Herramientas Reductoras de Torque y Arrastre de Nueva Generación en Perforación Direccional, Sistema LoTAD, y su Aplicación en el campo Sacha de Petroproducción

Quispe Christian [1] Remache Guillermo [2] Tapia Daniel [3]
Facultad de Ingeniera en Ciencias de la tierra (FICT)
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía perimetral, Apartado 09-01-5863, Guayaquil-Ecuador
jquispe@espol.edu.ec [1] gremache@espol.edu.ec[2] dtapia@espol.edu.ec [3]

Resumen

El tema de tesis desarrollado es "Herramientas reductoras de Torque y Arrastre de nueva generación en Perforación Direccional, Sistema LoTAD, y su aplicación en el campo Sacha de Petroproducción", se seleccionó dos pozos con problemas de atascamiento durante toda la perforación de los mismo. El primer capitulo trata de los conceptos básicos para el desarrollo de este proyecto, la segunda parte establece los métodos de reducción de torque y arrastre en la perforación direccional de pozos y los criterios para su selección. El tercer capitulo se realiza la descripción general de la herramienta LoTAD y su utilización. La cuarta parte describe el software WellPlan de Landmark graphic que se utiliza para simular las fuerzas involucradas en la perforación de un pozo, en el capitulo cinco se ejecuta el software con la información del pozo, y se realiza el análisis completo con la identificación de los posibles problemas. Al final se realiza un análisis económico de los dos pozos y se emiten las conclusiones obtenidas de este estudio y posibles recomendaciones a tomar en cuenta para futuras perforaciones de pozos.

Palabras Claves: *Perforación de Pozos Direccionales, Reducción de Torque y Arrastre, Software WellPlan*

Abstract

The theory developed theme is "Tools Reducing Drag and Torque for a new generation in directional drilling, LoTAD system and its application in the field of Sacha Petroproduccion, two wells were selected with binding problems during the drilling of the same. The first chapter deals with basic concepts for the development of this project, the second part sets out methods for reducing torque and drag in directional drilling of wells and the criteria for selection. The third chapter is the general description of the tool and its use LoTAD. The fourth part describes the Landmark graphic software which is used to simulate the forces involved in drilling a well, in chapter five is running the software with information from the well and the analysis is performed to complete the identification of potential problems. At the end is an economic analysis of the two wells and are released findings from this study and possible recommendations to be taken into account for future drilling of wells.

Keywords: *Directional Drilling, Torque and Drag Reduction, Software WellPlan*

1. Introducción

En los actuales momentos se están realizando pozos direccionales entre ellos los de tipo S y Horizontales en el oriente ecuatoriano para incrementar el potencial productivo de los yacimientos. Para la perforación de dichos pozos la utilización de herramientas que permitan facilitar el trabajo y disminuir el tiempo de operaciones es vital importancia para la rentabilidad de los pozos.

Durante la perforación de dos pozos en el campo Sacha de Petroproducción se presentaron problemas con atascamientos de herramientas en el interior del hueco que se estaba perforando, por tal motivo incrementaba el tiempo de perforación, la evaluación del funcionamiento de una nueva herramienta LoTAD en el diseño del conjunto de herramienta para la perforación de un pozo y reducir los problemas con herramientas atrapadas de futuros pozos es la razón principal de este proyecto.

Los LoTAD son herramientas mecánicas con rodillos que permiten el fácil desplazamiento del conjunto de herramienta llamada en la industria petrolera como sarta de perforación disminuyendo posibles problemas de atascamiento.

Para la realización de este proyecto se hizo el estudio de la herramienta y su funcionamiento en el oriente ecuatoriano en el campamento Sacha de Petroproducción planteándose objetivos específicos: Simular y analizar las fuerzas presentes al interior del hueco o pozo con y sin uso de los LoTAD con ayuda del software WellPlan Landmark Graphic In., determinar las ventajas y desventajas operativa de la herramienta.

Con la información de las perforaciones de los dos pozos obtenidos de los reportes diarios de estas operaciones, se confirma los lugares de mayor problema durante la perforación, se establece un nuevo diseño de la sarta de perforación añadiendo los LoTADs en posiciones que nos das el software, realizando un análisis de costos y beneficio obtendremos respuesta a la siguiente hipótesis *¿Qué eficiencia operacional posee las herramienta reductora de torque y arrastre en la perforación direccional de pozos?.*

2. Capitulo I. Marco Teórico

2.1. Conceptos Básicos

Fricción

[5]. Se define a la fricción como una fuerza que actúa sobre un cuerpo e impide el deslizamiento de este con respecto a otro o en la superficie que esté en contacto. Esta fuerza es siempre tangencial a la superficie en los puntos de contacto con el cuerpo, y su dirección se opone al movimiento del cuerpo con respecto a esos puntos.

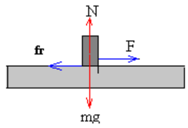

Figura 1 Fricción entre un cuerpo y una superficie

Como indica la figura 1, la magnitud de la fuerza de rozamiento entre dos cuerpos en contacto es proporcional a la fuerza normal entre los dos cuerpos:

$$\textbf{(1)}\quad f_r = \mu \cdot N$$

Donde μ es el coeficiente de fricción.

Existen dos tipos de fricción

1. Fuerza de Fricción estática (f_S):
2. Fuerza de Fricción dinámica (f_K):

Coeficiente de fricción

Es un coeficiente adimensional que expresa la relación de las fuerzas aplicadas. Usualmente se representa con la letra griega **µ**.

Existen diferentes tipos de coeficiente de fricción según la fuerza de fricción que exista:

1. Coeficiente de fricción estática (μ_S):
2. Coeficiente de fricción dinámica (μ_K):

La relación entre los dos coeficientes es:

$$\mu_s > \mu_k$$

Torque

[5]. Se define el torque **T** de una fuerza F que actúa sobre algún punto de un cuerpo rígido, para facilitar el análisis, en una posición r respecto de cualquier origen O, por el que puede pasar un eje perpendicular, sobre el cual se produce la rotación del cuerpo, al producto vectorial entre la posición r y la fuerza aplicada F:

$$T = r * F$$

El torque es una magnitud vectorial, si θ es el ángulo entre r y **F**. El valor escalar de este producto vectorial se define como:

$$T = rFsen(\theta)$$

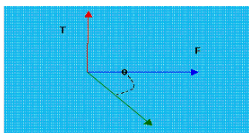

Figura 2 Componentes del torque

Arrastre

[5].Todo cuerpo que esté inmerso en la corriente de un fluido estará sometido a fuerzas y momentos de fuerzas que dependen de la forma y orientación con respecto al flujo. El arrastre es una fuerza mecánica, generada por la interacción entre un cuerpo rígido y un fluido. No es generado por un campo de fuerzas como en el caso de fuerzas gravitacionales o electromagnéticas donde no es necesario el contacto físico. Para que exista arrastre el cuerpo debe estar en

contacto con el fluido. Debe haber un movimiento relativo entre el fluido y el sólido.
El arrastre presente en la perforación es la fuerza que se produce entre las superficies de contacto de las conexiones de tubería y las paredes del hueco causado por el deslizamiento y/o la rotación de la sarta de perforación.

2.2. Torque y Arrastre en La Perforación

[1]. El torque que se presenta en la perforación, es la fuerza mecánica generada por el Top Drive/Mesa Rotatoria, necearía o aplicada para hacer rotar la sarta de perforación para vencer las fuerzas presentes la a lo largo de la trayectoria del pozo, como se puede ver en la Figura 3.

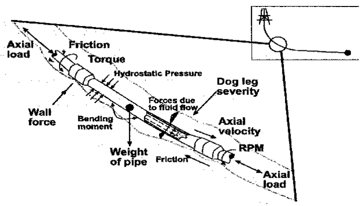

Figura 3 Esfuerzos en una sarta de perforación

2.3. Tipos De Pozos Direccionales

[3]. Los pozos direccionales poseen una clasificación la cual dependerá de la forma que tome el ángulo de inclinación en lo que corresponde a su trayectoria.
El torque y/o el arrastre dentro de la sarta de perforación dependerán de la trayectoria del pozo y de los ángulos de diseño.

1. Tangencial o “J” Invertido (Slant)
2. “S” Especial o Modificado
3. Inclinado (uso de taladro especial)
4. Horizontal o Multilateral

2.4. Importancia de la reducción de Torque y Arrastre en la perforación Direccional

Las operaciones con los reductores de torque y arrastre desempeñan un rol vital en el proceso de la perforación direccional, ya que se reducen el tiempo y los costos de la unidad de perforación a través de:

- Reducir el torque y el arrastre hasta el 70% (dependiendo de las características del pozo) para mantener el peso de la sarta de perforación.
- Prevenir daño o fallas del equipo de fondo y superficie.
- Reducir el desgaste en las secciones entubadas del pozo.
- Orientar con precisión las herramientas de perforación y completación

2.5. Causas de Pega en La Sarta de Perforación

Hay diferentes causas por lo que la Sarta de Perforación puede pegarse; entre las más comunes en las operaciones de perforación están:

- Pegaduras en arenas en tubería de revestimiento
- Pegaduras por Atascamiento Diferencial
- Pegaduras con lodos
- Pegaduras en ojos de llaves (keyseats)
- Pegaduras por fallas mecánicas

3. Capitulo II., Reducción de Torque y Arrastre

3.1. Principios Básicos de Torque y Arrastre Presente en la Sarta de Perforación

[1]. Las fuerzas que actúan en la sarta de perforación al estar dentro del agujero dependen del tipo de superficie en la que se encuentre y la función que esté realizando la misma. Los principios básicos se pueden analizar matemáticamente
.Superficie horizontal.

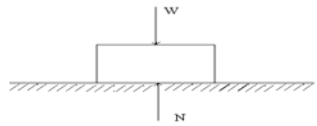

Figura 4 Fuerzas presentes un cuerpo estático

$$\sum Fv = 0$$

$$N = W$$

Al existir desplazamiento de la tubería dentro del agujero existirá una velocidad de desplazamiento, la cual será constante hasta llegar al tope de la siguiente sección que se va perforar.

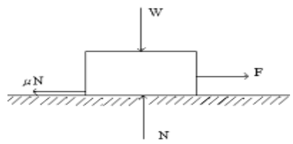

Figura 5 Fuerzas presentes en un cuerpo en movimiento

$$N = W$$

$$F = \mu . \bullet N \quad \text{y} \quad F = \mu \bullet W$$

Superficie Inclinada
En ausencia de fricción, las fuerzas actuando sobre la tubería son el peso W, la tensión axial T y la fuerza de reacción, denominada Normal N. Balance de fuerzas, asumiendo que la tubería está rotando dentro del agujero.

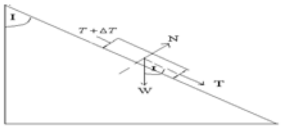

Figura 6 Fuerzas presentes de un cuerpo en una superficie inclinada

A lo largo del eje del agujero se tiene:

$$\sum Fh = 0 \rightarrow \Delta T = W \cdot Cos\,(I)$$

Perpendicularmente al eje se tiene

$$\sum Fv = 0 \rightarrow N = W \cdot Sen\,(I)$$

Usualmente este valor del coeficiente de fricción oscila según:

$$0.15 > \mu > 0.45$$

Bajando tubería,

$$\Delta T = W \cdot Cos\,(I) - Ff$$

$$\Delta T = W \cdot Cos\,(I) - \mu \cdot W \cdot Sen\,(I)$$

Y sacando Tubería

$$\Delta T = W \cdot Cos\,(I) + \mu \cdot W \cdot Sen\,(I)$$

3.2. Factores a considerar para la reducción de torque y arrastre

Los cuatro componentes de las fuerzas laterales: Tensión o Compresión, Cargas, Fatiga, Pandeo Información del pozo.

3.3. Métodos de Reducción de Torque y Arrastre

Optimizando la trayectoria del pozo
Fluidos de perforación.,
Sarta de Perforación
Herramientas Convencionales.
Estabilizadores

Figura 7 Estabilizador Estándar

Roller Reamer (RR).
Underreamer.
String Reamer.

Herramientas De Nueva Generación

LoTORQ

Figura 8 LoTORQ, cortesía de Weatherford

LoDRAG

Figura 9 LoDRAG, Cortesía de Weatherford

LoTAD

Figura 10 Herramienta LoTAD. Fotografía cortesía de Weatherford

3.4. Consideraciones Para la Elección Del Método

Los criterios descritos a continuación pueden ser utilizados como una guía en la selección del método más apropiado para la reducción de torque y arrastre:

- Modo de Operación
- Distribución de cargas de contacto
- Radio del Agujero que se va realizar
- Costos, Disponibilidad y Soporte
- Hidráulica
- Logística de la torre
- Compatibilidad
- Desgaste de tubería y pandeo

4. Capitulo III. Descripción de LoTAD Y Aplicación

Componentes.
La herramienta de LoTAD consiste de:

- Una unión substituta de tubería de perforación.
- Camisa de Polímeros
- Camisa de acero.
- Rodillos y ejes.

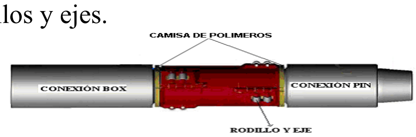

Figura 11 Componentes de la herramienta LoTAD cortesía de Weatherford

4.1. Función de la herramienta LOTAD dentro del pozo.

Sarta en el pozo

Figura 12 Tool Joint en contacto con las paredes del Agujero

El torque generado por la sarta de perforación dentro del hoyo esta dado por la siguiente ecuación:

4.2. Aplicación de LoTAD En La Sarta

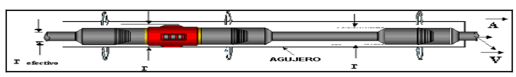

Figura 13 Aplicación de LoTAD En la sarta de perforación

- La Sarta de Perforación (Drill String) rotará a través del mandril del LoTAD durante la perforación rotaria. La única fricción torsional en la sarta será generada entre la camisa de polímero y el cuerpo del LoTAD.
- Como resultado *r*, el OD del Tool Joint en la formula de cálculo del torque, es reemplazado por el Radio Efectivo de Giro $r_{efectivo}$, el cual corresponde al diámetro externo del cuerpo del DP
- Al mismo tiempo, la factor de fricción fue reemplazado con el factor de fricción entre la camisa de polímetro y el cuerpo del LoTAD el cual tiene un factor de fricción más bajo (0.09)

4.3. Reducción De Arrastre

El arrastre es producido por el contacto entre la superficie de contacto de la Sarta de Perforación y el agujero.

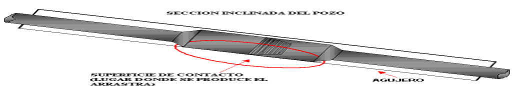

Figura 14 Tool Joint en contacto con una de las paredes del agujero en una sección inclinada

Este contacto es el de las conexiones de la tubería (Tool Joint) durante sus viajes dentro y fuera del pozo, se produce por asentamiento de tubería en el lado inferior.

4.4. Reducción del Arrastre Aplicando LoTAD

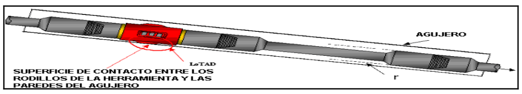

Figura 15 Aplicación de LoTAD a la Sarta de Perforación en una sección inclinada

Si la superficie de contacto es reducida utilizando el LoTAD, el rodillo de la herramienta será el contacto del Tool Joint de la junta. El diseño de LoTAD con rodillo permite minimizar el área de contacto, permitiendo reducir la tendencia a presentar pega de la sarta a las paredes del pozo por presión diferencial.

5. Capitulo IV. SIMULACION Y ANALISIS DE LAS FUERZAS PRESENTE EN LA PERFORACION DE LOS POZOS CON USO DEL SOFTWARE WELLPLAN DE LANDMARK GRAPHICS INC.

5.1. Descripción General del Software

[1]. El WELLPLAN permite al usuario identificar los potenciales problemas durante la planeación, suministro y ubicación de las herramientas de standoff, la optimización de flotación del casing y otras herramientas para investigar la modificación de diseño para ser mejorada, si es necesario.

5.2. Parámetros necesarios para una Simulación y modelaje en WELLPLAN

[1]. Información necesaria para realizar el Modelaje
¿Se está perforando?
¿Bajando tubería de revestimiento?
Profundidades de interés
Perfil del Pozo
Diámetros de Hoyos
Sarta de Perforación
Parámetros de Operación

5.3. Análisis de las Fuerzas laterales

La inestabilidad armónica o movimiento de contacto inducido como el deslizamiento parcial (*stick-slip*,) pueden causar que la Sarta de Perforación se someta a severas vibraciones laterales. Estas vibraciones ocurren cuando el motor o los estabilizadores de la Sarta de Perforación han avanzado libremente cuando se ha rotado a través de las capas de formaciones.
La carga lateral resultante y las vibraciones pueden causar una falla de fatiga o un backoffs (desenrosque) de las conexiones del BHA y desgaste rápido del Tool Joint y componentes de la sarta.
Un análisis de las fuerzas laterales en la sarta se presenta en el siguiente gráfico.

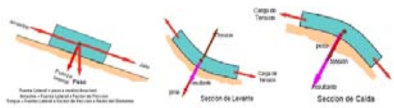
Figura 16 Componente de peso y tensión de la fuerza lateral

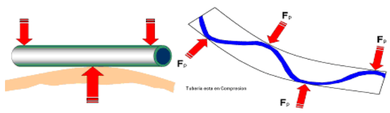
Figura 17 Componentes de rigidez de la fuerza lateral y comportamiento de las fuerzas que actúan en la tubería en un pandeo

Un análisis de las fuerzas laterales aplicando el Programa WELLPLAN se muestra en el siguiente grafico.

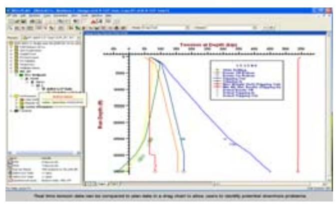
Figura 18 Análisis de la tensión en el fondo del pozo con las diferentes tipos de perforación

5.3. Análisis del torque y arrastre con y sin uso de LoTAD

Este análisis sólo es posible con toda la información de cargas y esfuerzos obtenida durante la perforación.
El torque y arrastre son factores críticos en determinar si el perfil deseado puede actualmente ser perforado y entubado. Los modelos de torque y arrastre consideran la trayectoria del pozo, configuración de la Sarta de Perforación, patas de perro, factores de fricción y la profundidad del casing para predecir el torque y arrastre en el pozo.

5.3.1. Torque sin LoTAD. En un análisis grafico donde se puede apreciar el torque de perforación. Se puede ver que cuando llega al limite excederá el torque de apriete de la tubería, y no se podrá llegar al fondo, por lo tanto no se llegará al objetivo. La sarta sin el sistema LoTAD podrá causar que la tubería esté en riesgo de pandeo o de quedarse pegada en las paredes del pozo. Al rotar la sarta pegada a las paredes del pozo hace que tenga perdidas por fricción y esto causar un problema de torque adicional.
Sin embargo, para una adecuada reducción de torque se necesitará una consideración para escoger el mejor método de reducción de torque y arrastre en la sección del problema.

5.3.2. Torque con LoTAD. Con las herramientas LoTAD se reducirá las perdidas por fricción y esta a su vez el torque. Dependiendo de la cantidad de herramientas y la ubicación en la sarta se definirá el porcentaje de reducción de torque y arrastre

6. Capitulo V. Aplicación de la herramienta en el campo Sacha Petroproducción, pozos seleccionados

6.1. Problemas suscitados y Soluciones Planteadas.

[2]. El pozo Sacha-169D presentó problemas en la sección de 8½", en la cual estaba planificado tumbar el ángulo, se complicó por problemas de atascamiento de la Sarta de Perforación La solución incluir reductores de torque LoTAD. En el pozo Sacha-221H, el principal problema fue atascamiento y pérdida de parte de la sarta durante la perforación, La solución utilizar una camisa giratoria reductora de torque, que no tuvo éxito

6.2. Aplicación de la herramienta LoTAD en los pozos seleccionados con ayuda del software Wellplan

Perfil del Pozo Sacha-169D

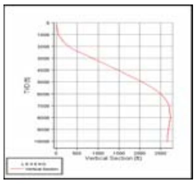

Figura 19 Perfil del Pozo - Sección Vertical

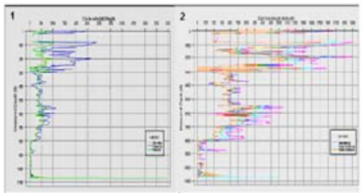

Figura 20 Simulación de las fuerzas Laterales (1) sin rotar (2) rotando en el pozo

Luego de realizado el análisis de torque y arrastre se tiene lo siguiente:

- Las mayores fuerzas de contacto se encuentran en los intervalos desde 600 a 7500 pies
- Con estas altas fuerzas laterales se puede desgastar tanto la tubería de perforación así como el casing de 9 5/8".
- El torque de perforación cuando se esté a 10773 ft. estará cercano a 26100 lb ft, que es el torque de apriete de la tubería.

Sacha 221H

Perfil del Pozo.

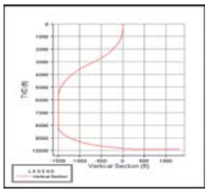

Figura 21 Perfil del Pozo - Sección Vertical

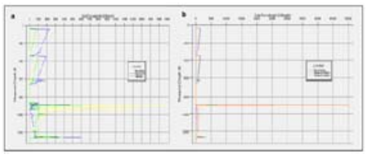

Figura 22 Simulación de las fuerzas Laterales (a) sin rotar (b) rotando en el pozo

- Las mayores fuerzas de contacto se encuentran en los intervalos desde 300 a 6600 pies.
- Con estas altas fuerzas laterales se puede desgastar tanto la tubería de perforación como el liner de 7"

6.2.1. Solución con el uso de LoTAD. Sacha 169D y Sacha 221H

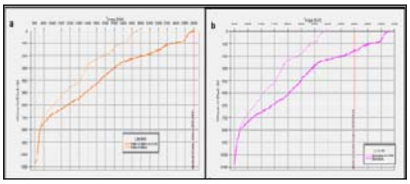

Figura 23 Torque rotando (a) y backreaming (b) con la aplicación adecuada de los LoTADs

Luego de realizado el análisis de torque y arrastre se tiene lo siguiente:

- El Torque de Perforación se reduce e 26%.
- La tensión disminuye de 275600 a 268800 lbs cuando se está deslizando a TD.
- Con los LoTADs en la sarta se reducirá el desgaste de la tubería de revestimiento de 9 5/8”
- Se recomienda utilizar reductores de fricción, con la siguiente configuración:

75 LoTADs 5” NC50, S135, 1 por parada, desde 600 hasta 7500 ft, medidos desde la superficie.

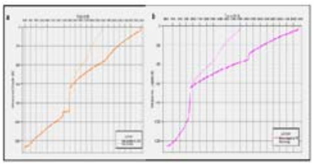

Figura 24 (a) Valores de Torque mientra perfora dentro del pozo con LoTAD y sin LoTAD y (b) valores de torque mientras se realiza backreaming

- El Torque de Perforación se reduce en 26%.
- La tensión disminuye de 286400 a 270200 lb ft cuando se está deslizando a TD
- Con los LoTADs en la sarta se reduce el desgaste del liner de 7”
- Se recomienda utilizar reductores de fricción, con la siguiente configuración:

140 LoTADs 5” NC50, S135, 2 por parada desde 300 hasta 6600 ft, medidos desde la superficie.

6.3. Soluciones alternativas

[2]. Dentro de las soluciones alternas que se tenía para el pozo Sacha-169D estaba utilizar fluido de perforación a base de aceite con aditivos que permitan mayor movilidad de la sarta dentro del pozo. Esta alternativa no se utilizo por ser muy cara.

En el pozo Sacha 221H se utilizó una camisa reductora de torque. La mejor opción era utilizar LoTAD, lo cual hubiese permitido terminar la perforación del pozo con éxito.

7. Capitulo VI. Análisis Económico

El análisis efectuado en este trabajo tiene como objetivo demostrar por qué el uso de la nueva tecnología para la reducción de torque y arrastre, LoTAD, es mejor desde el punto de vista económico, técnico y ambiental, comparada con los métodos convencionales usados en nuestro país.

La tasa interna de retorno (TIR o IRR, *Internal Rate of Return*) de una inversión, está definida como la tasa con la cual el valor presente neto (VPN o NPV, *Net Present Value*) es igual a cero

7.1. Costos de perforación de un pozo direccional sin uso de LoTAD (Sacha-169D.)

Para hacer un estimado del costo de operación de la perforación del pozo direccional en la tesis (Sacha-169D), se tomaron los datos de costos de los reportes diarios del proceso y tiempo de perforación proporcionados por PETROPRODUCCION. En promedio, el costo diario de perforación es de (US$ 3.557.444,76 / 37 d) = 96.147,16 US$/d.

El costo de la perforación del pozo es de US$ 3.560.000 por los cambios realizados por los problemas presentados.

Si se considera el precio de barril de Petróleo en noviembre del 2008 (cuando comenzó la producción) era de US$ 90 y el costo actual (enero de 2009) es de US$ 48, él cálculo para esta tesis es con un precio promedio de US$ 53 y por castigo de US$10 por la calidad del Petróleo Ecuatoriano, el valor será de US$ 43. Se usará entonces una producción promedio de 1000 bbl/d de petróleo.

(1000 bbl/d)(43 US$/bbl) = 43.000 US$/d

(3.557.444,76 + 478.948,75)US$ / (43.000 US$/d) = 93,9 d

La inversión de la perforación del pozo Sacha-169D sería recuperada en 94 días, lo cual es un beneficio para Petroproducción, porque el tiempo es de tres meses y cuatro días.

7.2. Costo de Perforación Direccional con Aplicación de LoTAD (Sacha-169D)

El costo de las herramientas LoTAD usadas en este pozo es:

- US$ 65,00 por día de alquiler de la herramienta
- US$ 600,00 por día del operador

Con el adecuado uso de las herramientas, sólo hubiera sido necesario utilizarlas 1 día en el pozo, con una ROP de 33.3 ft/h. Entonces el costo de 75 herramientas y la perforación es

3.562.919,76 US$

Con la disposición del Company Man, las herramientas estuvieron 3 días. El costo estimado de 75 herramienta y la perforación es este tiempo hubiera sido

US$ 3.573.869,76

Con el uso de los LoTAD, el tiempo de recuperación es de tres meses y cinco días, asumiendo el precio en promedio es también de US$ 43,00. Hay dos días

adicionales de recuperación de la inversión, que implica US$ 86.000,00 menos de ingresos. Esto se debe a que el tiempo de la perforación se extendió por mal uso de los LoTAD.
Con los tiempos y valores utilizados por Petroproducción al realizar el pozo Sacha-169D y ponerlo a producir la tasa de retorno fue de
IRR = 6%
NPV = 7.263,20 US$
Se utilizo un interés (r) de 15%. Esto requiere un tiempo de producción de 118 días para recuperar la inversión.

7.3. Costos de perforación de un pozo direccional sin uso de LoTAD (Sacha-221H)

Los datos de costos son de los reportes diarios del proceso y tiempo de perforación proporcionados por PETROPRODUCCION. Los datos de las tablas y resumen los costos de las operaciones de perforación. En promedio, el costo diario de perforación es de (US$ 5.147.461,51 / 60 d) = 85.791,02 US$/d.
Para el análisis de este pozo, se usó como valor estimado el costo de Completación del pozo Sacha-169D, de US$ 478.948,75, así como el mismo tiempo, 40 días.
Se asumió que el pozo hubiera comenzado a producir después de un tiempo estimado de 40 días. El costo de la perforación del pozo es de US$ 5.147.461,51 por los cambios causados por los problemas presentes a lo largo de la dirección del pozo, se considera el precio de barril de Petróleo en febrero del 2008, fecha asumida de inicio de la producción, US$ 90, con una producción promedio de 360 bbl/d de petróleo, los resultados son.
(360 bbl/d)(90,00 US$/bbl) = 32.400,00 US$/d
(5.147.461,51 US$) + (478.948,75) / (32.400.00 US$/d) = 173.6 d
La inversión de la perforación del pozo Sacha 221H sería recuperada en 174 días según lo estimado, lo cual hubiera beneficiado a Petroproducción, porque el tiempo es de cinco meses y veinte y cuatro días aproximadamente.

7.4. Costo de Perforación Direccional con Aplicación de LoTAD (Sacha- 221H)

Para hacer un análisis con el pozo Sacha-221H, se asumió que la perforación terminó en el día 44, cuando comenzaron los problemas en la trayectoria y donde comenzaron a utilizar un BHA de pesca; esto no se hubiera necesitado si se hubieran utilizado las herramientas LoTAD.
Para el uso adecuado de las herramientas, se estiman 2 días de utilización en el pozo, con una ROP de 20.4 ft/h. Entonces el costo de 75 herramientas y la perforación es
4.223.315,84 US$
Tiempo de recuperación
(4.702.264,59 US$) / (32.400 US$/d) = 145 d
Con el uso de los LoTAD, el tiempo de recuperación es de cuatro meses y veinte y cinco días asumiendo que el precio del petróleo es también de US$ 90,00.
Con los tiempos y valores utilizados por Petroproducción al realizar el pozo Sacha 221H y ponerlo a producir la tasa de interés rentable fue
TIR = -13%
VNP = 49.754,68 US$
Se utilizo un interés (r) de 15%
Con estos valores, el tiempo efectivo de recuperación de la inversión es de 200 días. Este tiempo es largo, y considerando que IRR < r, hace que la perforación de un pozo de este tipo sea una inversión riesgosa si no se controla debidamente, y si se usan herramientas que no son adecuadas para la tarea.

7. Conclusiones

El costo total estimado del uso de los LoTADs en un pozo es un valores pequeño en comparación con los gasto que se realizarían al utilizar mas días de los esperados para la perforación usando otros métodos, e incluso por daños que pudrieran ocurrir, como tener parte de herramienta atrapada sin poder recuperar y/o perder el pozo en su totalidad. El buen uso de los reductores de torque y arrastre produce un gran beneficio al incrementar las posibilidades de una perforación direccional exitosa en zonas de alto riesgo, sin necesidad de perder tiempo por cambios de sartas de perforación por problemas de pegaduras, y disminuir los costos por día de operación del taladro de perforación.

8. Agradecimientos

Agradecemos de manera muy especial al Ing. Juán Jijón coordinador de Cementación de la Cia. Weatherford por toda su colaboración y paciencia para realizar este proyecto

9. Referencias

[1] Manuales de campo, taller y diseño. Weatherford.
[2] Reportes diarios de perforación. Departamento de Ingeniería de Petróleos del campo Sacha.
[3] Sumario sobre perforación direccional. Ing. Ney Mendoza Company Man, Petroproducción.
[4] Diseño de sartas y perforación direccional. Ing. Jairo C. Molero.
[5] www.wikipedia.com