

ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
OPERACIONAL PARA LAS UNIDADES DEL PSL CEMENTACIÓN DE HALLIBURTON COLOMBIA

VÍCTOR ALFONSO CASTRO DÍAZ
CÓD. 2003101816

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2010

ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PLANES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO
OPERACIONAL PARA LAS UNIDADES DEL PSL CEMENTACIÓN DE HALLIBURTON COLOMBIA

VÍCTOR ALFONSO CASTRO DIAZ
CÓD. 2003101816

Trabajo de Pasantía Supervisada presentado como requisito para optar al título de ingeniero
Electrónico

Director:
GERMÁN MARTÍNEZ BARRETO
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA
2010

Nota de aceptación

Firma del Director

Firma del Evaluador

Firma del Evaluador

Neiva, 25 de Agosto de 2010

AGRADECIMIENTOS

Ofrezco mis agradecimientos a:

HALLIBURTON LATIN AMERICA S.A., por la oportunidad brindada para desarrollar este proyecto.

Al ingeniero **Gilberto Silva**, por las enseñanzas y oportunidades brindadas en el grupo IEM de Halliburton.

Al ingeniero **Hernán Lara**, asesor del proyecto, por su ayuda e importante acompañamiento durante la pasantía.

Al ingeniero **Germán Martínez**, director de pasantía, por su apoyo durante el desarrollo del proyecto.

A mis profesores, por guiarme y brindarme sus conocimientos durante el desarrollo de la carrera. Especialmente al Ing. **Bollman Blanco**, por sus incontables consejos y enseñanzas y porque siempre estuvo atento al desempeño de sus estudiantes.

A mis compañeros que me acompañaron durante el transcurrir de la etapa universitaria y compartieron conmigo sus conocimientos y destrezas. De manera muy especial a **Lina Piedad Pérez**, quien ha sido una gran amiga y compañera.

A mi familia y especialmente a mis padres, por su apoyo constante e incondicional.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION.....	17
1 CEMENTACION DE UN POZO PETROLERO.....	18
2 EQUIPOS USADOS EN LA OPERACION DE CEMENTACION	20
2.1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS	20
2.1.1 Frac Tank Trailer.....	20
2.1.2 Tanques Portatiles	21
2.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y SUMINISTRO DE CEMENTO.....	21
2.2.1 Tanques Neumaticos tipo trailer y camion.....	22
2.2.2 Tanques Neumaticos portatiles	24
2.2.3 Tanques de suministro Steady Flow	25
2.2.4 Tanques colectores de polvo	25
2.2.5 Compresor de aire	27
2.3 EQUIPOS DE BOMBEO A ALTA PRESION (EQUIPOS DE CEMENTACION)	28
2.3.1 Trailer de Cementacion Elite	29
2.3.2 Trailer de Cementacion CMT400	29
2.3.3 Trailer de Cementacion 75TC4	30
2.3.4 Camion de Cementacion CPTY4	31
2.3.5 Camion de Cementacion CPTZS4	31
2.3.6 Camion de Cementacion Red Tiger	32

2.3.7	Equipo portatil de Cementacion	32
2.3.8	Bomba de alta presion HT-400	33
2.4	EQUIPO DE MEZCLA DE FLUIDOS (BATCH MIXER)	34
2.4.1	Equipos Tipo Trailer	35
2.4.2	Equipos Portatiles	35
2.5	EQUIPO DE CIRCULACION (CABEZA DE CEMENTACIÓN)	36
2.6	PLANTA DE CEMENTO	39
3	SAP Y EL MODULO PM.....	42
4	MANTENIMIENTO OPERACIONAL	45
4.1	ANALISIS PREVIO A LA IMPLEMENTACION	45
4.1.1	Caracterizacion del proceso de Mantenimiento Operacional	46
4.1.1.1	Indicadores de control del Mantenimiento Operacional	49
4.1.2	Estudio de los equipos del PSL Cementacion	51
4.2	IMPLEMENTACION DEL PROCESO	51
4.2.1	Vinculacion de los equipos en SAP	53
4.2.2	Estrategias de mantenimiento, listas de tareas y contadores	53
4.2.3	Creacion de los planes de mantenimiento en SAP	57
4.2.4	Diseño de formatos de mantenimiento preventivo operacional.....	62
4.2.5	Vinculacion de los procesos de mantenimiento operacional a SAP	63
4.3	RESULTADOS OBTENIDOS.....	67
4.3.1	Porcentaje de cumplimiento PM SAP	68
4.3.2	Costos de mantenimiento de equipos	71

4.3.3	Porcentaje de reparaciones programadas vs no programadas.....	74
4.3.4	Proyecciones a futuro	75
5	CONCLUSIONES.....	77
6	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFIA.....	80

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Lista de tareas para un equipo con plan definido por horas.	57
Tabla 2. Programación de las inspecciones de mantenimiento preventivo y órdenes de Trabajo para un equipo con plan definido por horas.	58
Tabla 3. Programación para un plan de mantenimiento definido por días.	60
Tabla 4. Programación de los planes de mantenimiento para cinco equipos de Almacenamiento de cemento tipo tráiler de 1410 ft ³ .	62
Tabla 5. Formatos de Inspeccion diseñados para el PSL Cementacion.	65
Tabla 5. (Continuacion) Formatos de Inspeccion diseñados para el PSL Cementacion.	67
Tabla 6. Cubrimiento en mantenimiento preventivo operacional.	68
Tabla 7. Evolución del Porcentaje de cumplimiento del PSL Cementación en 2009.	69
Tabla 8. Reporte de Ordenes de mantenimiento preventivo arrojadas mes a mes.	70
Tabla 9. Cantidad de órdenes cargadas a los equipos en 2009.	71
Tabla 10. Cantidad de órdenes cargadas al PSL Cementación en 2009.	72
Tabla 11. Costos de las Órdenes cargadas a los equipos en 2009.	73
Tabla 12. Costos de las Órdenes cargadas al PSL Cementación.	73
Tabla 13. Porcentaje de Reparaciones programadas vs No programadas.	74

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diferentes tamaños de la tubería en un pozo petrolero.	18
Figura 2. Frac Tank Tráiler.	20
Figura 3. Tanque portátil de 80 Bls de dos compartimientos.	21
Figura 4. Camión Neumático de 400 ft ³ .	22
Figura 5. Tráiler Neumático de 660 ft ³ .	23
Figura 6. Trailer Neumatico de 1410 ft ³ .	23
Figura 7. Tanque Neumático Portátil.	24
Figura 8. Steady Flow.	25
Figura 9. a) Diagrama interno de un Tanque Colector de Polvo, b) Colector de Polvo.	26
Figura 10. Ubicación del tanque colector de polvo en la planta de cemento	27
Figura 11. Compresor de aire.	28
Figura 12. Tráiler de cementación Elite.	29
Figura 13. CMT400 Cementing Trailer.	30
Figura 14. 75TC4 Cementing Trailer.	30
Figura 15. CPTY4 Cementing Truck.	31
Figura 16. CPTZS4 Cementing Truck.	32
Figura 17. Red Tiger Cementing Truck.	32
Figura 18. Advantage Cementing Unit Skid.	33
Figura 19. Bomba de alta presión HT400.	33
Figura 20. Etapas de una Bomba HT400.	34

Figura 21. Batch Mixer Tráiler.	35
Figura 22. Batch Mixer portátil de 100 Bls.	35
Figura 23. Cabeza de cementación.	36
Figura 24. Instalación de una Cabeza de cementación en el Casing.	37
Figura 25. Cabeza de cementación a) Sencilla, b) Doble y c) Sencilla/Doble.	38
Figura 26. Cementación sin tapones, con tapón superior y con tapón superior e inferior.	38
Figura 27. Vista de un sector de la Planta de Cemento.	39
Figura 28. Diagrama de la planta de cemento de la Base Barrancabermeja (Colombia)	40
Figura 29. Mezcla de cemento.	41
Figura 30. Pesado del cemento. (Puede ser desde cualquier silo de la planta).	41
Figura 31. Carga de cemento en un tráiler neumático.	41
Figura 32. Pantalla principal de SAP.	43
Figura 33. Sub Menú Modulo PM.	44
Figura 34. Caracterización del proceso de prestación de servicios de Halliburton.	47
Figura 35. Caracterización del proceso de Mantenimiento Operacional del PSL Cementación.	48
Figura 35. (Continuación) Caracterización del proceso de Mantenimiento Operacional del PSL Cementación.	49
Figura 36. Fragmento de un manual de un equipo de cementación.	52
Figura 37. Máster de un equipo en SAP.	54
Figura 38. Contador de un equipo de Bombeo.	55
Figura 39. Lista de tareas para equipos de bombeo tipo tráiler 75TC3 y 75TC4.	56
Figura 40. Listado de tareas desde nivel A a D.	57
Figura 41. Asignación de frecuencia a una lista de tareas definida por horas.	58

Figura 42. Pantalla inicial previa a la creación de un plan de mantenimiento.	59
Figura 43. Pantalla principal de un plan de mantenimiento.	60
Figura 44. Iniciación de un plan de mantenimiento regido por horas.	61
Figura 45a. Fragmento de formato de inspección.	64
Figura 45b. Fragmento de formato de inspección.	64
Figura 45b. Fragmento de formato de inspección.	64
Figura 46. Cubrimiento en mantenimiento preventivo operacional.	68
Figura 47. Evolución del porcentaje de cumplimiento en 2009.	69
Figura 48. Reporte de Ordenes de mantenimiento preventivo arrojadas mes a mes.	71
Figura 49. Cantidad de órdenes cargadas a los equipos en 2009.	72
Figura 50. Cantidad de órdenes cargadas al PSL Cementación en 2009.	72
Figura 51. Costos de las Órdenes cargadas a los equipos en 2009	73
Figura 52. Costos de las Órdenes cargadas al PSL Cementación en 2009.	74
Figura 53. Total Ordenes de Mantenimiento en 2009.	75
Figura 54. Porcentaje de trabajo planeado vs no planeado en 2009.	75
Figura 55. Proyección de los costos de mantenimiento.	76
Figura 56. Proyección del alcance en el porcentaje de cumplimiento.	76
Figura 57. Proyección del porcentaje de reparaciones programadas vs no programadas.	76

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Contenido del Manual de navegación en SAP y aplicaciones básicas para el analista del Modulo PM

GLOSARIO

ACCIDENTE: Es un acontecimiento no deseado, que da por resultado un daño físico, lesión a personas, daño a la propiedad o al medio ambiente y/o pérdidas en el proceso. Generalmente es la consecuencia de un contacto con la fuente de energía por encima de la capacidad límite del cuerpo o estructura.

ADITIVOS (DE CEMENTO): son aditivos todos aquellos compuestos utilizados para modificar o mejorar las propiedades de la lechada de cementación, como son: variar la densidad, cambiar su fuerza de compresión, acelerar o retardar el fraguado, reducir su viscosidad, etc.

BARRIL: Unidad corriente para la medida de líquidos en la industria petrolera. Contiene 42 galones a 60 °F.

BOMBA: Es una máquina para desplazar un líquido a base de tomar energía de otra fuente y transmitírsela al líquido. Los tipos más comunes Son: Centrífuga, Multí-Etapa, Reciprocante, Dúplex, Simples, Rotatoria, Triple, entre otras.

DISPOSITIVOS DE ALIVIO: Son usados para proteger las líneas (tuberías), vasijas o recipientes con sobrepresiones; este exceso de presión puede desfogarse a la atmósfera o descargarse en algún otro punto de presión más baja existente en el sistema. Entre estos sistemas se encuentran las válvulas de seguridad, de alivio o descarga.

IMPACTO AMBIENTAL: Cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o benéfico, total o parcial como resultado de las actividades, productos o servicios de una organización. (NTC ISO 14001).

LODO DE PERFORACION: Son fluidos que circulan en los pozos de petróleo y gas para limpiar y acondicionar la perforación, para lubricar la broca de perforación y para equilibrar la presión de formación. Los lodos de perforación típicamente usan agua o petróleo como fluido base.

LECHADA: Mezcla de cemento, agua y/o aditivos, según el diseño requerido para el trabajo de cementación.

LITOLOGIA: La litología es la parte de la geología que trata de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas.

MEDIDOR: Es un dispositivo o aparato utilizado para determinar el valor o magnitud de una cantidad o una variable, las variables de interés son las que ayudan a definir o describir un proceso

PIES CUBICOS (ft³): El pie cúbico es una unidad de volumen, equivalente al volumen de un cubo de un pie de lado. Su abreviatura es ft³ ó cu ft.

PROCESO: conjunto de actividades mutuamente relacionados o que interactúan para transformar elementos de entrada en resultados. (NTC ISO 9000).

PSI: Se denomina psi (del inglés Pounds per Square Inch) a una unidad de presión cuyo valor equivale a 1 libra por pulgada cuadrada. PSI es la escala común, cuyo cero es la presión ambiente equivalente a una atmósfera o sea, aproximadamente 15 psi, en general no se especifica que la presión atmosférica se deja de lado y se le llama simplemente psi. Cuando es necesario dejar claro si se toma en cuenta la presión ambiente, se usa psia (o psi abs.) cuyo cero está a realmente presión cero y las primeras 15 libras de esta escala corresponden a la presión atmosférica.

PTO (Power Take Off): Toma Fuerza en español, es una especie de transmisión, por lo general en un tractor o camión, que se puede utilizar para suministrar energía a un dispositivo adjunto o una máquina separada. Está diseñado para ser fácilmente conectado y desconectado. Este mecanismo permite extraer energía del motor del tractor.

SISTEMA DE CONTROL: Permite comparar el valor de la variable o condición (a controlar) con un valor deseado y toma una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente sin que el operador intervenga en absoluto. Está compuesto por una unidad de medida, una unidad de control y un elemento final.

TAPONES DE CEMENTO: Son dispositivos normalmente fabricados de goma, utilizados para separar la lechada de cementación del espaciador o el lodo de perforación, para prevenir su contaminación y alteración de sus propiedades físico-químicas.

VÁLVULAS: Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases.

RESUMEN

Halliburton, uno de los principales proveedores de servicios Upstream a nivel mundial y nacional, tiene como objetivo ser el mejor en la industria petrolera y de gas. El logro de este éxito depende del buen estado y apropiado funcionamiento de sus equipos, para lo cual cuenta con innumerables herramientas, procesos y ayudas administrativas, capacidad logística y personal; elementos que resultan esenciales al momento de implementar programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de la compañía.

Durante el proceso de pasantía se diseñaron planes de mantenimiento preventivo programado de los equipos del PSL Cementación, con los cuales se pretende mejorar, controlar y monitorear el estado, funcionamiento y las reparaciones hechas a estos mismos. Gracias a esto, la empresa cuenta con programas de mantenimiento establecidos y que son estándar a nivel global, con los cuales se pretende llegar a un alto nivel de excelencia operacional, referida a los equipos.

Para ello se utilizó la herramienta informática y administrativa SAP, única para Halliburton S.A., y se recolectó información en distintas fuentes para lograr el diseño de los formatos de inspección de mantenimiento preventivo que serían utilizados según los tipos de equipos. De esta forma en Halliburton, cualquier analista de SAP en cualquier parte del mundo podrá supervisar y consultar fácilmente el historial de mantenimiento preventivo y correctivo, fallas, modificaciones, certificaciones, entre otros trabajos, de los equipos del PSL Cementación.

Este documento pretende que el lector conozca las diferentes etapas que se llevaron a cabo para el desarrollo e implementación del programa de mantenimiento operacional, sus alcances y logros, así como las herramientas que fueron usadas para tal fin.

ABSTRACT

Halliburton as Upstream service provider aims to be the best in the oil and gas industry. But this success depends on functional status and proper functioning of their equipments. There are many tools, processes and administrative support, logistics and personnel capacity, elements that are essential when implementing programs for preventive maintenance of company equipment.

During the internship are designed preventive maintenance plans for PSL Cementing equipments, with which it seeks to improve, control and monitor the status, operation and repairs made to the same. Thanks to this, the company has established maintenance programs that are standard worldwide, with which it intends to reach a high level of operational excellence, referring to the equipments.

It uses the administrative tool and SAP, only to Halliburton SA, and collected information from different sources to achieve the design of preventive maintenance inspection formats that would be used according to the types of equipment. Thus in Halliburton, SAP any analyst anywhere in the world can easily monitor and check the history of preventive and corrective maintenance, failures, modifications, certifications, among other works, about PSL Cementing equipments.

This document expects the reader to know the different stages that were carried out for the development and implementation of operational maintenance program, its scope and achievements, and the tools that were used for this purpose.

INTRODUCCIÓN

Fundado en 1919, Halliburton es uno de los proveedores de productos y servicios de la industria de petróleo y gas más importante del mundo, proporcionando e integrando un portafolio que incluye exploración, desarrollo de proyectos, producción, completamiento y mantenimiento de pozos, conversión y refinación. Halliburton esta constituida principalmente por dos divisiones: *Perforación y Evaluación* y *Completamiento y Producción*, que a su vez están conformadas por diferentes líneas de productos y servicios (PSL), cada una especializada en cierto tipo de servicios.

Como parte del grupo de Completamiento y Producción, el PSL Cementación es la línea que ofrece servicios de cementación de pozos petroleros, para lo cual cuenta con gran cantidad y variedad de equipos de diversas tecnologías para la realización de sus operaciones con el cliente. Estos deben estar en las mejores condiciones de funcionamiento, con el fin de lograr trabajos con altos niveles de calidad y seguridad. Para asegurarlo, el PSL requiere la creación e implementación de un programa de mantenimiento operacional y de herramientas que permitan su seguimiento, control y medición de índices de desempeño.

Para ello, Halliburton a nivel global cuenta con una red corporativa y documentación en la que se establecen estándares de calidad, seguridad, mantenimiento, mapas de procesos etc., y que provee gran cantidad de información acerca de los equipos, tales como manuales de fabricante y guías de operación y reparación, entre otros, que son necesarios para definir los aspectos mas importantes para el mantenimiento preventivo y correctivo apropiado de las unidades.

Adicionalmente, tiene a su servicio uno de los programas administrativos más completos a nivel mundial, con un gran número de aplicaciones para la gestión de la información: SAP. Una de estas aplicaciones es el modulo PM (Planeación de Mantenimiento), que brinda las herramientas administrativas necesarias para la creación, programación, ejecución, evaluación y medición de procesos de mantenimiento.

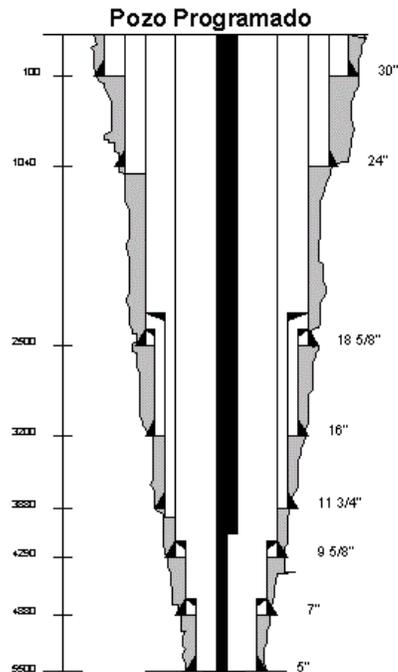
En este documento se describen aspectos básicos de una operación de cementación, los equipos diseñados por Halliburton para la ejecución de este tipo de trabajos y las herramientas estudiadas y utilizadas para la implementación de un programa de mantenimiento operacional en el PSL Cementación; programa con el cual se buscara el correcto funcionamiento de los equipos y el fácil seguimiento y control de todas las labores necesarias para lograr este fin.

1. CEMENTACION DE UN POZO PETROLERO

En las etapas de planificación de un pozo petrolero, los expertos en perforación, por lo general con la participación de geólogos y otros profesionales, determinan la profundidad deseada a la cual se realizará la perforación del agujero. Esta decisión se toma basándose en estudios realizados en el subsuelo, y se compensa con los objetivos de costos y la estrategia deseada de perforación. Finalmente, cuando está definida la profundidad y el tamaño de los agujeros a perforar, se selecciona un conjunto de tuberías de distintas dimensiones acordes con las del hoyo del pozo, comúnmente conocido como Casing, el cual será la columna vertebral del pozo.

Cada agujero perforado es lo suficientemente grande para que pueda ser insertado fácilmente el Casing, dejando un espacio para el cemento entre el exterior de la tubería y el hoyo. Además, el diámetro interior del primer conjunto de tubos debe ser bastante amplio para que el segundo conjunto encajen sin problemas, y así sucesivamente. De esta manera, cada cadena de tuberías que son instalados en el pozo tendrá un diámetro más pequeño que la anterior. La figura 1 ilustra lo mencionado, y en ella se visualiza un pozo que inicia con un Casing de 30 pulgadas, pasando por diferentes medidas, hasta llegar a 5 pulgadas.

Figura 1. Diferentes tamaños de la tubería en un pozo petrolero.



Fuente: www.monografias.com, Perforación y terminación de pozos petroleros.

La operación de Cementación es el proceso mediante el cual construye un revestimiento con cemento en el espacio entre el Casing y la pared del pozo, también llamado anular, donde su

principal objetivo es servir de soporte para la tubería, aumentar su resistencia mecánica y protegerla de fluidos corrosivos presentes en la formación. Adicionalmente, la cementación constituye una operación de gran importancia, ya que al obtener la unión de la tubería con la pared del pozo se logra maximizar la estabilidad del pozo, evitar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, evitar la comunicación entre zonas de producción, con lo cual se previene el flujo cruzado a diferentes presiones.

También evita que haya comunicación de una formación productora utilizable con otro u otros contaminados o que constituyan un horizonte ladrón o que se pretendan utilizar. En casos especiales proporcionar a un tramo de pozo la hermeticidad necesaria para realizar en él inyecciones a presión, como es el caso de la fracturación hidráulica. No obstante, en ocasiones se pueden realizar cementaciones con otros objetivos como formar un tapón de sellado en el fondo del pozo o corregir desviaciones (o a veces para provocarlas) durante la perforación.

El tipo de cemento y los aditivos que se utilicen dependerán de cada caso en concreto. Por ejemplo, para cerrar grandes cavidades durante la perforación se suele emplear cemento al que se le ha añadido productos colmatantes y/o expansivos. Asimismo, es posible jugar con la velocidad de fraguado del cemento mediante productos retardadores o acelerantes. Por ejemplo, en el caso de que se quiera limitar la penetración del cemento en las formaciones, puede acelerarse el fraguado para evitar que eso suceda.

En el caso de cementaciones parciales de la tubería, si se intenta aislar una capa "contaminante", la elección del tipo de cemento debe realizarse en función de parámetros físico-químicos tales como la litología del terreno, la composición química del agua, etc., pero también de las propias limitaciones de los equipos de cementación en cuanto a capacidades (volumen y presión) de inyección de la lechada.

2. EQUIPOS USADOS EN LA OPERACIÓN DE CEMENTACION

Halliburton es uno de los proveedores de servicios Up-Stream mas importantes en el mundo, y dentro de su portafolio ofrece a sus clientes la realización de cementación de pozos, área en el cual ha logrado posicionarse como uno de los mejores tanto a nivel nacional como internacional. Para ello, cuenta con gran cantidad de equipos y la mejor tecnología para el control de mezclado y bombeo de la lechada. A continuación serán descritos los principales equipos que intervienen en las operaciones de cementación realizados por Halliburton.

2.1 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE FLUIDOS

Este grupo de equipos está constituido por tanques portátiles y tipo tráiler, cuya función es almacenar los fluidos químicos y el agua usados en el proceso de cementación. Dependiendo de las dimensiones y duración del trabajo se emplean tanques de distintas capacidades (volumen) y características (portátil o tráiler, de uno o varios compartimientos).

2.1.1 Frac Tank Tráiler. Se trata de un tanque tipo tráiler con capacidad de 500 Bls, de uno o dos compartimientos, que puede ser movilizado con ayuda de un tracto camión. Posee una estructura que lo soporta mientras contiene fluidos (también llamado Skid), para evitar que el eje sufra daños debido al peso de estos. Por esta razón solo se puede mover cuando está completamente vacío. A continuación se muestra uno de estos equipos.

Figura 2. Frac Tank Tráiler.



Equipo 10021177. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

2.1.2 Tanques Portátiles. Son tanques de uno o dos compartimientos transportables y con capacidades de almacenamiento de: 80 Bls, 100 Bls, 120 Bls, 170 Bls, 200 Bls, 210 Bls y 250 Bls. De acuerdo al volumen de fluido que pueda contener, cada tanque varía en su forma. No obstante el propósito es el mismo. Además están dotados de un Skid que permite izarlos con ayuda de un montacargas o una grúa para transportarlos con la ayuda de una cama baja.

Figura 3. Tanque portátil de 80 Bls de dos compartimientos.



Equipo 11017876. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.2 TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y SUMINISTRO DE CEMENTO

Son equipos diseñados para el almacenamiento, abastecimiento y manipulación de cemento. También los hay de varios tipos y capacidades (medida en pies cúbicos) que son usados de acuerdo al tamaño y duración del trabajo. De esta manera se distinguen equipos tipo tráiler, tipo camión y tanques portátiles.

Estas unidades emplean energía neumática para la manipulación del material y están diseñados para trabajar a una presión de aire máxima de 39.5 psi. Dicha presión es suministrada por un sistema de aireación de gran tamaño que básicamente esta compuesta de un compresor. Se requiere uno así para poder almacenar y manipular materiales condicionales dentro del tanque con aire. De esta manera, se conservan mezclas de fluidos o soluciones de aire y materiales secos. Cuando las válvulas de descarga se abren, la presión del tanque mantiene la aireación de los materiales estable a través de la línea de descarga hasta que el tanque queda vacío.

2.2.1 Tanques Neumáticos tipo tráiler y camión. Estas unidades están diseñadas para transportar cemento y mezclas, desde los centros de acopio hacia otras unidades de abastecimiento que se encuentran en las locaciones o para ser directamente descargados en equipos de bombeo durante un trabajo de cementación. Estos equipos son: el Camión Neumático de 400 ft³, el Tráiler Neumático de 660 ft³ y el Tráiler Neumático de 1410 ft³.

La figura 4 ilustra un camión neumático, con capacidad de transportar y abastecer 400 ft³ de cemento y que esta dotado de los siguientes componentes principales: dos tanques neumáticos con capacidad de 200 ft³, respectivamente; un tanque surtidor separador (Steady Flow, el cual se detallara en el numeral 2.2.3) con capacidad de suministro de 21 ft³; un colector de polvo (que será descrito en el numeral 2.2.4) y; un dispositivo de transmisión de fuerza o PTO (por su sigla en ingles de Power Take Off), el cual maneja el sistema de aireación, dándole una capacidad de surtir 270 sacos por minuto (sc/min) a una presión de 29 psi.

Figura 4. Camión Neumático de 400 ft³.



Documento técnico H02688, 400-ft³ Pneumatic Truck with Drum Blower, pág. 1. Fotos autorizadas personal Halliburton.

El Tráiler Neumático de 660 ft³, que se muestra en la figura 5, es una unidad compuesta principalmente por: dos tanques de 330 ft³, un tanque surtidor separador con su respectivo colector de polvo, un compresor de aire que provee una capacidad de suministro de 172 ft³ por minuto y variedad de Manifolds con válvulas para el cargue y descargue de aire y materiales de cemento. Todo esto montado en un chasis tipo tráiler de doble suspensión para poder ser transportado con la ayuda de un tracto camión.

En la figura 6 se observa un tráiler neumático de 1410 ft³, el cual, a diferencia del anterior equipo, fue diseñado y desarrollado con el propósito de proveer el abastecimiento y manipulación de materiales solo en el trabajo y no para transportarlos. Esto se debe a su gran capacidad de almacenamiento y dimensiones, características que dificultan que su estructura pueda soportar el peso de dichos materiales mientras es movilizado.

Figura 5. Tráiler Neumático de 660 ft³.



Documento técnico H02689, Model 660 Pneumatic Cementing Trailer, pág. 1. Fotos autorizadas personal Halliburton.

Figura 6. Trailer Neumatico de 1410 ft³.



Equipo 11294334. Fotos autorizadas personal Halliburton.

De esta manera, cuando se va a realizar una operación de cementación, el equipo debe ser llevado y ubicado en la localidad del pozo con anticipación, para luego abastecerlo con el material requerido para el trabajo. Cuando la unidad esta llena de cemento se puede sostener sin problemas, ya que esta provista de un chasis que a la vez sirve de Skid y que por su configuración, permite que el eje y suspensión queden “flotando” sin sufrir daño alguno.

La unidad consiste en tres tanques neumáticos de abastecimiento y un tanque neumático surtidor con una capacidad de abastecimiento total de 1,410 ft³, a una presión máxima de 39.5 psi. Además esta provisto de un compresor de aire con capacidad de suministro de 172 sc/min a 40 psi. Enumerados de adelante hacia atrás, los tanques tienen capacidades de 380 ft³, 425 ft³ y 435 ft³, respectivamente, mientras que el tanque surtidor tiene capacidad para suministrar 170 ft³ de material.

2.2.2 Tanques Neumáticos Portátiles. Estos equipos están diseñados para el suministro de cemento, ya sea en un centro de acopio de la compañía, o en el lugar de trabajo. Por tratarse equipos portátiles, es necesario que el sistema de abastecimiento sea armado mediante tanques neumáticos, compresor auxiliar y tuberías de carga y descarga. Si se requiere, pueden ser utilizados tanques surtidores y colectores de polvo.

Los tanques neumáticos son usados principalmente para armar dichos sistemas en locaciones donde se realizan trabajos de cementación de manera constante, con lo que se logra tener disponibilidad de los equipos neumáticos de transporte. También en lugares muy retirados o donde se dificulta el frecuente ingreso de cemento, o en sitios claves que representan una potencial base de acopio por su ubicación estratégica en medio de una zona con alta densidad de pozos petroleros donde trabaja la empresa.

De acuerdo a los requerimientos, las capacidades de los tanques pueden ser de 220 ft³, 230 ft³, 330 ft³, 550 ft³, 620 ft³, 650 ft³, 800 ft³, 1000 ft³, 1200 ft³ y 1500 ft³. La figura 7 muestra un tanque de 1000 ft³.

Figura 7. Tanque Neumático Portátil.



Equipo 10865164. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.2.3 Tanques de suministro Steady Flow. Como su nombre en ingles lo indica, se trata de un tanque con capacidad de 80 ft³ que permite el suministro continuo de cemento, sin importar la cantidad que contenga o las variaciones de presión de aire. Es un equipo con el cual se puede obtener un abastecimiento constante y uniforme de material, minimiza la emisión de polvo y ayuda a un mejor control de densidad de la lechada.

Esto es logrado gracias a que posee diversidad de válvulas manuales y automáticas que liberan la excesiva presión de aire, suministran el cemento y conducen el polvo hacia el colector de polvo o hacia una lona destinada para esta labor. Además, pese a que es un tanque diseñado para trabajar a una presión máxima de 80 psi, el equipo es graduado para suministrar material a una presión constante entre 6 psi y 9 psi.

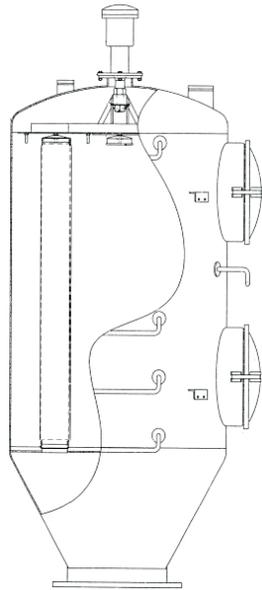
Figura 8. Steady Flow.



Documento técnico H02691, 80-ft³ (2.26 m³) Steady-Flow Separator, pág. 1. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.2.4 Tanques colectores de polvo. Al manipular materiales como el cemento con sistemas de aire, este genera grandes volúmenes de polvo que debe ser expulsado de los tanques neumáticos. Sin embargo, como este polvo constituye un contaminante ambiental, un material nocivo para la salud del personal que esta en el área de trabajo y contiene material que puede recuperarse, en vez de desecharse, es necesaria la utilización de un tanque que lo contenga y separe el aire que se puede expulsar al ambiente, del cemento que se puede reutilizar. Este equipo es el tanque Colector de Polvo, y se ilustra en la figura 9.

Figura 9. a) Diagrama interno de un Tanque Colector de Polvo, b) Foto de un colector de Polvo.



a)



b)

Fuente figura a) Technology Bulletin CEQ-02-013, pág. 2, b) Equipo 10859153. Fotos autorizadas personal Halliburton.

Esta unidad funciona de tal manera que el polvo que ingresa a una presión determinada (según la presión del tanque de suministro), produzca un “ciclón”. El fenómeno se genera debido a que la mezcla de materiales volátiles entra por la tangente del recolector hacia la pared de la porción superior del tanque y viaja por el interior de la pared produciendo un efecto de ciclón. Los materiales más pesados se separarán e irán a depositarse al fondo del recolector. El aire se exterioriza a través de una válvula de escape que se encuentra en el tope del recolector de polvos. En la parte inferior posee una válvula para vaciar el tanque y recoger el material que puede ser reutilizado o desechado. Dicha válvula debe permanecer cerrada durante la operación de cementación.

En el caso de los centros de acopio o plantas de cemento, donde la cantidad de cemento manipulado es bastante grande, la válvula permanece abierta y debajo del Colector hay un tanque en el cual cae el cemento por gravedad, llamado Tanque de Residuos. Debajo de este ultimo, esta un tanque Neumático con el cual se recoge el cemento y se ubica en algún silo para su reutilización o simplemente es descargado para disposición final. La figura 10 muestra la ubicación de los tanques mencionados en una planta de cemento.

También es usada una combinación del efecto ciclón y una(s) bolsa(s) o lona(s) recolectora(s), donde el aire ventilado pasa a través ella(s) antes de que sea liberado a la atmósfera. Los Tanques Colectores que poseen esta combinación, como es el caso del equipo que se muestra en las figuras 9 y 10, liberan el aire a través de una válvula que al ser accionada por presión, activa un pistón cuyo movimiento se aprovecha para sacudir la(s) lona(s) y evitar la excesiva acumulación de cemento en las mismas.

Figura 10. Ubicación del tanque colector de polvo en la planta de cemento.



Planta de Cemento Barrancabermeja (Colombia). De arriba hacia abajo, equipos 10859153, 10351445 y 10351439, respectivamente. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.2.5 Compresor de aire. Este equipo es en los sistemas de suministro de cemento, uno de los elementos mas importantes debido a la tarea que desempeña. Es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar fluidos compresibles, que en este caso es aire. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética, impulsándola a fluir.

Estas unidades son máquinas térmicas, ya que el aire, al ser compresible, sufre un cambio apreciable de densidad y también de temperatura; además son maquinas neumáticas ya que alimentan redes y sistemas de este mismo tipo. El uso específico que se le da en las operaciones de cementación, es suministrar la energía que hace fluir el cemento desde los contenedores hacia los equipos de mezcla. En el caso de los centros de acopio o plantas de cemento, desplazan el cemento desde los camiones o tráiler surtidores hacia los silos y viceversa.

Los compresores usados en el PSL Cementación de Halliburton, son de tipo recíproco o alternativo, que utilizan pistones (sistema bloque-cilindro-émbolo). Durante su funcionamiento, abren y cierran válvulas que con el movimiento del pistón aspira y comprime el aire gracias a un motor de combustión interna incorporado. Son equipos tipo Skid, con lo cual se facilita montarlos o desmontarlos de los equipos neumáticos tipo tráiler, para tareas de reparación, para ser reemplazados, o para ser usados de forma independiente con otros equipos.

Figura 11. Compresor de aire.



Equipo 11036293. Fotos autorizadas personal Halliburton.

Algunos de los Skid's poseen un motor Detroit 3-35 diesel, que proporciona en promedio 64 HP (caballos de fuerza); y otros, un motor Lister HR-3 diesel, con un promedio de 44 HP. Los dos son utilizados por igual como compresores, donde el tipo de motor es opcional. Tienen una capacidad de suministro de 172 sc/min a 40 psi. La velocidad máxima del compresor es 1,750 rpm. Sin embargo, la velocidad de los compresores por debajo de los 1,750 rpm es la adecuada para la mayoría de los rangos de descarga de cemento, ya que es menor la presión de aire que genera. La válvula de descarga del compresor trabaja a 35 psi con una pérdida de 3 psi.

2.3 EQUIPOS DE BOMBEO A ALTA PRESION (EQUIPOS DE CEMENTACION)

Estos son equipos empleados para mezclar y bombear la lechada hacia el pozo. Dependiendo de la tecnología que empleen para el control del proceso y la forma como realice la mezcla de cemento, existen varios tipos de equipos diseñados por Halliburton para esta tarea. Sin embargo, el propósito es el mismo y en su estructura son muy similares.

Los equipos de bombeo se encargan de regular la mezcla entre el cemento, agua y aditivos para lograr la densidad y características apropiadas de la lechada. Para ello cuentan con tanques de mezcla, bombas de succión y recirculación, y bombas de alta presión para la descarga de la mezcla hacia el pozo. También cuentan con sistemas electrónicos de sondeo y regulación de densidades, temperatura, caudal, etc.

Halliburton ha diseñado para las operaciones de cementación, distintos equipos que cuentan con diversas tecnologías para el mezclado y operación del mismo y con distintas capacidades. Estos equipos se mencionaran a continuación.

2.3.1 Tráiler de cementación Elite. Diseñado para operaciones de alto desempeño, este equipo cuenta con la más avanzada tecnología de control de mezcla de cemento. Está equipado con un sistema que controla automáticamente la densidad de la lechada y un sistema electrónico de control altamente flexible de última tecnología. Esto permite obtener mezclas de alta densidad, alta viscosidad y a una máxima rata de bombeo.

Figura 12. Tráiler de cementación Elite.



Documento técnico 101622692, The HCR Elite® Cementing Trailer, pág. 1. Fotos autorizadas personal Halliburton.

Además, posee dos motores de gran caballaje para sus dos bombas de alta presión, un motor auxiliar que le da potencia a los demás sistemas del equipo (los tres motores producen una potencia conjunta de 1.025 HP), una bomba de succión, una bomba de recirculación, un tanque de mezcla con capacidad de 8 Bls y un tanque de desplazamiento con capacidad de 20 Bls.

2.3.2 Tráiler de Cementación CMT400. Se trata de un equipo dotado de una sola bomba de alta presión y de un tanque neumático con capacidad de 120 sc., el cual lo hace diferente a las demás unidades de bombeo, pues al tratarse de trabajos donde la cantidad de cemento requerido es mínima, esta es más que suficiente y no requiere la participación de otros equipos.

Cuenta también con un motor principal de 335 HP, un motor auxiliar que provee potencia a los demás sistemas de la unidad, un tanque de mezcla de 8 Bls, un tanque de desplazamiento de 10 Bls, una bomba de succión, una bomba de recirculación y un sistema electrónico de control.

Figura 13. CMT400 Cementing Trailer.



Equipo 10025182. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.3.3 Tráiler de Cementación 75TC4. Se trata de un equipo similar al tráiler tipo Elite, a diferencia del sistema de control electrónico, el cual es de tecnología más antigua. Los dispositivos que lo componen son similares a los de la unidad Elite y también fue diseñado para alto desempeño. Se podría afirmar que el tráiler 75TC4 precede al Elite.

Figura 14. 75TC4 Cementing Trailer.



Equipo 10021281. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.3.4 Camión de Cementación CPTY4. Es un equipo que fue diseñado principalmente para poder realizar trabajos a temperaturas extremas (-34°C a 45°C). Gracias a esta versatilidad, se ha convertido en uno de los equipos más confiables y eficientes en las operaciones de cementación.

Figura 15. CPTY4 Cementing Truck.



Documento técnico H05750, Halliburton CPT-Y4™ Severe Environment Cementing Unit, pág. 1.
Fotos autorizadas personal Halliburton.

Esta equipado con dos motores de 475 HP para sus dos bombas de alta presión, una bomba de succión, una bomba de recirculación, un tanque de mezcla con capacidad de 8 Bls y un tanque de desplazamiento con capacidad de 20 Bls, un sistema que controla automáticamente la densidad de la lechada y un sistema electrónico de control altamente flexible de última tecnología, similar a un equipo Elite.

2.3.5 Camión de Cementación CPTZS4. Se trata de un camión cuyo motor de 312 HP es el que le da la potencia a todo el equipo, incluyendo a su única bomba de alta presión. También esta equipado con un tanque de desplazamiento de 20 Bls, un tanque de mezcla de 8 Bls, bomba de succión, bomba de recirculación y sistema de control electrónico.

Es un equipo diseñado para trabajos rápidos y con seguridad, pues esta dotado de tuberías de descarga ya ensambladas y un riel con una manguera, también de descarga, con una longitud de 150 ft y capacidad de 5000 psi. Esto proporciona agilidad en el momento de ejecutar el trabajo, además de seguridad.

Figura 16. CPTZS4 Cementing Truck.



Documento técnico H04889, Halliburton CPT-ZS4™ Cementing Unit, pág. 1. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.3.6 Camión de Cementación Red Tiger. Al igual que el camión CPTY4, este es un equipo para trabajos a temperaturas extremas, pero a diferencia de este, tiene solo un motor de 520 HP (además del motor del chasis) y una bomba de alta presión. Los demás componentes son similares en las dos unidades.

Figura 17. Red Tiger Cementing Truck.



Documento técnico H06516, Halliburton Red Tiger™ Cementing Unit, pág. 2. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.3.7 Equipo portátil de cementación. Se trata de un equipo con similares características a un tráiler 75TC4, pero portátil, montado sobre un Skid, principalmente diseñado para trabajos en plataformas marinas.

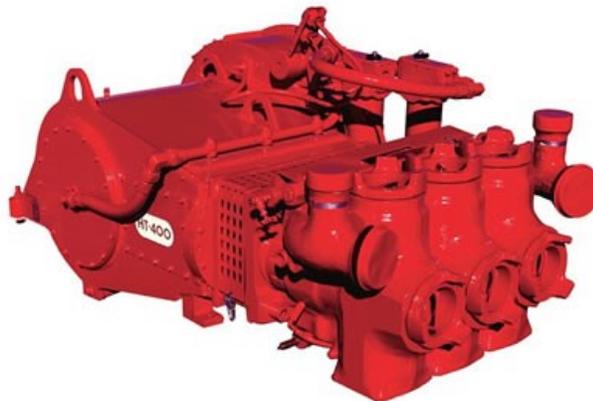
Figura 18. Advantage Cementing Unit Skid.



Documento técnico 101410939, HCS Advantage™ Skid - Safety, Operation, and Maintenance Manual, pág. 1. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.3.8 Bomba de alta presión HT-400. Son equipos utilizados para bombear la mezcla de cemento hacia el pozo. Estas van montadas sobre los equipos de bombeo y dada la importancia en la operación, la potencia con la cual maniobra y la presión que maneja (hasta 20,000 psi), se ha clasificado como un equipo que requiere de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo diferente del equipo sobre el cual va montado. A continuación se ilustra en la figura 19.

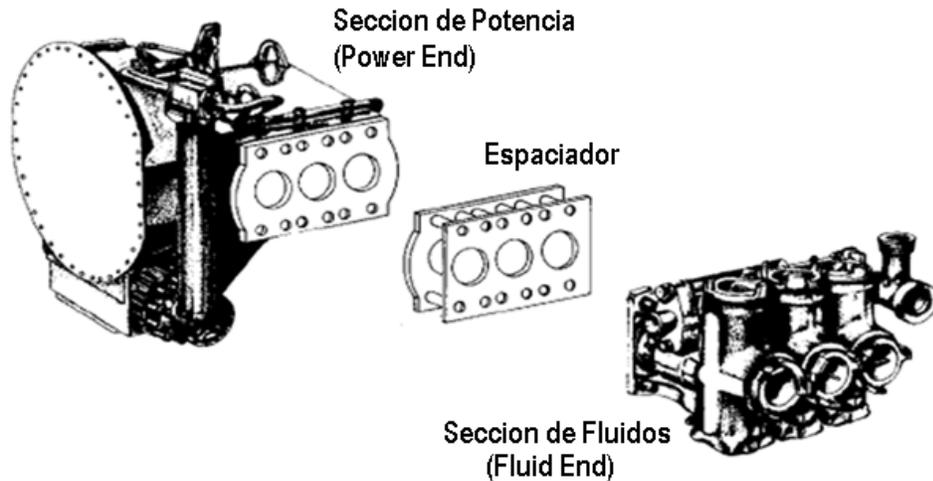
Figura 19. Bomba de alta presión HT400.



Documento técnico 100002809, HT-400™ Pump Maintenance and Repair Manual, pág. 1. Fotos autorizadas personal Halliburton.

La Bomba HT400 esta conformada por tres partes esenciales: la etapa de potencia (Power End), el espaciador (Spacer) y la etapa de salida del fluido bombeado (Fluid End). La figura 20 muestra dichas etapas.

Figura 20. Etapas de una Bomba HT400.



Documento técnico 316.11294, HT-400 Pump Maintenance and Repair Manual, Section 1, pág. 1.
Fotos autorizadas personal Halliburton.

La primera sección es la parte que esta directamente engranada con el motor que le suministra la potencia para el movimiento. Su función principal reducir la velocidad de revoluciones del motor para convertir esto en fuerza (Torque) a través de sus engranajes. Además, transforma el movimiento circular en lineal mediante tres pistones.

El espaciador es la parte que esta entre el Power End y el Fluid End. Su función es impedir la comunicación de fluidos entre estas etapas. Finalmente, el Fluid End es la parte que se encarga de utilizar la energía suministrada por la etapa de potencia para mover el fluido bombeado.

Es importante aclarar que de estas etapas, solamente hace parte del mantenimiento preventivo operacional, la etapa de fluidos. Las otras dos hacen parte del mantenimiento preventivo de tipo mecánico, por lo cual no se fue incluido en este análisis.

2.4 EQUIPO DE MEZCLA DE FLUIDOS (BATCH MIXER)

Este es un equipo de mezcla con diversas capacidades medidas en barriles (Bls), que fue diseñado por Halliburton para mezclar lechadas de cemento y líquidos petroleros usados en variedad de procesos, como son lodos de perforación y espaciadores. Los hay de tipo tráiler y portátil. Su nombre Batch se refiere a la medida o cantidad de lechada que es mezclada. La capacidad es denominada "batch". Esto corresponde a lo que en español se llama "Lote".

Son principalmente usados en operaciones de cementación donde se requieren cantidades de lechada totalmente homogéneas, donde la capacidad del tanque de mezcla de la unidad de bombeo es insuficiente (10 y 20 BLS contra 100 BLS de este equipo).

2.4.1 Batch Mixer Tipo Tráiler. La figura 21 muestra un equipo tipo tráiler. Esta equipado con dos tanques, cada uno con 50 Bls de capacidad de mezcla. Dichos tanques pueden ser usados de forma independiente, lo cual permite mezclar en uno un fluido diferente al contenido en el otro. Sin embargo, al momento del bombeo, debe hacerse de forma secuencial.

Figura 21. Batch Mixer Tráiler.



Documento técnico 101605800, BMR-100 Batch-Mixer Trailer Operation and Maintenance Manual, pág. 1. Fotos autorizadas personal Halliburton.

2.4.2 Batch Mixer Portátil. Los equipos portátiles tienen capacidades de 25 Bls, 50 Bls y 100 Bls. Estos últimos también tienen dos tanques de 50 Bls cada uno y la única diferencia con los mezcladores tipo tráiler, es precisamente su característica de portátil. En cuando a los dispositivos que lo conforman (motor, bombas y equipo de control, principalmente), son exactamente iguales.

Figura 22. Batch Mixer portátil de 100 Bls.



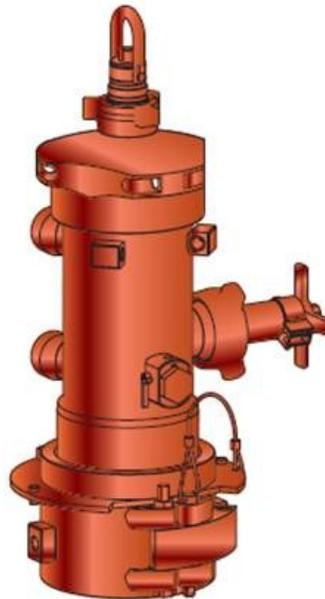
Equipo 10021064. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

Existen algunos equipos de 25 Bls y 50 Bls que son solo tanques de mezclado que se complementan con los mecanismos de los equipos de bombeo a alta presión, de los cuales se extrae la potencia para su funcionamiento. A continuación se ilustra un equipo de este tipo.

2.5 EQUIPO DE CIRCULACION (CABEZA DE CEMENTACION)

Este conjunto de equipos lo constituyen principalmente las cabezas de cementación. A continuación se ilustra.

Figura 23. Cabeza de cementación.



Documento técnico 100004707, Casing Sales Manual, Section 3, pág. 9. Fotos autorizadas personal Halliburton.

En el momento en que se va a realizar el trabajo de cementación del pozo, primero se conecta la cabeza de cementación al Casing. Básicamente la función de este equipo es conectar el equipo de bombeo con la tubería de revestimiento. Sin embargo, dependiendo de la clase de trabajo que se vaya a realizar, se requieren lechadas que permitan el bombeo continuo (ininterrumpido) o discontinuo (que se puede pausar) de las mismas. En el caso de las primeras, son mezclas de cemento con un tiempo de fraguado muy corto, por lo cual es arriesgado interrumpir el bombeo, pues el cemento podría fraguar antes de lo esperado. En el segundo caso, el diseño de la lechada permite interrumpir el bombeo sin que se arriesgue la integridad del pozo.

Cuando todo esta listo para la cementación, inicialmente se bombea un fluido para producir recirculación en el pozo. Dicho fluido por lo general es lodo de perforación. Luego se debe colocar

un tapón inferior o un zapato (Tapón cuando el extremo inferior del tramo a cementar no es el extremo del casing; zapato cuando juntos extremos coinciden), que se encarga de separar la mezcla de cemento del primer fluido. Este tapón es impulsado hasta la parte inferior de la etapa a cementar mediante el bombeo de un fluido (espaciador) usado para limpiar el Casing y separar el lodo del cemento, con lo que se evita que la lechada se contamine. Cuando se da paso a la mezcla de cemento, la presión de bombeo desplaza al espaciador (ya que deben ser completamente incompatibles) hasta el límite del segmento a cementar. Por último, se instala un tapón superior, que será impulsado al bombear lodo nuevamente, hasta donde está ubicado el tapón inferior. De esta forma, el cemento es desplazado hacia el anular y al fraguarse se convierte en la pared del Casing.

Figura 24. Instalación de una Cabeza de cementación en el Casing.

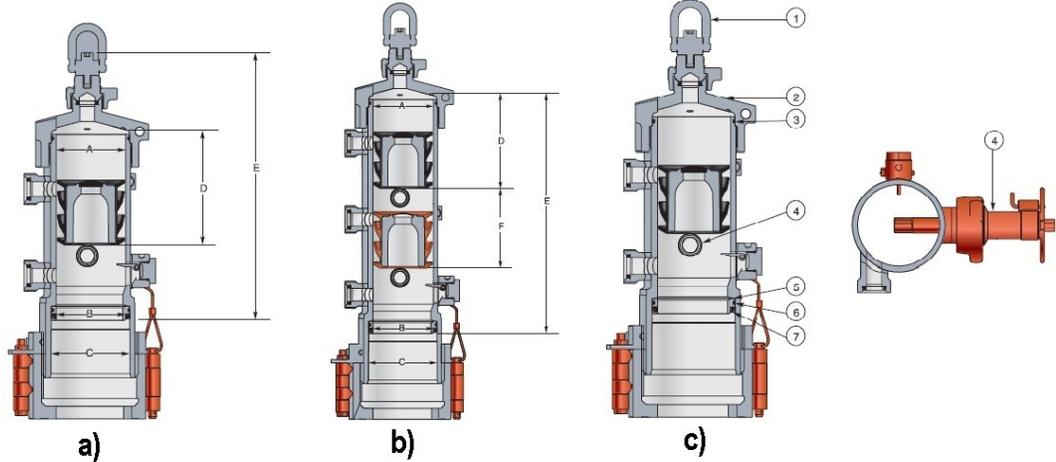


Documento técnico H03102, Compact Plug Container, págs. 2 y 3. Fotos autorizadas personal Halliburton.

La cabeza de cementación es entonces, el equipo que permite realizar la labor de bombeo en la secuencia descrita, y es ahí donde son instalados los tapones inferior y superior que aíslan el cemento de los lodos y otros agentes contaminantes que puedan alterar las propiedades de la lechada. Sin embargo, como se menciona que existen trabajos donde el bombeo puede ser o no interrumpido, existen diferentes clases de estos equipos que permiten la ejecución del proceso según como se requiera. Básicamente se trata de cabezas de cementación sencilla, doble y sencilla/doble. Estas se ilustran en la figura 25.

La cabeza de cementación sencilla se usa para trabajos donde pueda ser interrumpido el bombeo de la lechada. De esta forma es impulsado el tapón inferior según el proceso anteriormente mencionado y, cuando se deba instalar el tapón superior, simplemente se abre la cabeza en la parte superior, se coloca el tapón, se cierra de nuevo el equipo y se reanuda el trabajo. Este tipo de cabeza se ilustra en la figura 25a.

Figura 25. Cabeza de cementación a) Sencilla, b) Doble y c) Sencilla/Doble.

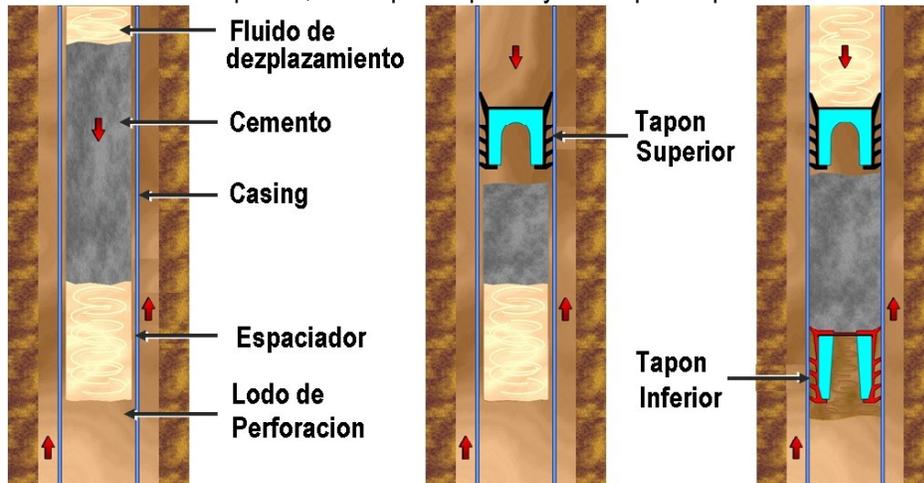


Documento técnico 100004707, Casing Sales Manual, Section 3, pág. 10, 11 y 12. Fotos autorizadas personal Halliburton.

En la figura 25b, se muestra una tipo doble. Posee tres válvulas por las cuales, de abajo hacia arriba, por la primera se bombea el lodo de perforación para recirculación; por la del medio se bombea el espaciador (que impulsa el tapón inferior) y luego la lechada; y por la superior se bombea el fluido de desplazamiento (que impulsa el tapón superior y con el, la mezcla de cemento).

Por ultimo, la cabeza sencilla/doble es un equipo que puede ser usado de cualquiera de las dos formas y es ilustrado en la figura 25c. Hay que tener en cuenta que no siempre los trabajos de cementación requieren el uso de los tapones inferior y superior. Puede realizarse sin los dos o solo con el segundo. La figura 26 muestra el desplazamiento de los fluidos en el pozo, en los tres casos.

Figura 26. Cementación sin tapones, con tapón superior y con tapón superior e inferior.



2.6 PLANTA DE CEMENTO

La planta de cemento es el área en la cual se prepara el suministro de cemento requerido para los trabajos de cementación de pozos. Es un área que se encuentra en diferentes bases de operación de Halliburton, constituida por tanques de cemento (funcionando como silos, tanques de mezcla y tanques de suministro) tanques colectores de polvo y sistemas de aireación (compresores) interconectados entre si.

Figura 27. Vista de un sector de la Planta de Cemento.



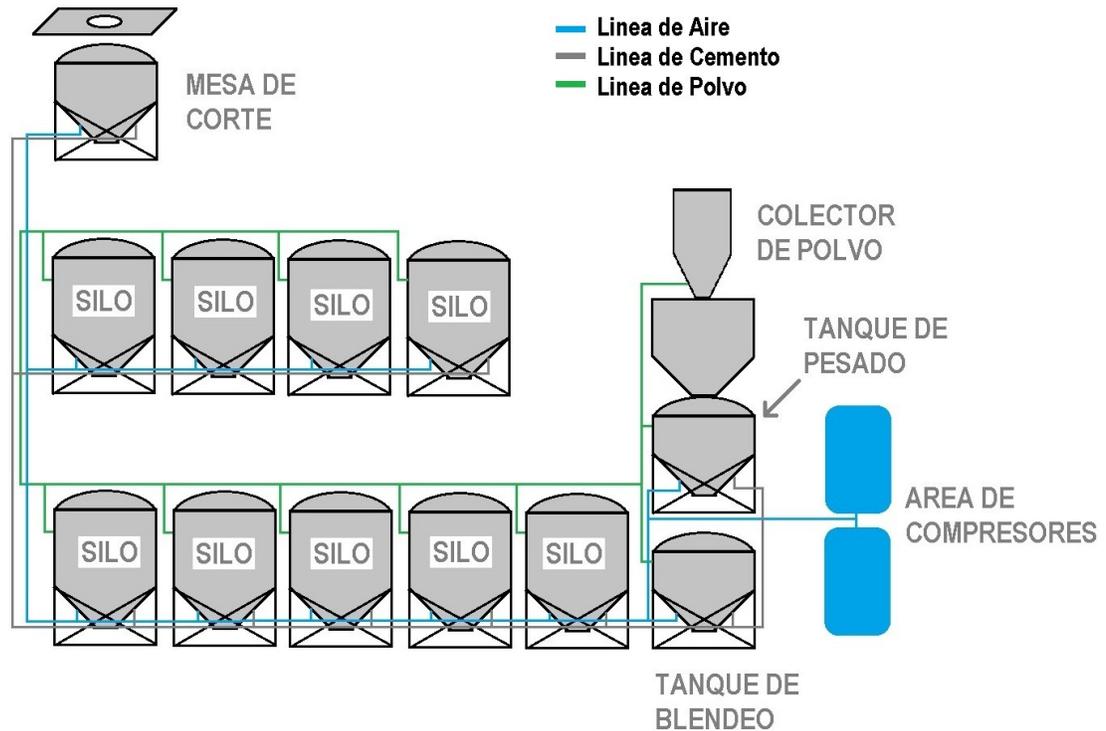
Fotos autorizadas personal Halliburton. Planta de Cemento Base Barrancabermeja (Santander, Colombia).

En la planta se recibe el cemento enviado por el proveedor, el cual se revisa para efectos de control de calidad y antes de almacenarlo es pesado para verificar que la cantidad recibida es la solicitada. El proveedor puede suministrar cemento principalmente de tres formas: En sacos, en big-bags (un contenedor de fibra con 1500 Kg) y a través de tanques neumáticos. Si se recibe de la última forma, simplemente se conecta la salida del tráiler a la tubería de carga de la planta y por medio de energía neumática se vierte el material en el tanque de pesado. Luego se traslada a los silos de almacenamiento.

Cuando es recibido en sacos o big-bags, se vierte manualmente en un tanque neumático, el cual esta provisto de una "Mesa de Corte", llamada así por la operación que en ella se ejecuta, que es

cortar las bolsas donde viene embalado el cemento, para que caiga dentro del tanque. Cuando este se llena, se tapa para poder bombear el cemento hacia los silos. Si hay mas material, se abre de nuevo el tanque para seguir con el procedimiento de “corte”.

Figura 28. Diagrama de la planta de cemento de la Base Barrancabermeja (Colombia)



Dependiendo del diseño de la lechada que se requiera en cada operación de cementación, existirán diferentes tipos de cemento, con o sin aditivos. Estos no se pueden mezclar, por lo cual la planta de cemento esta provista de varios silos que sirven para almacenar separadamente los diferentes tipos de cemento usados en los trabajos. Además, para el proceso de mezclado del cemento con los aditivos, se tiene un tanque llamado tanque de mezcla (Blending Tank), que junto con el tanque de pesado (Scale Tank), es usado para realizar dicha tarea. Cuando se requiera “tanquear” un tráiler neumático para transportar cemento hacia el pozo, simplemente se conecta el tráiler a la tubería de salida de la planta y, mediante el sistema de aireación, se vierte el cemento de alguno de los silos en el tanque de transporte. Las figuras 29, 30 y 31 muestran el proceso de mezclado, pesado y cargue del cemento en un tráiler neumático.

Dado que la planta de cemento se trata de un conjunto de elementos interconectados, requieren además del plan de mantenimiento individual de cada equipo, un plan de mantenimiento general, el cual los involucre a todos y a los sistemas que los conectan como una sola unidad.

Figura 29. Mezcla de cemento.

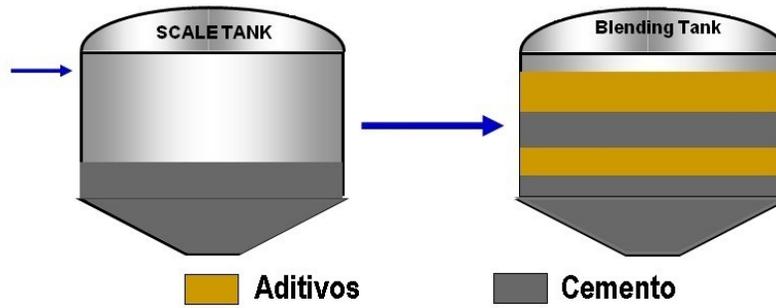


Figura 30. Pesado del cemento. (Puede ser desde cualquier silo de la planta)

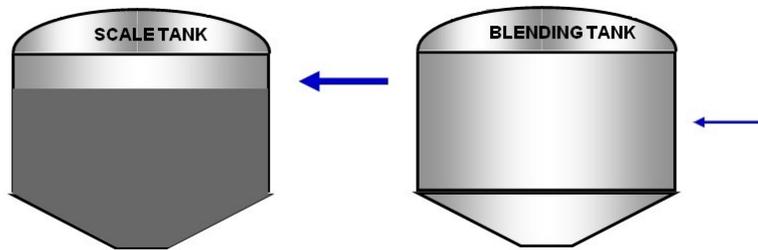
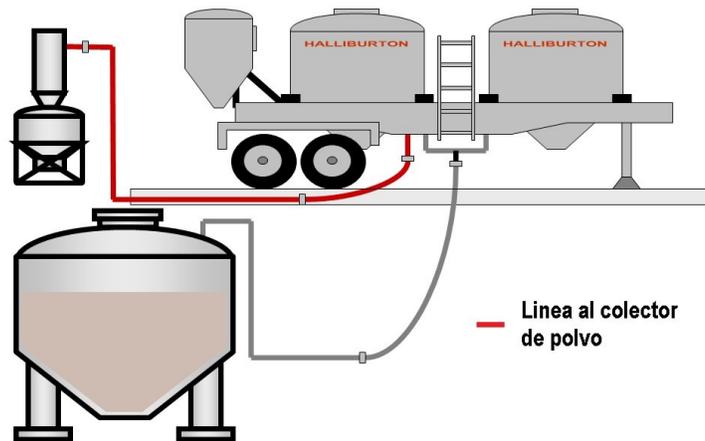


Figura 31. Carga de cemento en un tráiler neumático.



3 SAP Y EL MODULO PM

Como empresa, SAP (Systeme, Anwendungen und Produkte – Sistemas, Aplicaciones y Productos), con sede en Walldorf (Alemania), es el segundo proveedor mas grande de software empresarial en el mundo. Comercializa un conjunto de aplicaciones de software para soluciones integradas de negocios. Como producto, SAP es un software empresarial que consta de diversidad de aplicaciones de planificación de los recursos empresariales como por ejemplo, las de gestión de la cadena de suministro de productos y/o servicios, gestión de las relaciones con el cliente, gestión del ciclo de vida de un producto, gestión de las relaciones con los proveedores, gestión de recursos humanos, gestión del mantenimiento de los equipos, entre otros.

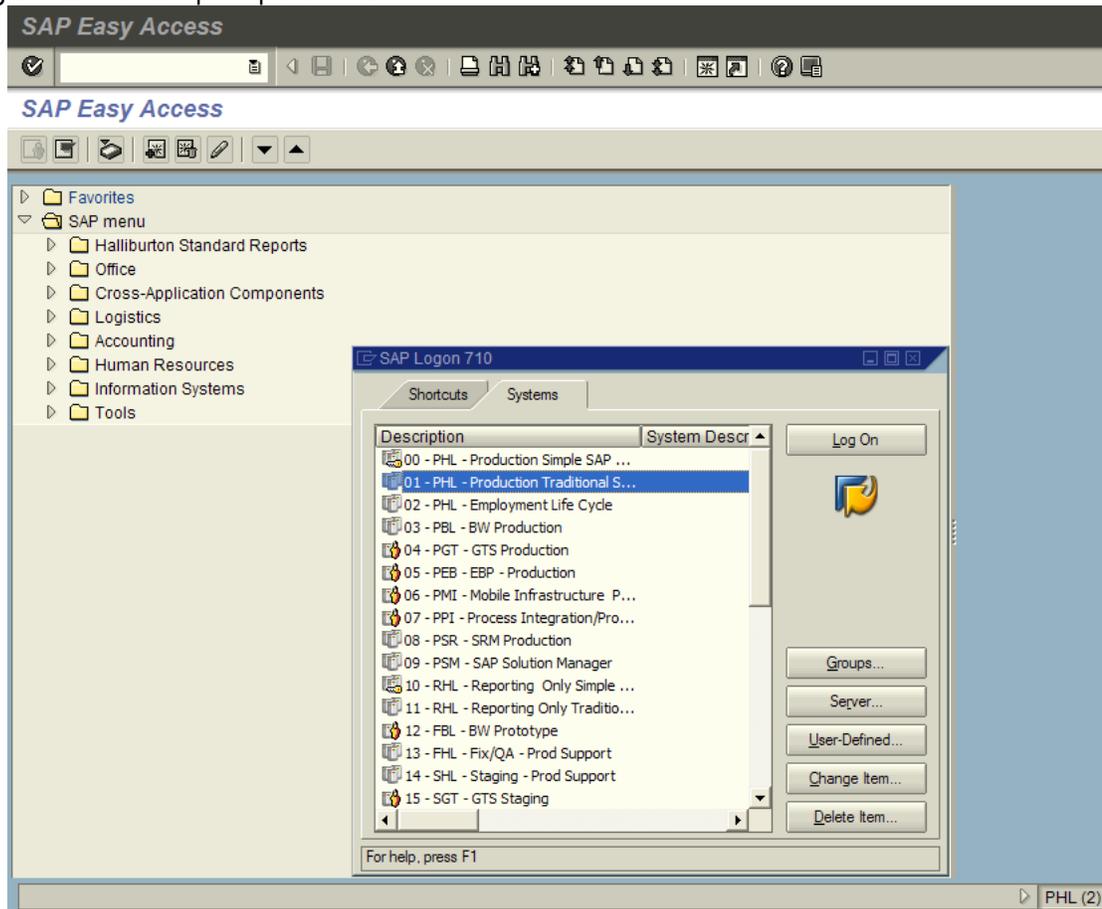
SAP trabaja en el sector de software de planificación de recursos empresariales (o ERP por las siglas en inglés de Enterprise Resource Planning). El principal producto de la compañía es el software SAP ERP, llamado desde mediados de 2007 como SAP R/3, en el que la R significa procesamiento en tiempo real y el número 3 se refiere a las tres capas de la arquitectura de proceso: bases de datos, servidor de aplicaciones y cliente. Este es el software utilizado por Halliburton. La figura siguiente ilustra la pantalla principal de SAP. En ella se visualiza el menú desde el cual se accede a cada uno de los módulos de trabajo del software. Según el cargo ocupado en la empresa, cada empleado tiene acceso a determinados módulos y funciones.

Los principales módulos de SAP R/3 en Halliburton son los siguientes:

- Gestión Financiera (FI): Libro mayor, libros auxiliares, contabilidad en general, etc.
- Controlling (CO): Gastos generales, costes de producto, cuenta de resultados, centros de beneficio, etc.
- Tesorería (TR): Control de fondos, gestión presupuestaria, flujo de efectivo.
- Sistema de proyectos (PS): Grafos, contabilidad de costes de proyecto, etc.
- Gestión de personal (HR): Gestión de personal, cálculo de la nómina, contratación de personal, etc.
- Mantenimiento (PM): Planificación de tareas, planificación de mantenimiento, etc.
- Gestión de calidad (QM): Planificación de calidad, inspección de calidad, certificado de, aviso de calidad, etc.
- Planificación de producción (PP): Fabricación sobre pedido o para stock, fabricación en serie, etc.
- Gestión de material (MM): Gestión de stocks, compras, verificación de facturas, etc.
- Ventas y Distribución (SD): Ventas, expedición, facturación, precios, clientes, etc.
- Workflow (WF), Soluciones sectoriales (IS): Contienen funciones que se pueden aplicar en todos los módulos
- Activos Fijos (AF), Ingresos, depreciación y amortización de activos fijos. (Sub módulo de FI).
- Cuentas contractuales (FICA): Cuentas para clientes masivos (telefonía, cía. de electricidad, universidades, autopistas, etc.)
- Presupuestos (FM): Presupuestación pública o privada.

- Viajes (TM): Manejo de viajes, reservas y gastos adicionales.
- Bussines Warehouse (BW): Sistema de soporte para la toma de decisiones (Business Intelligence)

Figura 32. Pantalla principal de SAP.



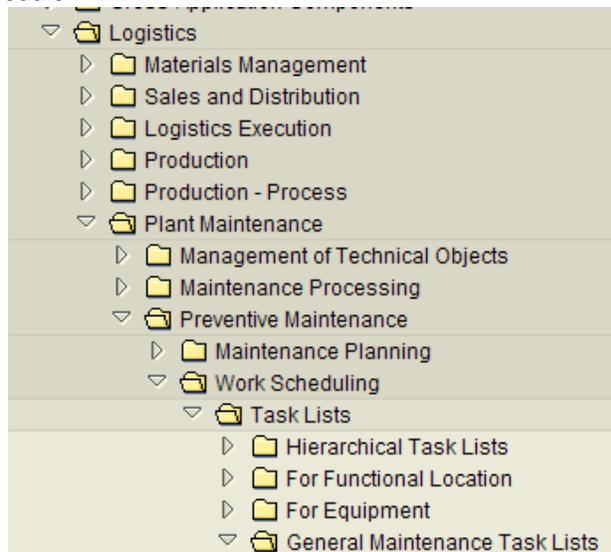
Pantallazo de SAP en un PC de la compañía. Fotos autorizadas personal Halliburton.

Actualmente, SAP constituye la principal aplicación en Halliburton a nivel global, pues es con esta herramienta con la que se administra en tiempo real la actividad de la compañía en todos sus aspectos, desde la contratación de personal nuevo, hasta la venta de sus productos y servicios. Además, es la principal base de datos de la empresa. Tanto es así, que gran cantidad de documentos usados para soportar la ejecución de importantes procesos en la empresa, aunque hagan parte de los archivos físicos en sus locaciones, no son suficiente soporte sin su respectiva documentación en SAP.

Uno de estos importantes procesos es el mantenimiento de los equipos. En el software, consiste en un modulo creado y diseñado para administrar esta vital tarea: el Modulo PM (Planning Maintenance). Desde aquí se realiza la creación de los equipos (incluirlos en la base de datos), se

crean y programan sus planes de mantenimiento, son determinadas las frecuencias de ejecución de los trabajos de mantenimiento, se crean contadores y listas de tareas a realizar, se generan los órdenes de trabajo, se solicitan partes y/o servicios a proveedores externos y/o internos, entre muchas otras funciones. El módulo PM se encuentra en el menú Logistics. A continuación se ilustra el menú desplegado

Figura 33. Sub Menú Módulo PM.



Fragmento de la pantalla de SAP donde se visualiza el Submenú PM. Fotos autorizadas personal Halliburton.

Sin embargo, dada la importancia que tiene SAP para el manejo de la compañía y por tratarse de una gran base de datos en tiempo real, esta tiene una aplicación de entrenamiento con la que los usuarios aprendices pueden practicar con base en información y procesos reales, pero sin modificarla. Los cambios son guardados solo en el módulo de entrenamiento, el cual es completamente igual a la plataforma real que se maneja para la empresa. De esta manera se puede tener confianza en métodos como ensayo y error para lograr el mejor aprendizaje y visualizar los efectos de los procesos llevados a cabo.

4 MANTENIMIENTO OPERACIONAL

En Halliburton, el mantenimiento de los equipos es liderado por IEM (Internal Equipment Maintenance – Mantenimiento Interno de Equipos), que es el grupo que se encarga de soportar a los PSL en las labores relacionadas con el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos en las áreas de mecánica, electricidad y electrónica.

No obstante, algunas de las Líneas de la compañía tienen la responsabilidad de realizar las reparaciones de algunas partes de sus equipos y algunos dispositivos que no tienen que ver con los campos que cubre IEM y que son de uso y conocimiento exclusivo del personal que las conforma. En el caso del PSL Cementación, algunos de estos sistemas son: las tuberías, las válvulas, tanques de mezcla, tanques neumáticos, colectores de polvo, surtidores de cemento, mangueras, cabezas de cementación, entre otros. Por ello, al trabajo de revisión y reparación de estos sistemas por parte del personal de Cementación se le llama Mantenimiento Operacional.

Sin embargo, hay aclarar que en estas labores no se excluyen por completo los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos, pues, aunque no se revisan en detalle, sus respectivas reparaciones se dejan bajo la responsabilidad del personal de IEM mediante un reporte de falla. Esto es debido a que la visión que se tiene al implementar el Mantenimiento Operacional, es que los equipos del PSL Cementación estén en óptimas condiciones de operación. De esta manera, se revisan aspectos como: el apropiado funcionamiento de un motor, el buen estado del sistema de frenos, de la suspensión, del chasis, del sistema de luces, etc., componentes que al presentar una falla, serian la causa de tener un equipo no operativo.

4.1 ANALISIS PREVIO A LA IMPLEMENTACION

La finalidad del mantenimiento preventivo es encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas en los equipos. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades encaminadas a asegurar el correcto funcionamiento de los equipos del PSL Cementación. Antes de empezar a mencionar los pasos requeridos para establecer un programa de mantenimiento preventivo, es importante analizar algunos aspectos a tener en cuenta:

- a) Definición: Como su nombre lo indica el mantenimiento preventivo se diseña con la idea de prever y anticiparse a las fallas de los equipos, utilizando para ello una serie de información acerca de los distintos sistemas, sub-sistemas e inclusive partes. Bajo esta premisa se diseña el programa con frecuencias calendario o por uso del equipo, para realizar revisiones de rutina, cambio de partes, reparaciones, ajustes, etc., que se consideran importantes realizar para evitar fallas.
- b) Alcance: Todos los equipos del PSL Cementación de Halliburton Colombia.

- c) Beneficios: Las ventajas que conlleva la implementación del mantenimiento preventivo operacional son: Reducción de las fallas y de los tiempos de equipo parado, incremento de la vida útil de las unidades, optimización del uso de los recursos, disminución de los niveles de inventario en materiales requeridos para reparaciones y reemplazos de partes y, ahorro de dinero.
- d) Costos: Siempre existen costos asociados con la implementación de cualquier programa, ya que entre otras cosas, se requiere tiempo, mano de obra calificada, entrenamiento, sitios de trabajo, herramientas y equipo. En el caso específico del PSL Cementación, la idea es poder definir, controlar y mermar estos costos, ya que en su mayoría cuenta con todo lo mencionado, pero se usa sin control.

Definidos estos aspectos, ahora se determinan los pasos para implementar el mantenimiento preventivo operacional:

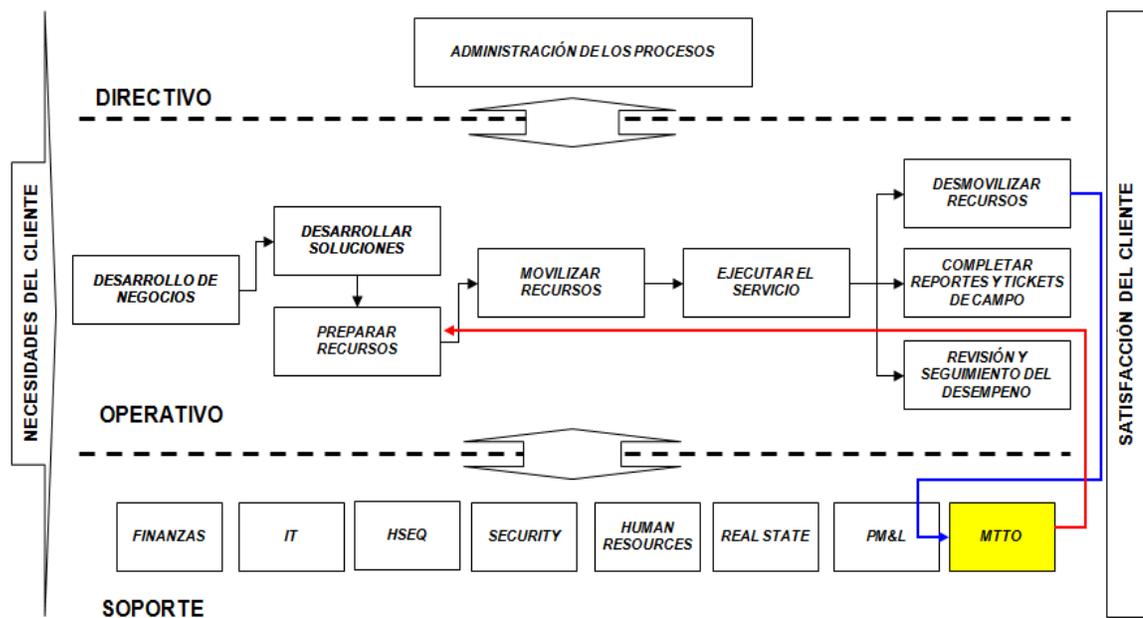
- a) Fijar metas y objetivos: establecer qué es lo que se quiere obtener con el programa, que principalmente es: Incrementar la disponibilidad de los equipos en condición operativa, reducir las fallas (especialmente las imprevistas), incrementar la utilización del modulo PM SAP para documentar todas las reparaciones realizadas a los equipos, sean o no programadas y realizar la mayor cantidad de inspecciones preventivas sobre los equipos.
- b) Establecer los requerimientos para el mantenimiento preventivo: decidir que aspectos se deben incluir, tales como: Equipos con plan de mantenimiento, áreas operativas, practicas de mantenimiento, prioridad del programa, indicadores de medición de desempeño, planes de entrenamiento de personal y la organización de la información necesaria.
- c) Procedimientos de mantenimiento preventivo: Se debe incluir los procedimientos detallados que deben ser completados en cada inspección. Esto es incluido en un formato que contenga un listado de tareas a realizar, diagramas a utilizar, planos de la máquina, ajustes, calibraciones, arranque y prueba, reporte de condiciones, carta de condiciones, manual del fabricante, recomendaciones del fabricante, observaciones, etc. Además, todo esto debe ser relacionado a una orden de mantenimiento y responder a una frecuencia de ejecución.

Finalmente, al tener organizadas las ideas previas a la implementación del Proceso de Mantenimiento Operacional para los equipos del PSL Cementación, se procede con el estudio detallado de ellos, el análisis y entrenamiento en el manejo del modulo PM SAP y la consulta de estándares y documentación técnica de Halliburton. Con esto se llega al primer paso de la implementación, que es determinar la forma como se realizara el proceso, el personal responsable, los soportes y documentos necesarios y los métodos que servirán para evaluar su progreso. A esto se le denomina caracterización.

4.1.1 Caracterización del Proceso. Describe el Mantenimiento Operacional, estableciendo su objetivo, alcances, responsables y los indicadores con los cuales se evaluara para garantizar su control. Para ello, se tomo como referencia el mapa de procesos general de servicios de la

compañía, que se muestra en la figura 34. En éste se ve claramente como los grupos de mantenimiento, liderados por IEM, juegan un papel indispensable para mantener los equipos en excelentes condiciones de seguridad y desempeño, para así ofrecer un servicio de calidad y lograr la satisfacción del cliente. De acuerdo con esto y siguiendo los lineamientos establecidos para la realización de procesos de mantenimiento de los equipos de Halliburton, se definió como caracterización del proceso de Mantenimiento Operacional para los equipos del PSL Cementación, al diagrama que se muestra en la figura 35.

Figura 34. Caracterización del proceso de prestación de servicios de Halliburton.



Información autorizada por personal Halliburton. Tomado del Halworld.

De esta caracterización, algunos aspectos a tener en cuenta son los siguientes:

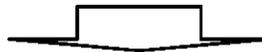
- Los reportes de fallas de los equipos se realizan a través de un formato de Pre/Post Trabajo, el cual es diligenciado por el operador de la unidad antes y después de cada trabajo. También se reportan fallas mediante los formatos de inspección preventiva.
- La necesidad de modificación y actualización de algún equipo es autorizada solo desde Houston, por la gerencia global, y debe ser soportada con documentación técnica que demuestre que dicha reforma aporta mejoras al desempeño en calidad, seguridad y medio ambiente del equipo, respecto de su diseño original.

Figura 35. Caracterización del proceso de Mantenimiento Operacional del PSL Cementación.

**MANTENIMIENTO OPERACIONAL CEMENTACION
CARACTERIZACION DEL PROCESO**

OBJETIVO: Mantener Equipos del PSL Cementación en condiciones óptimas de operación, cumpliendo con las normas minimas de Calidad, Salud, Seguridad y Medio Ambiente exigidos por Halliburton, Clientes Externos y entes gubernamentales al menor costo posible y en el tiempo acordado.

PROVEEDOR (SOLICITANTE)	ENTRADA
Global de Mantenimiento de Equipos	Estandar de mtto preventivo de cada equipo
Desmovilizar Recursos	Reporte de fallas del equipo
Global de Mantenimiento de Equipos	Necesidad modificacion y actualizacion equipos
Ejecutar el servicio	Reporte de fallas del equipo



ACTIVIDADES CRITICAS DEL PROCESO
Inspeccion Mantenimiento Preventivo de Equipos
Reparaciones encontradas en mantenimiento preventivo
Mantenimiento No Programado
Modificaciones y Actualizaciones de Equipos (Acompañamiento de IEM)
Reconstruccion y Construccion de Equipos (Acompañamiento de IEM)



SALIDAS
Equipos Reparados
Preparar Recursos

RECURSOS	FUENTE
PM SAP	IT
Personal calificado	HR/HRD
Instalaciones	REAL ESTATES
Equipos de computo	IT
Herramientas adecuadas	PM&L
Repuestos de mantenimiento	PM&L

REGISTRO	UBICACION
Listado Formatos Inspeccion de Mantenimiento Preventivo de Equipos	Archivo
Listado Formatos Inspeccion de Pre post Trabajo	Archivo
Formato de Planeacion de Mantenimiento Mensual	Archivo

Información autorizada por personal Halliburton.

Figura 35. (Continuación) Caracterización del proceso de Mantenimiento Operacional del PSL Cementación.

INDICADORES			
INDICADOR	META	RESPONSABLE	FRECUENCIA
% Cumplimiento Programacion Inspecciones PM	>90%	Maintenance Leader	Mensual
% Mantenimiento Programado vs No Programado.	> 80% Prog. < 20% No Prog.	Maintenance Leader	Mensual
% Porcentaje de Done Right Index	>95%	ZI Manager	Mensual

Información autorizada por personal Halliburton.

- El estándar de mantenimiento preventivo de un equipo es un documento que a nivel mundial, lo diferencia del procedimiento que debe ejecutarse a los demás. En el caso del estándar que se quiere implementar a nivel de Mantenimiento Operacional, no hay estándares globales, por lo cual se diseñaran para luego solicitar aprobación.
- Una inspección de mantenimiento preventivo es la actividad que se ejecuta según el estándar de mantenimiento preventivo de un equipo.
- Reparaciones encontradas en mantenimiento preventivo, son aquellas fallas que se hallaron después de la ejecución de una inspección. Estas reparaciones son de tipo programado.
- Mantenimiento no programado, son aquellas tareas de reparación de un equipo resultantes de fallas que ocurrieron inesperadamente, y que no fueron determinadas mediante una inspección preventiva.
- Las modificaciones, actualizaciones, reconstrucción y construcción de los equipos de la compañía, son principalmente tarea de IEM. Sin embargo, en aquellos componentes que hacen parte del sector operativo, el personal del PSL Cementación tomara la responsabilidad, teniendo al grupo de soporte como guía.
- Las fuentes de los recursos mencionados están constituidos por los grupos de soporte de Halliburton, que son: IT (Tecnología e Información), HR/HRD (Recursos Humanos), Real Estate (Administrador de Facilidades) y PM&L (Compras, Materiales y Logística).
- El registro esta constituido por la documentación de los procesos de mantenimiento preventivo y correctivo ejecutado sobre los equipos, así como los formatos sobre los cuales fueron solicitadas dichas labores.

4.1.1.1 Indicadores de control del Mantenimiento Operacional. Son cifras que permiten evaluar y controlar el proceso de Mantenimiento Operacional. Estos muestran como se esta ejecutando y a

través de su análisis, pueden ser tomadas decisiones que busquen mantener o mejorar en desempeño y calidad. Estos indicadores son los siguientes:

- a) Porcentaje de Cumplimiento Programación Inspecciones PM: Mide la cantidad de Inspecciones de Mantenimiento Preventivo ejecutadas en el mes, respecto a las planeadas para ese mismo intervalo de tiempo. La meta se fija a nivel global. Para este caso, fue fijada en 90%, ya que en esta cifra están incluidos todos los grupos de mantenimiento de Halliburton.

Esta cifra se toma de SAP y es generada desde el momento en que se crean los planes de mantenimiento de los equipos, los cuales son los que arrojan con determinadas frecuencias, las ordenes de trabajo o inspecciones preventivas. Para lograr dar cumplimiento es necesario que dichas órdenes sean ejecutadas y posteriormente documentadas en SAP. Matemáticamente este indicador está definido por:

$$\% \text{ Cumplimiento} = \frac{\text{Ordenes de Mito Prev Ejecutadas en X mes}}{\text{Total Ordenes de Mito Prev Generadas en X mes}} \times 100$$

- b) Porcentaje de Mantenimiento Programado vs No Programado: Como su nombre lo indica, esta cifra mide la cantidad de reparaciones programadas, contra las imprevistas. Idealmente lo que se busca es que todas las reparaciones sean programadas y por consiguiente, que los equipos no presenten fallas durante su operación.

Este valor también se toma de SAP, lo cual genera la necesidad de documentar todas las reparaciones que sean realizadas a los equipos, sean o no tareas programadas, lo que a su vez determina un reto para el personal, que es estar capacitado para el manejo del módulo PM SAP. El indicador está definido mediante las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ RPM} = \frac{\text{Total Ordenes RPM en X mes}}{\text{Total Ordenes RPM y UNSC en X mes}} \times 100$$

$$\% \text{ UNSC} = \frac{\text{Total Ordenes UNSC en X mes}}{\text{Total Ordenes RPM y UNSC en X mes}} \times 100$$

Donde RPM significa en inglés Resulting from Preventive Maintenance, refiriéndose a las ordenes de trabajo que resultaron de Inspecciones Preventivas, y UNSC, de Unscheduled, que se refiere a las ordenes de trabajo resultantes de fallas no previstas.

- c) Porcentaje de Done Right Index: Este es un sistema usado para medir el rendimiento general del trabajo. Se basa en un compuesto de otros cinco indicadores clave: Cero Incidentes HSE, Cero costos de pobre calidad, Cero tiempo no productivo, Objetivo Alcanzado y Satisfacción del Cliente. Esta cifra ayuda a controlar y mejorar el servicio y los comportamientos de cambio mediante el descubrimiento de oportunidades de mejora.

Este indicador es sacado de documentación ajena al proceso de mantenimiento operacional y tiene que ver específicamente con la calificación del cliente. Sin embargo, dado que una falla producida por el mal estado de un equipo puede generar que alguno de los cinco indicadores mencionados anteriormente se vea alterado, es importante que se tenga en cuenta para la evaluación de los trabajos de mantenimiento.

Así, el documento del módulo PM SAP que es soporte para un porcentaje de Done Right bajo, es la orden de mantenimiento de tipo no programada correspondiente a la reparación que resulto de la falla que causo la insatisfacción del cliente. No tener generadas órdenes de trabajo a raíz de este tipo de sucesos sería lo deseable para tener un programa de mantenimiento que genere un buen resultado en el porcentaje de Done Right Index.

4.1.2 Estudio de los equipos del PSL Cementación. Esto se realizó con base a los manuales de las unidades, de donde se tomo información acerca de los componentes principales, las prácticas de mantenimiento recomendadas por el fabricante, procedimientos de operación, caza-fallas, listados de partes, etc. La figura 36 muestra un fragmento de un manual de un equipo de cementación.

Con esto se busca en lo posible, que los formatos de inspección preventiva que se diseñaron y los procedimientos que en ellos están consignados, sean acordes con los requerimientos mínimos del fabricante y de la compañía. Adicionalmente, deben ser apropiados para asegurar el buen desempeño de los equipos durante las operaciones de cementación.

También, la asesoría constante del grupo IEM fue de vital importancia, pues las frecuencias de ejecución de las inspecciones operacionales deben estar sincronizadas a las establecidas por este grupo. Esto merma los gastos por equipo parado y asegura una efectiva planeación para el mantenimiento general y completo del equipo. Además, como ya se había mencionado, IEM es el grupo de soporte que lidera y administra las labores de mantenimiento generales de Halliburton, y también los procesos asociados con el módulo PM SAP.

4.2 IMPLEMENTACION DEL PROCESO

Para llegar a este punto fue importante tener claridad en los siguientes aspectos:

- Caracterización del proceso de mantenimiento operacional.
- Estándares de Halliburton para el mantenimiento de equipos.
- Frecuencias y niveles definidos para las inspecciones preventivas de los equipos de acuerdo a las establecidas por IEM.
- Especificaciones y recomendaciones del fabricante de los equipos.
- Requerimientos de los clientes, de la empresa y entes gubernamentales.

Figura 36. Fragmento de un manual de un equipo de cementación.

Section
1

Introduction

Overview

This manual provides information on the major components and systems of the HCR Elite® cementing trailer. Operating procedures, descriptions of major components, and basic maintenance information will be covered in a task-oriented manner. An operator can best use this manual for operation theory, training, basic setup of the unit, and preventative or periodic maintenance. If maintenance and repair for major components is needed, see the referenced repair manuals. A list of maintenance and repair manuals for other components is included in this manual.

Basic Equipment Report

Access to the Basic Equipment Report (BER) for this unit is essential for overall short-term and long-term maintenance of this unit. The receiving location of this unit should receive the BER shortly after the unit is delivered from manufacturing. The BER will contain the material number to which the particular trailer was manufactured and all of the pertinent drawings used by manufacturing for assembling the unit. Additionally, the BER includes critical information such as pump fluid-end sizes, drawings that show how the unit was assembled, manufacture date, and other options.

Important

If the unit is transferred from one location to another, the BER should be sent along with the unit. If the BER is not sent, the location that owns the trailer should request it from the previous location or request another copy from the Duncan Technology Center.

De esta manera se procedió a la creación en SAP de la base de datos necesaria para implementar el mantenimiento preventivo operacional. El objetivo es:

- Tener todos los equipos de Cementación creados en SAP.
- Definir estrategias de mantenimiento, crear listas de tareas y contadores en SAP para cada uno de los equipos que así lo requieran.
- Crear planes de mantenimiento preventivo operacional programado para cada uno de los equipos, acorde con los planes de mantenimiento definidos por IEM.
- Diseñar los formatos de inspección preventivos para cada tipo de equipos.
- Vincular todos los procesos de mantenimiento operacional a SAP y definir un sistema para su administración, actualización de contadores, creación de órdenes de trabajo, etc.

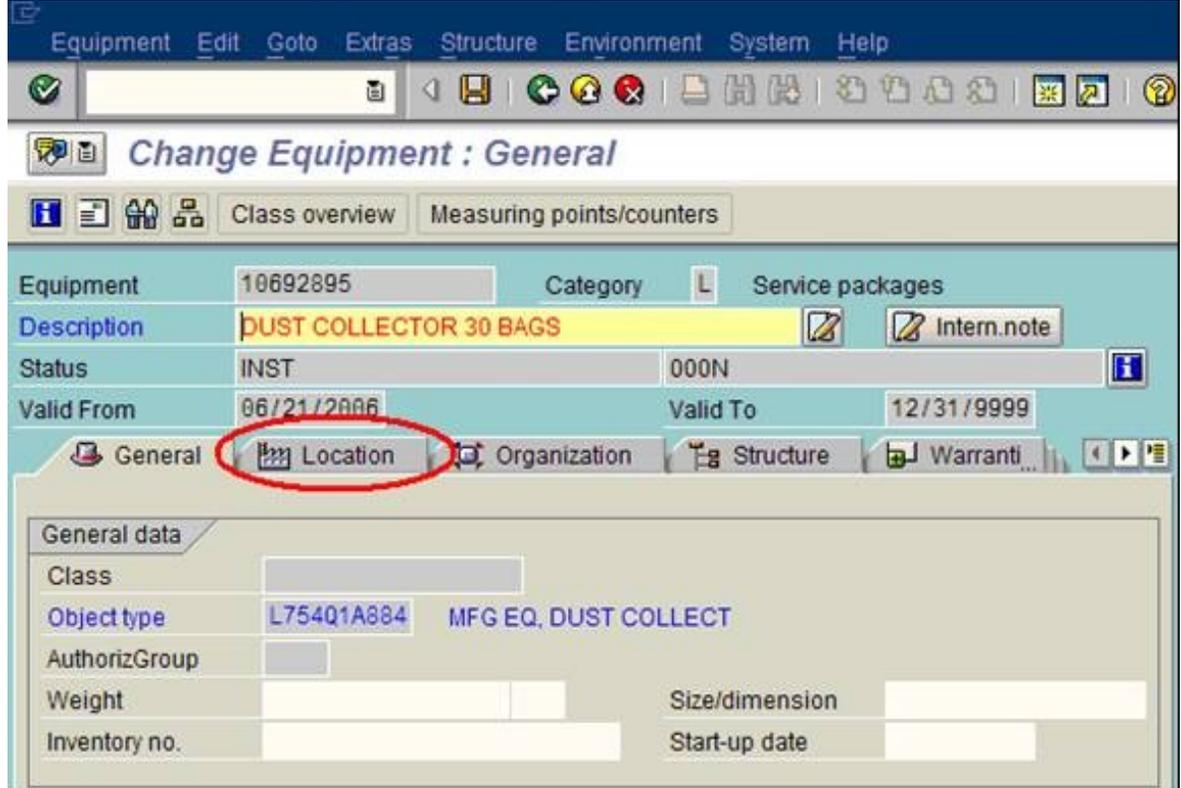
4.2.1 Vinculación de los equipos en SAP. Esto consiste en tener en la base de datos de SAP a todos y cada uno de los equipos de Halliburton Cementación. Mediante la creación de estos en SAP, se le es asignado el PSL al cual pertenecen, el centro de costos, tipo de equipo, características generales, un número único de identificación, etc., con lo cual pueden ser identificados desde cualquier parte del mundo. Al documento guardado en SAP que contiene toda esta información de un equipo se le llama Máster, el cual, entre otras cosas, permite editar información como ubicación, placa, licencia temporal, seriales, etc., que pueden ser consultados desde cualquier parte sin necesidad de tener el equipo físicamente presente.

En el caso de un equipo nuevo, su creación en SAP ya esta definida por IEM inmediatamente ingresa a un país determinado. Si son equipos transferidos, IEM solo les asigna el nuevo PSL y centro de costos correspondientes del país al cual se transfieren. Para el caso del desarrollo del proceso de implementación de planes de mantenimiento operacional, se verifico que todos los equipos de Cementación estuvieran vinculados a SAP. En el caso de los que no se encontraron, se notifico al gerente de país de IEM para que los creara, pues es este grupo el encargado de esta labor. La figura 34 muestra la ventana en SAP correspondiente al máster de un equipo creado.

4.2.2 Estrategias de mantenimiento, listas de tareas y contadores. Constituyen aspectos importantes en la programación de SAP, pues definen los niveles de inspección a ejecutar y la medida de la frecuencia con la cual se realizan (horas, días, kilómetros), así como su control.

Una estrategia de mantenimiento es la definición de cómo se va a realizar el mantenimiento preventivo programado de un equipo. A nivel global, desde Houston se definen estrategias para cada país donde opera Halliburton. De esta forma se evita la excesiva multiplicación de información. Ya en cada región, los líderes de mantenimiento seleccionan la estrategia que mas convenga para el equipo, teniendo en cuenta también los estándares de la empresa, las recomendaciones del fabricante, las condiciones de operación de las unidades, etc.

Figura 37. Máster de un equipo en SAP.



Modulo PM SAP. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

Para el caso de Halliburton Colombia existen las siguientes estrategias principales de mantenimiento. Para los equipos con Mantenimiento Operacional de Cementación, se emplean las tres primeras.

- BOGHRS: Estrategia por horas.
- BOGDAY: Estrategia por días.
- BOGJOB: Estrategia por trabajos.
- BOGKMS: Estrategia por kilómetros.

Por ejemplo, en el caso de un plan de mantenimiento regido por una estrategia de horas, el equipo requiere la creación de un contador. Este es un vínculo que se crea en el máster del equipo en SAP, y que va ligado con un contador físico instalado en el equipo. Este contador debe ser de horas (horómetro) y suministra la información de las horas que tiene el equipo operando (o encendido). Dicho contador debe ser actualizado frecuentemente por el analista de SAP, quien ingresa al contador e incluye la lectura tomada en el equipo. La figura 38 muestra un contador creado en SAP para un equipo de cementación:

Figura 38. Contador de un equipo de Bombeo.

General Data	
MeasDocument	6980964
Measuring point	3037858
MeasPosition	PM METER
Equipment	11122273
Description	TRCK TWIN HT400 CPTY4 6X4

Document data	
MeasurementTime	06/23/2009 / 09:43:23
Characteristic	PM_HOURS
CharactUnit	hr
Counter reading	1476
Difference	33
TotalCtrReading	1476
Valuation code	
Text	Victor Castro PrePost Viaje 0001

Additional information	
Read by	HX36965
ProcessStatus	

Modulo PM SAP. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

En el caso de un plan de mantenimiento regido mediante una estrategia por días, simplemente se actualiza mediante la cuenta de los días calendario desde el momento en que es iniciado. Por ello no requiere la creación de un contador.

Otras estrategias que requieren la creación de un contador son las que se rigen por trabajos (JOB), Kilómetros y millas. En el caso del contador de trabajos, este no requiere un contador físico en el equipo, sino que se actualiza al sumar uno a uno, cada trabajo que se ha realizado con el equipo. En el caso del contador de kilómetros o millas, el dispositivo físico que mide esa magnitud es el tacómetro o hubodómetro. En el momento en que el contador físico se daña o falla, este debe ser cambiado y mediante programación en SAP, es nuevamente iniciado. De esta manera no se altera el histórico del equipo.

Por ultimo, una lista de tareas es, como su nombre lo indica, un listado de instrucciones de mantenimiento. En SAP es un documento que se crea para un determinado tipo de equipos, que cumplen con las mismas características. Por ejemplo, todos los tanques de almacenamiento de cemento, sin importar sus capacidades. A esta lista de tareas se le asigna una estrategia y se definen las instrucciones según la frecuencia del mantenimiento. A continuación se muestra el encabezado de una lista de tareas.

Figura 39. Lista de tareas para equipos de bombeo tipo tráiler 75TC3 y 75TC4.

Create General Task List: Header General View

Group CMT-G050 75TC3/75TC4 Pump Trailer G050 A-D

Group CMT-G050

Group Counter 1 75TC3/75TC4 Pump Trailer G050 A-D

Planning plant 1650

Assignments to Header

Work center NZI-0PM / 1652 Neiva Cmtg Operations Maintenance

Usage 4 Plant maintenance

Planner group

Status 4 Released (general)

System Condition 2 While equip. is out of operation

Maintenance strategy B0GHRS Colombia: Hours

Assembly

Deletion flag

QM Data

Inspection points

Ext. numbering Ext. numbering of orig. values possible

Modulo PM SAP. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

Como se puede ver en la imagen anterior, a esta lista se le asigno una estrategia de horas y corresponde a los equipos tipo tráiler 75TC3 y 75TC4. El nombre además, tiene a un lado escrito el nombre del formato de inspección que se le asignara a este tipo de equipos (G05 en este caso) y los niveles de mantenimiento. Para esta lista son cuatro: A, B, C Y D.

Los niveles son los que conforman el listado de instrucciones, que son simplemente una frase que describe que tipo de mantenimiento se le hará al equipo; un mantenimiento nivel A, B, C o D. El formato es un nombre que se le da a las listas de chequeo que corresponden a un determinado tipo de equipos. Estas listas difieren entre si por el nivel. Así, una inspección nivel A tendrá instrucciones de inspección mas “superficiales” que las que contiene una nivel B; de igual manera, esta ultima es mas sencilla en comparación a una nivel C; y así sucesivamente.

En la figura 39 se visualiza un botón llamado Task List. Al presionarlo, SAP nos llevara a la ventana en la cual podremos incluir las listas de tareas. Actualmente se pueden incluir hasta siete tareas (desde A hasta G) de acuerdo con los estándares de Halliburton.

Figura 40. Listado de tareas desde nivel A a D.

The screenshot shows the SAP 'Create General Task List: Operation Overview' interface. The title bar includes navigation icons and buttons for 'Internal', 'External', 'Header', and 'Task list'. Below the title bar, the group information is displayed: 'Group CMT-G050 75TC3/75TC4 Pump Trailer G050 A-D Grp.Countn 1'. The main table, titled 'General Operation Overview', contains the following data:

	OpAc	SOp	Work ctr	Plnt	Ctrl	Operation Description	LT	Work	Un.	No.	Duration	Un.	Calc	F
	0010		NZI-0PM	1652	PM01	Realizar Inspeccion PM G050 A	<input type="checkbox"/>		H			H	2	
	0020		NZI-0PM	1652	PM01	Realizar Inspeccion PM G050 B	<input type="checkbox"/>		H			H	2	
	0030		NZI-0PM	1652	PM01	Realizar Inspeccion PM G050 C	<input type="checkbox"/>		H			H	2	
	0040		NZI-0PM	1652	PM01	Realizar Inspeccion PM G050 D	<input type="checkbox"/>		H			H	2	

Modulo PM SAP. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

Por ultimo, a cada instrucción se le asigna una frecuencia. Estas frecuencias están determinadas por IEM Global. Esto se muestra en la figura 38. En el momento en que es iniciado un plan de mantenimiento y a medida que corre el tiempo (en el caso de uno con estrategia por días) o es actualizado el contador (como en el caso de planes definidos por horas) se irán cumpliendo las frecuencias establecidas para cada tarea. Cuando el contador llega al valor definido para alguna de las tareas, SAP arroja una orden de trabajo (Orden de Mantenimiento) en la que se especifica que tipo de mantenimiento se debe realizar.

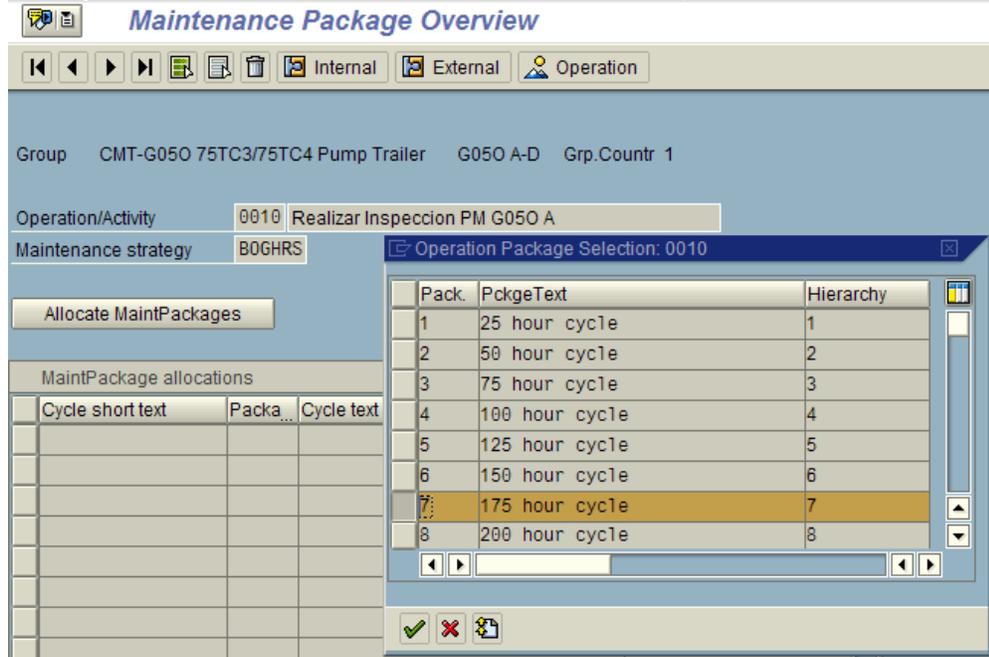
Para ilustrar esto de una mejor manera, en la Tabla 1 se definen niveles y frecuencias de mantenimiento para un equipo regido por horas y la Tabla 2 muestra la respectiva programación y creación de las órdenes de trabajo. En ellas se puede ver que cada vez que el contador de horas avanza 175 horas, SAP arrojará una orden de trabajo para realizar una inspección de mantenimiento preventivo de nivel A. Sin embargo, cuando cumple 350 horas, arrojará una inspección nivel B; al cumplir 1400 horas, será una de nivel C; y por ultimo una de nivel D cuando cumpla 5600 horas. Luego el ciclo vuelve a comenzar.

Tabla 1. Lista de tareas para un equipo con plan definido por horas.

FORMATO	NIVEL	FRECUENCIA	TAREA
G05	A	175 HORAS	Realizar Inspección PM G05A
G05	B	350 HORAS	Realizar Inspección PM G05B
G05	C	1400 HORAS	Realizar Inspección PM G05C
G05	D	5600 HORAS	Realizar Inspección PM G05D

4.2.3 Creación de los planes de mantenimiento en SAP. Se continúa con este paso al tener todos los equipos vinculados a SAP, definidas las listas de tareas para cada tipo de equipos de cementación y los contadores de cada uno en forma individual.

Figura 41. Asignación de frecuencia a una lista de tareas definida por horas.



Modulo PM SAP. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

Tabla 2. Programación de las inspecciones de mantenimiento preventivo y órdenes de trabajo para un equipo con plan definido por horas.

H O R A S	NIVEL	A	B	A	B	A	B	A	C	A	B	A	B	A	B	A	C
	HORAS	175	350	525	700	875	1050	1225	1400	1575	1750	1925	2100	2275	2450	2625	2800
H O R A S	NIVEL	A	B	A	B	A	B	A	C	A	B	A	B	A	B	A	D
	HORAS	2975	3150	3325	3500	3675	3850	4025	4200	4375	4550	4725	4900	5075	5250	5425	5600

Un plan de mantenimiento consiste en un programa en SAP asignado a un equipo, que arroja automáticamente notificaciones y órdenes de trabajo para ejecutar las inspecciones de mantenimiento preventivo, según la frecuencia estimada en las listas de tareas.

Sin embargo, a diferencia de las listas de tareas, los planes no van dirigidos a un grupo de equipos, sino que es único para cada equipo. Esto se debe a que cada uno tiene su propio contador y no todos comienzan a trabajar al mismo tiempo, ni lo hacen en la misma forma. Por ello no van a coincidir sus órdenes de trabajo. Las listas de tareas si son para un grupo de equipos porque al ser de iguales características, sus formatos de inspección son los mismos.

Para la creación de un plan de mantenimiento en SAP, como se menciono, se debe tener creados los contadores de cada equipo (si los requieren), las listas de tareas y definidas las estrategias. A continuación se muestra la pantalla previa y principal de la creación de un plan de mantenimiento.

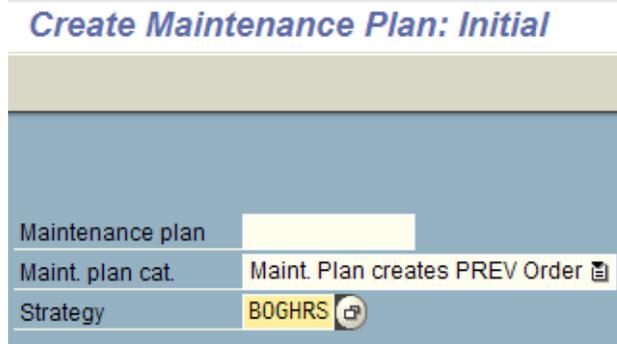
Como se ve en la figura 42, SAP requiere que se defina la estrategia del plan y el tipo de alerta que arrojará. En este caso, se trata de un plan con estrategia de horas y que expedirá órdenes de trabajo. Luego, el programa solicita información adicional que tiene que ver específicamente con el equipo al cual va a pertenecer el plan. Esta información se visualiza en la figura 43. Es la que se encuentra en los espacios en blanco de la imagen tomada de SAP. Después se guarda el plan y queda listo para ser iniciado.

Para iniciar un plan de mantenimiento, en el caso de los que se rigen por un contador, por ejemplo horas, debe tenerse en cuenta su lectura actual, e ingresarse una que corresponda por debajo de ella, a una inspección de mantenimiento preventivo. Luego se actualiza el contador con la lectura real para que el plan quede sincronizado con el contador real del equipo.

Para entender esto refirámonos a la tabla 2 y a la figura 44. Se trata de un equipo regido por horas que tiene 4190 horas de trabajo. El plan se inicia entonces en 4025 horas. El plan entonces va a coincidir de ahí en adelante con la programación de las inspecciones.

En caso de ser un equipo nuevo, se debe iniciar con cero horas, y cuando se trata de planes de mantenimiento que se rigen por días, se debe ingresar la fecha en la cual se cumplió el último mantenimiento preventivo y la frecuencia cumplida. Para ello veamos la tabla 3.

Figura 42. Pantalla inicial previa a la creación de un plan de mantenimiento.



Modulo PM SAP. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

Figura 43. Pantalla principal de un plan de mantenimiento.

Maintenance plan: Realizar Inspeccion PM G050

Maint. plan head...

Maintenance plan cycle 06/20/2009 | Maintenance plan scheduling parameters | Maintenance plan additional

Counter: 7223 | 78517-AUX-HOURMETER

Cycles			
Cycle	Unit	Maintenance cycle text	Offset
	175H	175 hour cycle	0
	350H	350 hour cycle	0
	1400H	1400 hour cycle	0

Item | Object list item | Item location | Cycle item 06/20/2009

Maintenance Item: Realizar Inspeccion PM G050

Reference object

Functional loc.: 608-1650-1652-1000: Cement Services I-Neiva, CO
 Equipment: 10021281: TRLR PUMP CMT TWIN HT400 TC4 Rebuild
 Assembly:
 Tech ID.: 78517

Planning data

Planning plant: 1650 Bogota, Colombia | Maint. Planner Group: S27 Neiva, Colombia
 Order Type: PREV Scheduled/ Preventative | MaintActivityType: INS Inspection
 Main WorkCtr: NZI-OPM / 1652 Neiva Cmtg Operatio | Business area:
 Priority: Medium | Settlement Rule:
 Sales Document: /

Task list

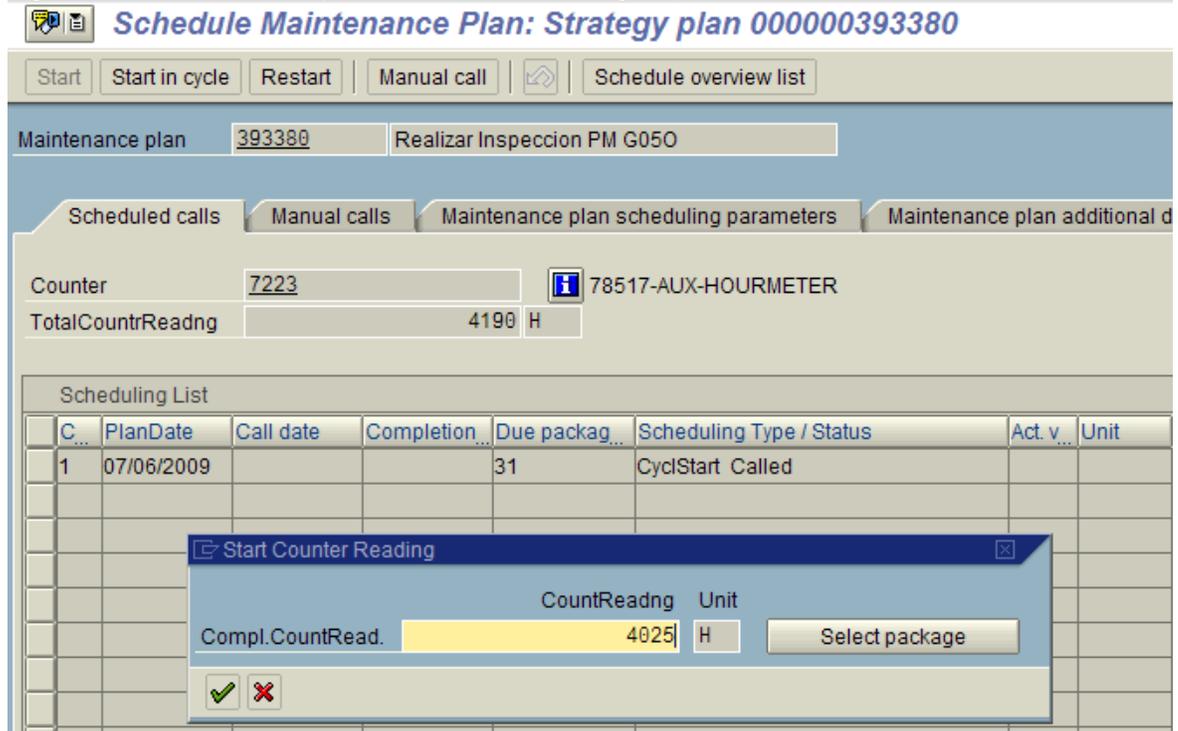
Typ	Task LstGrp	GrpCr	Description
A	CMT-G050	1	75TC3/75TC4 Pump Trailer G050 A-D

Modulo PM SAP. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

Tabla 3. Programación para un plan de mantenimiento definido por días

BOGDAY	NIVEL	A	A	B	A	A	B	A	A	B	A	A	A
	DIAS	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440

Figura 44. Iniciación de un plan de mantenimiento regido por horas.



Modulo PM SAP. Fotos autorizadas por personal Halliburton.

En este caso, si se quiere iniciar el plan, y la última inspección fue una tipo B, ejecutada cuando se cumplieron 360 días, entonces se debe especificar esta frecuencia cumplida y la fecha en la cual se cumplió. En SAP aparece una ventana similar a la mostrada en la figura 44, pero que requiere en ingreso del dato de la frecuencia y la fecha en la que se cumplió.

No obstante, para estos planes regidos por días se requiere hacer un análisis extra, ya que la aparición de las órdenes de trabajo será según como el analista de SAP acomode los planes, y no de forma aleatoria como sucede con los planes definidos por horas. Así, para hacer esta programación, se debe tener en cuenta el número de equipos, si pertenecen o no a un conjunto determinado, los niveles de inspección que tienen y las frecuencias de cada nivel. Esto porque tal y como se mencionaba en líneas anteriores, a medida que el nivel de inspección es mayor, mas compleja es la lista de chequeo en sus requerimientos.

Por ejemplo, mientras que para un tanque de almacenamiento de cemento, una inspección de nivel A solicita se inspeccione visualmente el estado de sus uniones y soldaduras, una inspección de nivel C requiere que estas sean probadas y certificadas por una entidad ajena a Halliburton, con equipo y personal especializado, para lo cual hay que programar y parar el equipo durante varios días y el costo es elevado. De esta forma, si se programan los planes de mantenimiento inapropiadamente, podría darse el caso de tener el cruce de dos o mas inspecciones de alto nivel y por consiguiente, alto costo de mantenimiento y por equipo parado

Para ilustrar una programación adecuada, observemos la Tabla 4, que muestra una programación de los planes de mantenimiento para los cinco (5) equipos de almacenamiento de cemento tipo tráiler de 1410 ft³. Estos tienen plan por días con frecuencias iguales a las que se muestran en la Tabla 3. Como se puede observar, ninguna inspección de niveles B, C o D se cruzan entre si. Solo se cruzan inspecciones de nivel A, que son el más elemental y de más bajo costo. Así, no se paran los equipos durante largos periodos de tiempo y los costos de mantenimiento quedan repartidos durante los cuatro años que dura el ciclo.

Tabla 4. Programación de los planes de mantenimiento para cinco equipos de almacenamiento de cemento tipo tráiler de 1410 ft³.

SAP No.	jul-09	ago-09	sep-09	oct-09	nov-09	dic-09	ene-10	feb-10	mar-10	abr-10	may-10	jun-10
10021119	D		A		A		A		A		A	
10021126	A		A		A		A		A		D	
10021170	A		A		A		A		B		A	
11294334		A		A		A		C		A		A
11305385		A		A		B		A		A		A

SAP No.	ago-10	sep-10	oct-10	nov-10	dic-10	ene-11	feb-11	mar-11	abr-11	may-11	jun-11	jul-11
10021119		A		A		A		A		A		C
10021126		A		A		A		A		B		A
10021170		A		A		A		D		A		A
11294334	A		A		A		B		A		A	
11305385	A		A		C		A		A		A	

SAP No.	ago-11	sep-11	oct-11	nov-11	dic-11	ene-12	feb-12	mar-12	abr-12	may-12	jun-12	jul-12
10021119		A		A		A		A		A		B
10021126		A		A		A		A		C		A
10021170		A		A		A		B		A		A
11294334	A		A		A		D		A		A	
11305385	A		A		B		A		A		A	

SAP No.	ago-12	sep-12	oct-12	nov-12	dic-12	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13
10021119		A		A		A		A		A		D
10021126		A		A		A		A		B		A
10021170		A		A		A		C		A		A
11294334	A		A		A		B		A		A	
11305385	A		A		D		A		A		A	

4.2.4 Diseño de formatos de mantenimiento preventivo operacional. Una vez estudiados los manuales del fabricante, definidas las estrategias y creados los planes de mantenimiento, consultados los estándares de Halliburton para el mantenimiento de equipos y adquiridas las destrezas para el manejo y administración del modulo PM SAP, se da inicio al diseño de los formatos de inspección de mantenimiento preventivo operacional de los equipos de Cementación.

Para esto se tuvo en cuenta la información que se requiere para la administración del plan de mantenimiento preventivo de cada equipo en SAP; los requerimientos mínimos de inspección según el fabricante, la empresa, los clientes y los entes gubernamentales; aspectos de salud, seguridad y medio ambiente e identificación del formato.

Así, el formato debe tener los siguientes criterios:

- Empresa y PSL al cual pertenece el formato.
- Nombre, nivel, frecuencia sugerida y tipo de equipos que corresponden al formato de inspección.
- Recomendaciones de salud, seguridad y medio ambiente para la ejecución de la tarea.
- Verificación de documentos, seriales, permisos, etc., requeridos.
- Listado de requerimientos de la inspección clasificados por sistemas del equipo.
- Espacios para consignar las fallas encontradas, reparaciones hechas, reparaciones pendientes y observaciones.

Adicionalmente, deben existir espacios para ingresar información concerniente a:

- Numero de orden de trabajo (Orden de Mantenimiento).
- Numero SAP del equipo inspeccionado.
- Ubicación.
- Lectura del contador (si aplica).
- Fecha de la inspección.
- Empleado que realiza la inspección (Firma y Número).

En las figuras 45 a, b y c se ilustran segmentos de uno de los formatos diseñados.

Con el diseño e implementación de los formatos de inspección preventiva operacional, se busca lograr que el PSL Cementación obtenga un apropiado y efectivo control y supervisión sobre todas las tareas relacionadas con el proceso de mantenimiento. Además a corto, mediano y largo plazo se desea reducir las fallas imprevistas que amenacen el desempeño de las operaciones, además de mejorar el estado de los equipos.

La tabla 5 lista los diferentes formatos que se diseñaron, las frecuencias, niveles de inspección y tipos de equipos que involucran. Fueron elaborados para 21 clases de equipos, con diferentes niveles desde A hasta D, para un total de 63 formatos. Adicionalmente, 6 correspondientes a la planta de cemento, con niveles desde A hasta F. También fueron vinculados a SAP 16 tipos de equipos de laboratorio de cementación, y fueron creados sus respectivos planes de mantenimiento. Los formatos de estos que en total son 32, fueron diseñados por los ingenieros de este departamento.

4.2.5 Vinculación de los procesos de mantenimiento operacional a SAP. Luego de tener todos los equipos identificados, los planes de mantenimiento creados y los formatos de inspección listos, fue necesario definir los procesos que se deben ejecutar continuamente para la apropiada administración del mantenimiento operacional de los equipos de Cementación. Esto incluye:

Figura 45a. Fragmento de formato de inspección.

HALLIBURTON		SISTEMA DE GERENCIA DE HALLIBURTON Servicio de Mantenimiento de Equipos	
Formato de Inspección de Mantenimiento Preventivo Programado			
Equipo: Portable Bulk Tank		Intervalo: 90 días	
EQUIPO #	Medidor de Mantenimiento (Hrs/Millas/Km)	TALLER Locación #	FECHA (DD-MMM-AAAA)
Orden de Mantenimiento #		√ = OK F = Falla N/A = no aplica	
SEGURIDAD			
1	Realice parada de seguridad antes del trabajo para identificar riesgos relacionados con la actividad		
2	Emplear todos los EPP durante esta actividad		
3	***** Lock Out Tag Out (LOTO) la unidad según procedimientos HMS. *****		
RONDA DE INSPECCION			
4	Inspeccione los componentes para mantener la presión revise si hay daños, corrosión o alguna alteración de la soldadura		
5	Inspeccione toda la estructura de apoyo incluidas las patas y los refuerzos cruzados por daños o corrosión.		

Figura 45b. Fragmento de formato de inspección.

AMBIENTAL	
19	Deshágase de todos los residuos adecuadamente. Garantizar que todos los derrames y contenidos se limpien adecuadamente
Documento No.: SEM-G48A Pagina 1 de 2 Fecha de Revisión: 06-Julio-2009 <small>Antes de utilizar este documento asegúrese que sea la última revisión</small>	

Figura 45b. Fragmento de formato de inspección.

DOCUMENTOS OBLIGATORIOS DE TRABAJO	
20	Revise plaquetas seriales calcomanías normativas de seguridad y / o necesidades del país (DOT, CVIP, MMS Guardacostas, etc.)
21	Comprobar que las calcomanías y logos de la empresa se encuentren en buen estado e instalados de manera adecuada. Compruebe que el equipo este claramente marcado con el numero SAP en la unidad (ver las directrices en la pagina Web ESG Branding).
LISTE TODAS LAS REPARACIONES QUE FUERON ENCONTRADAS DURANTE LA INSPECCION. ESTA LISTA DEBE SER USADA HERRAMIENTA PARA REPROGRAMAR ALGUNAS REPARACIONES QUE FUERON ENCONTRADAS PERO NO REPARADAS.	
OBSERVACIONES	
Realizado por:	Empleado #

Tabla 5. Formatos de Inspeccion diseñados para el PSL Cementacion.

TIPO DE EQUIPO	DESCRIPCION EQUIPO	FORMATO	ESTRATEGIA	NIVELES	FRECUENCIA
PUMP	75TC4 Cementing Trailer	G05	BOGHR	A	175 HORAS
				B	350 HORAS
				C	1400 HORAS
				D	5600 HORAS
	CPT-ZS4 Cementing Truck	G36	BOGHR	A	175 HORAS
				B	350 HORAS
				C	1400 HORAS
				D	5600 HORAS
	CPT-SD4 Cementing Truck	G15	BOGHR	A	175 HORAS
				B	350 HORAS
				C	1400 HORAS
				D	5600 HORAS
	CPT-Y4 Cementing Truck	G49	BOGHR	A	175 HORAS
				B	350 HORAS
				C	1400 HORAS
				D	5600 HORAS
HCR Elite Cementing Trailer	G35	BOGHR	A	175 HORAS	
			B	350 HORAS	
			C	1400 HORAS	
			D	5600 HORAS	
RCM Skid	G10	BOGDAY	A	120 DIAS	
Single Pump Cement Skid	G11	BOGDAY	A	120 DIAS	
Fluid End HT400	Fluid End	BOGHR	A	12 HORAS	
			BOGDAY	C	720 DIAS
MIXER	BMR100 Batch Mixer Trailer	G50	BOGHR	A	175 HORAS
				B	350 HORAS
				C	1400 HORAS
				D	5600 HORAS
	BMX50 Blender Skid	G03	BOGDAY	A	120 DIAS
				B	360 DIAS
				C	720 DIAS
				D	1440 DIAS
	Centrifugal Pump Skid	G08	BOGDAY	A	120 DIAS
				B	360 DIAS
	MX5000 Turbine Blender	G04	BOGHR	A	100 HORAS
				B	500 HORAS
C				2000 HORAS	
D				4000 HORAS	
G33		BOGHR	A	150 HORAS	
			B	300 HORAS	
			C	1200 HORAS	
			D	4800 HORAS	

Tabla 5. (Continuacion) Formatos de Inspeccion diseñados para el PSL Cementacion.

TIPO DE EQUIPO	DESCRIPCION EQUIPO	FORMATO	ESTRATEGIA	NIVELES	FRECUENCIA
PNEUMATIC BULK	440 Pneumatic Truck	G25	BOGHR	A	350 HORAS
				B	1400 HORAS
				C	5600 HORAS
	660/1410 Pneumatic Trailer	G01	BOGDAY	A	60 DIAS
				B	360 DIAS
				C	720 DIAS
				D	1440 DIAS
	Steady Flow	G13	BOGDAY	A	180 DIAS
				B	2160 DIAS
	Portable Bulk Tank	G48	BOGDAY	A	90 DIAS
				B	360 DIAS
				C	1080 DIAS
Dust Collector	G47	BOGDAY	A	180 DIAS	
			B	360 DIAS	
			C	720 DIAS	
FLUID STORAGE	Frac Tank Trailer	Z08	BOGDAY	A	120 DIAS
				B	360 DIAS
				C	1440 DIAS
	Portable Storage Fluid Tank	G20	BOGDAY	A	120 DIAS
EQ. CIRCULACION	Cabezas de Cementacion	G37	BOGDAY	A	90 DIAS
PLANTA DE CEMENTO	Equipos y lineas de la planta	Planta	BOGDAY	A	DIARIO
				B	7 DIAS
				C	30 DIAS
				D	90 DIAS
				E	180 DIAS
				F	360 DIAS
LABORATORIO CEMENTACION	Equipo de Laboratorio en general*	LAB01 a LAB16	BOGDAY	A	30 DIAS
				B	180 DIAS

(*) Los formatos de este departamento fueron suministrados por ingenieros encargados del mismo. Solo se realizo la vinculaci3n en PM SAP.

Dentro de los procedimientos que deben ser realizados en SAP, est3n los siguientes:

- Consultar mensualmente y con una frecuencia al menos semanal el listado de 3rdenes de Mantenimiento Preventivo generadas por SAP, correspondientes a los planes de mantenimiento creados.
- Completar la informaci3n de las 3rdenes de Mantenimiento Preventivo luego de su ejecuci3n y documentar en SAP mediante 3rdenes de Mantenimiento las reparaciones programadas.
- Verificar las inspecciones pre/post trabajo y documentar en SAP mediante 3rdenes de Mantenimiento las reparaciones no programadas.
- Velar por la completa ejecuci3n de las Inspecciones Preventivas y asegurar que se hagan de manera apropiada las reparaciones respectivas, con el fin de obtener porcentajes de

cumplimiento requeridos de Inspecciones y de Mantenimiento programado versus No programado.

- Mantener un registro de fácil acceso a los documentos relacionados con el mantenimiento operacional.
- Actualizar frecuentemente los contadores de los equipos en los cuales aplica.
- Solicitar partes/servicios a proveedores externos/internos necesarios para las reparaciones de los equipos.
- Verificar partes en Stock en las bodegas de la compañía para solicitar ante una reducción del mínimo requerido.
- Verificación del correcto comportamiento de los planes de mantenimiento. Crear y reiniciar alguno si se requiere.

Para esto, fueron creadas las Guías de Analista PM SAP y se dio entrenamiento formalmente a Supervisores y Coordinadores en las diferentes aéreas de Colombia donde se centra la operación de Halliburton Cementación: Neiva, Barrancabermeja, Bogotá, Villavicencio, Arauca y Yopal. Estas guías son información exclusiva de Halliburton. Su contenido esta en la sección de anexos. Las listas de asistencia del personal a quienes se les dio la capacitación y algunos de los formatos diseñados hacen parte de los archivos que se encuentran en el disco adjunto a este libro.

4.3 RESULTADOS OBTENIDOS

A través del desarrollo de la pasantía supervisada se lograron obtener grandes resultados en cuanto a la implementación de planes de mantenimiento preventivo y en general, de los procesos de mantenimiento operacional para los equipos del PSL Cementación de Halliburton Colombia. Se logro la identificación y vinculación en SAP por completo de los equipos del PSL mediante salidas de campo y consultas a supervisores y coordinadores de área, con el fin de no dejar ninguno por fuera del proceso. Además fueron creados e iniciados todos los planes de mantenimiento preventivo programado en SAP. La Tabla 6 y la Figura 46 muestran en detalle el resultado del avance en esta vinculación. En la actualidad no hay un solo equipo del PSL Cementación que no tenga plan de mantenimiento preventivo operacional.

Por otra parte, gracias al entrenamiento suministrado al personal relacionado con las tareas de mantenimiento operacional se han logrado establecer de manera correcta la forma como deben ser realizados los procesos de administración del programa de mantenimiento en el modulo PM SAP. En las tablas y graficas siguientes se ilustra como se ha pasado a cifras significativamente favorables en cuanto al desempeño y cumplimiento del mantenimiento preventivo.

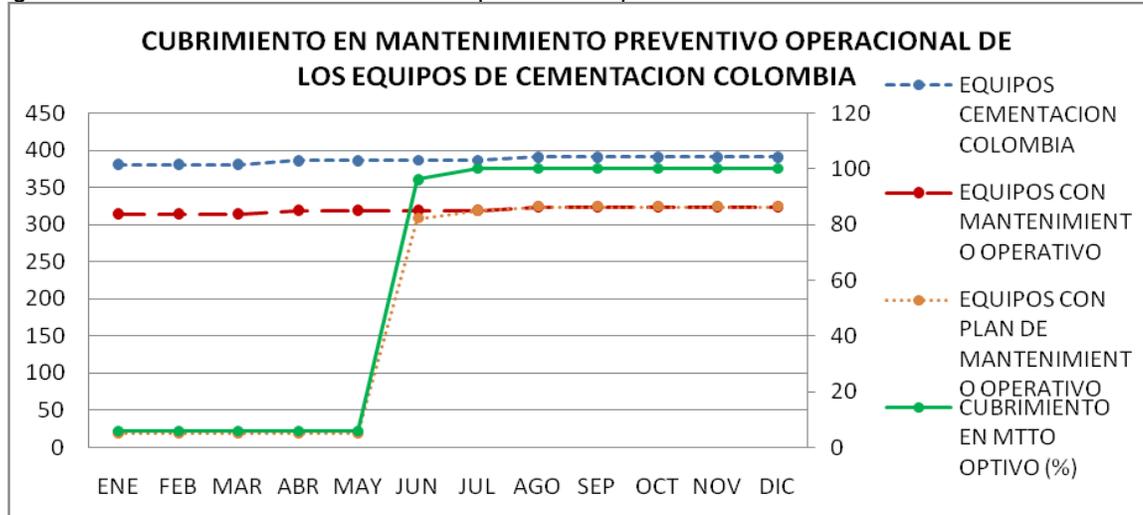
También se han obtenido buenos resultados en cuanto al mantenimiento correctivo y se han mejorado procedimientos que se estaban llevando a cabo de manera errada, como son la solicitud de partes y/o servicios a proveedores externos y/o internos, la generación de ordenes de mantenimiento, los reportes de fallas, la actualización de medidas de contadores de los equipos y la generación de reportes.

Tabla 6. Cubrimiento en mantenimiento preventivo operacional

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
EQUIPOS CEMENTACION COLOMBIA	381	381	381	386	386	387	387	391	391	391	391	391
EQUIPOS CON MANTENIMIENTO OPERATIVO	314	314	314	319	319	319	319	324	324	324	324	324
EQUIPOS CON PLAN DE MANTENIMIENTO OPERATIVO	19	19	19	19	19	308	319	324	324	324	324	324
CUBRIMIENTO EN MTTO OPTIVO (%)	6	6	6	6	6	96	100	100	100	100	100	100

Tomado del Modulo PM SAP. Información autorizada por personal Halliburton.

Figura 46. Cubrimiento en mantenimiento preventivo operacional



4.3.1 Porcentaje de cumplimiento PM SAP. Con la creación de planes de mantenimiento preventivo se produce que la cantidad de inspecciones arrojadas cada mes aumente, por lo cual se requiere de una eficiente supervisión para la realización de las mismas. Además, antes de finalizar cada mes, deben ser cerradas las Órdenes de Mantenimiento Preventivo, aun si no fueron realizadas, con el fin de que no pasen al siguiente mes como pendientes y así, se vea afectado el porcentaje de cumplimiento de este periodo. La Tabla 7 y la Figura 47 ilustran la evolución que ha tenido este porcentaje con la implementación de los planes de mantenimiento y el entrenamiento en manejo del modulo PM SAP.

Según la información de las tablas 6 y 7, y sus respectivas figuras 46 y 47, según la cantidad de equipos con plan de mantenimiento hasta el mes de mayo, existe un gran desfase con el numero de ordenes arrojadas por SAP, ya que aunque solo son 19 equipos que arrojarían máximo 19 inspecciones mensuales, hay meses con picos y cifras de hasta 175 inspecciones pendientes. Esto se produce porque no se administra bien el programa de mantenimiento preventivo y se dejan acumular órdenes de meses anteriores, con lo cual se ve afectado el porcentaje de cumplimiento de forma importante.

Sin embargo, se ve también que con la implementación del programa de mantenimiento operacional se mejora esta cifra. Se llega a una cantidad estable de órdenes de mantenimiento preventivo,

acorde a la cantidad de equipos con plan creado y no hay acumulación de órdenes de más de un mes; y lo más importante, se incrementa el porcentaje de cumplimiento y casi llega al cien por ciento.

En la tabla 8 y en la figura 48, se muestran los datos del reporte de órdenes de mantenimiento preventivo abiertas mes a mes durante el año 2009, durante la implementación del programa de mantenimiento. En este reporte se ve claramente (para el caso del mes de enero) como hay una gran cantidad de ordenes abiertas, a pesar de que las que se generan cada mes son muy pocas. Esto se debe a que en el mes de enero existe una gran acumulación de órdenes del año anterior que siguen abiertas con el tiempo y solo llega a cerrarse por completo en el mes de julio, cuando comienza a tomar forma la implementación en SAP del programa de mantenimiento.

Figura 47. Evolución del porcentaje de cumplimiento en 2009.

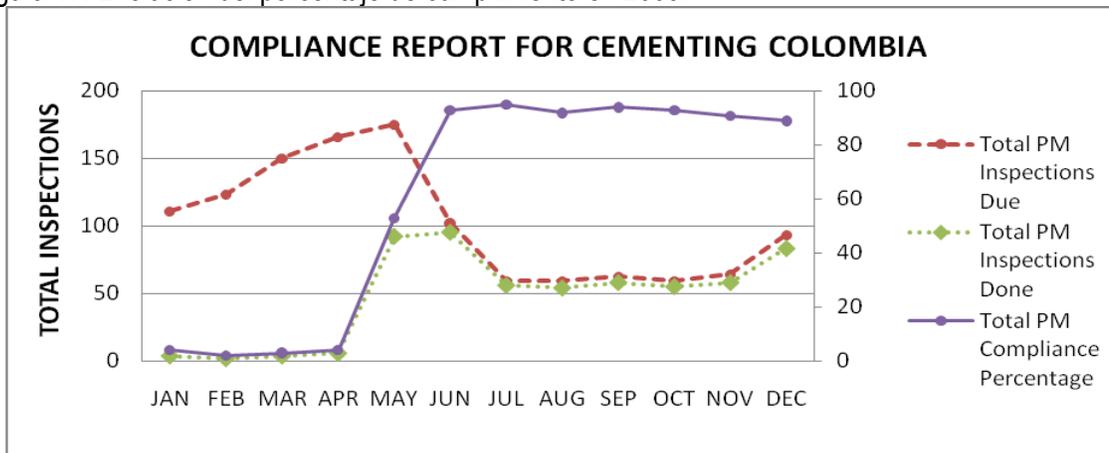


Tabla 7. Evolución del Porcentaje de cumplimiento del PSL Cementación en 2009.

TOTALS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Total PM Inspections Due	111	123	150	166	175	102	59	59	62	59	64	93
Total PM Inspections Done	4	2	4	6	92	95	56	54	58	55	58	83
Total PM Compliance Percentage	4	2	3	4	53	93	95	92	94	93	91	89
A PM Inspections Due	100	112	139	153	162	98	52	55	56	56	54	86
A PM Inspections Done	4	2	4	6	82	91	49	50	53	52	48	76
A PM Compliance Percentage	4	2	3	4	51	93	94	91	95	93	89	88
B PM Inspections Due	2	2	2	2	2	1	4	4	2	2	6	5
B PM Inspections Done	0	0	0	0	1	1	4	4	2	2	6	5
B PM Compliance Percentage	0	0	0	0	50	100	100	100	100	100	100	100
C PM Inspections Due	9	9	9	11	11	3	3	0	4	1	4	1
C PM Inspections Done	0	0	0	0	9	3	3	0	3	1	4	1
C PM Compliance Percentage	0	0	0	0	82	100	100	0	75	100	100	100
D PM Inspections Due	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
D PM Inspections Done	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
D PM Compliance Percentage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100

Tomado del Modulo PM SAP. Información autorizada por personal Halliburton.

Los meses agosto y septiembre en cambio, muestran la forma idónea como debe suceder. Solo debe haber en cada mes, inspecciones generadas en ese mismo periodo de tiempo y deben ser ejecutadas y cerradas antes de que este finalice. Otro detalle que se observa es que aunque hasta el mes de mayo solo hay diez y nueve (19) equipos con plan de mantenimiento preventivo, hay generadas mas ordenes de las que se supone, se podrían generar.

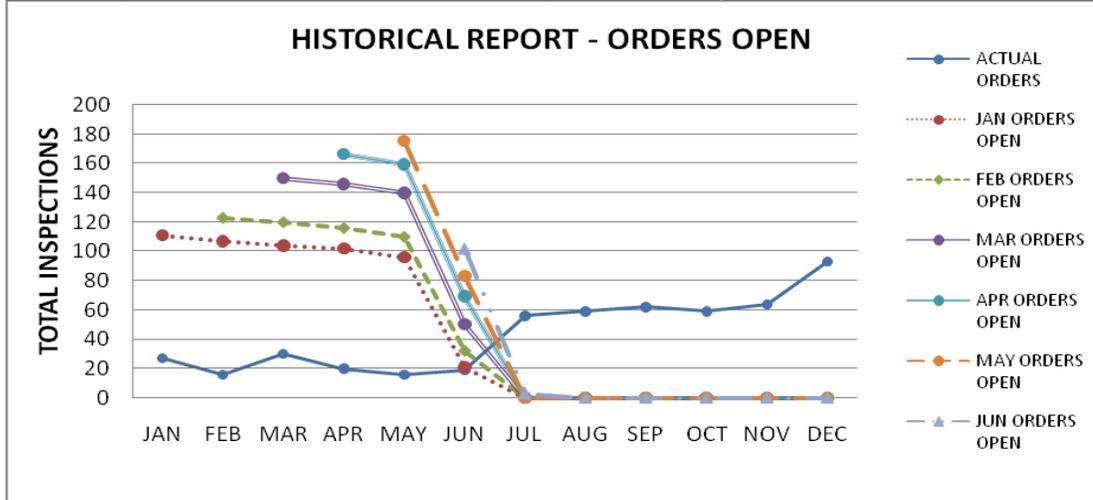
Lo anterior se dio a raíz de no tener un programa de mantenimiento eficiente. Además, aunque estaban creados unos planes de mantenimiento, estos correspondían a planes que venían con los equipos de transferencia, es decir, que venían con sus planes desde otros países. Ahora los planes están programados y han sido administrados de tal forma, que a pesar de tener trescientos veinticuatro (324) planes de mantenimiento, tan solo son generadas un promedio de sesenta (60) órdenes mensuales.

Tabla 8. Reporte de Ordenes de mantenimiento preventivo arrojadas mes a mes.

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ACTUAL ORDERS	27	16	30	20	16	19	56	59	62	59	64	93
JAN ORDERS OPEN	111	107	104	102	96	21	0	0	0	0	0	0
FEB ORDERS OPEN		123	120	116	110	32	0	0	0	0	0	0
MAR ORDERS OPEN			150	146	140	50	0	0	0	0	0	0
APR ORDERS OPEN				166	159	69	0	0	0	0	0	0
MAY ORDERS OPEN					175	83	0	0	0	0	0	0
JUN ORDERS OPEN						102	3	0	0	0	0	0
JUL ORDERS OPEN							56	0	0	0	0	0
AGO ORDERS OPEN								59	0	0	0	0
SEP ORDERS OPEN									62	0	0	0
OCT ORDERS OPEN										59	0	0
NOV ORDERS OPEN											64	2
DEC ORDERS OPEN												93

Tomado del Modulo PM SAP. Información autorizada por personal Halliburton.

Figura 48. Reporte de Ordenes de mantenimiento preventivo arrojadas mes a mes.



4.3.2 Costos de mantenimiento de equipos. Un punto importante en el proceso de mantenimiento de equipos es el direccionamiento correcto de los costos. Esto se refiere a que todos los costos de mantenimiento de equipos debe ser cargado a una orden de mantenimiento, y esta a su vez, debe cargarse al equipo al cual se le realizo la reparación.

La aclaración se hace debido a que se estaban realizando ordenes de mantenimiento cargadas al PSL por compra de partes/servicios en grandes cantidades y que no eran cargadas a los equipos. De esta manera, financieramente los costos de esas órdenes pasaban a ser costos de operación del PSL, mientras que los costos de mantenimiento de equipos seguían bajos.

A esto hay que agregar, que administrativamente es incorrecto que los costos de mantenimiento de cada equipo sean diferidos a las cuentas de operación de la línea, y en el caso de la administración de mantenimiento, el no tener clara esta información, dificulta la implementación de controles, la consulta de información respectiva a reparaciones de los equipos, las auditorias, etc.

A través del entrenamiento del personal acerca de la administración del proceso de mantenimiento operacional, se logro reducir la cantidad de ordenes y por consiguiente los costos cargados al PSL para pasarlos a los costos de mantenimiento de equipos. Las siguientes figuras y tablas ilustran la evolución.

Tabla 9. Cantidad de órdenes cargadas a los equipos en 2009.

CARGADAS A EQUIPOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PREV	7	9	12	10	13	63	56	59	63	54	54	88
RPM	48	90	47	36	41	5	7	14	12	46	0	11
UNSC	0	0	0	3	15	12	25	33	28	15	10	8
TOTAL OM	55	99	59	49	69	80	88	106	103	115	64	107

Tomado del Modulo PM SAP. Información autorizada por personal Halliburton.

Tabla 10. Cantidad de órdenes cargadas al PSL Cementación en 2009.

CARGADAS AL PSL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RPM	4	12	5	3	5	0	0	1	0	8	0	1
UNSC	1	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
TOTAL OM	5	13	5	3	7	0	0	1	0	9	0	1

Tomado del Modulo PM SAP. Información autorizada por personal Halliburton.

Figura 49. Cantidad de órdenes cargadas a los equipos en 2009.

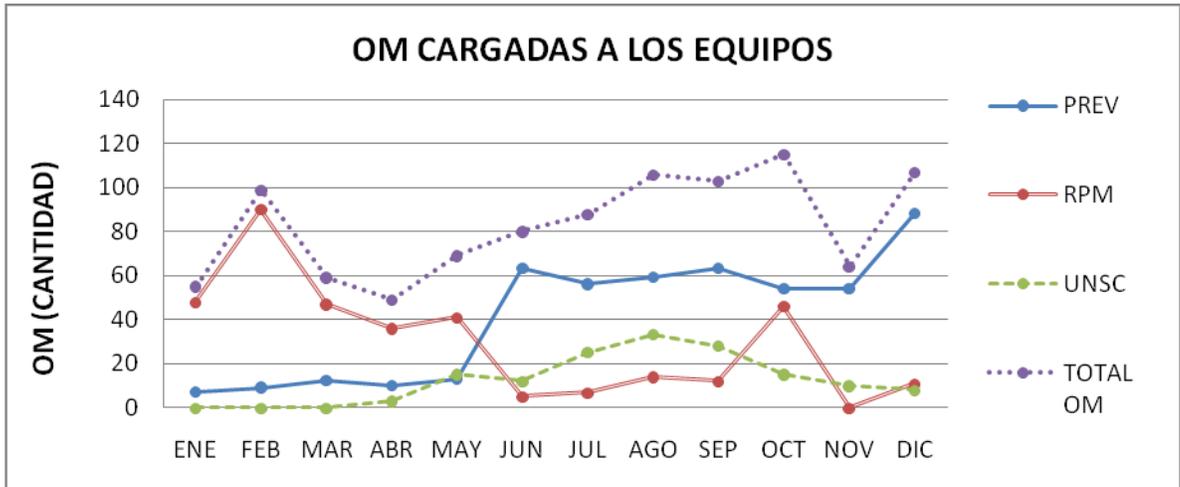


Figura 50. Cantidad de órdenes cargadas al PSL Cementación en 2009.

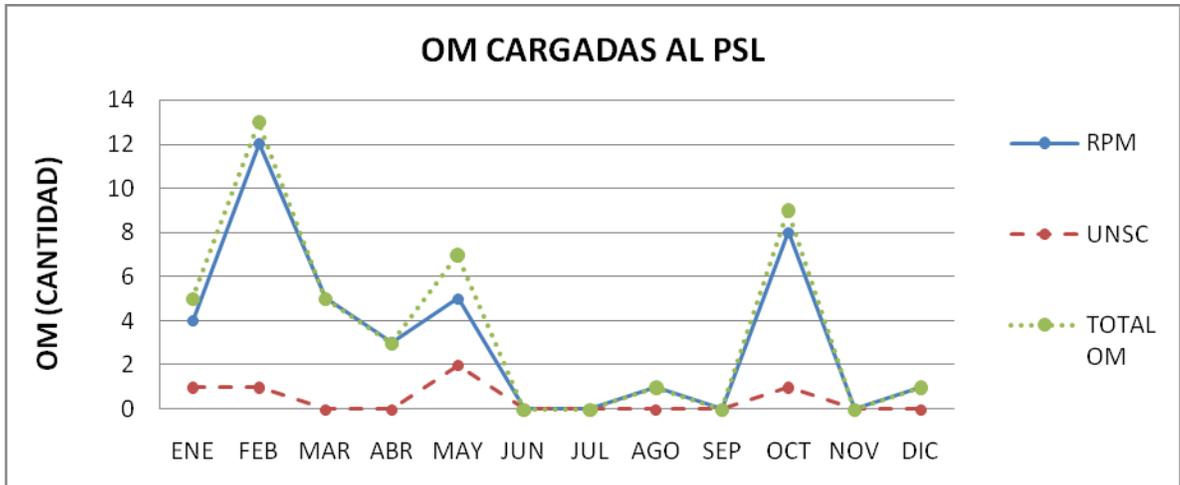


Tabla 11. Costos de las Órdenes cargadas a los equipos en 2009.

CARGADAS A EQUIPOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
PREV	\$584.274	\$683.832	\$336.685	\$97.829	\$107.428	\$148.798
RPM	\$5.534.611	\$13.639.720	\$30.672.402	\$7.681.718	\$5.921.485	\$289.598
UNSC	\$0	\$0	\$0	\$0	\$1.619.701	\$9.431.994
TOTAL COSTOS OM	\$6.118.885	\$14.323.552	\$31.009.087	\$7.779.547	\$7.648.614	\$9.870.390
CARGADAS A EQUIPOS	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PREV	\$127.199	\$2.439.724	\$537.595	\$ 2.259.480	\$1.471.092	\$110.591
RPM	\$2.103.178	\$186.111	\$895.285	\$15.836.450	\$0	\$7.491.787
UNSC	\$4.125.465	\$17.456.987	\$29.307.978	\$6.918.422	\$12.646.038	\$3.233.168
TOTAL COSTOS OM	\$6.355.842	\$20.082.822	\$30.740.858	\$25.014.352	\$14.117.131	\$10.835.546

Tomado del Modulo PM SAP. Información autorizada por personal Halliburton.

Tabla 12. Costos de las Órdenes cargadas al PSL Cementación.

CARGADAS AL PSL	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
RPM	\$8.628.981	\$45.224.824	\$7.851.827	\$14.569.408	\$19.111.781	\$0
UNSC	\$0	\$0	\$0	\$0	\$2.017.350	\$0
TOTAL COSTOS OM	\$8.628.981	\$45.224.824	\$7.851.827	\$14.569.408	\$21.129.131	\$0
CARGADAS AL PSL	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
RPM	\$0	\$663.263	\$0	\$27.153.246	\$0	\$5.484.570
UNSC	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
TOTAL COSTOS OM	\$0	\$663.263	\$0	\$27.153.246	\$0	\$5.484.570

Tomado del Modulo PM SAP. Información autorizada por personal Halliburton.

Figura 51. Costos de las Órdenes cargadas a los equipos en 2009

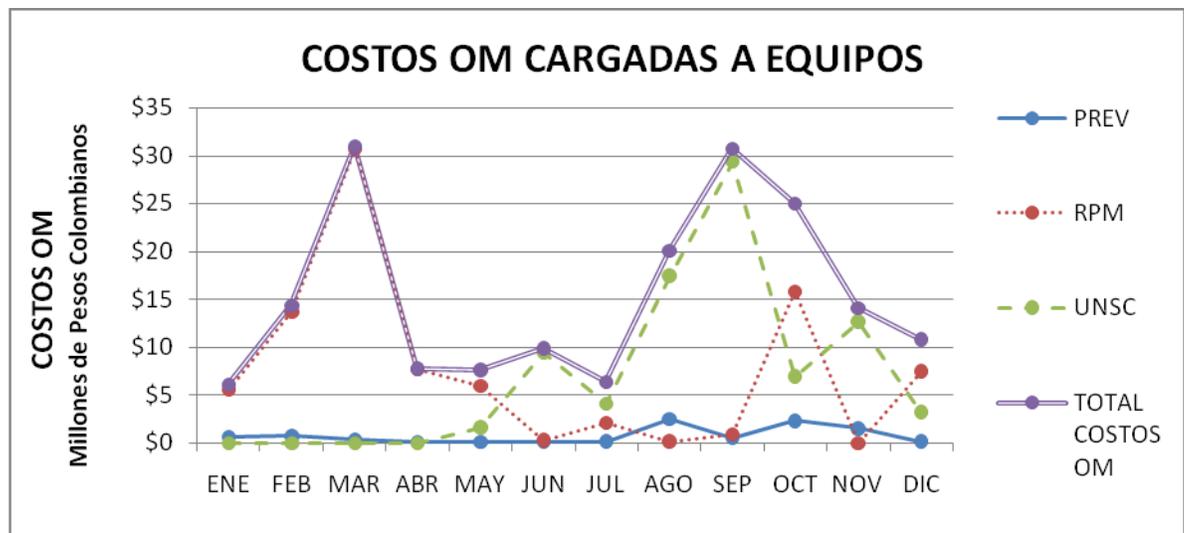
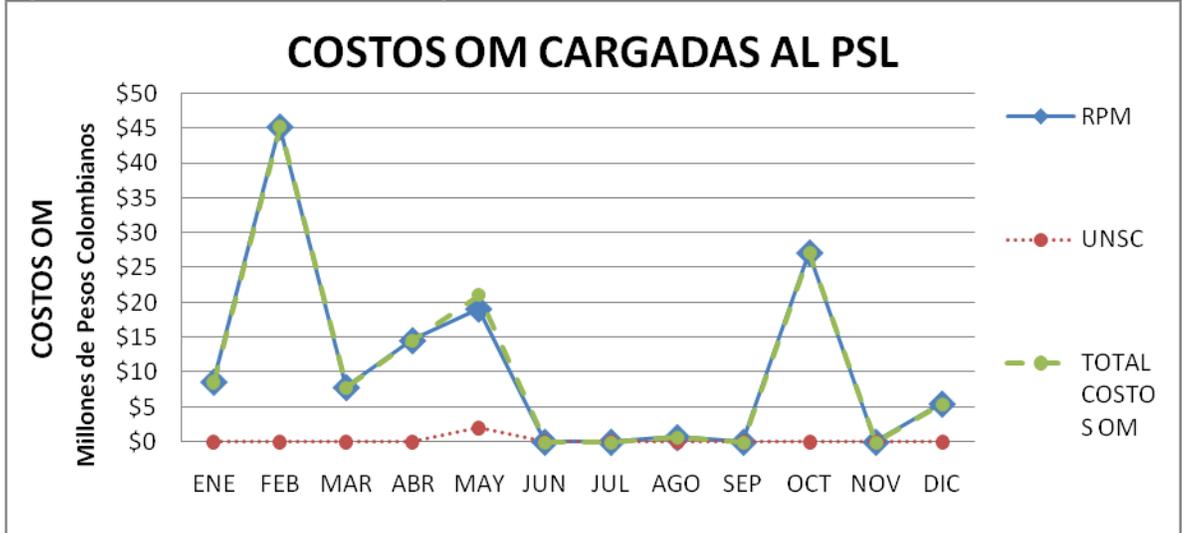


Figura 52. Costos de las Órdenes cargadas al PSL Cementación en 2009.



4.3.3 Porcentaje de reparaciones programadas versus no programadas. Esta es una de las cifras que aunque no se logra establecer en un buen lugar, al menos se deja a los analistas de SAP como una cifra real frente a lo que pasa en la realidad del programa de mantenimiento operacional.

La Tabla 13 y las figuras 53 y 54 muestran la cantidad de órdenes de trabajo programado y no programado. Como se observa, es lógico que sea así el comportamiento, pues sin haber un programa de mantenimiento preventivo operacional, no puede ser alto el porcentaje de trabajos planeados contra no planeados. En los primeros meses se nota que este índice es alto, sin embargo, no es real.

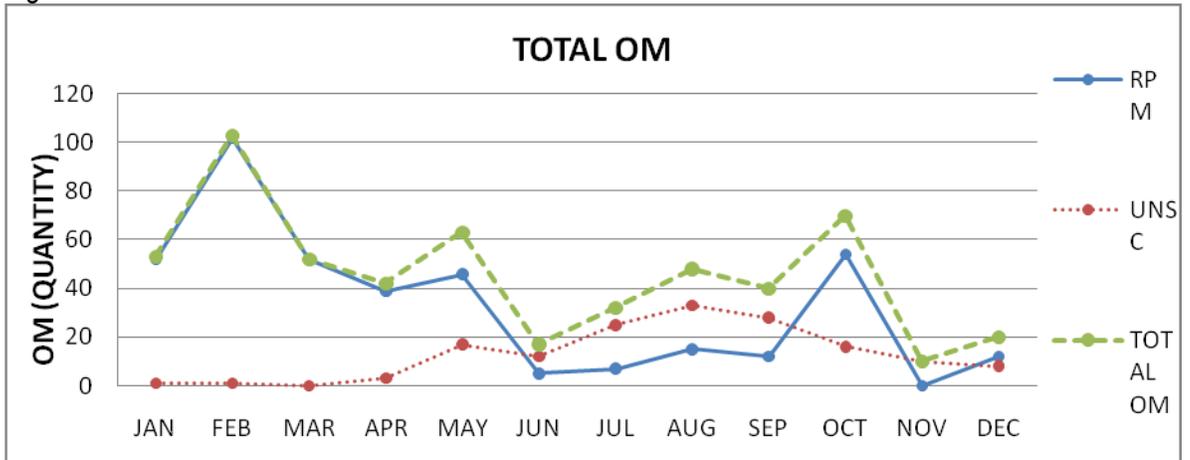
Luego de la vinculación de los equipos y la creación de los planes de mantenimiento preventivo en SAP, se empieza a observar que los datos son más acordes a la realidad. Esto es algo favorable pues, se genera la oportunidad de tomar acciones dirigidas al mejoramiento de los procesos de inspección de los equipos y a su vez, del indicador de porcentaje de trabajos planeados contra no planeados.

Tabla 13. Porcentaje de Reparaciones programadas vs No programadas

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
RPM	52	102	52	39	46	5	7	15	12	54	0	12
UNSC	1	1	0	3	17	12	25	33	28	16	10	8
TOTAL OM	53	103	52	42	63	17	32	48	40	70	10	20
% PLANNED	98,11%	99,03%	100,00%	92,86%	73,02%	29,41%	21,88%	31,25%	30,00%	77,14%	0,00%	60,00%
% UNPLANNED	1,89%	0,97%	0,00%	7,14%	26,98%	70,59%	78,13%	68,75%	70,00%	22,86%	100,00%	40,00%

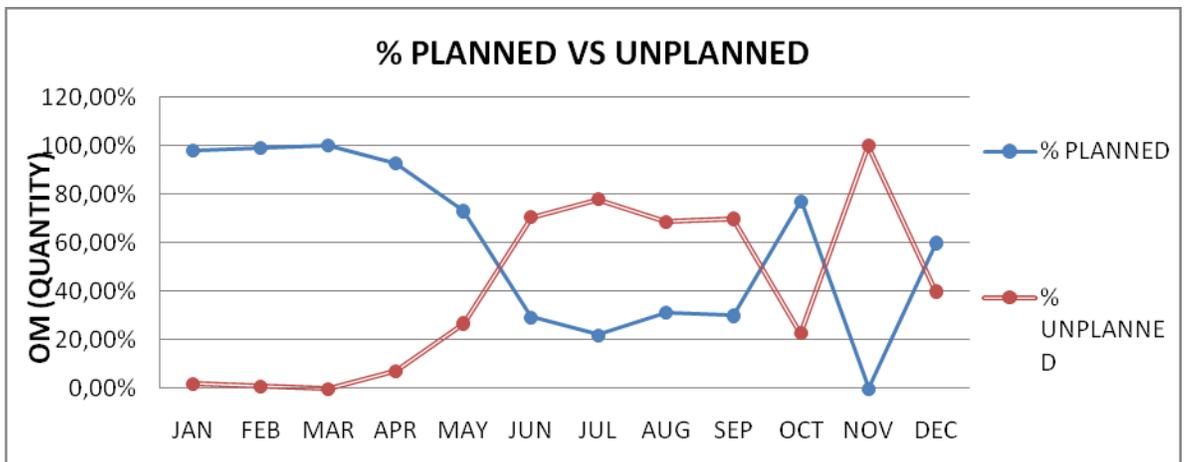
Tomado del Modulo PM SAP. Información autorizada por personal Halliburton.

Figura 53. Total Ordenes de Mantenimiento en 2009.



4.3.4 Proyecciones a futuro. Con la implementación del programa de mantenimiento, el PSL Cementación busca que los indicadores que controlan su desempeño alcancen niveles ideales y a su vez, que se vean reflejados en las buenas condiciones de los equipos y bajos costos de mantenimiento.

Figura 54. Porcentaje de trabajo planeado vs no planeado en 2009.



Tres aspectos fácilmente evaluables que sirven para verificar el rumbo que toma el programa son, los costos de mantenimiento de los equipos de la línea, el porcentaje de trabajos planeados versus no planeados y el porcentaje de cumplimiento. Al comienzo es normal que estas cifras no sean las deseables. No obstante, con el tiempo deben ir mejorando al optimizar el estado de los equipos, al documentarse todas las reparaciones y al tomar acciones concretas para el perfeccionamiento del proceso. Las figuras 55, 56 y 57 muestran la evolución deseada de estos indicadores, lo cual debe ser prioridad para los administradores del mantenimiento operacional del PSL.

Figura 55. Proyección de los costos de mantenimiento.

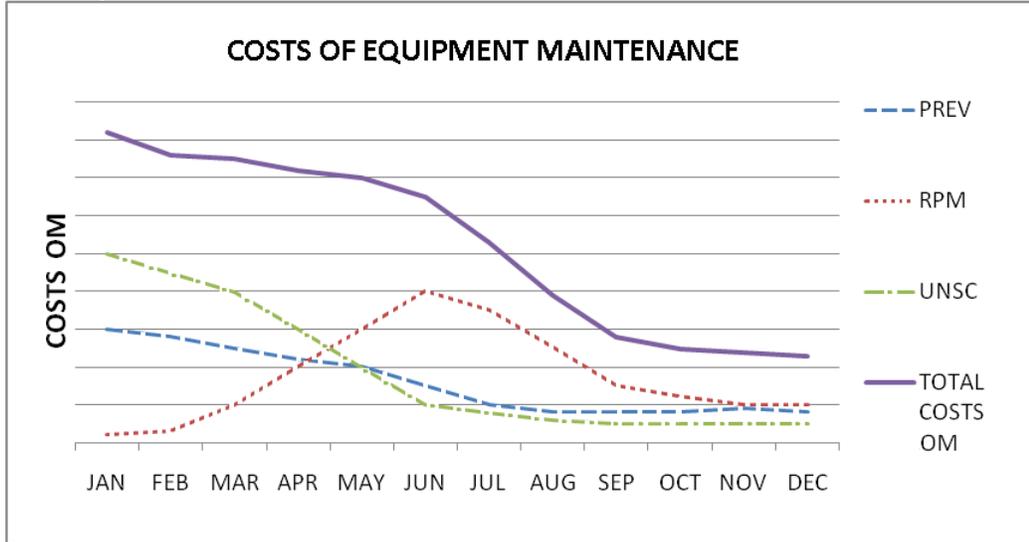


Figura 56. Proyección del alcance en el porcentaje de cumplimiento.

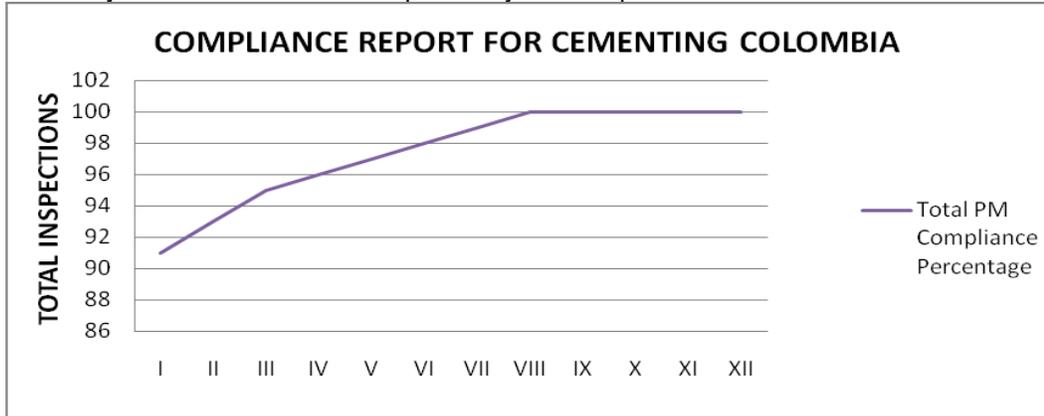
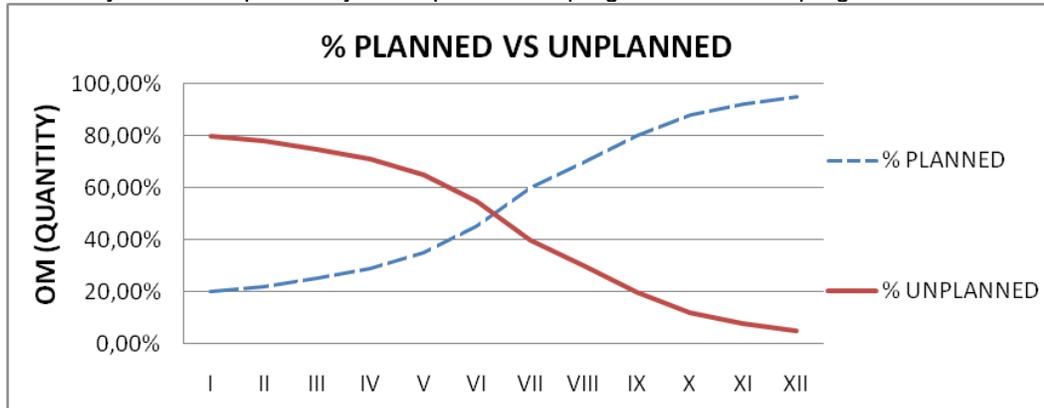


Figura 57. Proyección del porcentaje de reparaciones programadas vs no programadas.



5. CONCLUSIONES

- Con el desarrollo de este proyecto se demostró que un programa de mantenimiento es una herramienta importante para cualquier empresa y que, específicamente en el PSL Cementación de Halliburton, era algo que hacía falta y que aportara de forma positiva en el mejoramiento de las condiciones de sus equipos y en los procesos de verificación, supervisión y control de las tareas de mantenimiento y todos los aspectos que estén relacionados con las mismas.
- Otro logro fue la documentación tanto físicamente en papel, como en el módulo PM SAP, de todas las labores de mantenimiento de equipos, con lo cual se establecen fácilmente las condiciones de estos mismos, las reparaciones realizadas, fechas de ejecución, repuestos utilizados, compras a proveedores externos, costos, etc., lo cual es de gran importancia para el control del programa de mantenimiento y la localización de causas raíz de fallas que se presenten en los equipos.
- La utilización de formatos en el mantenimiento preventivo y en las actividades que con este se relacionan, permite que las tareas sean reconocidas como estándares transparentes para Halliburton y se eliminan los aspectos subjetivos, propios de las personas que hacen parte de la compañía. De esta forma, en cualquier lugar, independientemente de los empleados que realicen trabajos de mantenimiento de equipos, se asegura que estos serán inspeccionados en base a los criterios mínimos recomendados por el fabricante y la empresa para obtener calidad, seguridad y excelencia operacional.
- Con el diseño de formatos de planeación de trabajos de mantenimiento y reparación de equipos, se lograron obtener resultados favorables en un tiempo relativamente corto, gracias a la ayuda que estos dieron al personal encargado de dar cumplimiento a la ejecución de las inspecciones, reparaciones y solicitud de partes y servicios.
- La vinculación en SAP de los equipos de Cementación a través del módulo PM SAP constituye un avance importante para la línea, pues Halliburton a nivel mundial usa esta herramienta informática para administrar, ejecutar y controlar todas sus operaciones. De esta forma, el PSL incluye un proceso de gran importancia y todos los procedimientos que con él van ligados, como la compra de partes/servicios a proveedores externos/internos, la solicitud internacional de partes, la creación y administración de contratos, adquisición de suministros, etc. Además, hace más fácil el manejo de la información, pues al tratarse de la base de datos principal de la empresa, se evita la reproducción exagerada de información, que en la mayoría de los casos es tratada de forma diferente por cada portador.
- Se comprobó también que el manejo de un software para la administración del programa de mantenimiento constituye una importante herramienta para lograr las metas trazadas, al facilitar la verificación y control del mismo. A través de las guías de navegación de SAP, y las instrucciones del usuario del módulo PM, se logró incrementar las competencias en el

manejo de este programa a los supervisores y líderes de servicio del PSL Cementación, incrementando también los niveles de control y supervisión de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos.

- Finalmente, la estandarización de todos los procedimientos relacionados con el mantenimiento preventivo operacional es tal vez el logro más significativo en el desarrollo del proyecto, pues define la manera como deben ser ejecutadas, evaluadas y controladas todas las tareas relacionadas con el programa. Además, la elaboración de un mapa de procesos constituyó los cimientos de una implementación que mostró al PSL Cementación Colombia, como líder en mantenimiento operacional a nivel de Latinoamérica. Según los resultados arrojados con esta iniciativa se tomaron decisiones importantes en Colombia y en otros países, relacionadas con la ejecución de programas de mantenimiento en las diferentes líneas de servicio de Halliburton.

6. RECOMENDACIONES

- Es primordial que de manera constante, el líder o líderes de mantenimiento operacional actualicen los planes de mantenimiento y los contadores de los equipos en SAP, pues es estrictamente necesario para que cualquier plan preventivo tenga éxito. Además, esto asegura que dichos planes y las órdenes de trabajo que se generan en SAP estén acordes con el verdadero trabajo de los equipos.
- Se debe tener en cuenta que las condiciones de trabajo de los equipos en cada locación puede ser diferente. Aspectos como los tipos y duración de los trabajos que se realizan en cada una de ellas, el tipo de equipos que se usan, el recurso humano disponible, ambiente de utilización, ambiente laboral, etc., son variables que pueden influir en la consecución de resultados. Sin embargo, los planes son estándares y están ajustados a los mínimos requerimientos de calidad y seguridad exigidos por el fabricante y la empresa. Por lo tanto, los líderes de servicio y supervisores deben ser lo suficientemente flexibles para incluir dentro de sus prácticas, ejercicios encaminados a la superación de las condiciones que influyan negativamente en el desarrollo de las labores de mantenimiento, para que así el plan cubra todas las expectativas.
- Los formatos de inspección preventivos diseñados deben ser continuamente evaluados para su mejoramiento. Esto se debe a que por el momento son documentos que aunque se usan a nivel de Colombia, la idea es que sean parte de un estándar a nivel Global de Halliburton. Para ello, deben ser examinados en detalle los resultados obtenidos con la ejecución de inspecciones, para determinar aquellas tareas que deben ser incluidas o suprimidas en el formato, o aquellas en las que se requiere más profundidad, mejoramiento de competencias en los operadores, incremento o decremento de las frecuencias de realización, entre otros posibles aspectos.
- Debido a que el modulo PM SAP es la herramienta con la que son programadas, ejecutadas y controladas todas las tareas relacionadas con el programa de mantenimiento preventivo operacional, es estrictamente necesario que todas las reparaciones producto de fallas imprevistas e inspecciones en los equipos, así como la solicitud de partes y servicios, sean documentadas en esta base de datos. Esto asegura que las cifras con las que se mide el desempeño del programa se acerquen lo máximo posible a la realidad, con lo cual pueden ser tomadas decisiones importantes para el mejoramiento del mismo. Además, tener un buen historial de cada equipo facilita la determinación de su estado, ayuda a la planificación y ejecución de labores para mejorarlo y es útil en la investigación de causas raíz de fallas presentadas. Todo esto apunta al objetivo primordial de la empresa, que es realizar trabajos con altos niveles de calidad y seguridad, consiguiendo la satisfacción del cliente.

BIBLIOGRAFIA

Halliburton Energy Services Inc, Bulk Cement Plant Operator's Manual. Segunda Edición No. 100064375. Duncan, Oklahoma. Agosto de 2009. 16 p.

-----, The HCR Elite® Cementing Trailer. Cuarta Edición No. 101622692. Duncan, Oklahoma. Octubre de 2008. 193 p.

-----, HT-400™ Pump Maintenance and Repair Manual. Novena Edición No. 100002809. Duncan, Oklahoma. Febrero de 2008. 230 p.

-----, BMR 100 Batch Mixer Trailer Operation and Maintenance Manual. Primera Edición No. 101605800. Duncan, Oklahoma Enero de 2008. 90 p.

-----, CPTY4 Cementing Truck Operation and Maintenance Manual. Primera Edición No. 101532176. Duncan, Oklahoma Octubre de 2006. 278 p.

-----, HCS Advantage™ Skid Installation and Commissioning Manual. Segunda Edición No. 101410940. Duncan, Oklahoma. Enero de 2005. 63 p.

-----, HCS Advantage™ Skid Safety, Operation, and Maintenance Manual. Segunda Edición No. 101410939. Duncan, Oklahoma. Enero de 2005. 201 p.

-----, Casing Sales Manual. Primera Edición No. 100004707. Duncan, Oklahoma Mayo de 2004. Sección 1, pág. 1.1-1 a 1.1-2 y Sección 3, pág. 3.1-1 a 3.6-6.

-----, Bulk Plant Maintenance Manual. Segunda Edición No. 100014118 C. Duncan, Oklahoma. Septiembre de 2002. 54 p.

-----, CPT-ZS4 Cementing Unit (with Caterpillar Auxiliary Engine) Operator's Manual. Primera Edición No. 101240032. Duncan, Oklahoma. Mayo de 2001. 76 p.

-----, 400 ft³ Pneumatic Truck with Blower, Primera edición No. 100078427. Duncan, Oklahoma Octubre de 1999.

Halliburton Energy Services Inc, 80 ft³ Steady Flow Separator Operator and Maintenance Manual. Primera Edición No. 940.03365. Duncan, Oklahoma. Enero de 1995. 70 p.

-----, 75TC4 Cementing Trailer, Primera edición No. 277.17043. Duncan, Oklahoma 1995. Pág.1-55.

-----, Pneumatic Bulks Transport Trailer Model 660 CFS and 660 CFL Operator's Manual. Primera Edición No. 935.51212. Duncan, Oklahoma 1995. 42 p.

-----, 1410 CF Pneumatic Field Storage Trailer Operator's Manual. Primera Edición No. 936.141, Duncan, Oklahoma 1995. 51 p.

-----, Halliburton Red Tiger™ Cementing Unit. Documento técnico H065516. Duncan, Oklahoma Noviembre de 2008. 2 p.

-----, Halliburton CPT-Y4™ Severe Environment Cementing Unit. Documento técnico H05750. Duncan, Oklahoma Julio de 2008. 2 p.

-----, The HCR Elite® Cementing Unit. Documento técnico H02669. Duncan, Oklahoma Febrero de 2008. 2 p.

-----, 80-ft³ (2.26-m³) Steady-Flow Separator. Documento técnico H02691-A4. Duncan, Oklahoma Marzo de 2006. 2 p.

-----, 400 ft³ Pneumatic Truck with Drum Blower. Documento técnico H02688. Duncan, Oklahoma Marzo de 2006.

-----, Model 660 Pneumatic Cementing Trailer. Documento técnico H02689. Duncan, Oklahoma Marzo de 2006. 2 p.

-----, Technology Bulletin: Guidelines for Pressure-Vessel Inspection and Testing. Documento No. CEQ-01-006. Duncan, Oklahoma. Septiembre 16 de 2003. 4 p.

Halliburton Energy Services Inc, Technology Bulletin: Potential Shaker-Flange Nozzle Weld Failure on Halliburton Dust Collectors. Documento No. CEQ-02-013. Duncan, Oklahoma. Enero 22 de 2003. 4 p.

-----, Model CMT-400 Cementing Pump Trailer. Documento técnico 277.00126. Duncan, Oklahoma Julio de 1998. 3 p.

FRISCH, Gary, GOODWIN, Joe, 2005. CEMENT SHEATH EVALUATION. Curso de evaluaciones de trabajos de cementación. Octubre 26 de 2005.

Halliburton Energy Services Inc, Curso de Cementación 2002. Cementaciones Primarias. Mayo de 2002.

ECONOMIDES, Michael J. 1995. Implications of Cementing on Well Performance. Texas A&M University College Station, Texas, USA. Julio de 1995.

Schlumberger Drilling School. Cementación, Sección 8. Consultado el 24 de mayo de 2010. <http://www.scribd.com/doc/25821745/Cementacion>

Blog La Industria Petrolera. Tuberías de revestimiento. Consultado el 10 de julio de 2009. <http://industria-petrolera.blogspot.com/2009/01/tuberias-de-revestimiento.html>

Official webpage of Halliburton S.A. History of Halliburton. Consultado el 10 de julio de 2009. <http://www.halliburton.com/AboutUs/default.aspx?navid=970&pageid=2312>

Official webpage of Halliburton S.A. Corporate profile. Consultado el 10 de julio de 2009. <http://www.halliburton.com/AboutUs/default.aspx?navid=966&pageid=2458>

Official webpage of Halliburton S.A. Completion and Production. Consultado el 10 de julio de 2009. <http://www.halliburton.com/AboutUs/default.aspx?navid=969&pageid=2316>

Official webpage of Halliburton S.A. Drilling and Evaluation. Consultado el 10 de julio de 2009. <http://www.halliburton.com/AboutUs/default.aspx?navid=968&pageid=2280>

Ingeniería civil y medio ambiente. Finalidad de la Cementación. Consultado el 10 de julio de 2009.
http://www.miliarium.com/proyectos/estudioshidrogeologicos/anejos/Entubacion_Cementacion/Cementacion.asp

SAP AG. Librería electrónica Wikipedia. Consultado el 24 de mayo de 2009.
http://es.wikipedia.org/wiki/SAP_AG

SAP: INNOVACIÓN EMPRESARIAL BASADA EN TI. Pagina oficial de SAP Latinoamérica. Consultado el 24 de mayo de 2009. <http://www.sap.com/andeanarib/about/index.epx>

AZCONA, Juan Pedro. Perforación y Terminación de Pozos Petroleros. Consultado el 24 de mayo de 2009. <http://www.monografias.com/trabajos11/pope/pope.shtml>

ANEXOS

ANEXO A

Contenido Manual de Navegación en SAP y aplicaciones básicas para el analista del
Modulo PM

SAP

®

Manual de Navegación en SAP

Y aplicaciones básicas para el analista del Modulo PM

Halliburton Latín América S.A.

Víctor Alfonso Castro Díaz

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES Y NAVEGACIÓN EN SAP
 - 1.1 ACCESO Y SALIDA DE SAP.
 - 1.2 CREANDO PREFERENCIAS DE USUARIO
 - 1.3 EJECUTAR TAREAS USANDO SAP EASY ACCESS SCREEN
 - 1.3.1 Partes clave de SAP.
 - 1.3.2 La Barra de Menú.
 - 1.3.3 Botones en la Barra de Herramientas Estándar.
 - 1.3.4 Buscar Transacciones a través del menú Directorio (Directory).
 - 1.3.5 El menú Favoritos (Favorites).
 - 1.4 EJECUTAR TAREAS USANDO TRANSACCIONES
 - 1.4.1 Tipos de Transacciones.
 - 1.4.2 Abrir múltiples sesiones.
 - 1.5 PROCESAR TRANSACCIONES EN SAP
 - 1.5.1 Iconos y Botones en la Barra de Aplicación.
 - 1.5.2 Como moverse de una pantalla a otra para completar una transacción.
 - 1.5.3 Estructuras usuales Agregar.
 - 1.5.4 Estructuras Usuales Desplegar.
 - 1.5.5 Reconociendo los mensajes del sistema.
 - 1.6 INGRESAR DATOS EN SAP
 - 1.6.1 Tipos de Campos.
 - 1.6.2 Tipos de Entradas.
 - 1.6.3 Movilizarse de un campo a otro.
 - 1.6.4 Búsqueda de datos usando Pick List o Folders.
 - 1.7 OPCIONES DE AYUDA EN SAP
 - 1.7.1 Uso de Library y Glossary.
 - 1.7.2 Field-Level Help.
 - 1.7.3 Como entender los mensajes del sistema.

- 1.8 DESPLEGAR TRANSACCIONES Y REPORTES
 - 1.8.1 Identificar tipos de reportes.
 - 1.8.2 Acceder a Display Transactions.
 - 1.8.3 Usar transacciones para Listar (list display transaction).
 - 1.8.4 Variantes.
 - 1.8.5 Opciones de salida (Output options).
- 1.9 INFORMACIÓN GENERAL
 - 1.9.1 Información del Sistema.
 - 1.9.2 Transacciones.
 - 1.9.3 Otras Opciones: Características Long text.
- 2 APLICACIONES BÁSICAS DEL MODULO PM SAP
 - 2.1 REPORTE CUMPLIMIENTO PM SAP
 - 2.2 PROCESAMIENTO DE ORDENES PREVENTIVAS
 - 2.3 ORDENES DE MANTENIMIENTO (OM)
 - 2.3.1 Creación de una OM
 - 2.3.2 Procesamiento de una OM
 - 2.3.3 Completamiento y Cierre de una OM
 - 2.4 CREACIÓN DE NOTIFICACIONES DE MANTENIMIENTO
 - 2.4.1 Creación de un Malfunction Report
 - 2.5 RESERVAS Y REQUISICIONES EN UNA OM
 - 2.5.1 Creación de una reserva
 - 2.5.2 Creación de una requisición de partes y/o Servicios
 - 2.5.3 Creación de una requisición sin OM
 - 2.5.4 Creación de reservas sin OM
 - 2.6 CONTADORES DE MEDIDORES
 - 2.6.1 Creación y asignación de un contador a un equipo
 - 2.6.2 Actualización de un contador
 - 2.7 PLANES DE MANTENIMIENTO
 - 2.7.1 Listas de Tareas
 - 2.7.2 Estrategias de Mantenimiento.

- 2.7.3 Creación de un plan de Mantenimiento
- 2.8 ARCHIVOS ADJUNTOS EN DOCUMENTOS DE SAP
- 2.9 PARTES Y MATERIALES EN BODEGA
- 2.10 CREAR UN MÁSTER DE UN EQUIPO
- 2.11 REPORTES EN MODULO PM
 - 2.11.1 Reporte de una OM
 - 2.11.2 Reporte de un listado de OM
 - 2.11.3 Reporte de un plan de mantenimiento
 - 2.11.4 Reporte de un listado de planes de mantenimiento
 - 2.11.5 Reporte de un equipo
 - 2.11.6 Reporte de un listado de equipos
 - 2.11.7 Reporte de un contador
 - 2.11.8 Reporte de un listado de Contadores
 - 2.11.9 Otros reportes de SAP PM