

XII Congreso Latinoamericano de Perforación

Integración de Fluidos de Perforación y Manejo de Desechos en Operaciones de Perforación en Areas Remotas de la Selva Peruana

Diana del Pilar Lopez y Andrew Wilde , M-I L.L.C. A Smith/Schlumberger Company
Estados Unidos

Resumen

El presente artículo describe los mecanismos de implementación de un sistema integral de fluidos durante la planeación y ejecución del proyecto de perforación en el área de bosque tropical del Perú. Describe como el trabajo coordinado y la sinergia adquirida permitieron cumplir con las normas ambientales y las metas operacionales.

En este proyecto, todas las operaciones de fluidos de perforación y manejo de desechos fueron manejadas como una sola entidad, permitiendo de esta forma que la operadora enfocara sus esfuerzos en la perforación del pozo y en la parte logística que demandaba gran coordinación.

Se presenta de esta forma, un nuevo enfoque que combina los fluidos de perforación con el manejo de desechos bajo la supervisión de un solo líder y coordinador general en el pozo. Durante la etapa de planeación, el grupo integral consideró la sensibilidad ambiental del ecosistema circundante para diseñar la locación de una forma adecuada; para establecer procedimientos y técnicas de monitoreo y para definir funciones y responsabilidades de cada uno de los integrantes. Se diseñó un sistema de fluido de perforación flexible que permitiese la reducción del volumen de desecho y a su vez cumpliera con los requerimientos de mantener la estabilidad del pozo. Adicionalmente, se diseñaron programas de monitoreo en conjunto con laboratorios especializados y aprobados para verificar la calidad de los efluentes generados en el pozo y de los cuerpos de agua superficial en la zona de influencia. Esto permitió una evaluación continua del impacto ambiental generado por las operaciones de perforación en el área.

Este enfoque integral de manejo de fluidos y desechos permitió cumplir con las expectativas ambientales y a su vez con el plan de perforación del pozo. Se convierte

entonces en un enfoque ampliamente recomendado para áreas ambientalmente sensibles donde el objetivo final sea la reducción en el volumen total de desecho, la reducción del riesgo asociado manteniendo la eficiencia en el programa de perforación.

Introducción

En la próxima década, Rosenfeld, *et al*¹ estima que mas del 80% de los nuevos proyectos de desarrollo petrolero se llevarán a cabo en las áreas de trópico húmedo, hogar de gran diversidad biológica en mundo. Esto hace que sea primordial una mayor interacción entre las entidades gubernamentales, las compañías operadoras y los organismos internacionales, para trabajar en conjunto a fin de minimizar el impacto social y ambiental y desarrollar programas específicos que demuestren que la industria petrolera está a la vanguardia del desarrollo sostenible tal como se ha podido demostrar en grandes proyectos de desarrollo en Colombia, Ecuador y Perú. Es de mayor interés entonces demostrar como, implementando mejores practicas, se puede explotar hidrocarburos de una forma segura en ecosistemas de gran biodiversidad.

El proyecto de Candamo desarrollado en los bosques tropicales de la selva Peruana constituye un ejemplo que ilustra el balance entre los aspectos ambientales y operacionales de la perforación. El pozo exploratorio Candamo 1X fue perforado en el sur este del Perú, en el piedemonte de la cordillera de los Andes, bloque 78 en la base de Tambopata- Madre de Dios, considerada de gran sensibilidad ambiental. (ver Figura No. 1). El pozo estaba localizado en la Zona de Reserva Tambopata-Candamo (ZRTC), la cual entra en la jurisdicción del Sistema Nacional de Areas Naturales Protegidas, dedicadas a la preservación de los recursos naturales, la fauna y la flora. Considerada una de las áreas de mayor diversidad biológica en el mundo, esta área constituye el hogar de numerosas especies de fauna, flora y vida salvaje, entre ellas la nutria, un animal ya considerado en riesgo en el área y que por estar a la cabeza de la cadena alimenticia, cualquier perturbación del medio ambiente podría poner en mayor riesgo la vida de este animal. Por esta razón, la compañía operadora consultó inicialmente con diversas organizaciones y entidades reguladoras para establecer lineamientos de operación ambientalmente aceptables al área.

El permiso de perforación fue otorgado con las restricciones dadas en las regulaciones ambientales del Perú que definen los límites permisibles de descargas de desechos de perforación. Sin embargo, la operadora utilizó adicionalmente, normas internacionales del banco mundial, por ejemplo, para asegurar el máximo nivel de calidad en el manejo de los desechos líquidos y sólidos en Candamo.

La locación se diseñó en tamaño reducido para limitar la deforestación del área. De igual forma, se optó por realizar la operación evitando la construcción de carreteras ya que esto causaría un gran impacto en el ecosistema. Fue así que se realizó un plan para transportar por helicóptero, personal, equipos y materiales necesarios para la perforación del pozo.

Uno de los aspectos operacionales de mayor riesgo además de la parte ambiental y logística, era la relacionada con la estabilidad del área. El pozo, planeado a una profundidad de 13,120 ft (4,000 m) estaba localizado hacia el borde del cinturón subandino que va desde el noroeste hacia el sudeste del país. Su proximidad a la cordillera de los Andes hace que esta sea una zona de gran tectonismo. Los pozos que han sido perforados en el área han presentado severa inestabilidad de hueco, lo que genera pega de tubería, pérdida de circulación, pérdida parcial o total de hueco abierto por derrumbe y finalmente múltiples re-perforaciones y desviaciones del pozo. No existía información de pozos suficientemente cercanos para correlacionar los datos geológicos.

Durante la perforación de Candamo 1X se esperaba encontrar lutitas altamente reactivas en las formaciones superiores, lo cual es una característica de los pozos en áreas del Perú. Cuando se penetran estas formaciones, tiende a presentarse embotamiento de los ensamblajes de perforación e hinchamiento del hueco. Aunque algunas de las formaciones que se anticipó encontrar no eran consideradas como reactivas, se previó una sensibilidad al tiempo de exposición, es decir, que una sobreexposición de la formación al fluido de perforación podría causar derrumbe del pozo, lo cual resultaría en pega de la tubería y eventual desviación del pozo. Teniendo en cuenta la geología esperada, era entonces primordial que el programa de fluido de

perforación fuese lo suficientemente flexible para permitir ajustes de las propiedades de acuerdo al avance de la perforación en tiempo real. Además, debía contarse con la experiencia del supervisor de fluidos para llevar a cabo estas modificaciones.

Con el fin de cumplir con los objetivos ambientales y operacionales, la operadora optó por un sistema que integrara las actividades relacionadas con el fluido de perforación, control de sólidos y manejo de residuos sólidos y líquidos, en un solo equipo cuyo objetivo final sería minimizar el volumen de residuos, optimizar las propiedades del fluido de perforación y asegura máximo control y calidad en la disposición final de residuos.

La Iniciativa de Fluidos Integrados

Tradicionalmente, los servicios de fluidos de perforación, control de sólidos, manejo de residuos y fluidos de completamiento, son contratados de forma individual y operan de manera independiente. En el proyecto de Candamo, estos servicios fueron manejados de manera conjunta con el fin de obtener los beneficios de una integración durante la perforación del pozo. El programa fue diseñado con el fin de optimizar la eficiencia global del servicio.

Este nuevo enfoque, el cual busca optimizar el diseño, desempeño y manejo de los fluidos y residuos generados en el pozo, hace uso de interrelación natural que existe entre todos los productos y servicios de fluidos durante la perforación ^{2,3,4}. Al sincronizar las eficiencias entre estos servicios, la operadora se beneficia reduciendo los costos de perforación, mejorando la producción y cumpliendo al mismo tiempo con los requerimientos de protección ambiental.

El concepto de integrar todos los aspectos relacionados con fluidos y residuos en la perforación viene de la agrupación natural entre ellos. Esto quiere decir que existe una interdependencia entre fluidos, equipos, productos y servicios, de forma tal que el desempeño de cada uno de los componentes afecta la eficiencia general del proceso. Esta interdependencia representa oportunidades para obtener mejores resultados manejándolos de manera conjunta y combinando esfuerzos durante la etapa de

ejecución del proyecto. La agrupación natural incluye fluidos de perforación, completamiento y fluidos para perforar yacimientos; equipos de filtración y control de sólidos; manejo de residuos líquidos y sólidos y servicios de remediación.

Bajo la supervisión de un grupo multi-disciplinario de ingenieros, el proceso de integración de fluidos inicia en la etapa de planeación del pozo y se extiende hasta el completamiento de este, incluyendo la disposición final de sólidos y líquidos remanentes.

El servicio integral incorpora manejo integral de fluidos, procedimientos, mejores prácticas, marcas de desempeño, programas de software especialmente diseñados y otras tecnologías. Esto permite diferenciar esta modalidad de servicio de la agrupación convencional de servicios por descuento. El sistema integrado hace uso además de una base de datos común que permite un seguimiento continuo del desempeño de cada línea de servicios y a su vez permite verificar y analizar la interacción entre cada uno de los componentes, lo cual constituye el fundamento de análisis y mejoramiento continuo.

Desde el punto de vista ambiental, el sistema integral hace uso de marcas de desempeño previamente establecidas y procedimientos estándar. También es de vital importancia mantener una comunicación y cooperación continua con el departamento ambiental de la operadora y con los organismos reguladores locales. Esto se inicia mucho antes de comenzar la perforación del pozo.

Planeación.

La planeación del proyecto Candamo 1X comenzó a fines de 1996 cuando la operadora viajó al área para recolectar información de correlación y se definió el alcance y costo estimado del proyecto. En Octubre de 1997 se estableció el equipo de ingeniería de perforación en Perú para llevar a cabo las siguientes actividades:

- Determinación de rutas terrestres disponibles
- Selección del área para la estación intermedia
- Selección del sitio de perforación

- Comienzo del estudio de impacto ambiental (EIA) y el plan de manejo ambiental (PMA)
- Preparación de los paquetes de licitación para los servicios subcontratados
- Construcción del área estacionaria y de la locación para perforar
- Movilización del taladro de perforación y de los equipos y materiales de las compañías de servicios

Utilizando el enfoque de un equipo integral, la compañía operadora llevo a cabo una reunión ambiental de trabajo en la ciudad de Lima para revisar y completar el estudio de impacto y el plan de manejo ambiental. Durante esta reunión se analizaron y definieron los riesgos potenciales al ecosistema y las medidas de mitigación correspondientes. Una parte crítica en esta etapa del proyecto fue el monitoreo inicial de la calidad del agua y de las condiciones del ecosistema acuático y de las especies en riesgo.

Antes de iniciar la perforación, se realizó una evaluación ambiental del programa de perforación, incluyendo una revisión de las normas ambientales locales y un análisis detallado de las alternativas de disposición de residuos sólidos y líquidos. Se decidió entonces que el supervisor de fluidos a cargo de servicios integrados, sería el responsable final de asegurar que se cumplieran las metas establecidas en el programa de fluidos.

Aspectos Logísticos

Los aspectos mas visibles a la comunidad eran los relacionados con el transporte de personal, equipos y materiales hacia el área estacionaria y hacia la locación. Construir y mantener una carretera hasta la locación, no era la mejor opción desde el punto de vista ambiental debido al terreno, la disponibilidad de materiales de construcción y las condiciones climáticas tan impredecibles durante la perforación, completamiento y finalización del pozo.

La compañía operadora optó por utilizar las vías existentes mas cercanas y utilizar un taladro helitransportable para perforar el pozo. De igual forma, se utilizaron

helicópteros para transportar personal, equipo, materiales y provisiones. El uso de helicópteros reduciría el espacio intervenido y los efectos ambientales asociados.

Por otra parte, era necesario mantener todos los repuestos y provisiones en el taladro ya que el transporte en helicóptero estaba limitado a las condiciones climáticas y esto haría que la operación se aislara completamente del área estacionaria y de los otros campos petroleros en Perú.

Plan de Manejo de Fluidos en la Locación

EL enfoque principal del programa de manejo de fluidos fue minimizar la acumulación de fluidos, prevenir la contaminación de los alrededores del taladro y asegurar que los fluidos utilizados no contenían ninguna sustancia contaminante que representara riesgo ambiental. La Figura No.2 presenta el esquema general de manejo de fluidos del proyecto. Los cuatro componentes principales del sistema fueron:

- Canal perimetral interior diseñado para contener los fluidos generados durante la perforación
- Sistema de tratamiento de aguas para la clarificación de líquidos cumpliendo con los estándares de calidad de agua previamente establecidos
- Canal perimetral exterior para manejo aguas lluvia
- Sistema de irrigación controlada para disposición final de agua tratada

El canal perimetral interior fue construido alrededor del taladro con unas dimensiones de 1ft x 1ft (30.48 cm x 30.48cm). Este canal recogía fluido de perforación, aguas contaminada, aceites y lubricantes que pudieran derramarse dentro del área del taladro. El drenaje de esta canal era dirigido a un separador gravitacional de aceite equipado con tela oleofílica para absorber el aceite sobrenadante. Las telas con aceite eran luego quemadas en el incinerador del pozo. El agua se enviaba a la unidad de deshidratación, a los tanques de tratamiento de agua o a las líneas de irrigación dependiendo de la calidad.

La unidad de deshidratación utilizaba productos químicos para flocular los sólidos suspendidos y formar agregados que luego eran separados por medio de una

centrífuga de alto volumen. Los sólidos se enviaban por medio de tornillos sin fin a la piscina o fosa de sólidos y el agua se enviaba a irrigación directa o al tratamiento de aguas para una clarificación adicional dependiendo de su calidad.

El agua de la unidad de deshidratación y agua de la planta del campamento requerían eventualmente un tratamiento adicional antes de enviarlas a las líneas de irrigación. El sistema de tratamiento de aguas recibía estos afluentes junto con el agua contaminada de escorrentía del taladro y eventualmente el agua de lluvia del canal perimetral exterior que estuviera contaminada. El proceso de clarificación utilizaba tres tanques abiertos circulares con una capacidad de 21,000 galones (74,494 lt), bombas de transferencia y tanques de dosificación. En estos tres tanques se realizaban la agitación floculación, sedimentación y ajuste final del agua.

El canal perimetral exterior fue construido alrededor de la locación, sin incluir el campamento y con unas dimensiones de 2 x 2 pies (60.96 cm x 60.96 cm). Se construyó además un dique de 2 pies (60cm) como contingencia para retener retornos de pozo o agua lluvia contaminada y asegurar que no saliera ningún fluido sin antes verificar la calidad de este.

El sistema de irrigación fue diseñado para manejar el agua de lluvia acumulada entre el canal interior y exterior. Compuesto por aspersores de dos pulgadas y un sistema principal de riego y dos vertederos que recibían agua de forma gravitacional y desde donde se bombeaba a través de líneas de cuatro pulgadas hasta las líneas de irrigación de tres pulgadas, esto cuando subía el nivel en los vertederos.

La calidad del agua era monitoreada de forma continua durante toda la perforación. En caso de emergencia era posible suspender la irrigación y contener el agua dentro de los dos canales para tratarla antes de ser desalojada de la locación.

Plan de Manejo de Desechos

La piscina o fosa de sólidos se construyó cerca al borde de la locación impermeabilizándola con geomembrana para reducir el riesgo de contaminación de

suelo o agua. Adicionalmente se cubrió con techo y se construyó un dique alrededor para prevenir la entrada de agua lluvia y de fluidos de escorrentía del pozo. El plan inicial fue almacenar los sólidos generados dentro de la piscina o fosa para una posterior disposición por re-inyección dentro del pozo o disposición en tierra dentro o fuera de la locación dependiendo de los resultados del estudio agronómico y de la aprobación de este. La Figura No.3 muestra el diagrama de flujo del proceso de manejo. La Tabla No. 1 muestra además los volúmenes de sólidos y fluidos esperados en cada sección.

Las aguas del campamento tratadas por la planta de lodos activados se enviaron directamente a irrigación cuando la calidad cumplía con las normas establecidas, de lo contrario, estas eran enviadas al sistema de tratamiento de aguas para ajuste final antes de la disposición.

Los desechos no biodegradables, sacos de papel y combustibles fueron incinerados en el incinerador de la locación. Desechos de metal se recolectaron y posteriormente fueron llevados al área estacionaria para disposición final en el sitio aprobado. Desechos de lubricantes fueron reciclados como combustible en el incinerador o transportados al área estacionaria. Los únicos desechos además de los ripios, que se dispusieron finalmente en locación, fueron los residuos de comida. Se realizaron rellenos someros cubiertos diariamente por capas de cal y tres pulgadas de tierra.

Diseño de la locación

La locación estaba situada en una colina estrecha y para construirla se tuvo que remover la parte superior y rellenar los lados, compactar y nivelar el área para poder ubicar el taladro y todos los equipos. La Figura No.4 muestra un diagrama inicial de la distribución del área de Candamo 1X.

Como se muestra en la figura, la locación incluía tres áreas separadas, el campamento, el helipuerto y el área de perforación del pozo. Esta distribución permitía reducir el tamaño y tener una área de mínimo impacto lo cual significaba:

- Tener una locación de menos de dos hectáreas

- Darle forma manteniendo la misma pendiente
- Reducir la excavación y el relleno para mitigar la erosión
- Separar el campamento del área del taladro
- Construir la piscina o fosa de ripios fuera de un área de relleno
- Almacenar y cubrir el material de excavación
- Remover y almacenar el material removido de la superficie en áreas accesibles
- Iniciar control de erosión del área al mismo tiempo que la construcción de esta
- Construir el campamento reduciendo la intervención en el área sin remover la capa superior de suelo nativo en lo posible y cortando árboles de manera selectiva. Además, utilizando estibas de madera como vías de acceso.

Después de nivelar el área, se construyeron canales y diques de contención para control de escorrentía. La pendiente alrededor de la locación se mantuvo menor a 60 – 70 grados de inclinación. La superficie del área del taladro se cubrió con geomembrana impermeable y estibas de madera de 2 x 10 x 12 pulgadas (5.08 cm x 15.54 cm x 30.48cm) en superficie.

El área del perforación incluía la piscina o fosa de ripios de 18 m x 60 m x 3 m, el helipuerto y los dos canales perimetrales. Un dique de 0.5 m servía adicionalmente como contingencia inmediatamente después del canal exterior.

Programa de Fluidos de Perforación

Para obtener un balance ambiental y operacional, se seleccionó un fluido base agua. El sistema de fluido se programó para asegurar la eficiencia de perforación y al mismo tiempo reducir el volumen de exceso por dilución que debía ser tratado. La Tabla No. 2 presenta la lista de componentes del fluido que se seleccionó.

Aunque otros sistemas podrían haber sido mas eficientes para perforar el pozo, se seleccionó un sistema yeso para reducir el impacto ambiental y por su capacidad inhibitoria, versatilidad, resistencia a la contaminación, tolerancia a sólidos y facilidad para deshidratar.

Todos los productos fueron seleccionados bajo el criterio de calidad y cumplimiento ambiental. Los componentes que no cumplieron estos requisitos fueron sustituidos o eliminados. Tal fue el caso de la Barita local, la cual por logística y costo era la mejor opción, sin embargo, al realizar pruebas de laboratorio para determinar el contenido de metales pesados, se detectaron niveles altos en dos tipos diferentes de Barita local. Los resultados se muestran en la Tabla No.3, junto con los valores típicos de la Barita del área del Golfo de México. Por esta razón se decidió importar la Barita de la costa del Golfo de los Estados Unidos y así minimizar el aporte de metales pesados durante la operación de perforación de Candamo 1X. Por otra parte, se escogieron aditivos libres de cromo para el fluido a fin de reducir cualquier riesgo de contaminación.

Plan de Pozo

El plan se diseñó considerando los aspectos operacionales, ambientales y geológicos del pozo Candamo 1X. El plan de perforación consistía en perforar verticalmente 13,120 pies (4,000 m) o penetrar la formación Mississippi Ambo, identificando los puntos de revestimiento más adecuados para contrarrestar los problemas de tectónica del área. Este tectonismo en las formaciones requería el uso de fluidos pesados para facilitar la perforación y los viajes de tubería.

El ensamblaje de perforación fue diseñado para reducir la rotación de la sarta de perforación y el movimiento asociado de la tubería que pudiera causar derrumbe de las lutitas del pozo. Se utilizó un motor fondo de fluido y broca compacta de diamante policristalino (PDC) en la sección inferior del terciario. Se realizó un análisis detallado de la hidráulica para asegurar que el fluido proporcionara suficiente empuje para rotar el motor; que la cara de la broca estuviera limpia y que se limpiara el hueco de forma adecuada.

El programa se adaptó para tener un fluido inhibido y reducir el efecto de exposición de las formaciones altamente sensibles. De la misma forma se corrió el programa de revestimiento para cementar inmediatamente después de perforar las formaciones de mayor inestabilidad, contrario a lo que se había hecho en otros pozos en áreas

similares en Perú. Anteriormente se continuaba perforando dejando las formaciones expuestas al fluido de perforación lo cual generaba inestabilidad, derrumbamiento y finalmente era necesario desviar el pozo.

El programa de revestimiento incluía sarta de 30, 20, 13 $\frac{3}{8}$ y 9 $\frac{5}{8}$ pulgadas; tubería corta de revestimiento de 7 $\frac{5}{8}$ y de 5 $\frac{1}{2}$ pulgadas opcional para pruebas.

El sistema de fluido de yeso fue aceptado ya que proporcionaría la inhibición necesaria del pozo al perforar las arcillas altamente reactivas y así poder perforar según el plan. En caso de presentarse riesgo por larga exposición de la formación, se adicionaría material asfáltico para extender el tiempo de exposición.

Procedimientos de Monitoreo Ambiental

Uno de los aspectos mas importantes del plan de monitoreo fue la evaluación continua de cambios en el ecosistema del valle del río Candamo. Gran parte de la información inicial incorporada en el estudio de impacto y en el plan de manejo ambiental, fue proporcionada por la organización no gubernamental *Conservación Internacional*, la cual había estado trabajando en el área (Zona de Reserva Tambopata-Candamo) desde 1990. Esta organización proporcionó información valiosa a la compañía operadora incluyendo un inventario biológico del área y un estudio detallado de biodiversidad ⁵. El estudio incluía identificación de riesgos, especies, microhabitats, hidrología y evaluación de la biodiversidad del área. Esto además de respresentar un gran aporte al proyecto, sirvió de precedente para demostrar el compromiso y la interacción con organismos internacionales en el proyecto Candamo.

El gobierno del Perú exigió que una vez iniciara la perforación, se monitoreara todos los fluidos en parámetros tales como pH, cloruros, contenido de metales pesados y aceites y grasas. Debido a la variabilidad de la calidad de líquidos como resultado de los periodos de lluvia, arrastre de sedimento y descomposición de materia orgánica, se optó por iniciar el proceso de monitoreo mensual cuatro meses antes de iniciar la perforación para así poder tener una línea base de referencia. Adicionalmente se

tomaron diferentes muestras de suelo en el área antes de instalar el taladro y los equipos.

Se utilizaron las normas establecidos en la regulación ambiental del Perú como parámetros de control de calidad pero debido a la gran sensibilidad ambiental del área, se decidió hacer uso de estándares de referencia del Banco Mundial y de la Norma 29B del estado de Luisiana para definir un protocolo mas completo de muestreo, descarga de residuos y cerramiento final del área. La Tabla No. 4 muestra algunos de los parámetros de la norma Peruana y estándares de referencia del Banco Mundial.

El ingeniero de aguas en coordinación con el supervisor de fluidos realizaba un monitoreo constante de la calidad del agua descargada al medio ambiente. Para prevenir la identificación tardía de problemas relacionados con la calidad de los fluidos, se decidió llevar a cabo un monitoreo adicional mensual dos semanas antes del monitoreo oficial y utilizando el mismo Laboratorio certificado en Lima. Se tomaban muestras por duplicado para correr los mismos análisis en el laboratorio en locación y así verificar calidad de medición de los equipos.

Se tomaron muestras aguas arriba y aguas abajo de los dos cuerpos de agua natural que corrían adyacente al pozo. La Figura No. 5 muestra la distribución de las corrientes de agua y los puntos de muestreo seleccionados.

Representantes de *Conservación Internacional* estuvieron en varias oportunidades haciendo evaluaciones del efecto de la operación en el ecosistema circundante a la locación.

Plan de pruebas de pozo

El pozo se programó para ser perforado y probado en 115 días, los cuales se podrían extender por 22 días mas dependiendo del tipo de prueba seleccionado y de los intervalos que presentaran muestras de hidrocarburo. El plan inicial incluía el uso de un separador de gas, tanques de almacenamiento y una tea de quemado. Se

construiría además una piscina de 20m x 20m x 3m de profundidad al borde de la locación y alrededor de la tea para quema durante las pruebas.

Plan de Recuperación y Abandono del Area

Una vez se terminara la fase de completamiento y pruebas de producción, el pozo sería abandonado asegurando el aislamiento de hidrocarburos y dejando al mínimo posible de área intervenida.

El enfoque principal del plan de recuperación era eliminar cualquier desecho no-perecedero, acondicionar la superficie para evitar posterior erosión y restablecer la capa de suelo removido facilitando así la reforestación posterior del área. Los canales perimetrales serían rellenados con tierra y los ripios de la piscina o fosa mezclados con suelo nativo para ser utilizados en nivelación y recuperación final. Se realizarían excavaciones de 6 a 16 pulgadas dependiendo la compactación de superficie, para aflojar el suelo. El área sería nivelada finalmente para eliminar acumulación superficial de agua lluvia.

Se planeó la instalación de una malla biodegradable para retener el lavado y arrastre de limo y la erosión del terreno antes de que el área se reforestara por completo. La reforestación final se realizaría trasplantando pastos y plantas nativas del área.

Resumen del Proyecto

El pozo inició a mediados de Agosto de 1998 y terminó a finales de Febrero de 1999. Después de realizar las pruebas el pozo se abandonó en Mayo de 1999. El tiempo total fue el doble de lo inicialmente planeado. El volumen total de líquidos en almacenamiento, tratamiento y disposición final fue mucho mayor al inicialmente estimado ya que el programa se extendió al periodo de fuertes lluvias en la región.

Los ingenieros de tratamiento de aguas y deshidratación registraron diariamente los volúmenes de tratamiento y disposición final, lo cual permitió ver que el mayor porcentaje de agua enviada a descarga provenía de la acumulación de agua lluvia dentro de los canales interior y exterior de la locación; agua de lavado del taladro y

agua del campamento. El volumen generado por la perforación misma fue mínimo ya que mantuvieron bajas tasas de dilución y el agua era a su vez reutilizada en el sistema activo. La Tabla No.5 presenta un resumen de los volúmenes de líquidos en la operación. Se trató un volumen total de 123,750 bbls de agua durante todo el proyecto. Un total de 3,660 bbls de exceso de fluido fueron transferidos al sistema de deshidratación (3% del volumen total), lo cual muestra la eficiencia del equipo de control de sólidos y del programa de minimización de residuos. También se muestra en la Tabla No.5 que se reutilizaron 1,470 bbl de agua de deshidratación en el sistema activo, esto reduce a un 1.75 % el aporte total de fluido de perforación al volumen de residuos. Las Figuras No. 6 y No. 7 muestran los volúmenes diarios y acumulados de deshidratación y de descarga final al medio ambiente. Como se puede observar, el volumen diario se incrementa considerablemente después del día 100. Debido a la baja tasa de penetración, la perforación se prolongó y se tuvieron que manejar volúmenes mayores una vez inició el periodo de fuertes lluvias. El sistema de tratamiento de aguas y el diseño de los canales perimetrales y diques permitió el manejo adecuado de este volumen adicional y el continuo monitoreo de la calidad antes de realizar la disposición final al medio ambiente.

El uso de yeso en el fluido de perforación y el equipo de control de sólidos jugaron un papel importante en la minimización de la cantidad de desecho final, reduciendo el volumen de dilución requerido para mantener las propiedades del sistema activo y de esta forma el volumen de tratamiento y descarga final. El sistema yeso permitió mantener la integridad de los ripios para ser separados por el equipo de control de sólidos. El peso se incremento con respecto a lo inicialmente planeado y se mantuvo en el rango de (2.0 a 2.3 gravedad específica) debido al tectonismo del área. La tasa de dilución y el acondicionamiento del fluido no presentaron variaciones considerables debidas al incremento de densidad del fluido. Debido a este incremento, fue necesario transportar Barita adicional a la estimada inicialmente. Se logró conseguir Barita nacional que cumplía con las normas de metales pesados. Sin embargo, el incremento en la eficiencia de control de sólidos de un 75% a aproximadamente 82% hizo posible una mejor recuperación y así poder extender la Barita en inventario inicial por mas tiempo y reducir la cantidad adicional que fue transportada a la locación.

La estabilidad proporcionada por el sistema de Yeso junto con el material asfáltico y el incremento en la densidad, permitieron controlar el hueco sin llegar ser necesario desviar el pozo.

Durante la etapa de pruebas de pozo, se acondicionó una línea de agua para enfriar la tea de quemado. El agua remanente se recolectaba en una piscina o fosa y era enviada nuevamente al sistema de tratamiento de aguas donde se trataba o se reciclaba para enfriamiento de la tea nuevamente.

El supervisor de fluidos integrados permaneció en la locación hasta la finalización del proyecto y cerramiento del área para coordinar el manejo y disposición final de residuos sólidos y líquidos remanentes.

Al finalizar la operación, se movilizó el taladro, se removieron las estibas de madera y se lavó la geomembrana para limpiar residuos de la operación. El agua de lavado fue recolectada en los separadores y contrapozo y posteriormente enviada a tratamiento antes de descargarse al medio ambiente.

Se realizaron muestreos a los sólidos almacenados en la piscina y el único parámetro que se encontró por encima de la norma en algunas muestras fue el Bario. Una vez finalizado el muestreo de toda el área, se evaluaron los resultados mirando la frecuencia y los promedios ponderados que no superaban los límites establecidos, por lo tanto, los sólidos se dejaron almacenados en la piscina recubriendo con una capa de yeso y una capa de suelo nativo. Se dejó la superficie con pendiente para así evitar el encharcamiento de agua de lluvia en superficie y posterior infiltración.

Lecciones Aprendidas

El Desarrollo del proyecto desde la planeación hasta la recuperación final del área permitió establecer una serie de recomendaciones que se pueden aplicar a proyectos similares en el futuro:

- Cualquier proyecto realizado en áreas ambientalmente sensibles, debe contar con un programa de monitoreo previo a la iniciación de la perforación para poder establecer una línea base de calidad de acuerdo con los cambios climáticos e hidrológicos del área.
- Mantener centralizada la responsabilidad y toma de decisiones del grupo de servicios integrados a través de un coordinador de fluidos, facilitando al operador enfocar sus esfuerzos en la perforación y logística del proyecto, mientras el supervisor se encarga de las actividades correspondientes a fluidos de perforación y completamiento, equipos de control de sólidos, tratamiento y disposición final de sólidos y líquidos.
- Involucrar al equipo de servicios integrados desde la etapa inicial de planeación de la operación con el fin de acoplar el programa de perforación, el diseño de la locación, la logística, al plan de manejo de sólidos y líquidos. Esto permite asegurar al mismo tiempo la provisión temprana del sistema de fluidos y equipos de control de sólidos y manejo de desechos óptimos para el proyecto.
- Involucrar a todas las áreas responsables, en el diseño del área y en el plan de manejo para asegurar que el diseño permita cumplir con los procedimientos y con las normas inicialmente establecidas.
- Definir funciones y responsabilidades para cada uno de los integrantes de la operación incluyendo contratistas involucrados en el proyecto. Esto permite asegurar que cada persona entienda tanto el alcance como las limitaciones de su trabajo.

Conclusiones

El proyecto de Candamo 1X desarrollado en el valle del río Candamo en el bosque tropical del Perú, demostró que es posible realizar un manejo adecuado de los residuos sólidos y líquidos y minimizar las descargas en áreas ambientalmente sensibles. El pozo fue perforado de manera eficiente sin que ocurriese ningún tipo de incidente ambiental en el área.

Una parte esencial de la operación fue la integración de un programa para coordinar los servicios de fluidos de perforación, control de sólidos y manejo de residuos. Esta integración y supervisión centralizada de las líneas de servicios permitió al operador tener un mejor enfoque en la perforación del pozo. Una muestra del éxito de la perforación fue demostrar que se podían controlar los problemas de inestabilidad y evitar así las desviaciones características en otros pozos en el Perú.

Finalmente, la interacción y cooperación entre el gobierno local, organismos internacionales y la industria marca un precedente de la importancia de un trabajo conjunto para llevar a cabo proyectos de exploración y desarrollo en áreas ambientalmente sensibles.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a los ingenieros Carsten Elsborg y Charlie Marshall por su importante participación en el proyecto y soporte en la elaboración de este trabajo.

Referencias

1. Rosenfeld, A.B., Gordon, D.L. and Guerin-McManus, M: "Reinventing the Well: Approaches to Minimizing the Environmental and Social Impact of Oil Development in the Tropics," Conservation International, volumen 2, 1997.
2. Pruett, J. and Hudson, C.: "Integrated Approach Optimizes Results," *The American Oil& Gas Reporter*, Agosto, 1998, pp.86-91
3. Hudson, C. and Nicholson, S.: "Integrated Fluids Approach Cuts Waste Cost in Texas Wildlife Refuge," *Petroleum Engineer International*, Marzo 1999, pg 37-41.
4. Hudson, C.: "Evaluation of Drilling Rig Fluids handling Systems: An Integrated Fluids Management Approach," *Offshore Magazine*, Septiembre 1999.
5. Conservation International: "Ecological Characterization of the Candamo River Valley with Emphasis on the Identification of Risk for Biodiversity Conservation," reporte, Septiembre 1997.