gravedad de dichas fallas no se han documentado y tampoco se ha realizado análisis casusa Raíz para identificar el problema.

2.2 JUSTIFICACIÓN

Los datos de las fallas repetitivas de los equipos en operación con antecedentes de mantenimiento correctivos y preventivos obtenidos mediante SAP plantean el problema de disponibilidad y confiabilidad de trabajo en la compañía Halliburton

Latin America, por ello se propone que las averías en la unidades son recurrentes y que actualmente no existe un mecanismo efectivo que localice el origen de las mismas. Los mantenimientos correctivos se ejecutan sin una previa evaluación de costos y sin un diagnóstico acertado que identifique adecuadamente la causa de los daños presentados a éstos equipos. Los historiales de mantenimiento de cada máquina contienen los datos necesarios para iniciar la investigación y posterior aplicación de la metodología RCA considerando que actualmente los costos de mantenimiento de equipos son elevados y la implementación de un mecanismo eficiente que permita descubrir la causa que ocasiona las fallas generaría a la Compañía un aumento de la confiabilidad, mejoraría la disponibilidad y permitiría aumentar la eficiencia y la productividad de las operaciones, al mismo tiempo se lograrían optimizar los recursos y disminuir los costos de mantenimiento.

Se elige esta metodología teniendo en cuenta que el mecanismo implementado actualmente no se realiza adecuadamente o simplemente no se hace y para obtener un análisis real de los hechos ocurridos y dar una óptima solución se requiere una reestructuración de los procesos. Establecer una estrategia de mantenimientos apropiada resolvería en un 80% los inconvenientes que actualmente tiene la Compañía con el sistema “TapRoot” ya que es una metodología de alta complejidad e interpretación y el personal no cuenta con la capacitación y los recursos necesarios para aplicarlo adecuadamente.

Teniendo identificada las fallas repetitivas y reportadas por el personal Técnico Mecánica y operativo, se verifica en la base de datos en SAP los antecedentes de mantenimientos correctivos y preventivos realizados a los equipo. Surge la necesidad de garantizar a los clientes (PSL) un equipo más Confiable y disponible para operar en cualquier lugar de Colombia.

Se propone una metodología RCA, para encontrar la causa Raíz de las fallas. Es necesario identificar el mal actor, para eliminar y corregir. Revisar los procesos y

procedimientos que no sean eficientes y contundentes al momento de mitigar o radicar la falla. El Mantenimiento está orientado en la Prevención y Corrección de la integridad de los equipos

2.3 OBJETIVOS

2.3.1. Objetivos generales.

- Proponer un Modelo aplicando la metodología RCA, que permita analizar e identificar la causa Raíz de las fallas en un equipo crítico de Halliburton S.A.

2.3.2 Objetivos específicos.

- Realizar un análisis de las fallas encontradas y reportadas en SAP de los 2 últimos años; plantear un esquema de mejoramiento orientado en la causas Raíz.
- Identificar los factores críticos que generan un Mantenimiento Preventivo de pobre calidad.
- Establecer las estrategias para evitar las fallas repetitivas detectadas, atacando el mal actor.
- Proponer un work Method al mal actor identificado en las fallas recurrentes, utilizando estrategias de confiabilidad.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 RCM (MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD)

El mantenimiento centrado en Confiabilidad (MCC), o Reliability-centred Maintenance (RCM), ha sido desarrollado para la industria de la aviación civil hace más de 30 años. El proceso permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico. El RCM ha sido utilizado en miles de empresas de todo el mundo: desde grandes empresas petroquímicas hasta las principales fuerzas armadas del mundo utilizan RCM para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos, incluyendo la gran minería, generación eléctrica, petróleo y derivados, metal-mecánica, etc. La norma SAE JA1011 especifica los requerimientos que debe cumplir un proceso para poder ser denominado un proceso RCM.⁴

La definición de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, expresa en la norma IEC 60300 como:

Reliability Centred Maintenance (RCM) is a method for establishing a preventive maintenance programme which will efficiently and effectively allow the achievement of the required safety and availability levels of equipment and structures, which is intended to result in improved overall safety, availability and economy of operation.

⁴ MANTENIMIENTO PLANIFICADO RCM - Mantenimiento Centrado en Confiabilidad [en línea] disponible en: http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/ariel%20ZYLBERBERG/RCM_Scorecard_overview.pdf

La cual se traduce como:

*Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC) es un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación.*⁵

El proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea predictiva o preventiva adecuada?⁶

3.1.1 Conceptos del RCM El RCM muestra que muchas de los conceptos del mantenimiento que se consideraban correctos son realmente equivocadas. En muchos casos, estos conceptos pueden ser hasta peligrosos. Por ejemplo, la idea de que la mayoría de las fallas se producen cuando el equipo envejece ha demostrado ser falsa para la gran mayoría de los equipos industriales. A continuación se explican varios conceptos derivados del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, muchos de los cuales aún no son completamente entendidos por los profesionales del mantenimiento industrial.

⁵ ORTIZ PLATA Daniel Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC , Guía práctica, Daniel Ortiz Plata

⁶ MOUBRAY John Introducción al mantenimiento centrado en confiabilidad,pagi 7

3.1.2 El contexto operacional Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, aun cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos. Entonces, antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción (2 o 3 carillas) donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización), objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc.

3.1.3 Funciones El análisis de RCM comienza con la redacción de las funciones deseadas. Por ejemplo, la función de una bomba puede definirse como: “Bombear no menos de 500 litros/minuto de agua”. Sin embargo, la bomba puede tener otras funciones asociadas, como por ejemplo “Contener al agua (evitar pérdidas)”. En un análisis de RCM, todas las funciones deseadas deben ser listadas.

3.1.4 Fallas funcionales o estados de falla Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema. Por ejemplo, para una bomba dos estados de falla podrían ser “Incapaz de bombear agua”, “Bombea menos de 500 litros/minuto”, “No es capaz de contener el agua”. Notar que los estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas. Una vez identificadas todas las funciones deseadas de un activo, identificar las fallas funcionales es generalmente muy sencillo.

3.1.5 Modos de falla Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Por ejemplo, “impulsor desgastado” es un modo

de falla que hace que una bomba llegue al estado de falla identificado por la falla funcional “bombeea menos de lo requerido”. Cada falla funcional suele tener más de un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM. Al identificar los modos de falla de un equipo o sistema, es importante listar la “causa raíz” de la falla. Por ejemplo, si se están analizando los modos de falla de los rodamientos de una bomba, es incorrecto listar el modo de falla “falla rodamiento”. La razón es que el modo de falla listado no da una idea precisa de por qué ocurre la falla. ¿Es por “falta de lubricación”? ¿Es por “desgaste y uso normal”? ¿Es por “instalación inadecuada”? Notar que este desglose en las causas que subyacen a la falla si da una idea precisa de por qué ocurre la falla, y por consiguiente que podría hacerse para manejarla adecuadamente (lubricación, análisis de vibraciones, etc.).⁷

3.1.6 Los efectos de falla Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El “efecto de falla” es un breve descripción de “qué pasa cuando la falla ocurre”. Por ejemplo, el efecto de falla asociado con el modo de falla “impulsor desgastado” podría ser el siguiente: “a medida que el impulsor se desgasta, baja el nivel del tanque, hasta que suena la alarma de bajo nivel en la sala de control. El tiempo necesario para detectar y reparar la falla (cambiar impulsor) suele ser de 6 horas. Dado que el tanque se vacía luego de 4 horas, el proceso aguas abajo debe detenerse durante dos horas. No es posible recuperar la producción perdida, por lo que estas dos horas de parada representan un pérdida de ventas”. Los efectos de falla deben indicar claramente cuál es la importancia que tendría la falla en caso de producirse.

3.1.7 Categoría de consecuencias La falla de un equipo puede afectar a sus usuarios de distintas formas:

⁷ GESTIO POLIS RCM Mantenimiento centrado en confiabilidad [en línea] disponible en: <http://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>

- Poniendo en riesgo la seguridad de las personas ("consecuencias de seguridad")
- Afectando al medio ambiente ("consecuencias de medio ambiente")
- Incrementando los costos o reduciendo el beneficio económico de la empresa ("consecuencias operacionales")
- Ninguna de las anteriores ("consecuencias no operacionales")

Además, existe una quinta categoría de consecuencias, para aquellas fallas que no tienen ningún impacto cuando ocurren salvo que posteriormente ocurra alguna otra falla. Por ejemplo, la falla del neumático de auxilio no tiene ninguna consecuencia adversa salvo que ocurra una falla posterior (pinchadura de un neumático de servicio) que haga que sea necesario cambiar el neumático. Estas fallas corresponden a la categoría de fallas ocultas. Cada modo de falla identificado en el análisis de RCM debe ser clasificado en una de estas categorías. El orden en el que se evalúan las consecuencias es el siguiente: seguridad, medio ambiente, operacionales, y no operacionales, previa separación entre fallas evidentes y ocultas. El análisis RCM bifurca en esta etapa: el tratamiento que se le va a dar a cada modo de falla va a depender de la categoría de consecuencias en la que se haya clasificado, lo que es bastante razonable: no sería lógico tratar de la misma forma a fallas que pueden afectar la seguridad que aquellas que tienen consecuencias económicas.

El criterio a seguir para evaluar tareas de mantenimiento es distinto si las consecuencias de falla son distintas.

3.1.8 Diferencia entre efectos y consecuencias de falla El efecto de falla es una descripción de qué pasa cuando la falla ocurre, mientras que la consecuencia de falla clasifica este efecto en una de 5 categorías, según el impacto que estas fallas tienen.

3.1.9 Diferencia entre falla funcional y modos de falla La falla funcional identifica un estado de falla: incapaz de bombear, incapaz de cortar la pieza, incapaz de sostener el peso de la estructura... No dice nada acerca de las causas por las cuales el equipo llega a ese estado. Eso es justamente lo que se busca con los modos de falla: identificar las causas de esos estados de fallas (eje cortado por fatiga, filtro tapado por suciedad, etc.).

3.1.10 Fallas ocultas Los equipos suelen tener dispositivos de protección, es decir, dispositivos cuya función principal es la de reducir las consecuencias de otras fallas (fusibles, detectores de humo, dispositivos de detención por sobre velocidad / temperatura / presión, etc.). Muchos de estos dispositivos tienen la particularidad de que pueden estar en estado de falla durante mucho tiempo sin que nadie ni nada ponga en evidencia que la falla ha ocurrido. (Por ejemplo, un extintor contra incendios puede ser hoy incapaz de apagar un incendio, y esto puede pasar totalmente desapercibido (si no ocurre el incendio). Una válvula de alivio de presión en una caldera puede fallar de tal forma que no es capaz de aliviar la presión si ésta excede la presión máxima, y esto puede pasar totalmente desapercibido (si no ocurre la falla que hace que la presión supere la presión máxima).) Si no se hace ninguna tarea de mantenimiento para anticiparse a la falla o para ver si estos dispositivos son capaces de brindar la protección requerida, entonces puede ser que la falla solo se vuelva evidente cuando ocurra aquella otra falla cuyas consecuencias el dispositivo de protección está para aliviar. (Por ejemplo, es posible que nos demos cuenta que no funciona el extintor recién cuando ocurra un incendio, pero entonces ya es tarde: se produjo el incendio fuera de control. Es posible que nos demos cuenta que no funciona la válvula de seguridad recién cuando se eleve la presión y esta no actúe, pero también ya es tarde: se produjo la explosión de la caldera.) Este tipo de fallas se denominan fallas ocultas, dado que requieren de otra falla para volverse evidentes.⁸

⁸ Ibíd.

3.2 CONFIABILIDAD OPERACIONAL

La Confiabilidad Operacional incluye procesos de mejoramiento continuo, nuevas tecnologías, metodologías y herramientas de diagnóstico, con el objetivo de mejorar la Productividad Industrial, minimizar los costos totales de operación y mantenimiento y aumentar la competitividad de una organización. También analiza aspectos relacionados con el uso eficiente de la información y los criterios para mejorar la confiabilidad de la gestión de los activos físicos y del Talento Humano.⁹

Figura 5. Áreas Fundamentales de la Confiabilidad Operacional



Fuente: RELIABILITYWEB La cultura de la confiabilidad operacional [en línea] disponible en: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional>.

3.2.1. Confiabilidad de Equipos. Una de las maneras para maximizar la confiabilidad operacional de los activos en su contexto operacional es a partir de la determinación de los requerimientos reales de mantenimiento logrando la optimización de costos mediante diferentes técnicas, herramientas y filosofías de mantenimiento que ayudan a identificar sistemáticamente que debe hacerse para

⁹ RELIABILITY La cultura de la confiabilidad operacional [en línea] disponible en: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional>

garantizar que los activos físicos continúen haciendo lo que requiere el usuario en el contexto operacional actual. En términos generales permite distribuir en forma efectiva los recursos asignados a la gestión de mantenimiento tomando en cuenta la importancia de los activos en el contexto operacional y los posibles efectos y consecuencias de los modos de falla de estos activos sobre la seguridad el ambiente y las operaciones.¹⁰

3.2.2 Herramientas para la Optimización de la Confiabilidad en Equipos. Las principales herramientas que se utilizan para la gestión de activos las cuales contribuyen a la confiabilidad de los equipos son las siguientes:

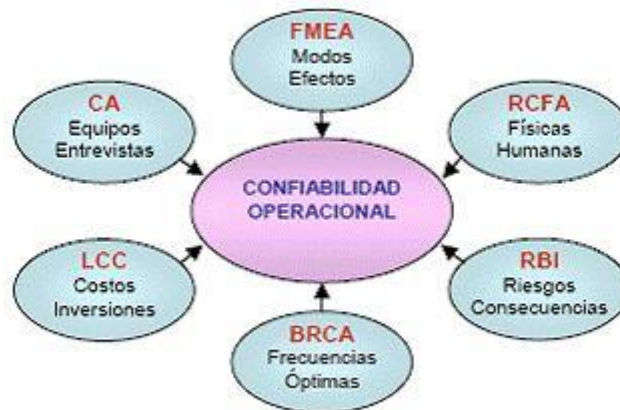
- **El Análisis de Criticidad (CA);** es una técnica que permite jerarquizar instalaciones, sistemas y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones.
- **El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA);** es una metodología que permite determinar los modos de falla de los componentes de un sistema, el impacto y la frecuencia con que se presentan.
- **La Inspección Basada en Riesgos (RBI);** es la técnica que permite definir la probabilidad de falla de un sistema, y las consecuencias que las fallas pueden generar sobre la gente, el proceso y el entorno.
- **El Análisis Costo - Riesgo - Beneficio (BRCA);** es una metodología que permite establecer una combinación óptima entre los costos de realizar una actividad y los beneficios generados, con base en el valor del riesgo que involucra la realización, o no, de tal acción.
- **El Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC);** es una técnica que permite elegir entre opciones de inversión o acciones de mejora de la confiabilidad con base en su efecto en el costo total del ciclo de vida de un activo nuevo o en servicio.

¹⁰ ECOPELROL S.A Aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA), para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM – ECOPELROL S.A

- **El Análisis Causa Raíz (RCFA)**; es un procedimiento sistemático que se aplica con el objetivo de precisar las causas que originan las fallas, sus impactos y sus frecuencias de aparición, para poder mitigarlas o eliminarlas.

Figura. Herramientas de Gestión de Activos para mejorar la confiabilidad operacional.

Figura 6. Confiabilidad operacional



Fuente: RELIABILITY La cultura de la confiabilidad operacional [en línea] disponible en: <http://.com/sp/articles/entry/la-cultura-de-la-confiabilidad-operacional>

3.3 RCA (ANÁLISIS CAUSA RAÍZ)

El análisis causa raíz es un riguroso método de solución de problemas que consta de pasos sistematizados, ayudando a localizar fallas desde su raíz, es decir se basa en un proceso lógico y en la utilización de un árbol lógico o de fallas, permitiendo visualizar de manera representativa los orígenes de la fallas. El RCA facilita la optimización y prevención en los procesos productivos.¹¹

¹¹ Manual para la metodología estructurada de análisis de causa raíz (RCA) para la solución de problemas.

Es una técnica que no corrige cualquier eventualidad, ya que no se aplica sobre incidentes, permitiendo aprender de las fallas para eliminar de raíz su causa. Es considerada una herramienta fundamental, lo que genera confianza frente a las frecuencias o repercusiones que originan las fallas, resaltando los equipos críticos que en la mayoría de los casos generan problemas de mantenimiento.

3.3.1 Cuando utilizar RCA Antes de aplicar el RCA, se deben definir si verdaderamente es necesario su aplicación para tomar las acciones correctivas necesarias, es por esta razón que se deben considerar los siguientes puntos:

1. Identificar el tipo de falla:
 - a. Falla crónica.
 - b. Falla esporádica.
2. Identificar la causa:
 - a. Causa raíz Física.
 - b. Causa raíz humana.
 - c. Causa raíz latente.
3. Considerar los diversos factores y condiciones que existen y que puedan llevar a generar una falla.

Una vez considerado los puntos anteriores, se debe realizar un análisis de que tan complicado es el sistema donde se está generando, para continuar con la implementación de las soluciones.

3.3.2 Metodología del RCA Cuando se habla de metodología del RCA, se da hincapié a la confiabilidad acompañada de técnica y procesos, que conllevan a identificar factores causales de fallas, cual es el origen de un problema definido, relacionado con el entorno o medio laboral, con el objetivo de identificar actividades o acciones rentables que lo eliminen.

La metodología inicia preparando la investigación y termina con un reporte de los hallazgos. Cuando se quiere dar solución inmediata al problema, se observan los elementos que resultan verdaderos y con esto se lleva a la verificación de fallas latentes causados por problemas administrativos.

A continuación se definen 7 pasos para aplicar la metodología:

Paso 1: Identificar los Eventos más Significantes: Recolección de información, con el fin de calcular las pérdidas producto de las fallas ocasionadas. Se deben determinar los eventos y fallas más significativas con el fin de clasificar el problema de acuerdo a su importancia.¹²

Pasó 2: Preservación de las Evidencias de las Fallas: en este paso se aplica el método de las 5P's.

Partes: Equipo o componente que fallo. Rodamientos, Sellos, instrumentos, motores, bombas, muestras, herramientas, etc.

Posiciones: Ubicación física del equipo o componente en falla. Mapa de la posición de los componentes, de los instrumentos, personal en la hora de la ocurrencia, información ambiental, posición física, etc.

Personal: Entrevistas al personal involucrado en la falla. Entrevistas al personal de mantenimiento, operaciones, administración, manejo, HSE, otros con procesos similares, etc.

¹² Manual para la metodología estructurada de análisis de causa raíz (RCA) para la solución de problemas.

Papel: Todos los reportes escritos relacionados con la falla. Reportes de cuarto de control, metalúrgica, procedimientos, políticas, mantenimiento, planos, especificaciones, entrenamientos, etc.

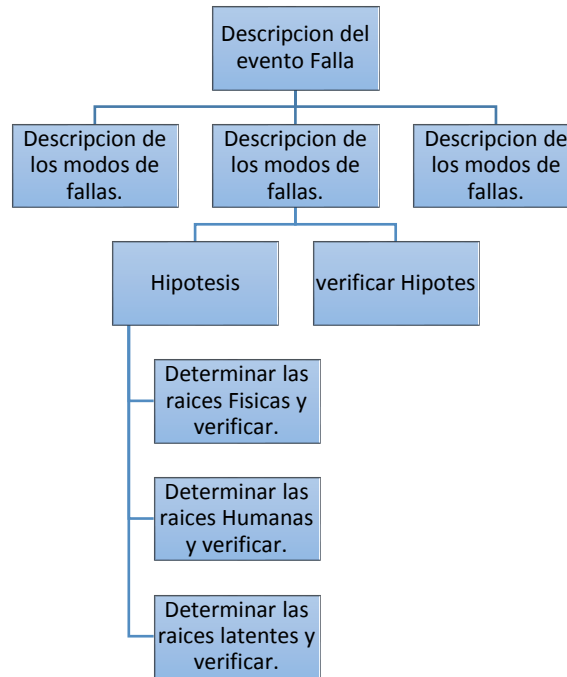
Paradigmas: Frases comunes que el personal de operaciones comúnmente usa para evitar investigaciones o desarrollar alguna actividad de mejoramiento “No tenemos tiempo para un RCA”, “ Hemos tratado de resolver esto desde hace 20 años”, “ Es un equipo viejo y por supuesto falla”, Esto es imposible de resolver”, etc.

Paso 3: Ordenar el Análisis: Es muy importante que el personal a cargo de la metodología, se encuentre capacitado para aplicar la metodología, ya que es la persona encargada de facilitar el trabajo en equipo.

Se debe conformar el equipo de trabajo o equipo RCA, conformado por un operador, un técnico, un supervisor, un profesional en ingeniería y si es necesario especialistas en procesos de metal mecánica.

Paso 4: Análisis – Árbol lógico de Falla El análisis continúa con la construcción estructurada del árbol lógico de fallas con niveles de causa y efecto. Un árbol lógico es una herramienta que usa la deducción lógica para la guía atreves de todos los eventos hipotéticos de la falla.

Figura 7. Estructura del árbol Lógico



Para construir un árbol de falla, se debe en primer lugar describir el evento de la falla, una vez definido el evento se procede a describir los modos de la falla.

Se parte de una lista de las causa potenciales y se verifican:

- Causa raíz Física
- Causa Raíz Humana
- Causa raíz latente.

El Análisis de la Falla y Verificación de las Causas Raíces, determinar las causas raíz físicas, humanas y del sistema para cualquier tipo de falla. Consta de seis pasos básicos.

Paso 5: Comunicación de los Resultados y las Recomendaciones: se debe documentar los hallazgos más importantes en la investigación RCA, comunicando de forma clara los resultados obtenidos con sus respectivas recomendaciones, si es necesario reunirse con la gerencia, se debe hacer para establecer los

compromisos y responsabilidades para resolver las fallas. El costo de implementar los resultados se debe comparar frente al costo de la falla.¹³

Paso 6: Seguimiento a los Resultados. Se debe analizar los resultados obtenidos con sus respectivas recomendaciones, esto con el fin de realizar el seguimiento de su ejecución, los resultados pueden ser comparados y medidos con reducción en los costos de mantenimiento, mejoramiento en las ratas de producción y reducción de las ratas de fallas, etc.

3.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE FALLAS EN MANTENIMIENTO

En el análisis de falla un dato es la representación simbólica (numérica, alfabética, alfanumérica) de una falla bajo una forma conveniente para ser usado como base para hacer inferencias y tomar decisiones. Estos métodos son las herramientas de los investigadores, el medio para acercarse, o entender lo que está ocurriendo. Los métodos inductivos están generalmente asociados con la investigación cualitativa, mientras que el método deductivo está asociado con la investigación cuantitativa.¹⁴

3.4.1 Método Cuantitativo para el Análisis de Falla. Los métodos cuantitativos para el análisis de falla se basan en el estudio de la estadística e indicadores asociados al proceso evaluado, siendo usual el empleo de modelos matemáticos rigurosos y de gráficas para la presentación y análisis de los datos.

3.4.2 Análisis de Pareto. El análisis pareto o análisis ABC es una herramienta de mantenimiento para identificar y jerarquizar datos, con el fin de mostrar qué

¹³ SERNA G, Aníbal. Análisis de Falla. Especialización Gerencia de Mantenimiento. Colombia: Yopal, 2016.

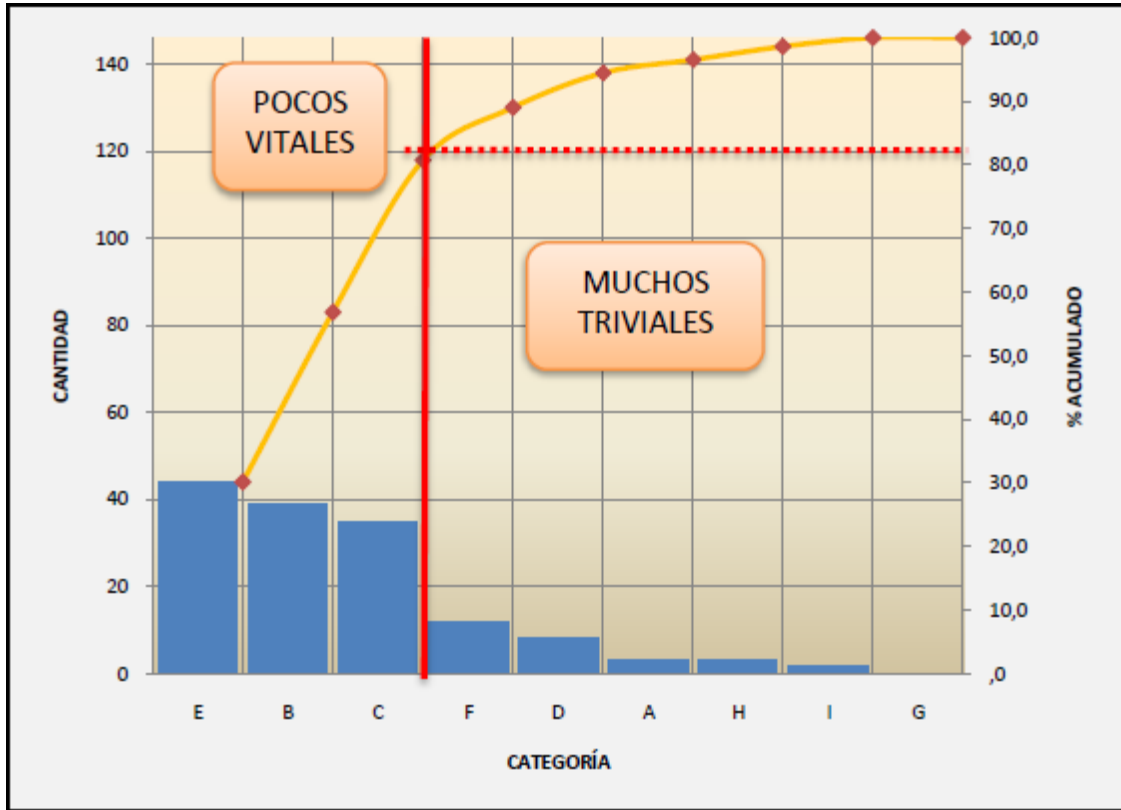
¹⁴ Aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA), para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM – ECOPEPETROL S.A tesis

elementos componen el tema que se está analizando. Este permite mediante una representación gráfica o tabular, conocida como diagrama de pareto, identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor. Aplicando el análisis de pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia, mediante la aplicación del principio de pareto (pocos vitales, muchos triviales) conocido también como la regla 80-20 que dice que hay muchos problemas sin importancia.

El diagrama permite identificar visualmente en una revisión las minorías de características vitales a las que es importante prestar mayor atención y de esta manera priorizar recursos para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos y tiempo.¹⁵

¹⁵ BORRÁS PINILLA, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p.71

Figura 8. Diagrama de Pareto



Fuente: MONCADA, Davian Augusto *et al.* Seminario de Investigación en Metodologías de Análisis de Fallas .Bucaramanga, 2009.

3.3.3 Objetivos del Análisis de Pareto. El análisis de Pareto es una herramienta estadística de mantenimiento muy utilizada para la identificación de problemas crónicos y su aplicación solo está limitada por el ingenio del analista, realizarlo tiene como objetivo:

- Identificar oportunidades para llevar a cabo mejoras.
- Identificar los sistemas, equipos o elementos que están causando la mayoría de problemas a mantenimiento y producción.
- Analizar las diferentes agrupaciones de datos
- Buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones.

- Evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso (antes y Después).
- Expresar los costos que significan cada tipo de falla y los ahorros logrados mediante el efecto correctivo llevado a cabo a través de determinadas acciones.¹⁶

3.4.4 Método Cualitativo para el Análisis de Falla. Los métodos cualitativos para el análisis de falla, se aplican en la ingeniería de mantenimiento para encontrar las causas que originan las fallas en procesos, sistemas o equipos mediante técnicas de observación y verificación, entrevistas no estructuradas, lluvias de ideas, entre otras. Estos métodos cualitativos son sistemáticos, lógicos y cada uno tiene un procedimiento claro a seguir para encontrar las causas que originaron la falla.

3.5 METODOLOGÍA TAPROOT

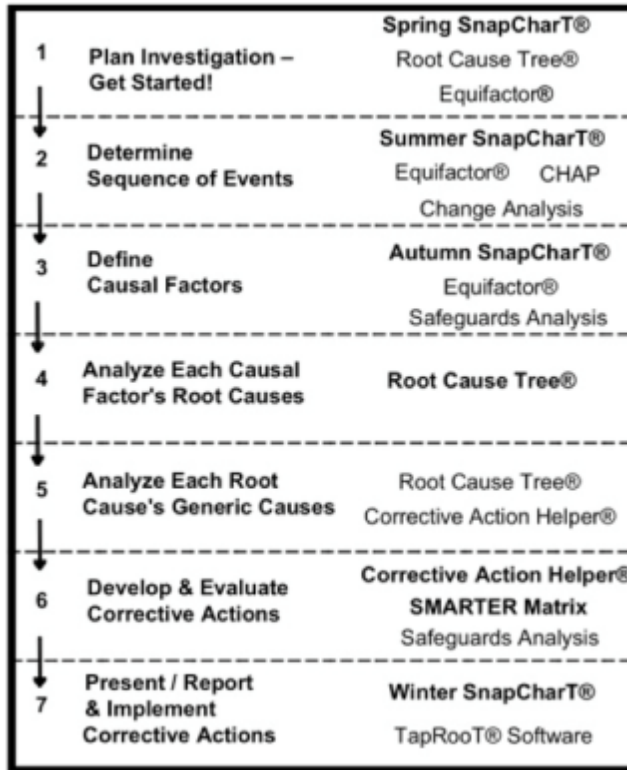
TapRoot es utilizado comúnmente en investigaciones, con el fin de recolectar información, es una herramienta guía para evidenciar y asignar prioridades. Se basa en la experiencia del investigador y de cómo una causa produce un efecto. Por lo general la experiencia no es suficiente para eliminar un problema de raíz, solo dan soluciones a corto plazo.

Como sabemos, la mayoría de los incidentes se producen en la línea de producción de cualquier actividad empresarial. Conviene siempre encontrar las causas raíz para proponer soluciones, y para ello, ofrecen la herramienta más poderosa para realizar los análisis en forma sencilla, consistente y efectiva.¹⁷

¹⁶ MONCADA, Davian Augusto et al. Seminario de Investigación en Metodologías de Análisis de Fallas. Bucaramanga, 2009, 317 p. Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – mecánicas. Área de Mantenimiento.

¹⁷ TAPROOT MEXICO Taproot [en línea] disponible en: <http://www.taprootmexico.com/taproot>

Figura 9. TapRoot



Fuente: TAPROOT [en línea] disponible en: <http://www.taproot.com/archives/24424>

Al igual que la metodología RCA, TapRoot consta también de 7 pasos para la resolución de problemas enfocado a la causa raíz, las herramientas se usan durante toda la investigación, para robustecer cada fase de la investigación, incluyendo la recolección de datos.

TapRoot, evita que los investigadores salten a tomar una solución, a medida que se recolecta la información, por lo que se fundamenta en evidencias para su respectivo seguimiento, siendo necesario a medida que se utilice la metodología y hasta qué punto se puede llegar. Se tiene que entender lo que paso, antes de intentar entender que paso.

3.5.1 Causa & Efecto Como se mencionó anteriormente, la experiencia del investigador no es suficiente para dar solución al problema, pero si se puede

utilizar ese conocimiento para diagnóstico futuros problemas, reduciendo de esta manera los enlaces causales complejos de un accidente. Esta teoría es la base de muchos sistemas de análisis de causa raíz como: el 5 Por qué, el Análisis Causa/Efecto y el FMEA (Failure Mode and Effect Analysis – Análisis de Modo de Falla y Efecto). Un problema evidente de esta teoría es que investigadores sin experiencia no conocen muchas de las relaciones de causa efecto y no podrán encontrar lo que no saben. Pero muchos no entienden que aún investigadores con experiencia pueden desorientarse por las suposiciones que hay atrás del análisis de causa/efecto. ¿Cómo? Sigamos adelante.

3.5.2 Causitis Favoritus Aún investigadores con experiencia caen frecuentemente en la trampa de la “causitis favorita”. Utilizan su experiencia para guiar la investigación. Esto los lleva a encontrar relaciones causa/efecto que les son cómodas y fáciles de explicar o que no requieren explicación por ser obvias. ¿Por qué? Porque están buscando precisamente eso – patrones de causa/efecto que les son familiares y eliminan la evidencia que indica otras relaciones. (El nombre técnico para este fenómeno es “parcialidad de confirmación”.) Mientras más experiencia tenga el investigador... más fácilmente caerá en esta trampa. El exponer este secreto no me va a ser más popular con los “gurús” investigadores expertos. Ellos nunca van a admitir que sufren de las mismas debilidades que los investigadores novatos cuando se trata de análisis de relaciones causa/efecto. Ellos siempre me han tratado de explicar que no tienen ideas preconcebidas acerca de la causa/efecto de un incidente; pero esta declaración se desploma una vez que se analiza las relaciones causa/efecto encontradas en forma independiente y confirma, una vez más, que la suposición de que los investigadores expertos conocen las relaciones causa/efecto de todos los incidentes de memoria y que son capaces de reconocerlas durante una investigación.

3.4.3 TapRoot® Supera la Causitis Favoritus ¿Cómo le hace TapRoot® para superar los problemas que se tienen con el conocimiento de los investigadores? De dos maneras: Primero mantener la investigación enfocada, mientras se recolecta la información, en “¿qué fue lo que pasó?” De esa manera se evita que los investigadores salten a conclusiones encontrando causas, es más fácil que los investigadores sigan la evidencia hacia donde ella conduce que cuando tratan de llegar a donde quieren llegar. Recordemos que la principal herramienta que se utiliza para recolectar la información es la SnapCharT®. También podemos utilizar el Análisis de Cambios y Equifactor®, posiblemente PAHC, en casos más complejos. Esta combinación de herramientas avanzadas simplemente produce mejor información para analizar. Pero la verdadera magia atrás del análisis de causa raíz de TapRoot® es el Árbol de Causa Raíz y el Diccionario que lo acompaña. El Árbol sintetiza el conocimiento de cientos de expertos y lo pone a disposición de todos los investigadores (una lista de las fuentes del Árbol está en el Capítulo 1 del Libro de TapRoot®), y lo que es más, este conocimiento no tiene que estar en la cabeza de los investigadores, no hay que memorizarlo, ya que está inter-construido en el Árbol y el Diccionario. Aplicando este método sistemático, evitamos que los investigadores salten a conclusiones o impongan sus opiniones en el resto del equipo. La relación causa/efecto en el Árbol de Causa Raíz® no solamente viene de muchas fuentes confiables, pero también ha sido revisado, criticado y probado. Sobre esto también hay más de 20 años de retroalimentación de la base de internacional de usuarios y miembros del Consejo Consultivo. Esto lo hace de naturaleza única, para encontrar causas raíz real a los diferentes problemas.

3.5.4 Escalamiento de una Investigación El sistema TapRoot® es suficientemente flexible para acomodarse a cualquier tamaño de riesgo. Se usan algunas técnicas para todas las investigaciones. Otras solamente se usan en investigaciones mayores. Para accidentes simples un solo investigador dibuja una SnapCharT® sencilla de la secuencia de eventos, identifica uno, dos o tres

Factores Causales fáciles de detectar, pudiendo trabajar con aquellos involucrados en un par de entrevistas. Una a dos horas en total. El dibujar una SnapCharT® se requiere porque hay que entender qué fue lo que pasó antes de encontrar por qué pasó. El paso siguiente, toma los Factores Causales a través del Árbol de Causa Raíz (posiblemente una hora de trabajo), y luego una hora más para desarrollar acciones correctivas SMARTER basados en el Manual de Acciones Correctivas® y para documentarlo de alguna manera, de forma de estar listos para revisión y aprobación (aproximadamente ½ día de trabajo). ¿Y qué pasa si la administración dice que medio día es demasiado tiempo? ¿Por qué no preguntas 5 veces qué pasó y sugieren una acción correctiva? Claro que se puede hacer, pero no es hacer análisis de causa raíz. Eso es hacer una adivinanza e irse con ella.

4. DIAGNOSTICO SITUACIÓN ACTUAL EN EIM

Halliburton Latin America S.A es una empresa prestadora de servicios petroleros en el mundo. La línea IEM (Mantenimiento Equipos Internos); es la encargada de velar por el óptimo funcionamiento de los equipos. Los clientes en la organización se derivan en líneas de operación como son: Cementación (CMT), Coild Tubing (HPS), Fracturamiento (PE), Registro (WP). Estas líneas cuentan con Unidades equipadas con motores de aplicación vehicular, industriales y otros cuentan con las dos aplicaciones. Los motores son los encargados de dar el movimiento de tracción para el desplazamiento del vehículo (equipo CPTY4); en otro caso el motor proporciona el poder hidráulico para accionar unas bombas Hidráulicas (Power Pack de CT), son encargadas de mover un rollo de tubería flexible de 1.5 - 1.75 - 2 Pulgadas en dirección ascendente y descendente dentro de los pozos productores de crudo; está la aplicación donde los motores industriales son utilizados para accionar una bomba de desplazamiento positivo ya sea para cementar o fracturar; esto depende de servicio y aplicación que requiera el cliente.

IEM tiene estructurado en SAP un Mantenimiento Preventivo (PM), depende de la aplicación del equipo puede ser: horas, Kilómetros, días o meses. Las PM se clasifican de tipo A, B (B1, B2, B3, B4), C (C1, C2, C3, C4) y D. esta clasificación va relacionada con el tiempo de vida Útil del equipo. A pesar de este mantenimiento riguroso que se realiza, se observa que los equipos presentan fallas constantes; algunas son recurrentes, ocasionando en la operación NPT (Tiempo No Productivo), y bajo nivel SQ (Calidad del Servicio); estos factores son generados cuando un equipo falla en una operación. En los 2 últimos años se han presentado fallas en algunas unidades, que han impactado el costo y confiabilidad de los equipos administrados por IEM.

4.1 APLICACIÓN DE RCM – EQUIPOS CRITICOS

El mantenimiento basado en confiabilidad, permite determinar cuáles son las tareas para el mantenimiento adecuado de los activos físicos, su aplicación implica redactar las funciones deseadas o realizar una lista de dichas funciones y estas se deben dividir en dos, una función llamada primaria encargada de definir porque la adquisición del activo y otra secundaria que son las que espera el usuario que el activo debería esperar.

4.1.1 Análisis de Criticidad Es una metodología que permite establecer jerarquías entre:

- Instalaciones
- Sistemas
- Equipos
- Elementos de un equipo

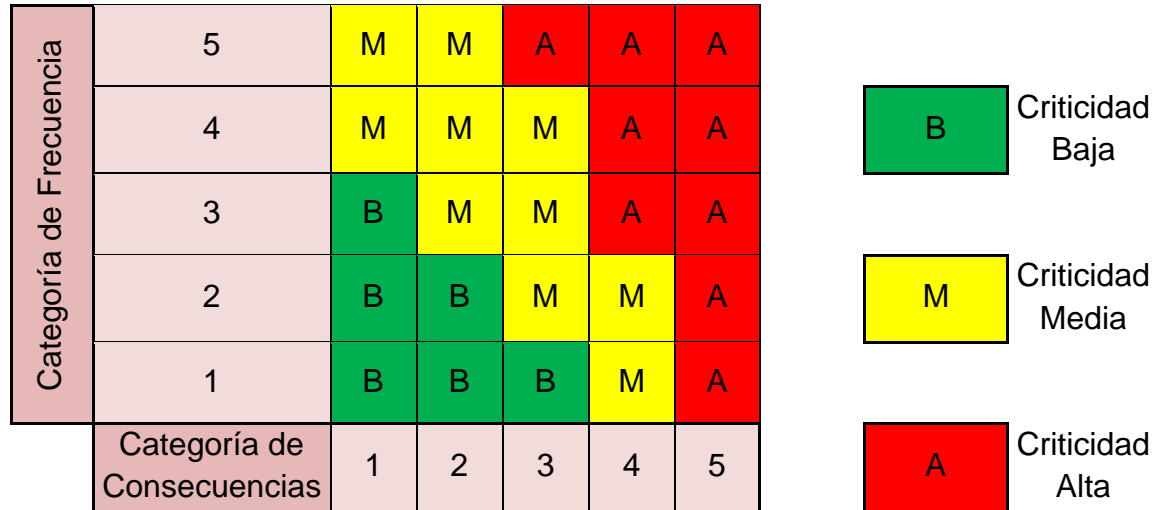
De acuerdo con su impacto total del negocio, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, perdida de producción y daños en la instalación¹⁸. Además, apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento, ejecución de proyectos de mejora, rediseños con base en el impacto en la confiabilidad actual y en los riesgos.

4.1.2 Descripción de la metodología de Análisis de Criticidad. Para determinar la criticidad de una unidad o equipo se utiliza una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. En un eje se representa la frecuencia de fallas y en otro los impactos o consecuencias en los cuales incurrirá la unidad o equipo en estudio

¹⁸ APRENDIZAJE VIRTUAL Guía de aprendizale, matodologia análisis de criticidad, [en línea] disponible en: http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Causa_Raiz.pdf

si le ocurre una falla.

Figura 10. Matriz de criticidad



La criticidad se determina cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de una falla por la suma de las consecuencias de la misma, estableciendo rasgos de valores para homologar los criterios de evaluación:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

4.1.3 Frecuencia de la falla funcional Para cada equipo puede existir más de un modo de falla, el más representativo será el de mayor impacto en el proceso o sistema. La frecuencia de ocurrencia del evento se determina por el número de eventos por año. Para estimar la frecuencia se utiliza el Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF) o la frecuencia de falla en número de eventos por año.

Tabla 1. Tiempo Promedio entre Fallas (TPEF)

Categoría	Tiempo Promedio Entre fallas TPEF (Años)	Numero de Fallas (Años)	Descripción
5	$TPEF < 1$	$\alpha > 1$	Probabilidad de que ocurran varias fallas en un año
4	$1 \leq TPEF \leq 10$	$0,1 < \alpha \leq 1$	Probabilidad de que ocurran varias fallas en 10 años y poco probable que ocurran en un año
3	$10 \leq TPEF \leq 100$	$0,001 < \alpha \leq 0,1$	Probabilidad de que ocurran varias fallas en 100 años y poco probable que ocurran en 10 años
2	$100 \leq TPEF \leq 1000$	$0,0001 < \alpha \leq 0,001$	Probabilidad de que ocurran varias fallas en 1000 años y poco probable que ocurran en 100 años
1	$TPEF \geq 1000$	$0,0001 \leq \alpha$	Es poco probable que ocurran fallas en 1000 años.

Para la estimación de las consecuencias o impactos de la falla, se emplean los siguientes criterios y sus rasgos preestablecidos.

Figura 11. Cinco criterios



La tabla Categoría de los Impactos es la siguiente:

Tabla 2. Categoría de los Impactos

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Perdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
5	Muerte o incapacidad total, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Muerte o incapacidad total, permanente, daños severos o enfermedades en uno o más miembros de la comunidad.	Daños irreversibles al ambiente y que violen regulaciones y leyes ambientales.	Mayor de 50 MM	Mayor de 50 MM
4	Incapacidad parcial, heridas permanentes, severas o enfermedades en uno o más miembros de la empresa.	Incapacidad parcial, heridas permanentes, severas o enfermedades en uno o más miembros de la Población.	Daños irreversibles al ambiente pero que no violan regulaciones y leyes ambientales.	De 15 a 50 MM	De 15 a 50 MM
3	Daños o enfermedades severas de varias personas de la instalación. Requiere suspensión laboral.	Puede resultar en la hospitalización de al menos 3 personas	Daños ambientales arregables sin violación de leyes y regulaciones la restauración puede ser acumulada.	De 5 a 15 MM	De 5 a 15 MM
2	El personal de la planta requiere tratamiento médico o primeros auxilios.	Puede resultar en heridas o enfermedades que requieren tratamiento médico o primeros	Mínimos daños ambientales sin violación de leyes y regulaciones.	De 500 mil a 5 MM	De 500 mil a 5 MM

Categoría	Daños al personal	Efecto en la población	Impacto ambiental	Perdida de producción (USD)	Daños a la instalación (USD)
		auxilios.			
1	Sin impacto en el personal.	Sin efecto en la población.	Sin daños ambientales ni violación de leyes y regulaciones.	Hasta 500 mil	Hasta 500 mil

Fuente. Metodología de Análisis Causa raíz. Guía de Aprendizaje. SCO.

4.1.4 Cálculo del nivel de criticidad: Para determinar el nivel de criticidad de una instalación, sistema, equipo o elemento se debe emplear la fórmula:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia}$$

Una vez obtenido el valor de la criticidad, se busca en la Matriz de Criticidad diseñada, determinar el nivel de criticidad de acuerdo con los valores y la jerarquización establecidos.

Tabla 3. Calculo del nivel de criticidad

FRECUENCIA	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
		IMPACTO																				
		CRITICIDAD ALTA			A	40 ≤ CRITICIDAD ≤ 125																
		CRITICIDAD MEDIA			B	20 ≤ CRITICIDAD ≤ 39																
		CRITICIDAD BAJA			C	5 ≤ CRITICIDAD ≤ 19																

4.1.5 Análisis y Validación de los resultados: Los resultados obtenidos deberán ser analizados a fin de definir acciones para minimizar los impactos asociados a los modos de falla identificados que causan la falla funcional.

4.2. EVALUACIÓN DE EQUIPOS CRÍTICOS

El departamento de mantenimiento de Halliburton utiliza el módulo de mantenimiento de SAP para el registro de todas las órdenes de trabajo. En él se

encuentran todos los equipos asignados a la base Yopal con su respectivo número de equipo. Los equipos se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 4. Equipos asignados a Yopal – IEM

Equipment	Description of technical object
10673611	SKID-OPERATOR-HOUSE-CT
11141543	SYSTEM DATA ACQ FOR CT (11395418)
11706698	SYSTEM DATA ACQ FOR CT (11706693)
11710511	SKID POWER PACK HYD CT
10021063	SK10440 SKID MIX CMT BATCH 100BBL
10021141	76556Z TRLR TANK STRG FLUID 500BBL
10021185	77476 TRLR TANK STRG FLUID 500BBL
10021256	TL1060 TRLR LOBOY 2 AXLE
10147068	POWER PACK 8V 74GO678 S103S
10645270	TRLR-CRANE-CT-SUPPORT
10822022	TRACTOR WINCH 6X4 (COA150)
10967274	TRLR MIX CMT BATCH 100BBL
11395418	CT Reel tráiler
11451595	TRLR TRANS BULK 660CF LONG
11706693	TLR CT REEL CONT QRU HES
11710509	TRLR-CRANE-CT-SUPPORT
11721659	TRACTOR WINCH 6X4
11721661	TRACTOR WINCH 6X4
11765543	TRAILER TRANSPORT NITROGEN
11887456	TRLR MOBILE LIGHTING SYSTEM COMBO
11887665	TRLR LOBOY 3 AXLE W/DETACHABLE GOOSENECK
11887666	TRLR LOBOY 3 AXLE W/DETACHABLE GOOSENECK
12092340	Man Lift
12248152	TRLR-CRANE-CT-SUPPORT
12369935	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12369941	GENSET,DSL,CUMMINS GEN,MODEL C20 D6,20 K
12408074	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12408084	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12408086	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12422245	GENSET,DSL,CUMMINS GEN,MODEL C20 D6,20 K
12422247	TRLR,LOW BOY,3 AXLE,2014,TWO LOBED,PNEU

Equipment	Description of technical object
10021092	77864C TRLR TRANS TANK LN2 7000GAL 45PS
10021093	78009C TRLR NITRO TPU340F
11286286	SKID PUMP N2 180K SCFH 15K
11562337	PICK UP 1 TON 4X4 SUPER CAB (RBX305)
12102222	PKUP 1/2 TON 4X4 SUPER CAB (MKV075)
12102224	PKUP 1/2 TON 4X4 SUPER CAB (MKV427)
11889208	PICK UP 1 TON 4X4 SUPER CAB (RMT650)
11889211	PICK UP 1 TON 4X4 SUPER CAB (RNL432)
12381193	VAN 15 PASS 3/4 TON 2X4 (HSS453)
12561561	Trailer Pump Backside
11890747	TRLR LOBOY 3 AXLE
12215960	CRB/DRB RESIN MOBILE INJECTION PUMP UNIT
12423314	IR CPRSR,PORT,ATLAS COPCO,MDL XAS185JD7
10021255	7748TC TRLR-FRAC-76TF-MAN-CONT
10924979	TRLR TRANS BULK 660CF LONG
10954447	TRLR PUMP CMT TWIN HT400 ELITE
11036291	SKID PLANT COMPR 300SCFLP DIESEL
11127957	TRLR TRANS BULK 660CF LONG
12179837	SKID PLANT COMPR 410SCFLP DIESEL
11252865	FORKLIFT
11905312	FORKLIFT
12056194	PICKUP-1/2 TON NISSAN 4 X 4 NAVAR MJZ861
12056200	PICKUP-1/2 TON NISSAN 4 X 4 NAVAR MJZ831
11889211	PICK UP 1 TON 4X4 SUPER CAB (RNL432)
12017856	TRLR STRG BULK 1410CF
10924979	TRLR TRANS BULK 660CF LONG
11887456	TRLR MOBILE LIGHTING SYSTEM COMBO
12408084	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12408086	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12369935	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12408084	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12408086	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
12408074	TRACTOR HYD START SLPR 6X4
11721661	TRACTOR WINCH 6X4
11905312	FORKLIFT
12024413	TRLR TRANS BULK 660CF SHORT

4.2.1 Desarrollo de la evaluación de equipos críticos. Se realizó la evaluación a los sesenta y siete (67) equipos asignados al departamento de mantenimiento, donde se toman como estudio los veinte (20) equipos más críticos.

Los criterios de criticidad fueron asumidos por los autores del proyecto y se tomó como base la cantidad de equipos por cada ítem. La criticidad alta se tomó desde un valor de 40 hasta el máximo de 125, pero es de tener en cuenta que los efectos en la población y daños en las personas son controlados y no se presentaron en el presente análisis.

Tabla 5. Equipos asignados a Yopal - IEM

EQUIPO	Frecuencia	Daño a las instalaciones Categoría	Impacto en producción Categoría	Daño al personal Categoría	Efecto en la población Categoría	Impacto ambiental Categoría	F*(\sum Consecuencias) Criticidad	Nivel de criticidad
10673611	1	1	1	1	1	1	5	Baja
11706698	5	1	3	1	1	2	40	Alta
11710511	5	2	4	1	1	2	50	Alta
10021063	5	1	2	1	1	2	35	Media
10021141	2	1	1	1	1	1	10	Baja
10147068	5	1	2	1	1	2	35	Media
10967274	5	1	2	1	1	2	35	Media
11451595	5	1	2	1	1	2	35	Media
11710509	5	1	2	1	1	2	35	Media
11765543	5	2	4	1	1	2	50	Alta
12248152	5	1	2	1	1	2	35	Media
10021092	5	2	2	1	1	2	40	Alta
10021093	5	2	2	1	1	2	40	Alta
11286286	5	2	2	1	1	2	40	Alta
12561561	5	1	2	1	1	1	30	Media
12423314	5	1	2	1	1	2	35	Media
10021255	2	1	1	1	1	1	10	Baja
10924979	3	1	1	1	1	1	15	Baja
10954447	5	1	2	1	1	2	35	Media
11887456	5	1	2	1	1	2	35	Media

Podemos concluir que los equipos más críticos asignados a IEM Yopal son los siguientes:

11706698 SYSTEM DATA ACQ FOR CT (11706693)
11710511 SKID POWER PACK HYD CT
11765543 TRAILER TRANSPORT NITROGEN
10021092 77864C TRLR TRANS TANK LN2 7000GAL 45PS
10021093 78009C TRLR NITRO TPU340F
11286286 SKID PUMP N2 180K SCFH 15K

5. DESERROLLO DE LA APLICACIÓN

5.1 EQUIPO DE COILED TUBING

Equipo de Tubería Flexible, es un proceso versátil que cubre muchas aplicaciones con una variedad de usos. Como son cementación, estimulación, Fracturamiento. Estas unidades de tubería flexible y sus equipos auxiliares pueden ofrecer una solución a prácticamente todas las áreas relativas a la terminación del pozo y el mantenimiento. Desde el año 1963 y los primeros trabajos de tubería, la tubería flexible ha ido mejorando continuamente el estado actual que es hoy. Con el aumento de tamaño de los tubos y herramientas de fondo de pozo cada vez más especializados y complejos, la tecnología es la ampliación de las áreas de tubería flexible puede cubrir aún más.

5.1.1 Tipos unidad de tubería flexible Para aprender cualquier proceso de tubería, es necesario familiarizarse con las unidades de tubería flexible. Cada una de estas unidades pueden operar a presiones específicas al tiempo que permite la circulación continua como el tubo se reduce en el pozo. Como usted está a punto de ver, una unidad viene completa, utilizando una variedad de herramientas y equipos para completar con éxito cualquier tipo de trabajo.

Una unidad básica tiene todos los componentes necesarios para llevar a cabo un proceso de tubería. Carretes, arcos, caseta de control y generadores de energía son sólo algunos de los equipos montados en el remolque.

Trabajando en conjunto con otras unidades, es decir, grúas, Power pack, camiones de nitrógeno, etc., estas unidades demuestran que la tubería flexible es

la solución más versátil, el costo en muchos de los de terminación de pozos / servicios situaciones encontradas en el campo.

5.1.1.1 Primera Generación de CT

Figura 12. 15K Body Load Truck



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

Básicamente diseñado para el trabajo de servicio pozo poco profundo, el camión de carga 15K Cuerpo Plataformas rápidamente en situaciones donde el tiempo es la clave para el éxito de las operaciones. Se llama la 15K debido a la norma 15K inyector montado en la parte trasera. El conjunto del inyector de elevación es capaz de mover hasta tres puntos de eje diferentes.

El camión de carga 15K corporal es la plataforma más pequeña de la tubería en espiral de la Flota de Halliburton. Tiene la capacidad de ejecutar la tubería en diámetros de 3/4 inch. A 1 1/4 inch. Y lleva típicamente 6 a 8000 pies de tubería en un carrete.

Tabla 6. Especificaciones Inyector 15K

15K Injector Specifications	
Tubing Ranges	¾ in. To 1 ¼ in.
Speed Rating	192 ft/min
Load Rating	19,300 lb pull; 9,650 Snub
Weight w/ Tubing Guide	4,200 lb
Dimensions	42 ¾ in x 42 ¾ in. x 136 ½ in.
Tubing Guide Radius	48 in.
Motor	Single 9.5 cu. In. vane motor
Gear Ratio	21.48 to 1
Chain Contact Length	20 in.

Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

5.1.1.2 Segunda Generación de CT

Figura 13. The 30K and 38K Coiled Tubing Unit



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

Las Unidades de 30K y 38K de tubería flexible son el “siguiente paso” en la espiral de la tubería Flota Halliburton. Tanto se puede ejecutar 1 pulg. A 1 ½ pulg. Tubería de diámetro (más grande, con modificaciones) y suele durar 17.000 pies carrete cuando se utiliza 1 ¼ pulg. Tubería.

Estas unidades de utilizar un estándar para 30K 38K inyector y tienen la capacidad de tirar de más alta con motores de velocidad inferiores. Cada uno tiene un camión grúa que acompaña al remolque carrete como parte de la unidad.

Tabla 7. Especificaciones Inyector 30K

30K Inyector Specifications	
Tubing Ranges	1 in. To 1 1/5 in.
Speed Rating	112 ft/min low; 224 ft/min high
Load Rating Instantaneous	30,000 lb pull; 15,000 snub
Load Rating Continuous	24,000 lb pull; 12,000 lb snub
Weight w/ Tubing Guide	5,500 lb
Dimensions	50 in. x 50 in. x 196 in.
Tubing Guide Radius	72 in.
Motor	Double 9.5 cu. In. vane motors
Gear Ratio	21.48 to 1
Chain Contact Length	22 in.

Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

Tabla 8. Especificaciones Inyector 38K

38 K Inyector Specifications	
Tubing Ranges	1 in. to 1 3/4 in.
Speed Ratings	82 ft/min low; 164 ft/min high
Load Rating Instantaneous	38,000 lb pull; 19,000 lb snub
Load Rating Continuous	30,400 lb pull; 15,200 lb snub
Weight w/ Tubing Guide	5,500 lb
Dimensions	50 in. x 50 in. x 196 in.
Tubing Guide Radius	96 in. to 120 in.
Motor	Double 13 cu. in. vane motors
Gear Ratio	21.48 to 1
Chain Contact Length	22 in.

Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

5.1.1.3 Tercer Generacion CT. The 60K Coiled Tubing Unit El 60K es la unidad típica que puedes encontrar en la mayoría de los empleos de Halliburton espiral de la tubería. Su característica fundamental es la capacidad de 60.000 libras inyector

polipasto. El inyector trabaja tubos a velocidades de hasta 220 pies / min y pueden los micro hasta sólo 1 ft / min.

El inyector también puede manejar tamaños de tubos de 1 1/4 in. A 2 3/8 in. Y tirar de forma segura 60.000 libras a 50 pies / min también. Mostrando su "a través de" tubo de versatilidad, es capaz de pasar una herramienta 7 in a través de la abertura del inyector. El 60K también tiene una grúa de trabajo a lo largo de lado.

Figura 14. The 60K Coiled Tubing Unit



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3

Tabla 9. Especificaciones Inyector 60K

60K Injector Specifications	
Tubing Ranges	1 1/4 in. to 2 3/8 in.
Speed Rating	12 in/min to 230 ft/min
Load Rating Instantaneous	60,000 lb pull; 30,000 snub
Load Rating Continuous	48,000 lb pull; 24,000 lb snub
Weight w/ Tubing Guide	10,200 lb

60K Injector Specifications	
Dimensions	50 in. x 50 in. x 196 in.
Tubing Guide Radius	96 in.
Motor	Double 4.88 cu. in. variable piston motors
Gear Ratio	50.43 to 1
Chani Contact Length	36 in.

Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

5.1.1.4 Cuarta Generacion de CT. The 80K Coiled Tubing Unit.

La unidad de tubería 80K en espiral es más grande plataforma C / T de Halliburton utilizado en los Estados Unidos. El 80K es grande en todos los sentidos, que tiene la capacidad de ejecutar la tubería en diámetros de 3 1/2 pulg. Por lo general, uno de sus más grandes carretes puede llevar a unos 15.000 pies de 2 pulg. Tubos y unos 10.750 de 2 7/8 pulg.

Mientras que el inyector tiene una velocidad ligeramente inferior a la de 60K, que se puede desprender de forma intermitente hasta una potencia de hasta 100K. Una grúa trabaja al lado de esta unidad también.

Tabla 10. Especificaciones Inyector 80K

80K Injector Specifications	
Tubing Ranges	1 1/4 in. to 3 1/2 in.
Speed Rating	12 in/min to 188 ft/min
Load Rating Instantaneous	80,000 lb pull; 40,000 snub
Load Rating Continuous	71,000 lb pull; 35,800 snub
Weight w/ Tubing Guide	16,000 lb
Dimensions	75 in. x 76 in. x 145 in.
Tubing Guide Radius	94 in.
Motor	Double 7.25 cu. in. variable piston motors
Gear Ratio	50.47 to 1
Chain Contact Length	32 1/4 in.

Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

5.1.1.5 Quinta Generación de CT. V95HP Quick Rig-Up Unit Tractor Manual

Figura 15. V95HP Quick Rig-up unit.



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

Esta unidad es un equipo de perforación en marcha rápida V95HP. Utiliza un chasis Kenworth T800W y el motor C13 con ACERT® 430 HP para aplicaciones de servicio estándar. El tractor está equipado con una unidad de alimentación kit mojado.

El camión-C13 motor cuenta con una transmisión FRO-15210C, suspensión de aire, toma de fuerza-170 caja de transferencia, eje impulsor, y tubería flexible del paquete de energía del tractor. La siguiente también se proporcionan en esta unidad:

- 15 pies de nylon mangueras en espiral y remolque de 15 pies de cable eléctrico enrollado.
- A 7 vías receptáculo eléctrico en la parte posterior de la cabina.
- Bendix AD-IP, de 12 voltios secador de aire caliente montado detrás de la caja de la batería en el lado izquierdo.
- Aire acondicionado.
- Tandem línea central del eje indicado por un punchmark en el larguero del bastidor.
- Holanda manejadas por aire 24.5 de entrada. Deslizamiento quinta rueda con una válvula de control montada en la cabina.

- Los controles de válvula de descarga en cabina para el eje impulsor.
- Ganchos de remolque trasero montado.
- Defensas sobre el eje impulsor y el eje tándem hacia delante según el dibujo de referencia 278.99604

Tabla 11. Dimensiones chasis T800W

T800W Chassis Dimensions (C13 ACERT Engine)	
Wheelbase 213.	213 in
Back of cab to centerline axle (CA).	139 in
Centerline axle to end of frame (AF).	54 in
Centerline front axle to centerline pusher axle.	132 in

Fuente: CAT C13 ACERT® Engine and Power Train

Información general para el motor y la potencia del tren C13

Tabla 12. Motor y Datos Tren de fuerza

Engine	Caterpillar C13 ACERT <ul style="list-style-type: none"> • 430 HP at 2,100 RPM • 1,550 lb-ft at 1,200 RPM • 445 maximum HP at 1,800 RPM
Engine performance	65 mph at 2,100 RPM
Engine brakes	Standard
Engine overspeed protection	Standard
Remote control harness	Include (as per Find No. 4 of bom)
Exhaust	<ul style="list-style-type: none"> • Vertical, cab-mounted on right-hand and left-hand sides • Includes aluminum shields and grab handles • All components to be aluminized steel except tailpipes • Tailpipes 36-in., polished with curved outlets • Outlets to be mounted with exhaust directed toward right-hand and left-hand sides of truck • Locate grab handle for passenger door entry
Air cleaner	Standard
Oil cooler	Standard
Oil filter	Standard
Governor	Electronic, set at 2,100-RPM full load
Flywheel housing	
Air compressor	BENDIX 750,16.5 cfm
Tachometer	Electronic
Gauges	As per D00094089
Cooling	<ul style="list-style-type: none"> • 1,520 in.² Radiator • Kysor on-off spring engaged • Air disengaged fan drive with plastic fan blades, no shutters • Include all silicone hoses. Must be able to cool full horsepower stationary with 200°F top tank temperature with 115°F ambient temperature at 4,000-ft altitude. • Coolant mixture to be 50% ethylene glycol and 50% water • Include radiator recirculation shielding kit

Rear suspension	Neway AD-246
Axle spacing	<ul style="list-style-type: none"> • 54 in. • Capacity: 46,000 lb
Pusher axle	Rockwell TR 8000 with dimensionally equivalent hubs, drums, brakes, bearings as rear axle
Pusher suspension	Neway ART 505C1 lift air ride
Brakes	Air S cam; Rockwell "q" rear, Rockwell "q" front Front size: 16.5 x 6-in. Rear size: 16.5 x 7-in.
Brake lining	Premium non-asbestos
Air brake reservoir	Standard
Brake drums	Outboard mounted
Spring brakes	Included on both rear axles
*Steel wheel	<ul style="list-style-type: none"> • Disc 10-hole 11 ¼ bc, hub pilot-mounted disc wheels with single flanged cap nut mounting • 7,200-lb Minimum capacity • Front and rear wheels must be the same • *Front: 12.25 x 22.5 DC • *Rear: 8.25 x 22.5 DC
Front tires	385/65 R 22.5, 18-ply
Rear tires	11.00 R 22.5, 14-ply
Spare tire and wheel	None
Rear hubs	<ul style="list-style-type: none"> • Webb 2623 • Budd hub and drum assembly • 220-8753 or dimensionally equivalent
Rear brake drums	<ul style="list-style-type: none"> • Webb 66884B • Budd 106164 or dimensionally equivalent
Front hubs	<ul style="list-style-type: none"> • Budd unimount hub and drum assembly 2008718 • Budd hub assembly 2018707 or dimensionally equivalent
Front brake drums	Budd 2308708 or dimensionally equivalent outboard-mounted
Steering	<ul style="list-style-type: none"> • Power • Sheppard dual M 100 P with Vickers pump

Fuente: CAT C13 ACERT Engine and Power Train Data

5.1.2 Componentes de una unidad de tubería flexible Con la excepción de los equipos auxiliares utilizados para aplicaciones específicas, los componentes que integran cada unidad de tubería flexible son más o menos lo mismo. Las únicas diferencias son en relación con la operación a diferentes presiones y diámetros de tubo.

Específicamente, una unidad de tubería flexible incluye una bobina para mantener la tubería flexible, un cabezal de inyector para empujar la tubería en el pozo, una pila de cabeza de pozo reventón preventivo, un arco de guía, una fuente de energía, (por lo general un motor diesel y bombas hidráulicas) y una caseta de control.

Las siguientes páginas son sólo una breve descripción de estos equipos y sus usos. Si bien esta es una buena representación de lo que se podría esperar una de estas unidades para realizar, en el futuro va a aprender en detalle lo que las capacidades de los componentes y la forma de operar de forma segura.

5.1.2.1 Inyector Como su nombre implica, un inyector mueve el rollo de tubería flexible hacia dentro o fuera del pozo, al mismo tiempo, sella el tubo, haciendo una conexión y conteniendo presión de cabeza de pozo. Las presiones en el interior del pozo aumentan cuando se inserta o tira de la tubería. El Inyector es capaz de trabajar en contra de estas presiones, mientras se mantenga regulada y controlada la presión existente en el interior del pozo.

Los inyectores tienen cadenas de rodillos y bloques de sujeción que aprietan los tubos y ayudan en la "inyección" de tubería por dentro del arbolito que se encuentra montado en la parte superior del pozo. Estas unidades van accionadas hidráulicamente, son motores bi-direccionales y tienen capacidades de reducción de engranajes.

El tamaño de un inyector se basa en su capacidad de tracción máxima, es decir, 30K puede tirar de 30.000 libras, 60K puede tirar de 60.000, etc.

El inyector-V95HP de tubería flexible, proporciona la fuerza de reacción y la estabilidad requerida para insertar y retirar tubería flexible de un pozo. La carga

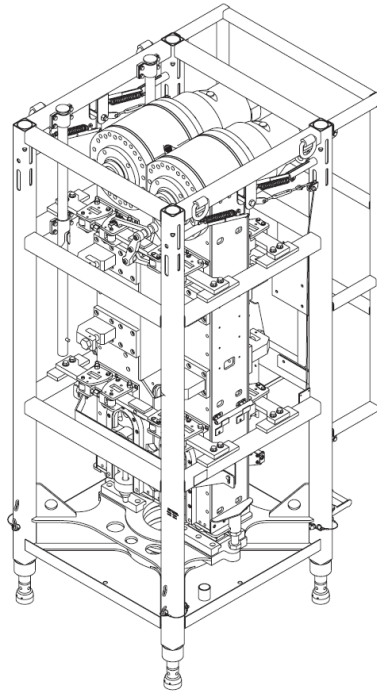
que el inyector debe soportar es igual a la diferencia entre la fuerza ascendente producida por la presión del pozo y el peso muerto de la tubería suspendida.

El inyector funciona según el principio de fricción motriz. Cuatro cilindros hidráulicos conectados a dos oponerse vigas aplican una fuerza radial a la tubería flexible para producir una fuerza de fricción tangencial que es mayor que la carga del tubo. El inyector se compone de cuatro conjuntos:

- Marco exterior
- Marco interior
- Transmisiones de cadena de agarre de bloque
- Sistema hidráulico

El marco exterior proporciona la estructura para sostener la carga impartida a partir de la tubería. El marco interior proporciona el soporte para las unidades de la cadena de pinzas de bloque. Los bloques de agarre mantienen el tubo mientras motores hidráulicos con las cadenas de transmisión que empujan y tiran de la tubería. El sistema hidráulico suministra la energía requerida para agarrar y mover el tubo, así como el poder para controlar el inyector y equipos asociados.

Figura 16. Inyector V95HP



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

Tabla 13. Especificaciones del Inyector

Operating Load Ratings	
Maximum continuous pull	85,000 lb (38 555 kg)
Maximum snub	40,000 lb (18 144 kg)
Maximum intermittent pull	95,000 lb (43 091 kg)
Ambient Temperature Rating	
Operation	-4 to 122°F (-20 to 50°C)
Load/Pressure Factors	
Low speed	19 lb/psi (1.25 kg/kPa)
High speed	9.5 lb/psi (0.62 kg/kPa)
Tubing Speed	
Minimum	< 1 ft/min (0.3 m/min)
Maximum*	185 ft/min (56.4 m/min)
Tubing Sizes	
Small gripper blocks	1 1/4-in. to 2-in. diameters
Medium gripper blocks	1 1/2-in. to 2 3/8-in. diameters
Large gripper blocks	2-in. to 3 1/2-in. diameters

Unsupported Tubing Length	
Tubing guide to gripper chain	23 in. (0.58 m)
Gripper chain to stripper	19 in. (0.48 m)
Weight	
With injector connector	10,350 lb (4695 kg)
Without injector connector	9,800 lb (4445 kg)
Miscellaneous	
Tubing/gripper-chain contact length	36-in. (0.91 m)
Dimensional envelope	45.5 x 59.75 x 115 in. (1.16 x 1.52 x 2.92 m)
Motor type	Variable displacement Axial piston
Motor displacement	6.53 in. ³ /rev (107 mL/rev) max. each motor 13.06 in. ³ /rev (214 mL/rev) max. total
Gear ratio	50.43:1
Drive sprocket pitch diameter	9.66-in.
Gripper chain	No. 200-3 with 2.5-in. (63.5 mm) pitch
* Speed is based on 104 gal/min (394 L/m) flow rate and 95% volume efficiency from motors.	

Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3.

5.1.2.2 Guía de radio variable tubería arcos Guía de tubos de montaje de los arcos en la parte superior del inyector y hace su parte en la orientación de la tubería en el pozo. El diseño y el radio de cada arco son típicos con todas las subidas y condiciones establecidos trabajo. Arcos con un radio mayor se han encontrado para trabajar mejor en la ampliación de la vida de tubos, pero los nuevos diseños incluyen una función de "radio progresiva" algunas ofrecen un diseño "sin rodillos".

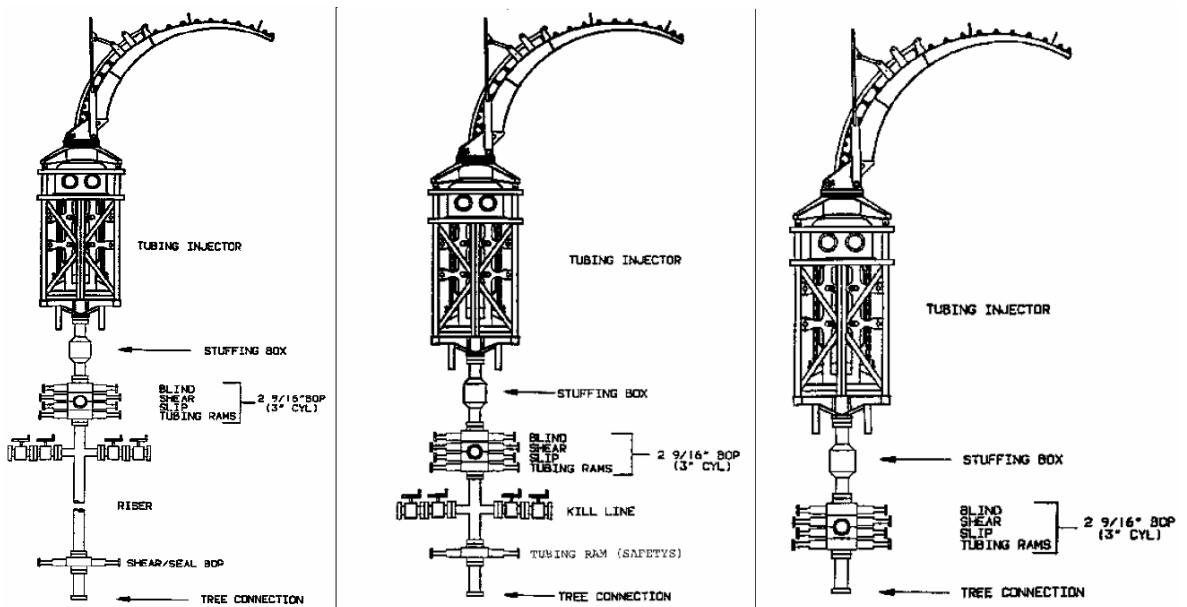
Figura 17. Guía de tubería



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3

A continuación son sólo algunos ejemplos de configuraciones para el arco, inyector / BOP

Figura 18. Configuraciones de arco



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3

5.1.2.3 Carrete Esencialmente, los carretes se utilizan para enrollar y desenrollar tubería flexible; almacena la tubería para el transporte; y mantiene el tubo en buenas condiciones de trabajo. Disponible en diseños basados en alta mar y de la tierra, carretes también proporcionan la tensión durante las operaciones de entubado arrollado. El tamaño máximo de una bobina se determina por el diámetro máximo de la tubería se puede llevar. Algunas características incluyen rótulas que permiten la inyección de fluido durante la ejecución de la tubería dentro o fuera de un pozo y un conjunto de nivel de viento que envuelve el tubo de manera uniforme dentro y fuera del carrete giratorio. Los nuevos diseños son sin eje, permitiendo aún más la tubería a ser transportado en un carrete.

Figura 19. Carrete



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3

5.1.2.4 Power Pack Power Packs proporcionan toda la potencia y controles de fluido necesario para operar una unidad de tubería flexible. Dependiendo de su tamaño, una fuente de alimentación puede ser una sola pieza montado sobre patines motor o montar directamente a la unidad de tubería flexible. Aunque ligero, cada unidad está diseñada para ofrecer el máximo permitido caballos de potencia.

El Power pack está constituido por un motor diesel, un sistema de bombas hidráulicas, un tanque hidráulico, controles de presión hidráulica y direccional circuitos de control. Paquetes de la fuente de alimentación de potencia necesaria para operar el equipo que formando una unidad de tubería flexible son:

- Inyector.
- Bobina.
- Sistemas de control.
- Grua.
- Sistemas de refrigeración y de carga.

El Power Pack viene en montado en un skid o camión, o configuraciones de montaje en tractores dependiendo de su aplicación requerida. El Power pack utiliza unas calculas para el control del sistema de fluidos y se pueden clasificar en 3 grupos de acuerdo a la función general.

1. **Válvulas de control direccional** - propósito es controlar la dirección de movimiento de los cilindros, motores de fluido, o actuadores.
2. **Válvulas de control de presión** - lo que incluye las válvulas de alivio de presión, válvulas de by-pass, y las válvulas reductoras de presión.
3. **Válvulas de Control de Flujo** - función principal es para regular la tasa de flujo de fluid, con el propósito de controlar la velocidad de movimiento en el cilindros y motores.

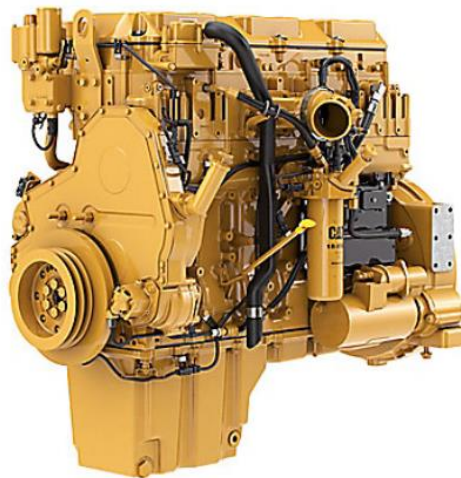
En Colombia contamos con un CT 95K – Ace on Flecs; con un Power pack en un tráiler donde como se puede apreciar en la imagen esta ordenado de la siguiente manera:

1. Power Pack.
2. Carrete de mangueras para la alimentación del Caseta de control que, los motores de la BOP y el reel donde está alojada la tubería.
3. Grua.

Figura 20. Power Pack



Figura 21. Motor del Power Pack - CAT C11



Fuente: CAT Motor Del Power Pack - CAT C11 [e línea] disponible en: http://www.cat.com/es_ES/products/new/power-systems/industrial/industrial-diesel-engines-lesser-regulated-non-regulated/18396528.html

Los Motores Diésel Industriales Cat® C11 ACERT™ ofrecen un rendimiento probado para proporcionar una potencia fiable para aplicaciones que requieren

242-336 bkW (325-450 bhp), ya que proporcionan un mayor número de posibilidades para los clientes que necesitan una gran flexibilidad para su equipo. Y, lo que es más importante, están respaldados por la excelente red de distribuidores Cat preparada para mantener y dar soporte a todos los motores industriales Cat. Los Motores C11 ACERT, con clasificaciones de potencia: 242-336 bkW (325-450 bhp) a 1800-2100 rev/min, cumplen los estándares de emisiones fase II de China, equivalentes a Tier 3 de la EPA y equivalentes a fase IIIA de la UE. Están disponibles si se aprovecha la flexibilidad de la EPA de EE. UU. y de la UE, y para las demás áreas con regulación y sin regulación.

Clasificación de potencia:

Potencia mínima 242.0 bkW

Máxima potencia 336.0 bkW

Régimen nominal 1800-2100 rev

Normas sobre emisiones:

Emisiones Estándares de emisiones de fase II de China, equivalentes a Tier 3 de la EPA de EE. UU. y fase IIIA de la UE.

Generalidades:

Configuración del motor Diésel, 6 cilindros en línea, 4 tiempos

Calibre 130 mm (5,12 pulg)

Carrera 140 mm (5,51 pulg)

Cilindrada 11,1 cm³ (677,36 pulg³)

De aspiración Turboalimentado y postenfriado (TA)

Relación de compresión 17.2:1

Sistema de combustC11 ACERT™ Equipos estándar

Sistema de admisión de aire:

Turboalimentado

Postenfriado aire a aire

Sistema de control

Regulación electrónica, control de velocidad de la toma de fuerza

Clasificaciones programables

Compensación automática de altitud

Compensación de potencia para la temperatura del combustible

Régimen alto y bajo programable y límite total del motor

Diagnóstico electrónico y registro de fallos

Sistema de control del motor control y difusión SAE J1939

Unidad de control electrónico (ECU, Electronic Control Unit) ADEM™ A4

Sistema de refrigeración:

Termostatos y carcasa, salida vertical

Bomba de la camisa de agua, centrífuga

Bomba de agua, admisión

Sistema de escape:

Colector de escape, seco

Salida de escape opcional

Volantes y caja del volante

SAE N.º 1, caja del volante

Sistema de combustible:

Inyección MEUI

Filtro de combustible, secundario (2 micrones)

Tecnología ACERT™

Bomba de transferencia de combustible

Bomba de cebado de combustible

Sistema de lubricación:

Respiradero del cárter

Radiador de aceite

Punto de llenado de aceite

Filtro de aceite lubricante

Cárter de aceite delantero

Varilla de medición de aceite

Bomba de aceite accionada por engranajes

Generalidades:

Amortiguador de vibraciones

Argollas de elevación

Capacidad de arranque en frío a -20 °C (-4 °F)

Pintura: amarillo Cat, con colores opcionales disponibles a petición Inyección directa

Rotación (desde el extremo del volante) Hacia la izquierda

Dimensiones del motor (aproximadas; las dimensiones finales dependen de las opciones seleccionadas:

Longitud 1203 mm (47,4 pulg)

Anchura 1054,4 mm (41,5 pulg)

Altura 1186 mm (46,7 pulg)

Peso: seco neto (motor básico sin accesorios opcionales) 930 kg (2050 lb)

5.1.2.5 Blow Out Preventors (BOP) BOP funciona como el sistema de seguridad para LA inyección de tubería en el pozo, se controla desde la estación del operador en la sala de control. La BOP se coloca por debajo del separador / envasador y por encima de la cabeza del pozo. La tubería flexible se guía por el arco, pasa a través del inyector y entra en la parte superior de la pila de BOP.

Las BOP de vienen en varios tamaños y tipos, dependiendo de la aplicación y el trabajo en conjunto con un paquete de acumulador que suministra energía hidráulica a la balanza de pagos en caso de un fallo de unidad de alimentación. Básicamente, BOP tienen una serie de cilindros que pueden ser de forma remota abre y se cierra en función de lo que necesita la acción que se ejecutará en el momento, mientras se mantiene la presión en el interior del pozo.

Figura 22. BOP



Fuente: Halliburton; manual de Coiled Tubing, modulo 3

5.1.2.6 Control House Como su nombre lo indica, la Casa de Control es el centro neurálgico operativo de cualquier unidad de tubería flexible. Montado en la parte trasera de la unidad, justo detrás de la bobina, la casa de control puede ser levantada por encima de la bobina para ver mejor el funcionamiento de tubería flexible continua.

Desde la consola de sala de control, se realiza vigilancia a las presiones del pozo, los gases y los volúmenes de los fluidos, junto con el equipo de bombas se monitorea la profundidad, caudal, velocidades, volúmenes, presiones. Desde aquí se hacen las mediciones necesarias para tener una operación exitosa con el Coiled Tubing.

Para procesar toda esta información, se necesita el uso de software sofisticado. El sistema de adquisición de datos (DAS) monitorea y muestra esta información de los sensores montados en lugares estratégicos en la unidad.

5.1.2.6. Caseta de Operación

Figura 23. Caseta de Operación



5.1.2.7 Consola de control del operador

Figura 24. Consola de control del operador



Fuente: manual de CT 95k sección 4

5.2 TEST DE PRUEBA POWER PACK - CAT C11- COILED TUBING CRANE TRAILER

Tabla 14. Test de Prueba Power Pack

TEST PROCEDURE, HYDRAULIC POWER PACK, CAT C11, COILED TUBING CRANE TRAILER	
VARIABLE	MEDIDA
RPM Motor Auxiliar Relenti	700 RPM \pm 10 RPM
Presión de precarga en Manifold en Relenti (psi)	30
Presión de aceite en Motor en relenti (psi)	5
Temperatura de motor (F)	160°F \pm 20°F
RPM sobre revolución sin carga Motor	2450 RPM \pm 50 RPM
RPM Motor con Full carga	2100
RPM Máxima sin carga	2100 \pm 25 RPM
Presión hidraulica de Bomba de Cabina y auxiliar (psi)	3000

TEST PROCEDURE, HYDRAULIC POWER PACK, CAT C11, COILED TUBING CRANE TRAILER	
VARIABLE	MEDIDA
Presión hidráulica de Bomba Carrete (psi)	3000
Presión hidráulica de Bomba Carrete (psi)	3000
Presión precarga hidráulica de Bomba Carrete (psi)	365-400psi
Presión válvula shutoff reel (PSI) (50PSI menos que precarga)	315-350 psi
Presión de precarga de Bombas Inyector (psi)	150 psi
Presión de compensación de Bombas inyector sin carga o stand by(psi). Esto se consigue con la calibración de la compensación liberada 2 vueltas	310-350psi
Presión de compensación de Bombas inyector con carga (psi)	5000 psi
RPM del ventilador	1600 rpm
Bomba cabina caudal (puerto no. 102 to 101)	25 GPM mínimo
Bomba auxiliar caudal (port nos. 602 to 601)	15 GPM mínimo
Bomba carretel caudal (port nos. (401 to 402)	31 GPM mínimo
Caudal comba inyector (port nos. 341 to 342)	104 GPM mínimo

Fuente: Manual motor CAT C11

6. FALLAS ENCONTRADAS Y REPORTADAS POR EL OPERADOR

En la línea de mantenimiento contamos con un aplicativo en la Web llamado PPC (Prepost check list). En él los operadores pueden hacer el reporte del estado en que se encuentra el equipo, las fallas encontradas en la inspección, prueba del equipo o los hallazgos identificados en la operación.

6.1 INGRESAR AL APLICATIVO PPC:

Al abrir la aplicación se PPC observa en la figura 23.

Figura 25. Captura de pantalla aplicación PPC

Tracking													
Insertar Checklist Administrar plantillas Configuración Reportes Ayuda													
Region: <input type="text" value="Latin America"/>		País: <input type="text" value="--Todos--"/>		Ubicación: <input type="text" value="--Todos--"/>		Pá: <input type="text" value="--Todos--"/>		SubPá: <input type="text" value="--Todos--"/>					
Unidad: <input type="text" value="10002605"/>		Fecha de Salida: <input type="text"/>		Fecha de regreso: <input type="text"/>		Plantilla: <input type="text" value="--Todos--"/>		Status: <input type="text" value="--Todos--"/>					
Pozo: <input type="text"/>													
Id	Fecha de Salida	Fecha de regreso	Plantilla	Unidad	Usuario Operador	País	Location	PsI	SubPsI	Fecha de creación	Status	Maint.	Well
5966	24/09/2012	02/04/2013	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 2	10002605	Rofrio Maya, Jhon Fredy - HB49449	Colombia	Neiva	Production Solutions	Nitrogen Services	17/10/2012	Closed	Repaired	
16539	07/11/2013	12/11/2013	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 2	10002605	Botello Cerquera, Gustavo Alberto - HB44710	Colombia	Neiva	Production Solutions	Nitrogen Services	11/11/2013	Closed		
19867	01/02/2014	15/02/2014	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 2	10002605	Guzman Polania, Eddy Johnsons -HX40722	Colombia	Neiva	Production Solutions	Nitrogen Services	01/02/2014	Closed	Repaired	
20392	07/02/2014	15/02/2014	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Sandoval Romero, Oscar Mauricio - HB88836	Colombia	Yopal	Production Solutions	Coiled Tubing	15/02/2014	Closed		
20463	06/03/2014	11/03/2014	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Lievano Echeverria, Edwin Fabian - HB88615	Colombia	Yopal	Production Solutions	Coiled Tubing	17/02/2014	Closed	Repaired	
20706	25/02/2014	03/04/2014	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Tulcan Urrego, Alexander - HB11404	Colombia	Yopal	Production Solutions	Nitrogen Services	25/02/2014	Closed		
21221	12/03/2014	12/03/2014	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Lievano Echeverria, Edwin Fabian - HB88615	Colombia	Yopal	Production Solutions	Coiled Tubing	12/03/2014	Closed	Repaired	
23857	19/05/2014	10/07/2014	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 2	10002605	Lugo Valverde, Gerber - HBT 8159	Colombia	Neiva	Production Solutions	Coiled Tubing	19/05/2014	Closed		
26703	24/07/2014	25/08/2014	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 2	10002605	Cardozo Diaz, LuisEduardo - HB38287	Colombia	Neiva	Production Solutions	Coiled Tubing	24/07/2014	Closed		
28180	29/08/2014	10/09/2014	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Zamora Martinez, Ruben Dario - HB74275	Colombia	Yopal	Production Solutions	Nitrogen Services	29/08/2014	Closed	Repaired	

1 2 3

Total: 27

No Maintenance Required Maintenance Required Repaired

Fuente: Página del aplicativo del PPC

Como se puede apreciar a lado izquierdo encontraremos unos números, en este caso están del 1 2 3.. Estos nos indican la cantidad de ventanas que hay. Se debe revisar la última para buscar ventana a ver si hay algún reporte pendiente por ejecutar y cerrar por parte de Mantenimiento.

Figura 26. Captura de pantalla aplicación PPC

The screenshot shows the PPC application interface with a navigation bar at the top containing 'Tracking', 'Insertar Checklist', 'Administrar plantillas', 'Configuración', 'Reportes', and 'Ayuda'. Below the navigation bar are several filter fields: Region (Latin America), País (Todos), Ubicación (Todos), Psl (Todos), SubPsl (Todos), Unidad (10002605), Fecha de Salida, Fecha de regreso, Fecha de creación, Plantilla (Todos), and Status (Todos). A search icon is present on the right.

Id	Fecha de Salida	Fecha de regreso	Plantilla	Unidad	Usuario Operador	País	Location	Psl	SubPsl	Fecha de creación	Status	Maint.	Well.	
47028	18/09/2015	25/09/2015	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Osoño Serna, José Balmes - H121675	Colombia	Yopal	Production Solutions	Coiled Tubing	18/09/2015	Closed		TOCARA-11	
50754	22/11/2015	20/01/2016	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Barera Jaimes, Danny Ferney - HB79810	Colombia	Yopal	Production Solutions	Nitrogen Services	22/11/2015	Closed			
53176	21/12/2015	05/01/2016	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Sandoval Romero, Oscar Mauricio - HB88836	Colombia	Yopal	Production Solutions	Coiled Tubing	08/01/2016	Closed	Required		
54525	01/02/2016	10/03/2016	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Barera Jaimes, Danny Ferney - HB79810	Colombia	Yopal	Production Solutions	Coiled Tubing	31/01/2016	Closed			
56672	12/03/2016	21/04/2016	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Barera Jaimes, Danny Ferney - HB79810	Colombia	Yopal	Production Solutions		12/03/2016	Closed			
58474	22/04/2016	26/04/2016	Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Ricaurte Alvarez, Miguel Angel - H107633	Colombia	Yopal	Production Solutions		22/04/2016	Closed			
62880	07/08/2016		Skid de Nitrógeno SPU-180 Col v. 3	10002605	Linares Giraldo, Deivis Andres - HB49450	Colombia	Yopal	Production Solutions	Coiled Tubing	07/08/2016	Completed PRE/Pending POST			

1 2 3

Total: 27

No Maintenance Required Maintenance Required Repaired

Fuente: Página del aplicativo PPC, en rojo significa un pendiente

Se debe ingresar al reporte dando clic en el lápiz que se encuentra al lado izquierdo y está en color rojo, una vez tomado este se despliega la siguiente ventana, esta muestra los datos de la persona que lo realizo y los del equipo, sale todo un formato de inspección del equipo:

Figura 27. Lista de chequeo

Check List ID: 33176	Operador: Sandoval Romero, Oscar	Supervisor: Vargas Ladino, Jaime - H	
Elaborado por: Sandoval Romero, Oscar	Fecha de Salida: 21/12/2015	Fecha de regreso: 05/01/2016	
Unidad: 10002605		Pozo:	
ZOH: 0000	Estado: Closed		
Código de Vehículo: 00000000010002605	Descripción de Equipamiento: TRLR-NITRO-TPU 300_10002605	Código de Equipamiento: L205L1A283	
DS = Lateral del conductor PS = Lateral Pasajero AUX = Auxiliar OK = OK F=Falla N/A=No Aplicable			
CONTROLES DE OPERACION			
***** Bloquear y etiquetar la unidad siguiendo procedimientos CMS*****			
Realizar SAFETY HUDDLE antes de trabajar para identificar RESGOS			
Utilizar el EPP apropiado para trabajar			
PRE	MOTOR	POST	
Pre <input type="text" value="000"/> Horas	1 Registrar lectura del horometro.	Post <input type="text" value="000"/> Horas	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	2 Chequear nivel de aceite del motor, agregar si necesita.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	3 Chequear condicion y nivel de aceite hidraulico.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	4 Chequear condicion y nivel de aceite bombas triplex (sintetico).	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	5 Chequear nivel de refrigerante.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="70"/> %	6 Registrar nivel de combustible.	Post <input type="text" value="70"/> %	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	7 Chequear bandas y su tension, ajustar si es necesario.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	8 Chequear terminales de batería, asegurar su ajuste.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	9 Chequear arranque de motor.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	10 Chequear sistema neumatico por fugas.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="40"/> PSI	11 Registrar presión aceite de motor.	Post <input type="text" value="40"/> PSI	
Pre <input type="text" value="80"/> PSI	12 Registrar presión aceite sistema hidraulico.	Post <input type="text" value="80"/> PSI	
Pre <input type="text" value="11"/> PSI	13 Registrar presión aceite bombas triplex.	Post <input type="text" value="11"/> PSI	
Pre <input type="text" value="120"/> PSI	14 Registrar presión sistema neumatico.	Post <input type="text" value="120"/> PSI	
Pre <input type="text" value="170"/> F°	15 Registrar temperatura de motor (promedio).	Post <input type="text" value="170"/> F°	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	16 Chequear tapones en linea de succion y retorno de nitrogeno.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	20 Chequear condicion mangueras y conexiones criogenicas.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	21 Chequear condicion mangueras neumaticas.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	22 Chequear funcionamiento del actuador neumatico.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	23 Chequear limpieza y calibracion de flowmeters (N2 y Liquidos).	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
PRE	ZONE SEAL	POST	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	1 Chequear encendido y calibracion de UNIPRO.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	2 Chequear funcionamiento bombas neumaticas.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
PRE	GENERAL	POST	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	1 Chequear válvulas Lo Torc esten engrasadas (engrasar).	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	2 Chequear que la tuberia tenga la cinta de certification.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	3 Chequear limpieza externa de la unidad.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	4 Chequear vigencia y condicion del extintor.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	5 Chequear condicion y presion de neumaticos (115 psi).	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	6 Chequear condicion de tierra fisica.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
Pre <input type="text" value="OK"/> OK	7 Chequear funcionamiento luces de trabajo y de la unidad.	Post <input type="text" value="OK"/> OK	
POSICIÓN	APROBADO POR EL JEFE DE OPERACION.	SAP	FIRMA
SUPERVISOR			
OPERADOR			
COMENTARIOS	VALVULA DIVERTER SIGUE SIN FUNCIONAR, SIGUE PENDIENTE ACTUADOR. FUGA HIDRAULICA EN LA VALVULA AUXILIAR #3, CHEQUEAR.		
HISTÓRICO DE COMENTARIOS	08/01/2016 10:19:12 COMMENTED BY SANDOVAL ROMERO, OSCAR MAURICIO, HB88836, BARRACABERMEJA VALVULA DIVERTER SIGUE SIN FUNCIONAR, SIGUE PENDIENTE ACTUADOR. FUGA HIDRAULICA EN LA VALVULA AUXILIAR #3, CHEQUEAR. FUGA HIDRAULICA EN UNO DE LOS TANQUES DEL SISTEMA DE CIRCULACION DEL HIDRAULICO. VALVULA DE UNA 1", CHKZAN SENCILLO, CHECK VALVE'S Y TEE DE AGUJA ENVIADOS A RECERTIFICACION.		
MANTENIMIENTO			
<input checked="" type="checkbox"/> Requiere Mantenimiento	Número WO: <input type="text"/>	Comentarios: <input type="text"/>	
<input type="checkbox"/> Reparado			

Fuente: Página del aplicativo PPC

Se debe revisar el diligenciamiento del formato y luego entramos a la herramienta de Administración de Mantenimiento que se llama SAP, módulo de Mantenimiento y crear una Orden de Mantenimiento (MO), cread la orden de mantenimiento se asignar un técnico que realice la revisión del daño y ejecute la reparación. Cuando ya esté realizada la RPM, se procede a colocar en el cuadro del lado izquierdo de

la imagen donde dice Numero WO el número de la orden que me genero SAP cuando la creamos y activamos el cuadro que dice Reparado.

A continuación se explicará el procedimiento para crear la MO, según Word Método creado por la línea de mantenimiento Colombia.

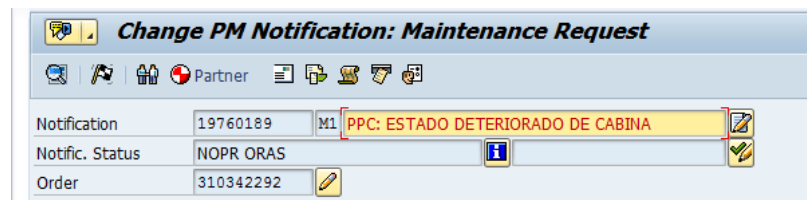
6.2 PROCESO PARA ADMINISTRAR CORRECTAMENTE LA INFORMACIÓN DEL PPC

Antes de crear una orden ligada al PPC, primero se debe ingresar al sistema PPC, imprimir y entregar al técnico para que corrobore la información diligenciada en el formato por el operador, después de que el técnico valide la información deberá anexar este formato PPC junto a una orden O.T de acuerdo a las reparaciones necesarias del equipo. Una vez se encuentre la información completa, el Líder de mantenimiento se encarga de crear la orden de trabajo como se describirá a continuación.

El procedimiento para hacer una orden ligada al PPC se debe crear una notificación M1 con orden tipo RPM. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

6.2.1 Título de la notificación. Debe empezar siempre con las siglas “PPC:” seguido por el resumen de la falla reportada.

Figura 28. Notificación



The screenshot shows the SAP 'Change PM Notification: Maintenance Request' form. The title bar includes a yellow warning icon and the text 'Change PM Notification: Maintenance Request'. Below the title bar is a toolbar with icons for navigation and actions, including a 'Partner' button. The main form area contains the following data:

Notification	19760189	M1	PPC: ESTADO DETERIORADO DE CABINA	[Edit]
Notific. Status	NOPR ORAS		[Info]	[Check]
Order	310342292			[Edit]

Fuente: SAP

6.2.2 Reporte. Se copia exactamente como lo reporta el operador en el campo Descripción:

Figura 29. Reporte

The screenshot shows the SAP Reference object and Subject fields. The Reference object section includes:

- Functional loc.: 608-1650-1655-10013
- Equipment: 10205680
- Assembly: CAB SHEET METL GRP

The Subject section includes:

- Description: PPC: ESTADO DETERIORADO DE CABINA
- Text area: 07/26/2013 16:13:11 Alejandro Rodas (HB73924) muy mal estado de la cabina, se le callo la luz interna de la cabina, tapiceria muy mal estado, no tiene vidrio de puerta conductor, esta dañado el soporte del capo , ya partio el capo,

Fuente: SAP

6.2.3 Se reporta la falla y el componente según lo que reporta el Operador. La causa se pone siempre como Operators Report.

Figura 30. Reporte de falla

The screenshot shows the SAP Item field with the following data:

- Object part: CM05----- OH54 Cab Hood sheet metal
- Damage: DTIFMCL1 D102 Deteriorated
- Cause code: OTIFMCL1 1040 Operators Report

The bottom right corner shows the entry details: Entry 1 frm 1.

Fuente.: SAP

6.2.4. Orden de Mantenimiento. Se crea la MO con la activity type Evaluate

Figura 31. Orden de Mantenimiento

Change Orders resulting from Prev Maint 310342292: Central H

Order: RPM 310342292 | PPC: REVISAR SISTEMA CABINA

Sys.Status: CRTD ESTC MANC NMAI PRC

Person responsible: PlannerGrp S97 / 1650 Barrancabermeja CO; Mn.wk.ctr BCA-MTC / 1655 IEM MECHANIC B...

Notifctn: 19760189; Costs: 346,074.00 COP; PMActType: EVL Evaluate; SystCond.: ; Address:

Dates: Bsc start: 07/26/2013; Basic fin.: 07/26/2013; Priority: Medium; Revision:

Reference object: Func. Loc.: 608-1650-1655-10013 B/BERMEJA - CASED HOLE LOGGING; Equipment: 10205680 HEST-53448 LOGGING TRUCK CASED HOLE; Assembly: CAB SHEET METL GRP Cab sheet metal grp

Fuente: SAP

6.2.4 Asignación tempario. Se asigna una hora a cada operación.

Figura 32. Asignación hora a operación

Change Orders resulting from Prev Maint 310342292: Operation Overview

Order: RPM 310342292 | PPC: REVISAR SISTEMA CABINA

Sys.Status: CRTD ESTC MANC NMAI PRC

Op...	SOp	Work ctr	Plant	Co...	StTextK	S...	Operation short text	LT	Actual work	Work	Un	N...	Dur.	Un	C.Key	ActTyp	Ri
0010		BCA-MTC	1655	PM01			PPC: REVISAR LUZ INTERNA CABINA	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	1.0H	1		1.0H		Calculate wo...	D01015	
0020		BCA-MTC	1655	PM01			PPC: REVISAR TAPICERIA CABINA	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	1.0H	1		1.0H		Calculate wo...	D01015	
0030		BCA-MTC	1655	PM01			PPC: REVISAR VIDRIO PUERTA LC	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	1.0H	1		1.0H		Calculate wo...	D01015	
0040		BCA-MTC	1655	PM01			PPC: REVISAR SOPORTE CAPOT	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	1.0H	1		1.0H		Calculate wo...	D01015	
0050		BCA-MTC	1655	PM01			PPC: REVISAR CAPOT PARTIDO	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	1.0H	1		1.0H		Calculate wo...	D01015	

Fuente: SAP

Después de estimar costos se guarda la orden para que quede en estado CRTD. En ningún momento se le da RELEASE.

Una vez se desarrolle la operación de mantenimiento se debe corregir la orden de trabajo en SAP y se procede a cerrar el PPC en el sistema online.

6.3 PROCEDIMIENTO PARA EL DILIGENCIAMIENTO DE INSPECCIONES MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM).

6.3.1 Diligenciamiento inspección PM A continuación se ilustrara el correcto diligenciamiento de una inspección PM con un formato G35A aplicable a un 75TC4 y/o Elite TRLR. Sin embargo, los parámetros aplican a todos los formatos de inspección PM de Halliburton.

6.3.2 Datos Primarios

Figura 33. Formato Inspecciones Mantenimiento Preventivo

The diagram shows a form titled "HALLIBURTON" with a sub-header "Elite/75TC4 Cementing Trailer". Below this is a table with four columns. The first column is labeled "Equipo #" and contains the value "11332421". The second column is labeled "Medidor de PM (hrs./Millas/Km.)" and contains "712 HRS - 614 Millas". The third column is labeled "Base" and "Locación y Número" and contains "Base Barrancabermeja". The fourth column is labeled "Fecha" and contains "10 - 05 - 2012". Above the table, there is a box labeled "G35A Intervalo Sugerido: 175 HRS". Below the table, there is a box labeled "MO# 308496548". Red callouts 1 through 7 point to these specific elements: 1 points to the equipment name, 2 to the suggested interval, 3 to the equipment number, 4 to the meter unit, 5 to the base name, 6 to the location number, and 7 to the MO number.

Equipo #	Medidor de PM (hrs./Millas/Km.)	Base Locación y Número	Fecha (ddMMMAaa)
11332421	712 HRS - 614 Millas	Base Barrancabermeja	10 - 05 - 2012

MO# 308496548

Fuente: Halliburton. Formato PM

Tabla 14. Descripción de formato de Mantenimiento Preventivo

#	NOMBRE	DESCRIPCION
1	Tipo de Equipo	Describe el tipo de equipo al cual aplica el formato de inspección PM. Verifique que coincida con el equipo a inspeccionar. De lo contrario infórmeselo al Maintenance Leader o Foreman encargado.

#	NOMBRE	DESCRIPCION
2	Plan y Nivel PM	Verifique que el tipo de plan (G35) y nivel PM (A) coincidan con el estándar Global especificado en la web Si existe alguna irregularidad infórmeselo al Foreman para que este solicite la corrección del formato.
3	Equipo	En esta casilla se debe escribir el numero SAP del equipo. NO SE ACEPTAN números cortos o antiguos, placas o cualquier especificación distinta. Si el numero SAP no se encuentra visible en el equipo solicítelo al Foreman o al Maintenance Leader (Se debe crear RPM correspondiente).
4	Medidor de PM	En esta casilla se debe escribir la medición del contador asociado al plan de mantenimiento y la lectura del contador en kilometraje , horas o millas. Consulte al Foreman o Maintenance Leader si no está seguro cual es el contador asociado al plan de mantenimiento. En caso de que exista alguna falla o anomalía en alguno de los contadores del equipo se deja en blanco y se crea una RPM correspondiente.
5	Base	Especifique la Base o locación en la cual desarrolla el PM. Si la inspección se ejecuta en campo debe detallar el pozo y locación. Ejemplo: (Pozo Capella – Caquetá)
6	Fecha	La fecha debe coincidir con el día en que se termina la ejecución de la PM y el formato especificado en la inspección. En este caso ddMMMAaa implica dia – mes – año.
7	Orden de Mantenimiento	La orden de mantenimiento la proporcionara el Maintenance Leader o Foreman. Típicamente, se le entregara el formato con el número de orden de mantenimiento. De lo contrario se puede dejar en blanco.

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

Figura 34. Formato Inspecciones Mantenimiento Preventivo

8a	¿Dónde se llevó a cabo el MP?			
	Proveedor	Taller	✓	Campo
Revise en el historial de mantenimiento en SAP el reemplazo de componentes / reparaciones recientes, según sea el caso				
9	Halliburton Energy Services certifica que este vehículo ha pasado una inspección conforme a lo señalado en CFR 396.17 (solo en EE. UU.) Firma del mecánico			49
	Número de Empleado:	438797	Fecha:	10-05-2012
	Número de Empleado:		Fecha:	
	Número de Empleado:		Fecha:	

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

Tabla 15. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo

#	NOMBRE	DESCRIPCION
8	Lugar de Ejecución	Seleccionar Taller cuando la inspección se ejecute en alguna base. Seleccionar Campo cuando la inspección se ejecute en pozo. Seleccionar proveedor cuando la inspección la realiza un proveedor externo (únicamente aplica para vehículos livianos y Montacargas).
8a	Historial Mantenimiento SAP	El técnico está en la OBLIGACION de revisar el historial de reparaciones que se le ha hecho al equipo antes de empezar la PM. Por favor solicite el historial del mantenimiento al Maintenance Leader o remítase a la carpeta del equipo.
9	Técnico(s) Responsable(s)	Escribir el numero SAP del técnico o técnicos responsables de ejecutar el PM. La fecha debe coincidir con el Numeral 6. NO SE ACEPTAN NOMBRES O NUMEROS DE CEDULA DE NINGUN CONTRATISTA COMO RESPONSABLE DE EJECUTAR LA PM.

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

6.3.3 Seguridad

Figura 35. Formato Inspecciones Mantenimiento Preventivo - Seguridad

SEGURIDAD		
1	*****Bloquear y Etiquetar la unidad según procedimientos del HMS *****	✓
2	Realizar una junta de seguridad antes de iniciar actividades, para identificar riesgos de seguridad	✓
3	Utilizar el EPP adecuado antes de comenzar a trabajar	✓

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

Tabla 16. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo - Seguridad

#	NOMBRE	DESCRIPCION
10	Procedimiento LOTO	El equipo se debe bloquear antes de empezar la inspección PM según el procedimiento LOTO. Si no conoce el procedimiento infórmeselo al Foreman encargado y realice el curso en el Halliburton University. SI NO LE SUMINISTRAN LOS ELEMENTOS PARA BLOQUEAR ADECUADAMENTE EL EQUIPO REALICE UN STOP WORK AUTHORITY.
11	Análisis De Riesgos	Realice un análisis de riesgos con las personas que intervendrán el equipo antes de empezar la inspección PM.
12	EPP	Utilice los EPP adecuados antes de empezar la inspección PM.

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

6.4 INSPECCIÓN DEL EQUIPO

Figura 36. Formato Inspecciones de Motor

INSPECCIÓN DE MOTOR		AUX	IZQ	DER
6	Revisar daños, fugas y piezas faltantes/perdidas en cañerías/tuberías, carcasas, conexiones y mangueras del sistema de admisión de aire.	OK	OK	OK
7	Revisar el correcto funcionamiento del indicador de restricción de aire.	OK	OK	F
8	Revisar el filtro de aire. Si el filtro es retirado/removido deberá ser reemplazado.	OK	F	OK
9	Inspeccionar para asegurar que las cubiertas/tapas del sistema de admisión de aire estén en su lugar.	OK	OK	OK
10	<p>Probar los dispositivos de paro de emergencia, si esta equipado.</p> <p>A. Con la temperatura de agua del motor al menos a 37.7 °C (100 °F) y el motor operando a 1000 rpm, activar el interruptor (switch). El motor deberá parar y los ahogadores deberán cerrarse. Diagnosticar y reparar los ahogadores si no funcionan correctamente.</p> <p>Para motores Caterpillar controlados por Módulo de Control Electrónico (ECM=Electronic Control Module), utilizar el software de diagnóstico Técnico Electrónico Caterpillar (CAT ET=Caterpillar Electronic Technician) para desempeñar la siguiente prueba:</p> <p style="padding-left: 40px;">Activar la función de sobre velocidad del motor en el CAT ET.</p> <p style="padding-left: 40px;">Lentamente incrementar las rpm del motor hasta que los ahogadores se activen.</p> <p>B. Asegurar que los ahogadores estén propiamente colocados en la posición abierta después de la prueba.</p>	NA	OK	OK

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

Tabla 17. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo - Motor

#	NOMBRE	DESCRIPCION
13	Item(s) OK	Se pondrá OK a todo ítem que al ser revisado y a juicio del técnico no presenta ninguna anomalía en su estado físico como en su funcionamiento. Se acepta <input checked="" type="checkbox"/> en lugar de OK.
14	Item(s) con Falla	Se pondrá F a todo ítem que al ser revisado y a juicio del técnico presenta alguna anomalía en su estado físico y/o en su funcionamiento. Cada F deberá estar asociado a una RPM.
15	Item(s) que No Aplican	Se pondrá N/A a todo ítem que no aplique al tipo de equipo o sistema que se está inspeccionando.

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

6.5 DESCRIPCIÓN GENERAL RPM

Figura 37. Descripción de la RPM

HALLIBURTON

Elite/75TC4 Cementing Trailer G35A Intervalo Sugerido: 175 HRS

HACER UNA LISTA DE TODAS LAS REPARACIONES QUE SE ENCONTRARON DURANTE LA INSPECCIÓN. ESTA LISTA SE UTILIZARÁ COMO HERRAMIENTA PARA REPROGRAMAR CUALQUIER REPARACIÓN QUE FUERA ENCONTRADA DURANTE LA INSPECCIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PM).			
1	Regulador y Manometro Tanque Lubricador Bomba Centrífuga No operativos - Se deben cambiar 17		
	Nombre del Técnico:	Felipe Perez 18	Aprobación obtenida:
	Fecha de Reparación:		Orden de Mantenimiento:

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

Tabla 18. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo – Descripción de la RPM

#	NOMBRE	DESCRIPCION
17	Descripción General	En esta hoja se harán un breve resumen de lo encontrado en cada Falla. Cada una de estas fallas se agrupara por ensambles y se detallaran según el formato FO-COL-HAL-IEM-200C-1-ES
18	Técnico Encargado	Se debe poner el nombre del técnico que reporta la falla.

Fuente: Halliburton. WM para llenar formato PM

66. DESCRIPCIÓN DETALLADA RPM.

Figura 38. Descripción detallada de la RPM

FO-COL-HAL-IEM-120A
Rev. 01-Mayo-2012

HALLIBURTON

MANTENIMIENTO DE EQUIPO INTERNO

ORDEN DE TRABAJO

SECCIÓN DE NOTIFICACIÓN		DÍA	MES	AÑO	# DE NOTIFICACIÓN:					
24 Creado por:	19 Felipe Perez	20 Fecha:	10	05	2012	# de Unid:	21 11332421	Tipo de Equipo:	22 Elite TRLR	23
26 # de Empleado:	438797	Lectura hor:	Chasis			LC 432	LP 387	Aux.	712	25
Descripción del problema:										
1	Regulador y Manometro Presion Tanque Lubricador No Operativos									

Descripción del trabajo realizado:		Clasf	Hrs	EO
1	Cambiar regulador presion lubricador bomba centrifuga -OK	N	0.5	EO
	Cambiar manometro presion aire lubricador bomba centrifuga -P	N	0.5	

30 Grupo de Ensamble:	Bombas Centrifugas	32 Componente:	Tanque Lubricador
SECCIÓN DE ORDEN DE MANTENIMIENTO		# DE ORDEN:	
TIPO DE ORDEN	SOLICITUD DE MANTENIMIENTO:	Preventivo (PREV) ___	Derivado de Inspección (RPM) X
Proyecto WBS (CAPT) ___	Modificación o Mejora (MOD) ___	Certificación (CERT) ___	No Programado (UNSC) ___
ACTIVIDAD: (encierre una)	Inspección / Limpiar / Reconstituir / Reparar / Reemplazar	Probar / Servicio / Fabricar / Diagnosticar / Llamada de Campo	RPM

SECCIÓN DE COMPONENTES		# DE REQUISICIÓN:	# DE RESERVACIÓN:
Fecha de entrega de componentes:		Entregar componentes a:	
# de Parte Halliburton	# de Parte Fabricante	Cantidad	Descripción de Partes Solicitadas
1	100002679	1	Regulador Aire 0-50 psi
1	100001751	1	Manometro Presion Aire 0-30 psi,
			Proveedor Sugerido
			Halliburton
			Halliburton

Fuente. Halliburton. WM para llenar formato PM

Tabla 19. Continuación formato de Mantenimiento Preventivo – Descripción detallada de la RPM

#	NOMBRE	DESCRIPCION
19	Creado	Técnico responsable de la creación de la Orden de Mantenimiento
20	Fecha	Fecha Creación de la solicitud de Orden de Mantenimiento
21	No. De Notificación	Numero SAP de la notificación. Se dejara en blanco y lo llenara el Maintenance Leader encargado.
22	No. De Unidad	Numero SAP de la Unidad. NO SE ACEPTAN números cortos o antiguos, placas o cualquier especificación distinta. Si el numero SAP no se encuentra visible en el equipo solicítelo al Foreman o al Maintenance Leader
23	Tipo De Equipo	El tipo de equipo al cual se le solicita la orden de mantenimiento (Ver NUMERAL 1).
24	No. De Empleado	Numero SAP empleado.
25	Horas Contadores	Horas de todos los contadores que apliquen al tipo de unidad. Los que no apliquen se dejaran en blanco.
26	Descripción Problema	La descripción del problema es la descripción detallada de la falla descubierta durante la inspección de mantenimiento preventivo. Ser lo más específico posible.
27	Descripción Trabajo Realizado/ A Realizar	La descripción del trabajo Realizado / A Realizar es la actividad que responde a la falla descrita en el NUMERAL 26. Se debe ser lo más específico posible. Si no se conoce lo que se debe hacer para corregir la falla se debe puntualizar una revisión más detallada de la misma ya sea por un proveedor externo o por otro técnico Halliburton. Seguidamente a cada operación se debe circular las letras OK o P, determinando si la operación está realizada o pendiente por ejecutar, respectivamente.
27a	Prioridad	Definir prioridad Urgente (U) o Normal (N). Se define Urgente si y solo si al no corregir el problema el equipo es inseguro para operar, se

#	NOMBRE	DESCRIPCION
		afecta la calidad del trabajo del equipo en pozo o puede incurrir en un incidente ambiental. De lo contrario la prioridad es normal.
28	Horas Trabajadas/ Estimadas	Horas trabajadas o estimadas para el cumplimiento de cada trabajo.
29	Errores Operacionales (EO)	Se deben documentar por separado aquellas fallas que ocurran por error en la operación del equipo. Para aquellos trabajos originados por un error en la operación, el técnico seleccionara la opción EO. De lo contrario, dejara esta casilla en blanco.
30	Ensamble	Debe haber un formato Hoja 2 FO-COL-HAL-IEM-200C-1-ES por cada ensamble del equipo. Los ensambles se definen como un subconjunto del equipo y dividen las secciones del formato de Inspección PM.
31	Actividad	Definir la actividad que se va realizar. En caso de que los trabajos impliquen más de una actividad, se escogerá la más significativa.
32	No. MO	Corresponde al número SAP de la orden de mantenimiento. Este espacio se deja en blanco y le corresponde llenarlo al Maintenance Leader encargado.
33	Componente Afectado	Se identifica el componente afectado por las fallas. En caso de que sea más de uno se escoge el más significativo.
34	Tipo De Orden	Se debe escoger el tipo de orden de mantenimiento a ser creada. Si no conoce los tipos de ordenes existentes en Halliburton, exija una capacitación de parte del Maintenance Leader
35	No. Requisición/ Reservación	Este campo corresponde al número de requisición o reservación de SAP. Es responsabilidad del Maintenance Leader llenar esta casilla cuando sea necesario.
36	Fecha & Entrega Componentes	El Maintenance Leader / Foreman entregaran los componentes a un técnico en una fecha específica. Este campo no lo debe llenar el técnico.

#	NOMBRE	DESCRIPCION
37	Asociación a Trabajo realizado/ A realizar	El numero en esta casilla relaciona los repuestos necesarios al trabajo realizado / a realizar.
38	No. Parte Halliburton	Corresponde al número de parte Halliburton. Llenar según sea el caso.
39	No. Parte Fabricante	En caso de no tener el parte numero Halliburton, LO MINIMO REQUERIDO es el parte numero del fabricante y el fabricante del repuesto necesario.
40	Cantidad	Corresponde a la cantidad necesaria de cada repuesto.
41	Descripción Detallada	La descripción del repuesto debe ser lo más detallada posible. En caso excepcional de que no exista un parte numero Halliburton / Fabricante debe ser tan especifica como sea posible.
42	Proveedor Sugerido	Si se conoce el proveedor que suple dichos repuestos, se diligencia esta casilla (opcional).

6.7 FORMATO PM A REALIZAR PARA EQUIPO POWER PACK

Figura 39. Formato de Mantenimiento Preventivo Power Pack

Equipo #	Registrar la lectura del MP (Hrs/Millas/Km). Verificar que el medidor de MP funcione correctamente.	Locación del Taller				FECHA
# OM	REV = Revisado = √ = Hecho, Pasa = √ = OK, F = Falla (crear orden RPM), N/A = No Aplica					
¿Dónde fue realizada la inspección de MP?		Proveedor	Taller	Pozo		
Revisar el historial de mantenimiento en SAP para el reemplazo de componentes o reparaciones recientes que se requieran.						
Halliburton Energy Services certifica que este vehículo ha pasado una inspección conforme a lo señalado en 49 CFR 396.17 (Solo en Estados Unidos) Firma del mecánico:						
Número y Nombre de Empleado:				Fecha:		
Número y Nombre de Empleado:				Fecha:		
Número y Nombre de Empleado:				Fecha:		
Antes de iniciar, se deberá visitar el sitio web de Tubería Flexible de Halliburton y buscar las piezas de mejora que se deberán instalar en esta unidad.				Comunicados SEQ de Tubería Flexible		
REGISTRAR Y REPORTAR AL SUPERVISOR CUALQUIER PROBLEMA O DAÑO						
SEGURIDAD						
1	***** Bloquear y etiquetar la unidad según procedimientos de HMS. *****					CH
2	Realizar una reunión de seguridad antes de iniciar actividades para identificar riesgos de seguridad.					
3	Utilizar el EPP adecuado antes de empezar a trabajar.					
VERIFICACIÓN EN EL SAP						
4	Verificar que la unidad haya entrado a mantenimiento HSE en SAP.					CH
MARCO EXTERIOR						
5	Lavar y limpiar la bandeja recoge gotas.					
6	Limpiar y dejar secar la unidad. (no lavar a presión los componentes críticos, es decir, los componentes eléctricos).					
7	Inspeccionar de forma visual la estructura para verificar que no esté dañada, y también los puntos de soldadura para verificar que no tengan grietas.					
8	Verificar que todos los protectores de seguridad no estén dañados y estén en su lugar.					
9	Verificar que todos los grilletes, tuercas y chavetas estén en buen estado y que estén asegurados.					
10	Inspeccionar de forma visual que los puntos de levantamiento no estén dañados y que no tengan fisuras.					
11	Verificar que todas las eslingas de levantamiento estén en buen estado y que cuenten con etiquetas de certificación actualizadas.					
12	Inspeccionar las cavidades del montacargas para verificar su estado y limpieza, cuando aplique.					
INSPECCIÓN DEL MOTOR						
13	Inspeccionar las mangueras del sistema de toma de aire, tubería, montajes, carcasas y conexiones para verificar que no tengan fugas y/o piezas faltantes o dañadas.					
14	Verificar la operación adecuada del medidor de restricción del filtro de aire.					
15	Verificar los filtros de aire y reemplazarlos, si es necesario.					
16	Verificar el sistema de desconexión de emergencia, desenganchando el pestillo sin que el motor esté en funcionamiento y restablecer a la posición inicial.					
17	Inspeccionar el combustible, refrigerante, mangueras para aceite del motor, cables y conexiones para verificar que no estén desgastadas y que no tengan fugas.					
18	Inspeccionar el radiador externo para verificar su estado y que no tenga obstrucciones.					
19	Inspeccionar el sistema refrigerante del motor para verificar que no esté contaminado. Lavar y reemplazar si está contaminado.					
20	Verificar que el nivel refrigerante y protección anticongelante esté a menos de 34° F (-37° C).					
21	Verificar el pH y SCA, luego ajustar según sea necesario (Sólo Refrigerante sin Vida Extendida).					
22	Hacer prueba de presión a la tapa y sistema refrigerante.					
23	Verificar el estado de la correa y ajustar, si es necesario.					
24	Inspeccionar el ensamblaje y buje del ventilador para verificar el estado y funcionamiento adecuado.					
25	Lubricar el buje del ventilador.					

	INSPECCIÓN DEL MOTOR (cont.)	CH
26	Reunir muestras de aceite del motor y enviarlas para su análisis.	
27	Inspeccionar el nivel de aceite del motor para verificar que no esté contaminado. Vaciar y reemplazar si está contaminado.	
28	Inspeccionar el sistema de lubricación del motor para verificar que no esté dañado o tenga fugas.	
29	Cambiar los filtros y aceite del motor con base a las horas de funcionamiento de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.	
30	Inspeccionar el sistema de combustible para verificar que no tenga fugas.	
31	Verificar el estado y montaje del tanque de combustible, incluyendo todos los tanques de combustible externos.	
32	Verificar que las líneas de combustible son del tipo aprobado.	
33	Verificar el estado de las líneas de combustible, así como la de las líneas del tanque de combustible externo.	
34	Verificar el estado y funcionamiento de cualquier indicador de nivel de combustible.	
35	Verificar las rejillas de ventilación del tanque y tapón del combustible.	
36	Cambiar los filtros del combustible.	
37	En unidades que requieran de Fluidos para Sistemas de Escape a Diesel (DEF por sus siglas en inglés), se deberá garantizar que el tanque DEF esté lleno.	
38	Inspeccionar el sistema de escape para verificar que no tenga fugas o daños.	
39	Inspeccionar el sistema de escape para verificar que no le falte piezas o que no tenga soportes flojos.	
40	Inspeccionar la caperuza protectora contra lluvia para verificar que esté instalada y funcionando de forma adecuada.	
41	Verificar que no haya grietas en la brida del silenciador o montaje.	
42	Inspeccionar el filtro de ventilación del cárter.	
43	Reemplazar cualquier colector múltiple que este agrietado.	
	SISTEMA DE ESCAPE DE LA ZONA 2	CH
44	Verificar el nivel de refrigerante.	
45	Limpiar la trampa de flama del escape.	
46	Inspeccionar la trampa de flama del respiradero del motor. Limpiar si es necesario.	
	SISTEMA ELÉCTRICO	CH
47	Verificar el estado de las baterías y limpiar las conexiones, si es necesario.	
48	Inspeccionar el cableado y cables de la batería para verificar el tendido y estado de las mismas.	
49	Inspeccionar el montaje, tapa y caja de la batería para verificar el estado de cada una de estas partes.	
50	Inspeccionar el cableado y montaje del motor de arranque eléctrico para verificar su estado, si está instalado.	
51	Verificar el estado del alternador, correa de transmisión del alternador, montaje, tensión de la correa y cableado.	
52	Verificar las luces y cintas reflectantes, si aplica.	
53	Inspeccionar el estado del cableado, para verificar que esté tendido y asegurado de forma adecuada, incluyendo a los cables de conexión a tierra.	
54	Garantizar que el interruptor maestro de desconexión de energía con bloqueo para LOTO se haya instalado en la caja de la batería de acuerdo a La caja de herramientas del Mecánico, número de entrada 48709.	
	SISTEMA DE AIRE	CH
55	Verificar el aire en el tanque contenedor. Llenar el tanque con aire e inspeccionar todos los medidores de presión del aire.	
56	Drenar el agua del tanque de aire y separadores de agua.	
57	Inspeccionar los deshumidificadores y añadir desecante, si es necesario.	
58	Rellenar el lubricador con aceite adecuado. Consultar manual.	
59	Garantizar que la válvula maestra de aire con bloqueo para LOTO se haya instalado en la línea fuente de aire de acuerdo a La caja de herramientas del Mecánico, número de entrada 48709.	

	CAJA DE ENGRANAJES		CH
60	Inspeccionar para verificar que no tenga fugas.		
61	Inspeccionar los soportes para verificar que no les falte piezas o que estén flojos.		
62	Verificar el estado y nivel del aceite. Inspeccionar para verificar que no está contaminado de aceite hidráulico.		
	EMBRAGUE		CH
63	Lubricar la conexión del embrague, si es necesario.		
64	Verificar el ajuste del embrague y ajustar, si es necesario.	SEQ-01-006	
	SISTEMA HIDRÁULICO		CH
65	Verificar el nivel de aceite hidráulico en el tanque.		
66	Inspeccionar para verificar que no tenga fugas hidráulicas.		
67	Verificar el estado y funcionamiento de los manómetros/medidores.		
68	Verificar los filtros y darles servicio, si es necesario. (Nota: No combinar el corte/desvío del filtro del drenaje de la carcasa con el corte/desvío del sistema del filtro de retorno hidráulico.)		
69	Inspeccionar las mangueras hidráulicas y accesorios de conexión para verificar que no tengan fugas y verificar que estén en buen estado. Verificar y lubricar el mecanismo de bloqueo que se encuentra en los multiacopladores, si está instalado.		
70	Inspeccionar las válvulas y bombas hidráulicas para verificar que no tengan fugas.		
71	Reparar todas la fugas hidráulicas.		CH
	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO		
	El paquete de energía hidráulica se deberá conectar a la caseta de control o a una consola de prueba la cual permitirá el funcionamiento completo de todos los sistemas hidráulicos.		
72	Asegurar que el motor arranque de forma adecuada y verificar el funcionamiento de todos los medidores de presión del aceite.		
73	Asegurar que el motor responda al acelerador.		
74	Verificar que la presión del aire en el tanque se acumule después de que el motor arranque, si aplica.		
75	Calentar el motor y verificar que los medidores de temperatura y presión del motor funcionen.		
76	Inspeccionar para verificar que no haya fugas de escape, combustible, agua y aceite del motor. Reparar todas las fugas.		
77	Inspeccionar el sistema hidráulico para verificar que no hayan fugas durante la prueba.		
	Verificar y documentar las siguientes presiones:		
78	Presión de carga del colector múltiple (mínimo requerido @ máximo requerido rpm - 30 psi).		psi/bar
79	Garantizar que el motor y bomba de respaldo API estén funcionando de forma correcta. (Si están instalados). El motor y la bomba se deberán encender una vez que el circuito haya caído por debajo de la presión deseada. Garantizar que la prueba regrese al tanque.		
80	Presión Máxima de la Bomba Inyectora LH (Presión Máxima. 5000 psi).		psi/bar
81	Presión Máxima de la Bomba Inyectora RH (Presión Máxima. 5000 psi).		psi/bar
82	Presión de Carga del Colector Múltiple con presión máxima de las bombas inyectoras.		psi/bar
83	Presión Máxima de la Bomba del Carrete (Presión Máxima, 2750 psi).		psi/bar
84	Presión Máxima de la Bomba de Caseta (Presión Máxima, 2000/3000 psi).		psi/bar
85	Presión Máxima de la Bomba del Preventor y Auxiliar (Presión Máxima, 2000/3000 psi).		psi/bar
86	Precarga del inyector del motor (mínimo requerido 150 psi).		psi/bar
87	Presión de la válvula de doble efecto de aceite caliente (mínimo requerido 290 psi).		psi/bar
88	Presiones de la bomba de la grúa (cuando aplique)		
89	Presión del Winche (Presión máxima, 3500 psi).		psi/bar
90	Presión de la pluma (Presión máxima, 3500 psi).		psi/bar
91	Oscilación de presión (Presión máxima, 1500 psi).		psi/bar
92	Dejar que el motor se enfríe antes de apagarlo al final de la prueba.		psi/bar

Fuente: Formato PM Power Pack, document HMS Mantenimiento Halliburton

7. DATOS DE LAS RPM CREADAS EN SAP DEL POWER PACK

7.1 PLATAFORMA DE ADMINISTRACIÓN DE DATOS SAP

La herramienta con que se cuenta para la administración de los datos en la compañía es SAP. Esta nos permite interactuar de acuerdo a los módulos que haya adquirido la empresa, como son: modulo RH, finanzas, bodega o Almacén, Mantenimiento.

El departamento de mantenimiento programa todo su mantenimiento en SAP. Es allí donde se plasman todas las MO (ordenes de Mantenimiento), ya sean preventivas (PM), predictivas (PRED) y correctivas (RPM) o (UNSC). Este procedimiento se lleva a cabo en tres pasos:

1. Los técnicos generan una Orden de trabajo de acuerdo a su inspección realizada o a los hallazgos encontrados en la PM o a los reportes generados por los operadores. El formato lo realizan en forma magnética y lo envían al coordinador para que lo revise apruebe y lo envíe a procesar al líder. Ver formato de orden de trabajo.
2. El coordinador debe revisar la orden de trabajo evaluar con el técnico la solicitud de los repuestos y enviar por correo interno al líder para que procese esta orden en SAP y se convierta en una Orden de Mantenimiento (MO). Una vez creada la orden se debe incluir en el planeador HMS200 del mes siguiente y programarla al técnico.
3. El líder es la personal encargada de alimentar el SAP con información correcta y solicitar los repuestos para entregarlos al coordinador, para que estas

órdenes sean incluidas en el planeador. En el siguiente formato se puede apreciar la creación de una orden de Mantenimiento.

Figura 40. Formato mantenimiento de equipo interno orden de trabajo

HALLIBURTON		FORMATO MANTENIMIENTO DE EQUIPO INTERNO ORDEN DE TRABAJO				FD-COL-HAL-IEM-AD-600-ES				
						Rev. 22-Dic-2015				
SECCIÓN DE NOTIFICACIÓN		DÍA MES AÑO		# DE NOTIFICACIÓN:						
Creado por:	Fecha: / /	# de Unidad:		Tipo de Equipo:						
Nombre de Empleado:	Lectura Horas Actuales:	Chasis	LC	LP	Aux.					
# de Empleado:	Lectura Horas Ultimo Cambio:	Chasis	LC	LP	Aux.					
Descripción del problema:										
1										
2										
3										
4										
Descripción del trabajo realizado:							Diad	Hrs	EO	
1										
2										
3										
4										
Grupo de Ensamble:				Componente:						
SECCIÓN DE ORDEN DE MANTENIMIENTO		# DE ORDEN:								
TIPO DE ORDEN	SOLICITUD DE MANTENIMIENTO:		Preventivo (PFEV) ___		Derivado de Inspección (RPM) <input checked="" type="checkbox"/>		Proyecto WBS (CAPT) ___			
Escojer Tipo	Modificación o Mejora (MOC) ___		Certificación (CERT) ___		No Programado (UNSC) ___					
ACTIVIDAD(s) (revisar uno)	Inspección / Limpiar / Reconstituir / Reparar / Reemplazar / Probar / Servicio / Fabricar / Diagnosticar / Llamada de Campo									
SECCIÓN DE COMPONENTES		# DE REQUISICIÓN:				# DE RESERVACIÓN:				
Fecha de entrega de componentes:		Entregar componentes a:								
# de Parte Halliburton	# de Parte Fabricante	Cant	Descripción de Partes Solicitadas				Proveedor Sugerido			

Fuente. Documento orden de trabajo de Halliburton HMS

Figura 41. Orden de Mantenimiento

Change Orders resulting from Prev Maint 313767659: Central Header

Change Orders resulting from Prev Maint 313767659: Central Header

Order RPM 313767659 DESMONTAR ENFRIADOR DE ACEITE HIDRAULICO

DESMONTAR ENFRIADOR DE ACEITE HIDRAULICO PARA REALIZAR MANTENIMIENTO

Sys.Status CLSD PCNF ESTC GMPZ NMAI PRC SEIC

HeaderData Operations Components Costs Partner Objects Additional Data Location Planning Control

Person responsible
 PlannerGrp S28 / 1650 Yopal, Colombia
 Mn.wk.ctr YOP-MTC / 1654 IEM MECHANIC Y...
 Notifctn 22867742
 Costs 785,518.96 COP
 PMActType REP Repair
 SystCond.
 Address Duncan Manufact

Dates
 Bsc start 08/27/2015 Priority Medium
 Basic fin. 08/27/2015 Revision

Reference object
 Func. Loc. 608-1650-1654-10017 Coil Tubing \-Yopal, CO
 Equipment 11710511 SKID POWER PACK HYD CT
 Assembly HYDRAULIC SYS GRP Hydraulic sys grp

First operation
 Operation DESMONTAR ENFRIADOR DE ACEITE HIDRAULICO CcKey Calculate duration
 WkCtr/Plnt YOP-MTC / 1654 Ctrl key PM01 Acty Type D01015 PRT
 Work durtn 3.0 H Number 1 Oprtn dur. 3.0 H Comp.
 Person. no 488106 Jimenez Torres, Leo

Fuente. SAP

7.1.1 Data descargada de SAP para el análisis A continuación se puede apreciar la data descargada de SAP, esta se puede apreciar en un archivo .xlsx.

La tabla muestra el total de MO creadas en un periodo 10/31/2012 a la fecha 09/15/2016. Esta información es la que se utilizar más adelante para identificar las principales fallas que afectan al equipo Power Pack. Con el diagrama de Pareto se muestra el sistema con mayor incidencia en las fallas reportadas que se aplicara el análisis de causa.

7.1.2 Data de las MO creadas para el Power Pack.

Tabla 20. Data descargada de SAP, administración de datos

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
RPM	315154097 INSTALAR TAPA CUBIERTAS FILTRO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	AIR INTAKE SYS GRP	09/15/2016
RPM	315154097 REEMPLAZAR SWITCH OVER SPEED,	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	09/15/2016
RPM	315154097 REEMPLAZAR ACEITE TRANSFER 10.	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	GEAR BOX OIL	09/15/2016
RPM	315154097 INSTALAR SENSOR DE NIVEL DE RE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	COOLING SYSTEM GRP	09/15/2016
RPM	315154097 REEMPLAZAR MANOMETRO DE CARGA,	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ACC-GENERAL GRP	09/15/2016
RPM	315154097 REEMPLAZAR RESPIRADERO MOTOR,	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	09/15/2016
RPM	315154097 REPARAR GUIAS DE SKID DE IZAJE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FRAME GRP	09/15/2016
RPM	315154097 D/M ENFRIADOR HIDRAULICO PARA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	09/15/2016
UNSC	INSTALAR BASE FILTRO COMBUSTIBLE, NO TIE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FUEL SYSTEM-FILTER	09/01/2016
UNSC	COMPLETAR NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO, BA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	08/31/2016
RPM	315154097 REEMPLAZAR ACEITE Y	11710511	SKID POWER	ENGINE	08/30/2016

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
	FILTROS 10		PACK HYD CT	FILTER/OIL	
PREV	Realizar Inspeccion PM C27A 10.270 HRS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	09/15/2016
PRED	314975979 ANALISIS DE ACEITE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	OIL AND LUBRICATON	07/29/2016
RPM	314975979 REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 9.	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	07/29/2016
RPM	314975979 REEMPLAZAR ALTERNADOR, PRESENT	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CHARGING SYS GRP	07/29/2016
RPM	314975979 REEMPLAZAR CORREAS MORTOR 975	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	07/26/2016
PREV	Realizar Inspeccion PM C27 9754 HRS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	07/14/2016
UNSC	REPLAZA BATERIAS, DESCARGADA POR VASOS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CRANKING SYS GRP	06/07/2016
RPM	314609637 REEMPLAZAR MOTOR HIDRAULICO CA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	05/24/2016
RPM	314609637 REEMPLAZAR INDICADOR DE RESTRI	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	05/19/2016
RPM	314609637 REEMPLAZAR FILTROS DE COMBUSTI	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FUEL SYSTEM- FILTER	05/19/2016
RPM	314609637 COMPLETAR NIVEL ACEITE TRANSFE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	GEAR BOX OIL	05/19/2016
RPM	314609637 REALIZAR DIALISIS Y COMPLETAR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	05/18/2016

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 9.348 HRS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	04/19/2016
PRED	314386648 ANALISIS DE ACEITE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	OIL AND LUBRICATON	03/15/2016
PREV	Realizar Inspección PM C27 9667 Hr	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	05/15/2016
RPM	REEMPLAZAR SOLENOIDE APAGADO EMERGENCIA,	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	03/23/2016
RPM	AJUSTAR PRESION BOMBA AUXILIAR, PRESION	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	03/23/2016
RPM	APLICAR SOLDADURA A FISURA, FISURA EN AG	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FRAME GRP	03/23/2016
RPM	SCANNER MOTOR CAT – C11	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	03/14/2016
RPM	REEMPLAZAR INDICADOR DE PRESION	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	03/14/2016
RPM	INSTALAR DE TACOMETO DYNALCO, EQUIPO NO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ACC-GENERAL GRP	03/11/2016
UNSC	REVISAR SISTEMA INYECCION DE COMBUSTIBLE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FUEL SYSTEM GRP	03/11/2016
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 9.151 HRS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	03/10/2016
RPM	REVISAR PROBLEMA ELECTRICO Y CAMBIAR MUR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	02/15/2016
RPM	REEMPLAZAR MANGUERA DE	11710511	SKID POWER	HYDRAULIC SYS	01/30/2016

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
	SUCCION DE LA BOM		PACK HYD CT	GRP	
RPM	REEMPLAZAR TUBO DE ESCAPE DEL MOTOR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	01/30/2016
RPM	REALIZAR ANALISIS DEL MOTOR MEDIANTE LA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	01/30/2016
PREV	Realizar Inspección PM C27 9155 Hr	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	03/16/2016
RPM	REEMPLAZAR LA POLEA DEL DAMPER	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	01/27/2016
RPM	INSTALAR TAPONES EN EL SEGUNDO CONTENEDO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	WELDING	01/27/2016
RPM	COMPLETAR EL NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	01/20/2016
SUB	REALIZAR PRUEBA DE VIBRACIONES AL MOTOR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	12/09/2015
UNSC	REEMPLAZAR RETENEDOR DE LA POLEA DEL VEN	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	01/19/2016
RPM	REEMPLAZAR VOLTIMETRO 0-24V	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	eIEC-CNTRL DEV GRP	09/16/2015
SUB	REEMPLAZAR SELLOS DE LOS INYECTORES	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FUEL SYSTEM GRP	12/09/2015
RPM	DESMONTAR RADIADOR DEL MOTOR PARA REALIZ	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	COOLING SYSTEM GRP	12/09/2015
SUB	REEMPLAZAR RETENEDRO DEL TRANSFER	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	12/09/2015

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
SUB	REEMPLAZAR FILTROS DEL SISTEMA HIDRAULIC	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	12/09/2015
SUB	REEMPLAZAR MANGUERAS DEL MOTOR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	12/09/2015
RPM	REEMPLAZAR EL RETENEDOR TRASERO DEL CIGU	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	01/08/2016
PRED	314023422 ANALISIS DE ACEITE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	OIL AND LUBRICATON	12/23/2015
RPM	CORREAS MOTOR PP BACK UP	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	12/19/2015
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 8850 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	12/19/2015
RPM	COMPLETAR NIVEL HYD	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	12/15/2015
RPM	MOTOR COOLER CONTINGENCIA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	11/20/2015
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 8450 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	10/30/2015
PRED	313814457 ANALISIS DE ACEITE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	OIL AND LUBRICATON	10/27/2015
PREV	Realizar Inspección PM C27D 8916 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	12/09/2015
RPM	REEMPLAZAR ELEMENT FILTROS AZULES	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	10/24/2015
UNSC	COMPLETAR NIVEL DE ACEITE	11710511	SKID POWER	HYDRAULIC SYS	10/20/2015

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
	HIDRAULICO		PACK HYD CT	GRP	
PREV	Realizar Inspección PM C27A 8266 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	10/21/2015
RPM	REPARAR BOMBA DEL REEL	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	08/31/2015
RPM	DESMONTAR ENFRIADOR DE ACEITE HIDRAULICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	08/27/2015
PRED	313570096 ANALISIS DE ACEITE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	OIL AND LUBRICATON	08/20/2015
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 8030 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	08/15/2015
RPM	REEMPLAZAR VALVULAS CARTUCHOS DEL REEL	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	08/10/2015
RPM	REEMPLAZAR FILTROS DEL SISTEMA HIDRUALICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	08/08/2015
RPM	REALIZAR EL SCANER DEL MOTOR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	07/30/2015
RPM	SOLICITAR GAUGE PARA KIT DE POWER PACK	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	07/16/2015
CERT	CERTIFICAR MANOMETROS/TRANSDUCERS©	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	08/04/2015
RPM	COMPLETAR NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO 786	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	07/15/2015
PREV	Realizar Inspección PM C27A 8030 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	08/26/2015

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
RPM	INSTALAR VALVULA TOMA MUESTRA AL SISTEMA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	07/13/2015
RPM	REMPALZAR ACEITE Y FILTROS 7700 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	06/13/2015
PREV	Realizar Inspección PM C27A 7586 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	06/14/2015
RPM	REMPALZAR BATERIAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CHARGING SYS GRP	05/25/2015
PRED	313359261 ANALISIS DE ACEITE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	OIL AND LUBRICATON	05/24/2015
RPM	REMPALZAR 3 LAMPRAS DE TRABAJO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LIGHTING SYS GRP	05/21/2015
RPM	REMPALZAR ACEITE Y FILTROS 7340 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	05/16/2015
RPM	REMPALZAR FILTROS DE COMBUSTIBLE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FUEL SYSTEM GRP	05/04/2015
UNSC	CAMBIAR BOMBA HYD REEL	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	04/22/2015
RPM	COMPLETAR NIVEL DE REFRIGERANTE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	COOLING SYSTEM GRP	04/15/2015
RPM	REMPALZAR FILTROS DEL SISTEMA HIDRAULICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	04/15/2015
RPM	REMPALZAR ALTERNADOR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CHARGING SYS GRP	04/15/2015
RPM	REVISION DEL SITEMA HIDRAULICO	11710511	SKID POWER	HYDRAULIC SYS	04/08/2015

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
	DEL REEL,		PACK HYD CT	GRP	
PREV	Realizar Inspección PM C27A 6988 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	04/15/2015
RPM	REEMPLAZAR MANGUERA HYD DEL MOTOR DE ARRA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CRANKING SYS GRP	04/06/2015
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 6815 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	04/01/2015
RPM	REEMPLAZAR MURPHY	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	03/24/2015
RPM	REEMPLAZAR VALVULAS Y CARTUCHOS SISTEMA H	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	03/13/2015
RPM	COMPLETAR NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	03/10/2015
RPM	REEMPLAZAR INDICADOR DE TEMPERATURA DEL R	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	COOLING SYSTEM GRP	02/24/2015
RPM	REEMPLAZAR MANGUERA DE RETORNO DEL SISTEM	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	02/16/2015
RPM	COMPLETAR EL NIVEL DEL ACEITE HIDRAULICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	02/11/2015
PREV	Realizar Inspección PM C27A 6709 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	02/14/2015
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 6415 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	02/02/2015
RPM	REEMPLAZAR CORREAS DEL VENTILADOR DEL MOT	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	02/02/2015

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTRO 6150 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	12/29/2014
RPM	REEMPLAZAR MANGUERA DEL INYECTOR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	12/24/2014
RPM	DESCUENTO NC	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	WELDING	12/23/2014
RPM	REEMPLAZAR MANGUERAS DEL SISTEMA HIDRAULI	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	12/15/2014
RPM	REVISION DE ALARMA DE PARTICULAS DEL POW	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	11/28/2014
RPM	REEMPLAZAR VALVULA DE BY PASS DEL SISTEMA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	11/14/2014
RPM	REEMPLAZAR BATERIAS, SE ENCUESTRAN CON	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	11/10/2014
PREV	Realizar Inspección PM C27B 6150 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL B PM	12/15/2014
RPM	REEMPLAZAR ACEITE DEL SISTEMA HYD Y FILTR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	11/06/2014
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 5600 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	10/27/2014
RPM	REEMPLAZAR CABLES DE LAS BATERIAS ©	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CRANKING SYS GRP	10/17/2014
UNSC	REEMPLAZAR FILTROS DE COMBUSTIBLE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FUEL SYSTEM GRP	10/15/2014
RPM	INSTALAR FILTROS RESPIRADORES	11710511	SKID POWER	HYDRAULIC SYS	10/01/2014

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
			PACK HYD CT	GRP	
UNSC	REEMPLAZAR CORREAS DEL VENTILADOR DEL MOT	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	10/01/2014
UNSC	REPARAR TUBO DE ESCAPE DEL MOTOR DEL POW	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	09/16/2014
PREV	Realizar Inspección PM C27A 5518 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	10/17/2014
UNSC	REEMPLAZAR MOTOR HYD DEL INTERCAMBIADOR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	09/09/2014
UNSC	REALIZAR LIMPIEZA AL TANQUE DEL HYD.	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	09/08/2014
UNSC	REEMPLAZAR BOMBAS HYD DEL INYECTOR L Y R	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	09/03/2014
RPM	DESMONTE Y REVISION DEL SISTEMA DE ALIMEN	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	08/28/2014
UNSC	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 5015 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	08/11/2014
UNSC	REEMPLAZAR MURPHY	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	08/05/2014
PREV	Realizar Inspección PM C27A 5001 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	LEVEL A PM	08/14/2014
RPM	REPARAR Y RECONSTRUIR LA MANPARA DEL POW	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	SAFETY GRP	06/12/2014
RPM	REEMPLAZAR ACEITE Y FILTROS 4708 HORAS.	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	05/26/2014

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
RPM	DESPACHAR ACEITE 15 GALONES DE 15W40	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	OIL AND LUBRICATON	05/12/2014
RPM	COMPLETAR NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO 448	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	05/08/2014
MOD	INSTALAR ALARMA DE ALTA TEMPERATURA HIDR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	04/26/2014
MOD	INSTALAR CONTADOR DE PARTICULAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	04/26/2014
RPM	COMPLETAR NIVEL DE ACEITE HYD 4309 HORAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	03/25/2014
RPM	CAMBIAR ACEITE Y FILTROS 4309 horas	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	03/22/2014
RPM	COMPLETAR NIVEL DE ACEITE HYD	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	01/17/2014
RPM	REVISION DE BLOQUEO DE GRUA SISTEMA DE S	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ELEC-CNTRL DEV GRP	12/27/2013
RPM	INSTALAR KIT MASTER FLASH ALERT	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	BATTERY	12/06/2013
RPM	CAMBIAR FILTROS DE COMBUSTIBLE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FUEL SYSTEM-FILTER	12/05/2013
RPM	CAMBIAR INDICADOR DE PRESION HYD	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYD SYSTEM ACC'S	12/05/2013
UNSC	CAMBIAR FUNDAS MANGUERAS HIDRAULICAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYD SYSTEM ACC'S	11/07/2013
RPM	REEMPLAZAR MANGUERA -4 BOMBA	11710511	SKID POWER	HYDRAULIC SYS	10/30/2013

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
	REEL		PACK HYD CT	GRP	
RPM	AJUSTE DE PRESION BOMBA REEL	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	10/27/2013
RPM	ADICIONAR OIL HIDRAULICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	10/23/2013
RPM	REEMPLAZAR MANGUERA SISTEMA HIDRAULICO.	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	10/01/2013
RPM	REEMPLAZAR POR CODO PARA REDIRECCIONAR L	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	EXHAUST SYSTEM GRP	09/25/2013
RPM	MODIFICACION SISTEMA ESCAPE (EXHOSTO)©	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	MUFFLER/PIPING	09/25/2013
RPM	CAMBIAR ACEITE Y FILTROS 2845HRS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	09/23/2013
RPM	COMPLETAR NIVELES DE ACEITE 15W40 CT	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	09/17/2013
RPM	GRAFAR MANGUERA PARA INSTALAR PARA DRENA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE ACC'S	09/11/2013
RPM	REEMPLAZAR FILTROS COMBUSTIBLE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	08/29/2013
RPM	FABRICAR VENTANA PARA INSPECCION DE CORR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	SAFETY EQ DEVICES	08/01/2013
RPM	INSTALAR REJILLA PARA VERIFICAR CORREA M	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	COOLING SYS ACC'S	07/31/2013
RPM	COMPLETAR NIVEL DE ACEITE HIDRAULICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	07/30/2013

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
RPM	CAMBIO DE ACEITE Y FILTROS 2440H	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	07/26/2013
RPM	REEMPLAZAR BATERIAS EN MAL ESTADO ©	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CRANKING SYS GRP	07/10/2013
RPM	RECARGAR BATERIAS PARA ENCENDER EQUIPO (11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CRANKING SYS GRP	07/10/2013
UNSC	ADAPTAR CONEXIONES HIDRAULICAS	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC SYS GRP	07/09/2013
UNSC	CONSTRUIR BARRERAS DE INSONORIZACION	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	WELDING	07/05/2013
RPM	COMPLETAR NIVEL ACEITE HIDRAULICO BAJO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	07/04/2013
RPM	REEMPLAZAR FILTRO DE REFRIGERANTE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	DCA-FILT/ANTI-FRZ	06/28/2013
RPM	REEMPLAZAR FILTROS DE COMBUSTIBLE EQUIPO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	FUEL SYSTEM-FILTER	06/28/2013
RPM	COMPLETAR NIVELES DE ACEITE HIDRAULICO	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	06/19/2013
RPM	COMPLETAR NIVELES DE ACEITE MOTOR	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	06/19/2013
UNSC	CAMBIAR MANGUERA HIDRAULICA	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	HYDRAULIC OIL	05/30/2013
RPM	CAMBIAR ACEITE <(>&<)> FILTROS 1952 Hrs	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	05/02/2013
RPM	COMPLETAR NIVELES DE ACEITE	11710511	SKID POWER	HYDRAULIC OIL	01/09/2013

Order Type	Description	Equipment	Description	Assembly	Bas. Start date
	HIDRAULICO		PACK HYD CT		
RPM	COMPLETAR NIVELES DE ACIETE	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE GRP	12/20/2012
RPM	REEMPLAZAR BATERIA 31H1100	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	CRANKING SYS GRP	12/19/2012
RPM	CAMBIAR ACEITE Y FILTROS (703HRS)	11710511	SKID POWER PACK HYD CT	ENGINE FILTER/OIL	10/31/2012

Data descargada de SAP, administración de datos

7.2 FALLAS POR SISTEMA.

Los datos de la tabla representan las fallas reportadas al sistema SAP, originadas por este equipo.

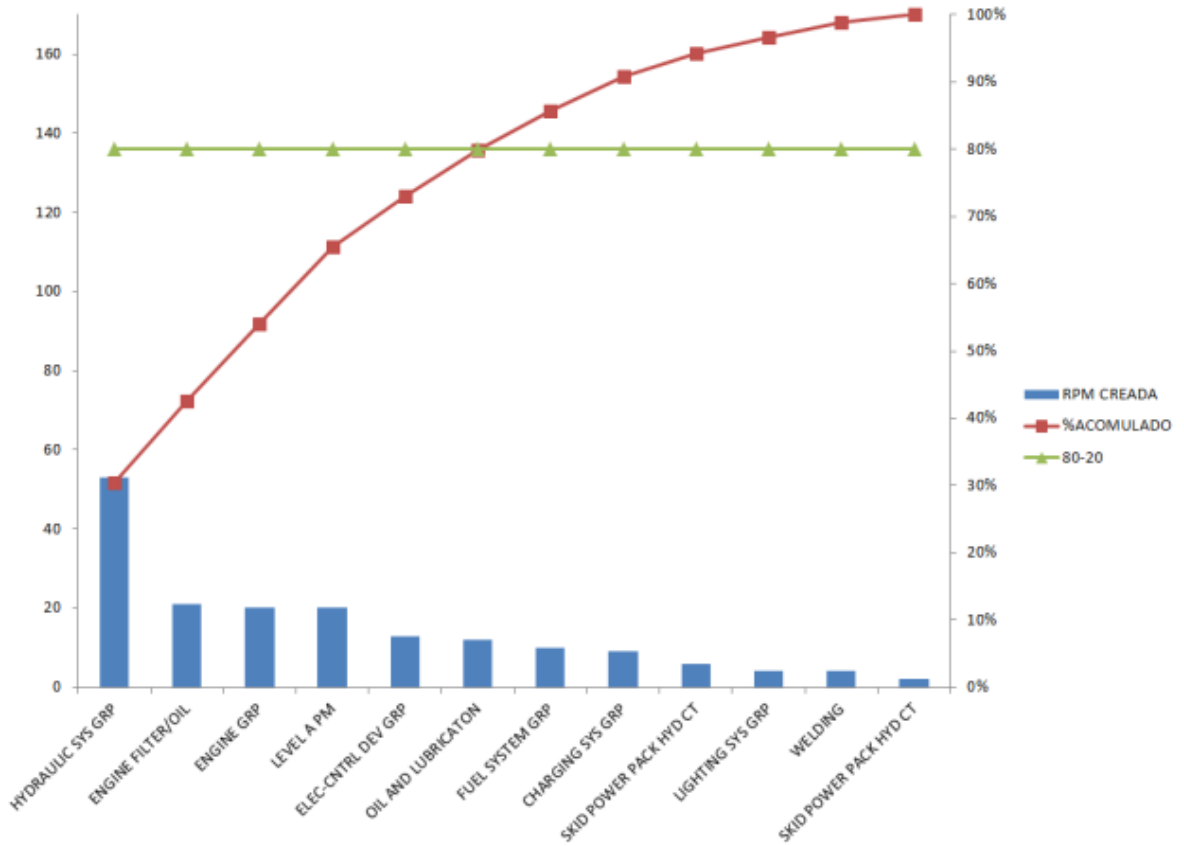
Tabla 20. Fallas por sistema del Power Pack

SISTEMA	RPM CREADA
HYDRAULIC SYS GRP	53
ENGINE FILTER/OIL	21
ENGINE GRP	20
LEVEL A PM	20
ELEC-CNTRL DEV GRP	13
OIL AND LUBRICATON	12
FUEL SYSTEM GRP	10
CHARGING SYS GRP	9
SKID POWER PACK HYD CT	6
LIGHTING SYS GRP	4
WELDING	4
SKID POWER PACK HYD CT	2

7.3 DIAGRAMA DE PARETO FALLAS POR SISTEMA

Con los datos de la tabla resumen de fallas, realizaremos el grafico presentado en la figura x. el eje de las X se encuentra el sistema y el eje de las Y el número de llamados. Adicional la línea roja cumula los porcentajes que cada sistema aporta al total de las fallas.

Figura 42. Diagrama de Pareto Power Pack



Fuente: Data descargada de SAP del equipo Power Pack

De la gráfica podemos concluir que el sistema Hidráulico fue el mal actor del Power Pack durante el periodo comprendido 10/31/2012 a 09/15/2016, este acumulo la mayor cantidad de fallas para un total de 53 ordenes creadas relacionadas con el sistema Hidráulico.

7.4 IDENTIFICACION DEL MAL ACTOR

Teniendo identificado el sistema hidráulico como el que genera mayor Órdenes de Mantenimiento, a este sistema se realiza un diagrama de Pareto aplicando la tabla

de fallas. En esta tabla muestra el resumen de las MO creadas en el periodo 10/31/2012 a 09/15/2016 del sistema Hidráulico.

7.4.1 Clasificación modos de Fallas.

Tabla 21. Clasificación modos de Fallas

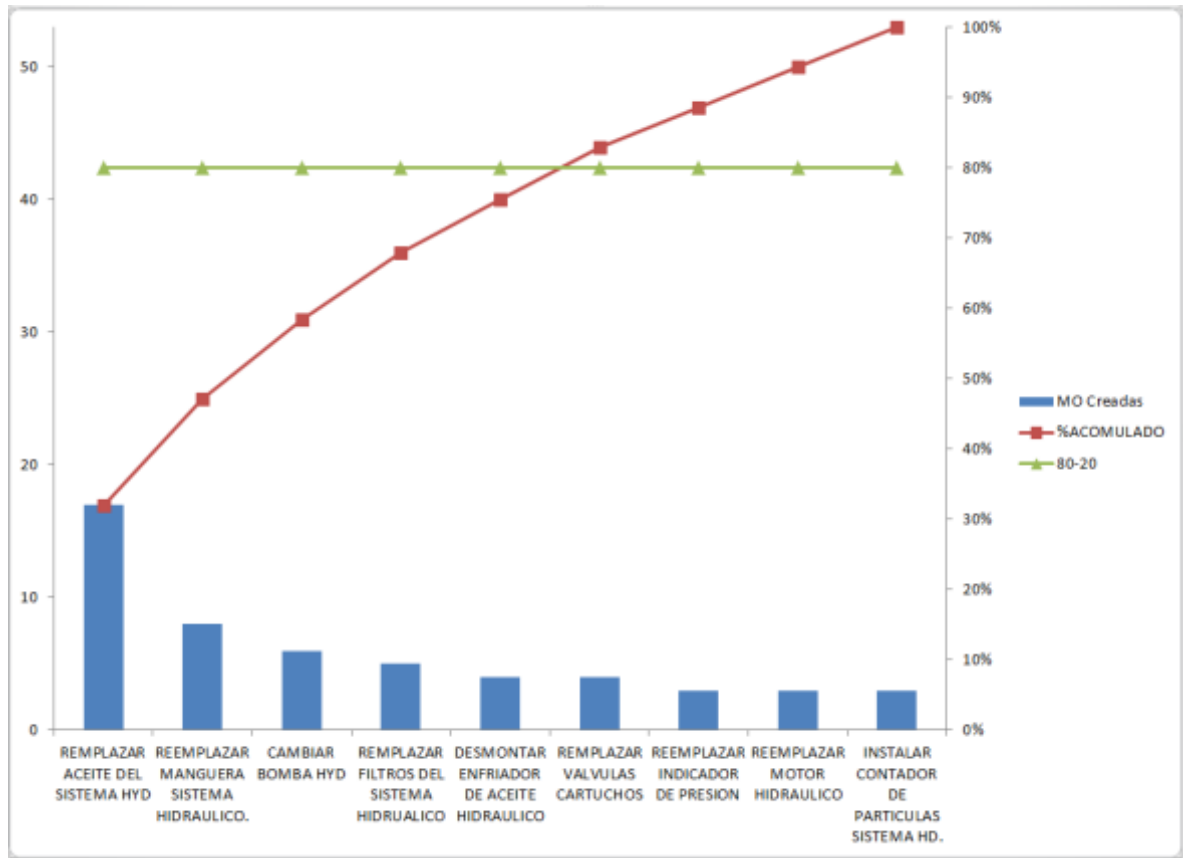
MODOS DE FALLAS SISTEMA HIDRAULICO	MO Creadas
REEMPLAZAR ACEITE DEL SISTEMA HYD	17
REEMPLAZAR MANGUERA SISTEMA HIDRAULICO.	8
CAMBIAR BOMBA HYD	6
REEMPLAZAR FILTROS DEL SISTEMA HIDRUALICO	5
DESMONTAR ENFRIADOR DE ACEITE HIDRAULICO	4
REEMPLAZAR VALVULAS CARTUCHOS	4
REEMPLAZAR INDICADOR DE PRESION	3
REEMPLAZAR MOTOR HIDRAULICO	3
INSTALAR CONTADOR DE PARTICULAS SISTEMA HD.	3

Fuente: Data descargada SAP, MO creadas

La tabla da como resultado el modo de falla, reemplazar aceite del sistema hidráulico, esto sucede a la fugas, contaminación del reservorio y de las líneas hidráulicas ocasionadas por ruptura de alguna de las bomba o mangueras; contaminando el sistema en general.

Factores como la poca puesta en práctica de las 5S, la mala manipulación y clasificación inadecuada de aceite hidráulico, la falta de filtración del sistema de retorno y el no seguimiento de los proceso y procedentes que se deben realizar al momento de manipular los sistemas hidráulicos en las RPM o en la ejecución de las PM programada.

Figura 43. Diagrama de Pareto del Sistema Hidráulico Power Pack



Fuente: Data descargada de SAP del equipo Power Pack

8. APLICACIÓN DEL ANALISIS DE CAUSA RAIZ

8.1 MÉTODOS DE ANÁLISIS CAUSA RAIZ

Cuando ocurre una falla, ésta se percibe a través de ciertas manifestaciones o síntomas, no así la causa de falla. Esto lleva en muchas oportunidades a actuar sobre las consecuencias y no sobre la raíz del problema, de modo que la falla vuelve a repetirse una y otra vez. A mayor complejidad del sistema, habrá mayor dificultad en localizar el origen o raíz de la falla. Identificar la causa raíz es fundamental, pero sólo de por sí, no resuelve el problema, para ello habrá que estudiar distintas acciones correctivas.

El Análisis de Causa Raíz es una herramienta utilizada para identificar causa de falla, de manera de evitar sus consecuencias. Un análisis más profundo es mejor para ayudar a comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema, los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Análisis de falla de componentes (CFA), la cual implica el estudio de las piezas dañadas.
- Investigación de Causa de Raíz (RCI), ésta herramienta incluye a la anterior, e investiga las causas físicas.
- Análisis de Causa Raíz (RCA), ésta herramienta incluye a los dos anteriores, y estudia además el error humano.

Para realizar el Análisis de Causa Raíz a fondo, se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas y analizar las acciones humanas o raíces humanas que desataron la cadena causa efecto que llevó a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron eso, si debido a procedimientos incorrectos, a especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual

puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente.

El Análisis de Causa Raíz (RCA) tiene distintas aplicaciones, que van incluso más allá del Mantenimiento:

- Análisis de Fallas, para encontrar fallas complejas en equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación reactiva.
- Análisis de Fallas recurrentes de equipos o procesos críticos, lo cual es una aplicación Proactiva.
- Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA), el cual se utiliza también en el RCM2.
- Análisis de errores humanos, en el proceso de diseño y aplicación de procedimientos.
- Análisis de accidentes e incidentes, en sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional (SySO).

El análisis de Causa Raíz es un proceso de deducciones lógicas que permite graficar las relaciones causa-efecto que nos conducen a descubrir el evento indeseable o causa raíz, preguntándonos:

- ¿Cómo? es la forma que puede ocurrir una falla
- ¿Por qué? o cuales son las causas de la misma

Los hechos deben respaldarse mediante observación directa, documentación y deducciones científicas.

Se utilizan gran variedad de técnicas y su selección depende del tipo de problema y datos disponibles:

- Análisis causa-efecto
- Árbol de fallo

- Diagrama de espina de pescado
- Software de RCA que ayudan a la construcción del árbol de fallos y a la documentación del proceso

Tabla 22. Metodología para el análisis Causa Raíz

RESUMEN DE METODOLOGÍAS PARA EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Método	Cuando utilizar	Ventajas	Desventajas	Observaciones
Diagrama de eventos y factores causales	Se puede utilizar para eventos simples pero sobre todo debe emplearse para resolver problemas complejos	Permite visualizar todos los hechos ocurridos, discretizar entre hechos reales y suposiciones. Permite mostrar las relaciones de las barreras existentes, los cambios, y las relaciones causa-efecto. Organiza y proporciona un buen entendimiento de la información recolectada	Requiere la participación de un grupo de trabajo interdisciplinario integrado por personal técnico especializado. Consume mucho tiempo y requiere estar familiarizado con el proceso	Muy útil para la realización de entrevistas. Involucra problemas de fallas de equipos y de desempeño humano. Debe utilizarse tan pronto como el evento haya ocurrido. Ayuda a realizar un análisis pro-activo
Análisis causa y efecto	Se utiliza en problemas de diversa naturaleza, y para la evaluación de fallas de equipos	Suministra un despliegue visual del proceso de análisis. Identifica probables factores contribuyentes	Consume mucho tiempo y requiere estar familiarizado con el proceso, para que la metodología sea efectiva	Requiere una perspectiva amplia del evento, para identificar problemas no relacionados. Ayuda a identificar desviaciones ocurridas de otros métodos aceptables

RESUMEN DE METODOLOGÍAS PARA EL ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Método	Cuando utilizar	Ventajas	Desventajas	Observaciones
Análisis de árbol de fallas	Se utiliza para problemas complejos o recurrentes. Es una de las metodologías mas completas.	Puede ser utilizado con un entrenamiento limitado	Requiere la participación de un grupo de trabajo interdisciplinario integrado por personal técnico especializado. Puede ser que solo identifique el área de la causa, no las causas específicas	Si este proceso falla para identificar áreas con problemas, busque ayuda adicional o utilice el análisis causa y efecto
Análisis de cambios	Se utiliza en problemas medianamente complejos, especialmente en la evaluación de fallas de equipos	Proceso simple de seis pasos	De valor limitado debido al riesgo de aceptar respuestas obvias en forma errónea	Técnica para problemas simple que puede ser utilizada como soporte para una investigación mayor. No todas las causa raíz pueden ser identificadas
Análisis de barreras	Utilizado para problemas relacionados con procedimientos técnicos o administrativos y de desempeño humano	Proporciona un enfoque sistemático	Requiere de cierta familiaridad con el problema analizado, a fin que la metodología sea efectiva	También puede ser utilizado en fallas de equipos

Fuente: Procedimiento CFE SPA 00-29

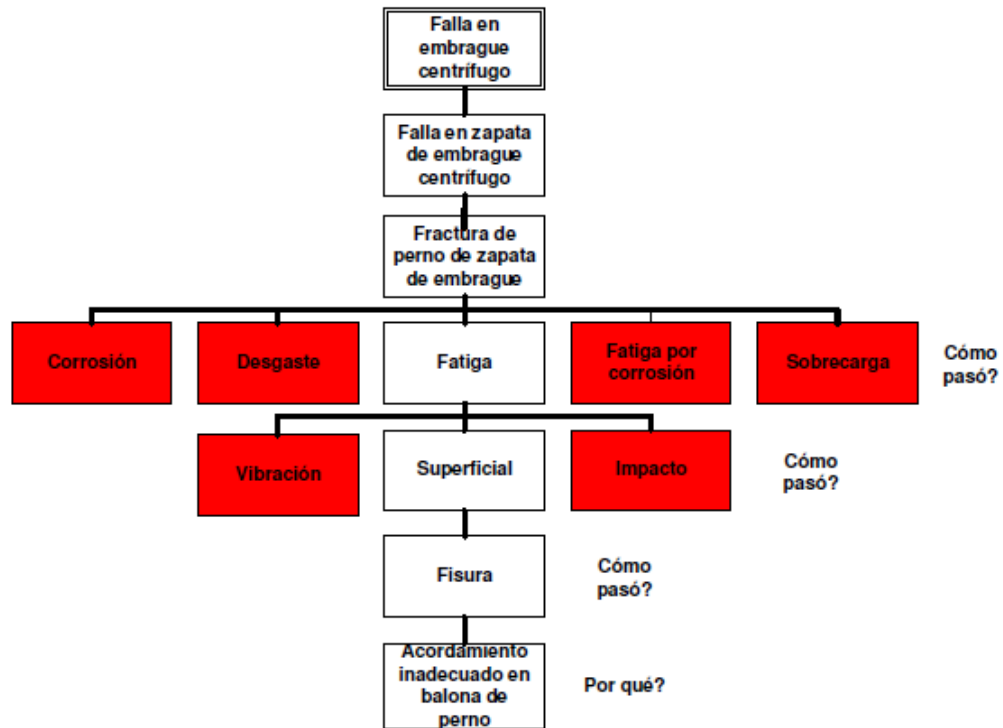
Los beneficios de la aplicación de ésta poderosa herramienta son:

- Reducción del número de incidentes o fallas
- Aumento de la Confiabilidad y Seguridad
- Disminución de los costos de Mantenimiento
- Aumento de la Eficiencia y la Productividad

8.1.1 Análisis de eventos y factor causal Este método de análisis es usado para problemas múltiple faceta o largos, cadenas de factor causal complejos. La tabla resultando de su aplicación es un diagrama de causa-efecto que describe en forma de secuencia una serie de tareas o acciones y las condiciones que llevan a que ocurra e evento. La line de eventos en una secuencia de tiempo, acciones o sucesos mientras las condiciones son cualquiera que forme el desenlace y rasgos de condiciones físicas, actitud o cultura de seguridad.

8.1.2 Árbol de fallas El árbol de fallas es considerado una herramienta de la confiabilidad operacional, que permite representar gráficamente las relación de causa-efecto y que nos conduce a descubrir el evento indeseado y cuál fue la causa raíz del problema la idea consiste en colocar los datos de una falla en forma lógica y coherente, diagrama de toma de decisiones verificadas a través de preguntas que lo ayudan a guiar en la búsqueda de la respuestas correctas.

Figura 44. Árbol de falla en el embrague de una centrifuga



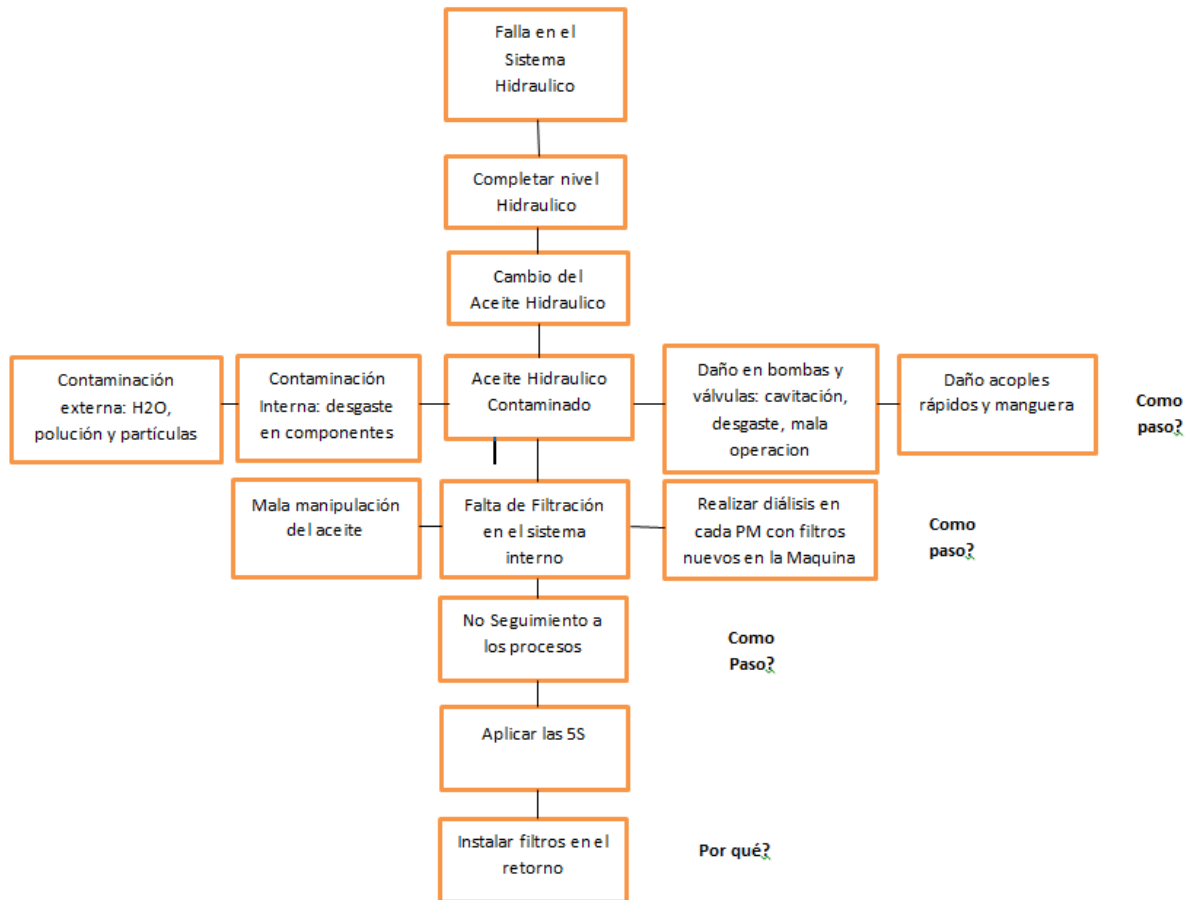
Fuente: ALTMANN Carolina, análisis causa Raíz como herramienta de mejora continua

8.2 CONSTRUCCIÓN DEL ÁRBOL DE FALLAS PAR EL MAL ACTOR

Una vez ya identificado el mal actor, en este caso fue analizada la data del equipo Power Pack. El diagrama de Pareto determinó que el sistema Hidráulico es el actor principal que genera la mayor cantidad de Órdenes de Mantenimiento creadas e SAP, para un total de 53 MO afectando el Sistema Hidráulico.

Se realizó un análisis del Sistema Hidráulico y se identificó 17 Órdenes de Mantenimiento creadas, relacionadas con el cambio y completamiento de sistema Hidráulico

Figura 45. Árbol de Fallas Power Pack



Fuente: Data del Digrama de Pareto del mal Actor

8.3 ESTRATEGIAS PARA EVITAR LAS FALLAS

Las estrategias son formuladas de acuerdo a las causas descritas en el punto anterior. Con ellas se busca minimizar o eliminar la falla para proporcionar una confiabilidad (MTBS) en el sistema hidráulico y en general en el equipo.

- Diseñar un Word Metod (WM), que incluya el procedimiento de engrase y lubricación. Este será el mapa de navegación para que los Tecnicos tengan en

que soportar sus conocimientos, habilidades y destrezas (responsable Coordinadores y Gerencia).

- Capacitar al personal en los sistemas hidráulico de los equipos, ya sean cerrados o abiertos. Brindarles todas las herramientas necesarias en conocimiento, crear un plan de capacitación por ciclos y niveles (responsable Coordinadores y Gerencia)
- Crear un plan, con base en la 5S: acopio, manipulación y utilización de los aceites. En el proceso de cambio de aceite, completamiento de niveles, manipulación de mangueras, inspección de reservorios, inspección y realización de la PM al equipo.
- Revisar en cada PM, la integridad de las mangueras y que estas estén protegidas según su estándar.
- Encada PM exigir (coordinador) a los técnicos que se haga la diálisis al sistema hidráulico en el reservorio (los filtros de la maquina deben estar nuevos o limpios), y luego se debe poder en marcha el sistema y nuevamente se realiza la diálisis drenado el fluido al mismo reservorio.
- Realizar las pruebas a las bombas hidráulicas en las inspeccion tipo C o cuando el técnico considere que se debe realizar. Esta debe realizar con los flujómetros y teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante y el WM establecido por la compañía.
- Capacitar al personal de Operaciones en la manipulación del equipo y en las buenas prácticas al momento de manipular las mangueras y/o completar niveles del sistema hidráulico.

9. PRM PROGRAMADAS VS RPM CORRECTIVAS

Para el análisis de la información sobre las fallas en los equipos asignados a la línea de Mantenimiento interno de Halliburton base Yopal, se utilizó el módulo de mantenimiento del programa SAP, que permitió organizar los datos sobre las paradas de equipos suministrados por el personal de operación y mantenimiento. Los datos obtenidos fueron analizados inicialmente, mediante la aplicación del método de medición de falla cuantitativo, con el cual se identificó el mal actor.

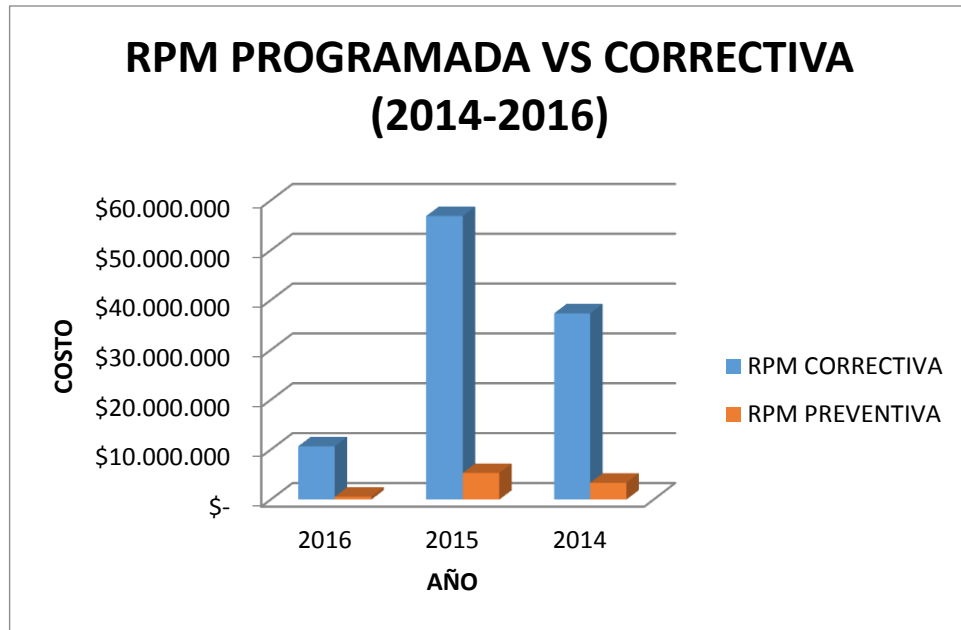
Tabla 23. Costo por años RPM Preventiva

PREVENTIVO		
2016	2015	2014
\$ 1.890.452	\$ 7.724.214	\$ 2.973.656

Tabla 24. Costos por año RPM correctiva

CORRECTIVA		
2016	2015	2014
\$ 2.520.902	\$ 71.728.363	\$ 23.020.869

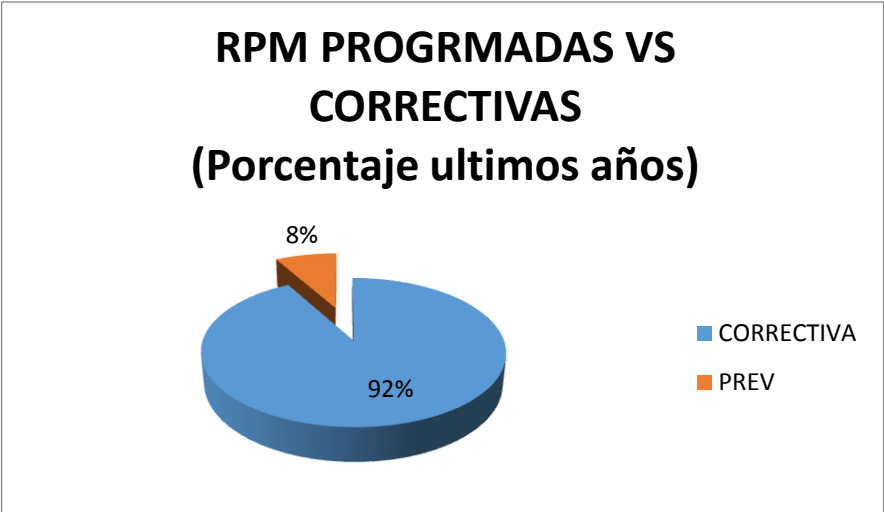
Figura 46. RPM Programada vs correctiva (2014-2016)



El anterior gráfico, refleja la diferencia que existen en los tipos de mantenimiento, como se observa de forma detallada, la empresa invierte más en los correctivos que en lo preventivo, al aplicar el modelo RCA se estima que los costos de mantenimiento se reduzcan al igual que los costos de mantenimiento preventivo.

La diferencia entre ambos mantenimientos es del 8% contra el 92% es decir un incremento de hasta 12 veces del valor o costo del mantenimiento preventivo en los últimos dos años.

Figura 47. RPM Programadas VS Correctivas (Porcentaje últimos años)



10. BEACHMARKING DE LAS METODOLOGÍAS

El benchmarking es “un proceso de medición continuo y sistemático, que mide y compara continuamente los procesos empresariales de una organización contra los procesos de los líderes de cualquier lugar del mundo (siempre y cuando exista una compatibilidad entre las empresas que realizan dicho estudio) para obtener información que ayude a la organización a desarrollar acciones que mejoren su performance” (A. Otra definición importante puede ser el “proceso de investigación industrial que permite a los gerentes desarrollar comparaciones entre compañías sobre procesos y prácticas que permitan identificar lo “mejor de lo mejor” y obtener con ello un nivel de superioridad y ventaja competitiva”. Entonces, podemos resumir que es la búsqueda de las mejores prácticas de la industria que conducen a un desempeño excelente”.¹⁹

Por tanto, el benchmarking, es el proceso por el cual se obtiene información útil que ayuda a una organización a mejorar sus procesos. Su objetivo es conseguir la máxima eficacia en el ejercicio de aprender de los mejores, ayudando a la empresa a moverse desde donde está hacia dónde quiere llegar.

Se debe resaltar que Halliburton tiene en su parrilla de productos la metodología TapRoot, pero que actualmente no se aplica en la base de Halliburton Yopal.

Para diseñar una buena estrategia, es importante realizar un análisis y diagnóstico del entorno y de la empresa. Se realiza el análisis DOFA para lograr identificar las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas que tiene la empresa.

¹⁹ WIKIPEDIA Benchmarking [en línea] disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Benchmarking>

10.1 RCA VS TAPROOT.

Análisis Externo:

Oportunidades:

- La metodología es alcanzable a nivel de técnico y se puede implementar.
- Su implementación es a través de Formato.
- Optimización en los procesos
- Ahorro de costos.

Amenazas

- Nunca se ha implementado en la empresa.(Base Yopal)
- Nuevos cambios.
- Falta de experiencia en los técnicos.
- Falta de destreza por parte del personal, al ser una metodología nueva.

Análisis Interno:

Fortalezas.

- Prevención en los procesos productivos.
- Elimina las fallas, mas no las corrige.
- Se tiene la información guía, es decir los manuales están preestablecidos.

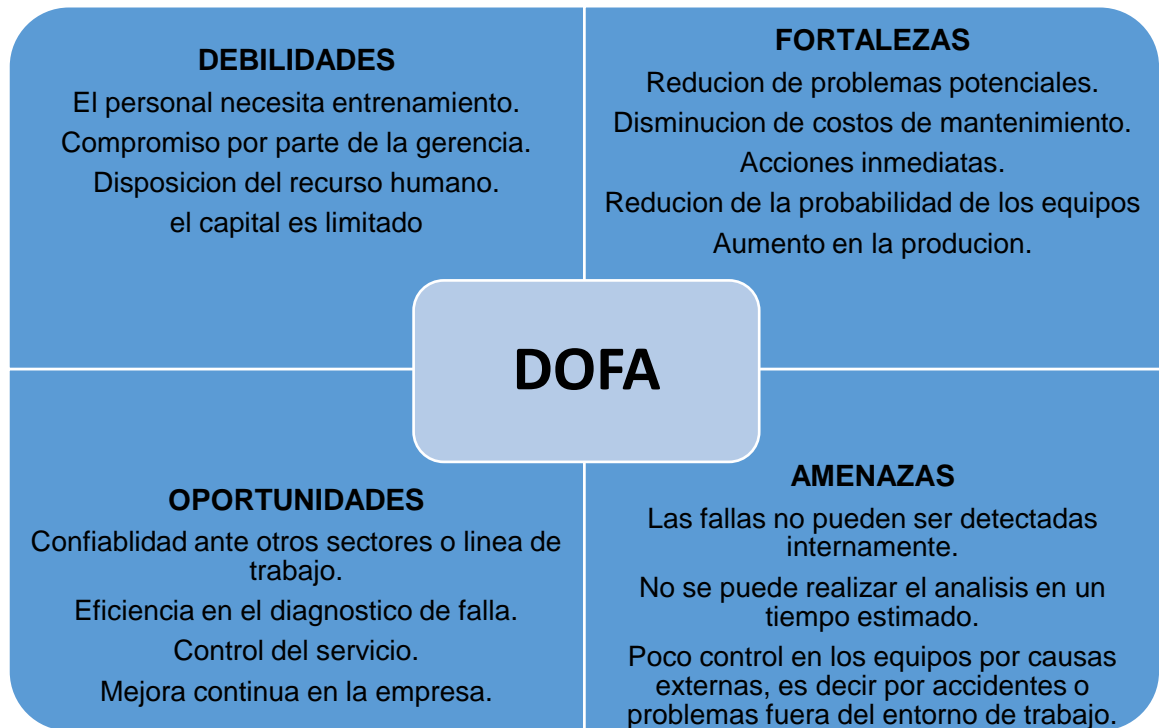
Debilidades.

- Apoyo administrativo.
- Tiempo para su ejecución.
- Autorización gerencial.
- Disponibilidad suficiente para analizar el análisis completo.

10.2 DOFA ORGANIZACIONAL

El DOFA organizacional es la planeación de estrategias dentro de la empresa con el fin de mejorar la productividad a través de la comunicación y equipos de trabajo, con el fin de lograr los objetivos propuestos.

Figura 48. DOFA



11. METODOLOGÍA PROPUESTA

11.1 WORK METHOD PARA LA EVALUACIÓN Y CONTROL CON SISTEMAS HIDRÁULICA

1. INTRODUCCIÓN

EL objetivo de esta guía es, desarrollar un procedimiento de trabajo para identificar deficiencias de componentes Hidraulicos y garantizar el buen funcionamiento

2. APLICACIÓN

Este documento se aplica a todas las actividades, que involucren sistemas Hidráulicos, a nivel de mantenibilidad, operatividad y manipulación de componentes Hidráulicos de los equipos de la compañía.

3. REVISIÓN DE SISTEMAS HIDRÁULICOS.

3.1 Recomendaciones Básicas de Seguridad: Para todas las actividades descritas en este WM.

- A. Solicitar al cliente en este caso el PSL, que ingrese el equipo al angar en condiciones óptimas de limpieza.
- B. Aparcar el vehículo en piso plano y resistente siempre que sea posible, sobre una geomembrana.
- C. Realizar el análisis de riesgo en el área de trabajo (angar de mantenimiento), firmado por el supervisor o persona encargada de la línea.

- D. Realizar el Permiso de trabajo diligenciado completamente y firmado por su supervisor.
- E. Aplicar el LOTO (bloqueo y etiquetado).
- F. Mantener el vehículo con calzas en ambas direcciones
- G. Colocarse los respectivos EPP a saber: Casco, Gafas, Overol, Guantes.
- H. Revisar los componentes como mangueras, válvulas y acoples antes de realizar las tareas operativas descritas.
- I. Revisar presiones entrampadas en todo el circuito hidraulico.



Work Permit



PPE



LOTO



CFA
Critical Focus Areas
One Sheets

3.2 Herramientas y Competencias necesarias para la Inspección:

Herramienta	Parte Numero	Marca.
Tetragauge	6V-7830	CAT
Flujómetro (120gpm)	DHM804-S-7	Webtec
Máquina diálisis	10MFP240SA02Q BVPI9PDL	Parker
Contador Partícula	IPD12225230	Parker
Flujómetro (10gpm)	WPB4A6HD10	Webtec

3.3 Mantenimiento Sistemas Hidráulicos:

Este WM describe tres acciones concretas para mantener de manera adecuada, los sistemas hidráulicos de los equipos de Halliburton.

- 1) Control de contaminación
- 2) Pruebas de eficiencia volumétrica, drenaje de carcasa.
- 3) presiones en PM.

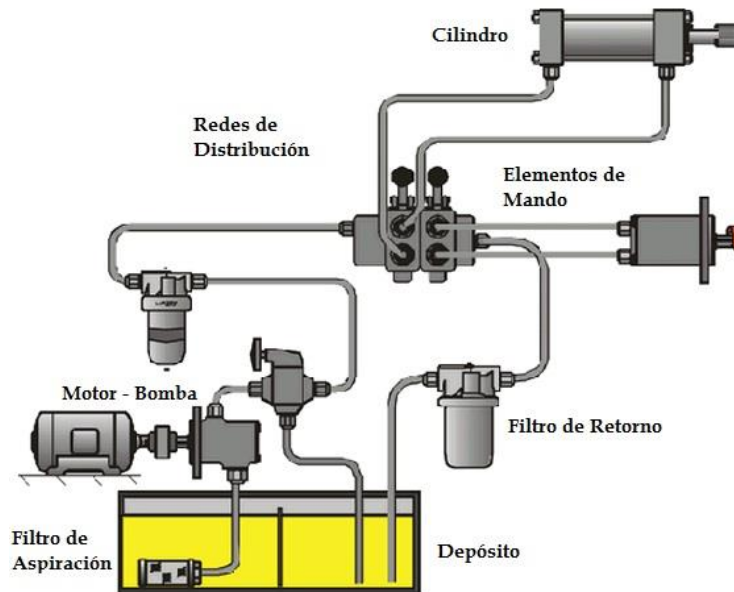


Figura 1. Elementos de un sistema hidráulico.

En todo circuito hidráulico hay tres partes bien diferenciadas: El grupo generador de presión, el sistema de mando y el actuador. El grupo generador de presión es el órgano motor que transfiere la potencia al actuador para generar trabajo. La regulación de esta transmisión de potencia se realiza en el sistema de mando que está formado por una serie de válvulas limitadoras de caudal y de presión, distribuidoras, de bloqueo, etc

3.3.1 Control de Contaminación: La contaminación del aceite hidráulico acelera el desgaste de los componentes, le roba eficiencia al equipo (hasta un enorme 20 por ciento antes de que el operador pueda detectar que hay un problema), y con el tiempo lleva a daños catastróficos. Es la fuente 2, fallas en este tipo de sistemas.

A. Generadores de la contaminación en aceites hidráulicos: Revisemos la siguiente figura:

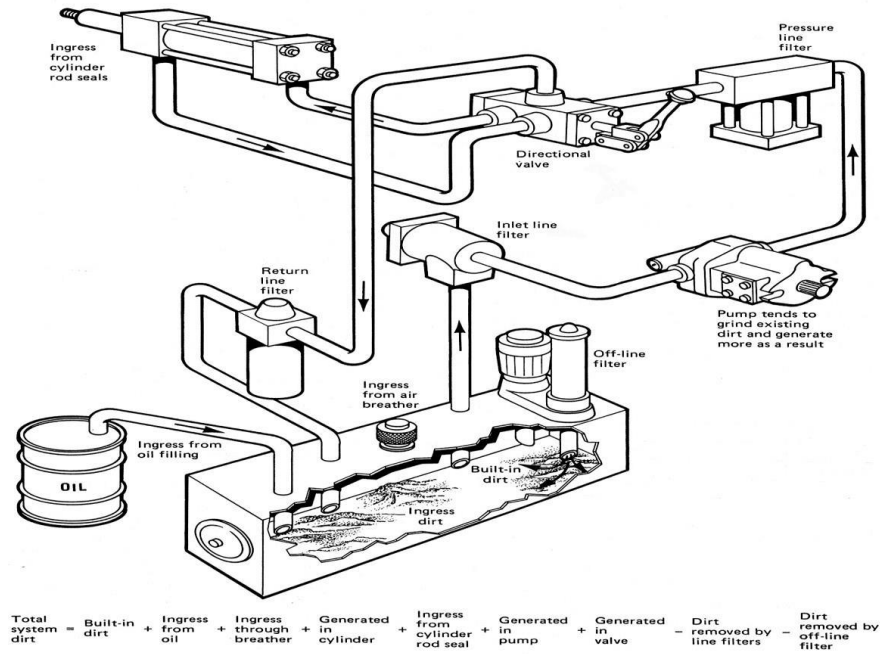


Figura 2. Representación de sistema hidráulico y los ingresos de contaminantes



Figura 3. Mal actor para el suministro de Aceite

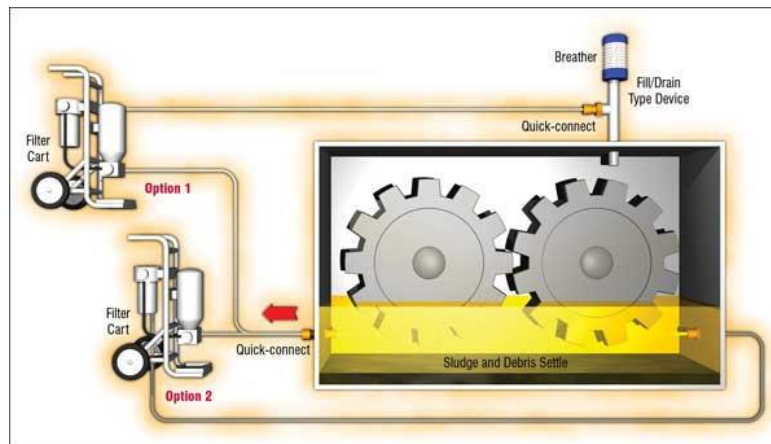


Figura 4. Suministro de aceite correctamente.

- La contaminación Ingresa a través de los respiraderos si no se mantienen herméticos en cada PM.
- Ingresa por los sellos o empaques en mal estado que se evidencias con fugas.
- Se generan por el desgaste normal de componentes hidráulicos como motores, bombas, cilindros y válvulas.
- Ingresa en el cambio de mangueras hidráulicas las cuales se colocan sucias y/o sin posterior proceso de limpieza del sistema.
- Ingresa cuando destapamos un componente sin tener el recaudo de tapar herméticamente los acoples de conexión.
- Ingresa cuando cambiamos un componente hidráulico, el cual fue reparado sin tener en cuenta el ingreso de partículas en el mismo.

3.3.1.2 Tareas para prevenir el Ingreso de Contaminantes: Es mejor prevenir el ingreso de las partículas contaminantes, que después retirarlas una vez estén a dentro.

- Antes de destapar las garrapas de 5 Gal o los barriles de 55Gal, se debe limpiar muy bien la superficie con una toalla que no emita motas.

- Rellenos a motor o reservorios de Aceite Hidráulico a través de Máquinas de Filtración y acoples rápidos.



Figura 5. Sistema de filtración de 22, 35 y 45 litros minuto, con eficacia de 10 micras, relación Beta >75.

- Respiraderos en buen estado tipo Higroscópicos para prevenir el ingreso de humedad. Todos los sistemas hidráulicos deben tener estos filtros con su respectivo indicador de restricción de vacío.



Foto 1. Tanques hidráulicos sellados con respiradero adecuado.

- Realizar diálisis al aceite hidráulico en cada PM. El código ISO 4406 requerido mínimo es 18/14 para operar en las máquinas de Halliburton Colombia.

- Control de Contaminación al realizar reparaciones en el sistema: Proteger mangueras y componentes para evitar entrada de contaminantes. Al desarmar mangueras debe colocarse los tapones y en los equipos taparlos con plástico delgado.



Figura 6: Mangueras con sus tapones para prevenir contaminantes.

- Limpieza del Sistema al Ejecutar Cambio de Mangueras: Al cambiar mangueras del sistema hidráulico debe realizarse:
- Todas las mangueras nuevas deben ser limpiadas mecánicamente con aire comprimido y con sistema de bloque de espuma – y pistola. Asegurar en los extremos que no hayan partículas metálicas del proceso de ensamble.
- Cuando se identifique que esa contaminado alguna fase del sistema hidráulico, lo ideal sería cambiar todas las mangueras y desmontar bombas y lavar. Por costos puede ser muy alto cambiar todas las mangueras, pero si podemos limpiar sondeando la manguera con la espuma y la pistola, a alta presión.



Figura 7: Herramienta para limpiar internamente la manguera.

- Al necesitar reemplazar más de 4 mts mangueras se necesita realizar lo siguiente:
 - a) No drenar el Aceite del tanque o reservorio hidráulico.
 - b) Una vez se reemplacen las mangueras, se debe revisar que estén limpias y ensambladas; luego completamos el nivel en el reservorio.
 - c) Se conecta la máquina de diálisis al tanque y se filtra el aceite a el mismo hasta llegar a código ISO 44062 18/14.
 - d) Ya filtrado el tanque, se prende el sistema hidráulico con la máquina de diálisis encendida y se hace circular por las mangueras nuevas y por todo el sistema. Filtrar hasta obtener un 16/13 o inferior.

3.3.2 Pruebas de eficiencia volumétrica, drenaje de carcaza. Estas se deben realizar en cada Inspección C+, o se vaya a inspeccionar el sistema para determinar la causa de algún modo de falla.

3.3.2.1 Herramientas necesarias: Para este trabajo es necesario el banco hidráulico con los flujómetro. Este sistema debe contar con seguridad y debe tener una válvula de alivio calibrada a 5000 psi máxima presión para las pruebas con equipos CT.



Figura 8. Flujómetros. Izquierda 120gpm y derecha 10gpm.

3.3.2.2 Sistemas Abierto y Cerrados: Los sistemas hidráulicos, tienen configuración abierta y cerrada. Un sistema hidráulico es abierto cuando los retornos de los actuadores, bombas y motores hidráulicos regresan completos a tanque o reservorio, estos sistemas no cuentan con presión de precarga, su control de limpieza es menos crítico.

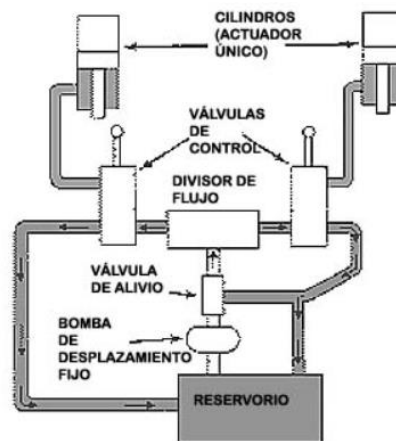


Figura 9: Circuito hidráulico abierto

Un sistema hidráulico es cerrado cuando los retornos de motores hidráulicos retornan a la succión de la bomba. Una pequeña parte del caudal si retorna a

tanque a través de una Hot oil shut off valve o flushing valve (filtrar y refrigerar). Estos sistemas requieren de un control de limpieza excesiva.

Cargador Frontal con Transmisión Hidrostática:
Sistema Hidráulico de Dirección

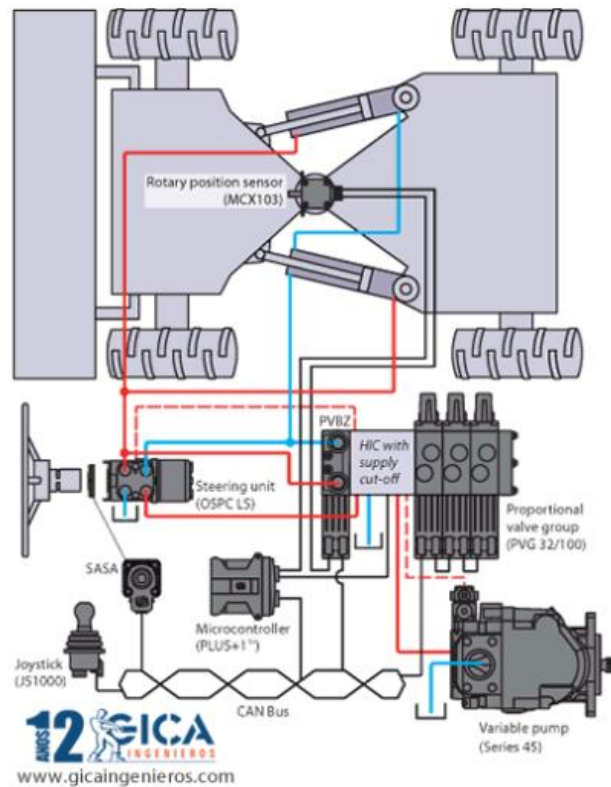


Figura 10. Circuito hidráulico cerrado

3.3.2.2.1 Objetivo de la prueba:

- 1) Con el flujometro Webtec de 120gpm, determinar la eficiencia volumétrica de la bomba.
- 2) Con los flujometro de 10gpm determinar el caudal del drenaje de carcasa de motores y bombas hidráulicas.

A. Prueba 1:

Eficiencia volumétrica de la bomba: Este procedimiento sirve para ambos tipos de sistemas, abierto y cerrados.

- Realice análisis de riesgos.
- Verifique el estado mecánico de las mangueras. Cambie las mangueras si es necesario.
- Verifique fecha de calibración de la válvula de alivio y de los flujometro. En caso de no estar calibrados, no usar los equipos.
- Conecte las mangueras del sistema a través de los acoples rápidos.
- Revisar que la válvula de control de flujo del flujometro de 120gpm esta girada totalmente en sentido contrario a las manecillas del reloj que significa totalmente abierto, ninguna restricción al flujo.
- Prender el sistema hidráulico. El flujometro comienza a marcar GPM, Presión, Pico de presión (Peak) y temperatura (Temperature).
- Colocar el Motor en las RPM máximas de trabajo y con la válvula reguladora de caudal totalmente abierta, registrar los GPM máximos que entrega la bomba.
- Realizar set up de caudal máximo (mínima presión): Una vez obtenido el caudal máximo de trabajo en el flujometro, presionar el segundo botón (ver figura 13) y queda configurado este punto como referencia. La pantalla del flujometro se colocara como se muestra en la figura.



Figura 11. Eficiencia del componente

- Ya con el punto de referencia, con la válvula de control de flujo se comienza a cargar el sistema, hasta la presión de trabajo a la cual trabaja el equipo. En los equipos que trabajen a más de 5000psi, se deberá cargar máximo hasta esta presión y se tomara el valor de eficiencia volumétrica como dato final de la prueba.
- Una bomba de piñones con un 82% o menor de eficiencia volumétrica, debe cambiarse inmediatamente. Una bomba de pistones axiales con 88% o menor de eficiencia debe cambiarse.
- Una vez calculada la eficiencia volumétrica, se tomaran a las RPM de trabajo, 3 puntos de referencia de presión y caudal. Estos 3 datos más la eficiencia volumétrica obtenida, se analizaran junto con su Foreman/supervisor para tomar la mejor decisión con respecto al componente. Revisar grafica siguiente.

B. Prueba 2:

Drenaje de carcaza de Bombas y Motores hidráulicos. Este procedimiento es diferente para sistemas abiertos y cerrados. Se usan ambos flujómetros.

a) Sistemas Abiertos:

(Aplica la mayoría de las veces solo para motores hidráulicos)

- Realice el análisis de riesgos.
- Verifique el estado mecánico de las mangueras. Cambie las mangueras si es necesario.
- Verifique fecha de calibración de la válvula de alivio y de los flujómetros. En caso de no estar calibrados, no usar los equipos.
- Conecte las mangueras del sistema a través de los acoples rápidos.
- Conectar el flojometro.
- Revisar que la válvula de control de flujo del flujómetro de 120gpm esta girada totalmente en sentido contrario a las manecillas del reloj que significa totalmente abierto, ninguna restricción al flujo.

- Coloque el motor diésel a las RPM de trabajo sin ninguna restricción.
- Comience a cargar el sistema con presión desde 0psi a cada 500psi y anote el valor flujómetro que sale por el drenaje de carcasa o motor o la bomba hidráulica y el caudal que la bomba está generando. En cada punto se debe anotar estos 2 caudales y la presión.
- Si en algunas de esas medidas, registra que el caudal de drenaje es mayor al 10% del caudal que la bomba le entrega al motor, el componente se debe cambiar.
- Analizar la data junto con su Foreman / supervisor para tomar la mejor decisión.

b) Sistemas Cerrados:

El procedimiento es el mismo descrito para sistemas abiertos y la conexión de los instrumentos de acuerdo a la figura 10. La única diferencia es en el análisis de la información, ya que al revisarla con el Foreman o supervisor se debe conocer claramente si los caudales son afectados por algún otro caudal adicionado proveniente de otros componentes como la flushing valve, bomba de precarga u otro componente. Debe tenerse claro el sistema hidráulico antes de tomar alguna decisión.

3.3.3 Pruebas de presiones en cada PM (todos los tipos). En cada PM debe realizarse la prueba del equipo y verificar a las RPM de trabajo las diferentes presiones de acuerdo a los formatos de prueba de los equipos. Cada técnico debe llenar sin falta estas tablas. Los supervisores llevaran una tabla de todos los datos de las pruebas para evidenciar la tendencia de los valores y determinar si los equipos están trabajando de manera normal o no. Los supervisores si notan un comportamiento de algún equipo anormal, deben realizar la prueba de eficiencia volumétrica ya explicada en este método de trabajo.

12. CONCLUSIONES

- Con el presente trabajo se logró identificar y clasificar los equipos críticos asignados a la línea de mantenimiento de Halliburton Latin America base Yopal.
- La aplicación del diagrama de Pareto, logró identificar el sistema hidráulico como el mal actor y principal causa de fallas en el Power Pack, lo cual facilita y dirige el mantenimiento preventivo y predictivo del equipo.
- Aplicando la metodología Análisis causa raíz, se pueden disminuir los costos de mantenimiento. El año 2015 los costos de mantenimiento correctivo para el Power Pack, fueron hasta doce (12) veces el valor del mantenimiento preventivo.
- La metodología TapRoot no es utilizada en la base Yopal y tampoco se ha capacitado al personal para desarrollarla y aplicarla en las fallas presentadas.
- La capacitación del personal técnico del grupo de mantenimiento es pieza clave para desarrollar una metodología de Análisis Causa Raíz, porque ellos son el primer contacto cuando falla el equipo y es fundamental lograr definir y encontrar la falla principal, para no generar un mal diagnóstico y por ende un error en la interpretación de la falla.
- Se muestra la aplicación de la metodología de análisis de causa raíz como medio para eliminar averías recurrentes, identificando los factores críticos que generan un mantenimiento preventivo de pobre calidad.
- El desarrollo de la metodología Análisis causa Raíz, fortalece los conocimientos teóricos prácticos y manejo de los manuales de los equipos logrando habilidades para la eliminación de fallas repetitivas o malos actores.
- A través de las estrategias de confiabilidad se propone un Word method al mal actor identificando en las fallas recurrentes.

13. RECOMENDACIONES

- Antes de iniciar cualquier tipo de actividad se debe realizar el análisis de riesgo, revisar la Calibración de la herramienta (flujómetros, tetragauge, válvula de alivio).
- Se debe tener cuidado de no ir a contaminar más el sistema, al momento de realizar las pruebas, por eso se debe cuidar el aceite desde un principio su manipulación.
- El código ISO es la mejor manera de evaluar la condición de limpieza del fluido hidráulico. Todos los reservorios deben tener su respiradero adecuado y el aceite nuevo debe estar bien almacenado (lugar establecido, limpio y seco).y el llenado de los reservorios debe realizarse con las máquinas de filtrado o en su efecto directamente de la caneca nueva con una bomba neumática de succión.
- Los análisis de aceite hidráulico deben realizarse cada PM, la evaluación de eficiencia volumétrica de la bomba y el drenaje de carcasa, me indica el desgaste internamente. Menos de 92% para piñones y menos de 88% para pistones axiales, no se debe permitir.
- La revisión se deben Comparar con las gráficas de los fabricantes llevando las tendencias nos ayudara a predecir algún problema.

BIBLIOGRAFÍA

ARCINIEGAS, Álvarez Carlos Alberto. Mantenimiento Productivo Total. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. 2002. 93 p.

BERNAL MUÑOZ, Edgar. Mantenimiento y mecánica. En: Mantenimiento Predictivo. Junio, 2002. Vol. 3, no. 12; p. 63–69.

DIAZ HERNANDEZ, Jaime Alberto & TASCÓ QUINTERO, Jhon Alexander. Aplicación de la metodología análisis causa-raíz (ACR) para la reducción de fallas en las bombas de subsuelo del sistema de bombeo mecánico en pozos críticos del campo Cira-Infantas. Bucaramanga, 2007, 199h. Trabajo de Grado (Ingeniería). Universidad Industrial de Santander- Facultad de Ingenierías Fisicoquímica. Departamento de Ingeniería de Petróleos.

GARCÍA GONZÁLEZ, Quijano. Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de mantenimiento basado en el riesgo (RBM). Tesis de master. Universidad pontificia comillas, escuela técnica superior (ICAI) instituto de postgrado y formación continua. 2004.

GARCÍA PALENCIA, O. El mantenimiento general: Administración de empresas. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia. 2006. http://virtual.uptc.edu.co/drupal/files/133_mantenimiento.pdf [último acceso 8 de Octubre 2015].

GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2006.

Guía de aprendizaje. Metodología de análisis causa raíz (ACR). Disponible en http://aprendizajevirtual.pemex.com/nuevo/guias_pdf/Guia_SCO_Analisis_Causa_Raiz.pdf. [Último acceso 8 de Octubre 2015]

MELENDEZ MORENO, José Luis. Modelo Gerencial de Mantenimiento del sistema de Control distribuido (DCS) marca Honeywell en la GRB Ecopetrol. Bucaramanga, 2010, 104h. Trabajo de Grado (Ingeniería). Universidad Industrial de Santander- Facultad de Ingenierías Físico-Mecánica. Departamento de Ingeniería de Mecánica.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Aladon, 2004, 425h. México

PINILLA. Pablo. Sistemas de información. Bucaramanga. [CD_ROM]. Bucaramanga, 2008. Posgrado Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.

SANZOL, L. Implementación de plan de mantenimiento TPM en planta de cogeneración. Tesis de grado Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación. 2010.

STEGMAIER. R. VIVEROS. P. NIKULIN. C. GONZÁLEZ. V. BARBERÁ. L. CRESPO, C. PARRA, C. Generación de solución innovadora y sustentable: uso de la metodología RCA y teoría inventiva TRIZ. 6th International Mine Equipment Maintenance Meeting. Siete de Septiembre 2011. Antofagasta Chile.

VERA MUÑOZ. Hernando. Aplicación de la metodología Analisis causa raiz (RCA) para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM_ECOPELROL. Bucaramanga, 2011, 114h. Trabajo de Grado (Ingeniería). Universidad Industrial de Santander- Facultad de Ingenierías Fisico-Mecanica. Departamento de Ingeniería de Mecánica.