

Tiempo no productivo en pozos de dos secciones, caso de estudio Ecuador

Marco Loaiza, Diego Ayala, Henry Torres, Silvia Ayala *

Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica. Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE.
Código Postal: EC050102. Latacunga. Ecuador.

E-mail: saayalat@yahoo.com

Resumen

Con los costos actuales de los servicios de perforación y un mercado totalmente inestable que ha ubicado al precio del barril de petróleo en sus niveles más bajos en la última década; resulta imperativo minimizar cualquier evento que retrase el avance de perforación de un pozo. La propuesta de implementar una herramienta de planificación desarrollada a partir de los resultados de la investigación brindará a ingenieros y operadores un recurso que contribuirá a terminar un pozo dentro de los plazos establecidos con apego al presupuesto, culminando de manera exitosa cada pozo, con campañas de perforación cada vez más cortas y con un retorno sobre la inversión más alto al poner a producir los pozos en menor tiempo. Como resultado del trabajo se expone el impacto económico de los eventos no planificados.

Palabras clave: Tiempo no productivo, Problemas al perforar, Optimización de la perforación.

Non-productive time in tow-section well construction case study in Ecuador

Abstract

Considering the current costs for drilling services within a market being completely unstable that have placed the oil barrel at lowest prices in the last decade, it is extremely important to reduce every activity that delay the normal course of well drilling. The proposal for a resource of planning which is obtained from the present research. This resource was developed for engineers and operators aiming at ending of wellbore within scheduled time with the established budget, in this way being the operation successful in every well into more quick tasks with higher return on investment by starting early the well production. The economic impact of unplanned events is exposed as a result from this paper.

Keywords: Non-productive time, Drilling problems, Drilling optimization.

Introducción

Durante varios años la industria petrolera se ha enfrentado a problemas asociados con pega de tubería y la pérdida de circulación, siendo la pega diferencial uno de los inconvenientes que mayor impacto ha tenido en el costo final del pozo. (Adams, 1977) (Wisnie & Zhiwei, 1994). Típicamente el NPT (Non Productive Time, en español Tiempo no productivo) representa hasta el 32 por ciento de los costos en los eventos de perforación, algunos de los eventos no planeados llegan a ser tan severos que pueden paralizar el programa de perforación (Halliburton, 2013). Los

problemas de inestabilidad del pozo (Portilla, Suárez, & Corzo, 2012) en operaciones de exploración y perforación cuestan a la industria de la perforación más de 100 millones de dólares por mes y en todo el mundo posiblemente tanto como mil millones de dólares anuales (Moazzeni, Nabaei, & Azari, 2011).

Las grandes empresas operadoras y prestadoras de servicio, alguna vez han invertido sus recursos y su tecnología para poder reducir una medida que se ha instaurado como un parámetro de calidad en la perforación de pozos de petróleo, gas y geotermia, el llamado NPT (Weakley, 1990).

Cita: Loaiza, M., Ayala, D., Torres, H. y Ayala, S. (2018). Tiempo no productivo en pozos de dos secciones, caso de estudio Ecuador. *Revista Fuentes: El reventón energético*, 16(1), 7-17.



El presente estudio tiene como objetivo ayudar a mejorar los programas de perforación, para tener un impacto positivo en la reducción de eventos no planificados y minimizar los riesgos al perforar.

Definición de NPT

No existe una sola definición de NPT, varios autores y empresas describen un concepto que se adapta a sus necesidades, aquí se citan algunos; el NPT se define como el tiempo que la operación de perforación ha cesado o la tasa de penetración es muy baja. El tiempo dedicado a la pesca, la pega de tubería, el transporte de herramientas, clima, la pérdida de circulación y viajes no programados dentro y fuera del pozo pueden contarse como NPT. (Nabai, Alireza, & Moradinejad, 2016). Además, se describe al NPT como el tiempo en el que las operaciones de perforación no se producen, es decir, al extraer del fondo del agujero la sarta de perforación (Ayala, Benítez & Valencia, 2017) y reanudar las operaciones a la misma profundidad (Alappat, 2015). También se detalla al NPT como el período de tiempo de eventos o actividades en las operaciones, que retardan el avance de las actividades de construcción y/o rehabilitación de un pozo (Ayala, Gómez & León, 2011) según lo planificado. Se inicia desde que se evidencia una actividad no productiva, hasta que se encuentran de nuevo las condiciones operacionales productivas que tenía antes del evento imprevisto (Morán, 2014) (Zapata, 2011).

Operaciones productivas

Son los pasos y tareas operativas programadas, de las cuales deriva el registro del tiempo real al perforar

(Bonilla & Buestán, 2013). En la tesis Modelo de Control de Costos de Perforación de Pozos para los Campos Cuyabeno-VHR de Petroamazonas se propone la clasificación de las operaciones productivas. (Molina, 2014), por lo tanto, cualquier otra actividad deberá ser considerada como una tarea no productiva, lo cual nos permite definir la clasificación de las tareas no productivas.

Operaciones no productivas

Se define como una operación o tarea innecesaria, no contempladas dentro del planeamiento del pozo (Campana & Tapia, 2017), de la cual deriva el NPT. Posterior al análisis de los inconvenientes que generan NPT se pudo encontrar el origen de dichos problemas, en este trabajo se han asociado de manera conveniente las causas a su respectivo problema. La variable causa agrupa los inconvenientes tomando en consideración el origen y el sistema mecánico al que pertenece, lo cual permite ser más específicos a la hora de clasificar y determinar la causa de un problema puesto que delimitaremos con mayor precisión la génesis de cada inconveniente. La propuesta se la puede apreciar en la Tabla 8 del Anexo 1.

Diagrama causa-efecto

Al aplicar el diagrama Ishikawa a las Tareas No Productivas, propuestas por (Ayala, Torres, Valencia, & Loaiza, 2016), se puede identificar las causas principales y secundarias de los problemas, se ampliaron las opciones de las posibles causas de los NPT y se analizaron los procesos de perforación en búsqueda de mejoras.

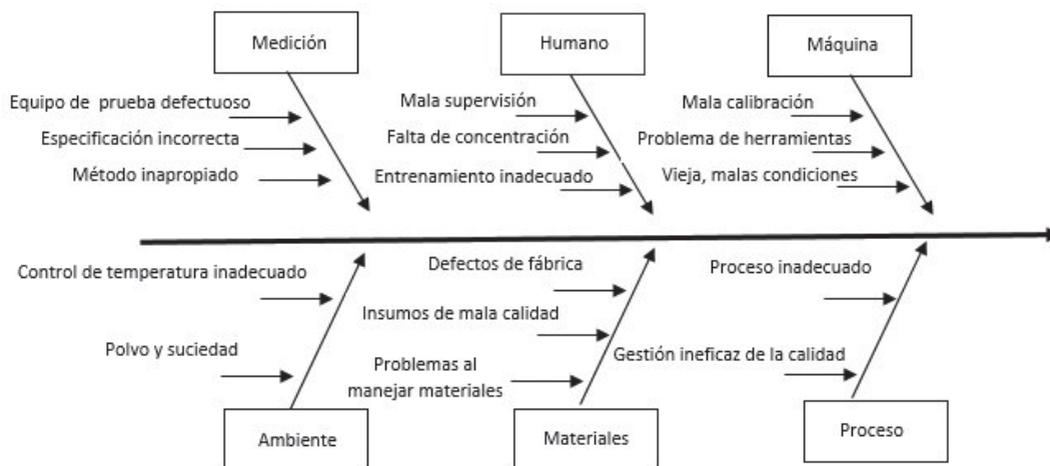


Figura 1. Diagrama causa efecto aplicado a las tareas no productivas.

Propuesta para la reducción del NPT

Para reducir los costos existen dos alternativas, la primera enfocada en la parte técnica-operativa optimizando las operaciones, el llamado límite técnico; la segunda es la planificación de ingeniería y recae directamente sobre medidas y acciones que permitan la reducción de los NPT.

Al revisar los informes de perforación se encontró que la persona encargada de llevar el reporte clasifica los problemas bajo su propio criterio, algunas de las matrices existentes poseen una clasificación que permite catalogar un problema en más de una opción, además, se tiene el inconveniente de que cada empresa que brinda el servicio integrado de perforación posee sus propios, códigos y convenciones para registrar un NPT.

La matriz se formula bajo la consideración de que las categorías de problemas NPT sean independientes y mutuamente excluyentes, con la intención de que guarden un orden conveniente para: mejorar la presentación, una mejor comprensión del tema por parte de los intérpretes de esta matriz y facilitar la identificación de las causas de los NPT.

Descripción la matriz de NPT

La matriz fue realizada para que los intérpretes, operadores e ingenieros, obtengan de una manera rápida y resumida la situación general del NPT, para un análisis individual o grupal de pozos perforados.

La matriz registra los valores del NPT, las frecuencias y los costos asociados a los problemas, además permite distinguir, organizar y categorizar los problemas, así como evaluar el tiempo perdido, lo cual ayudará a cuantificar el impacto económico en el proyecto de perforación.

Configuración de la matriz

Con esta configuración se pueden realizar análisis transversales que permiten observar directamente los valores de NPT parciales por tipo de problema y por secciones del pozo. Con un posterior análisis se puede determinar los costos de perforación por tipo de problema y secciones del pozo. La matriz fue formulada a partir de las tareas no productivas de las distintas empresas de servicios, tratando de que las tareas sean claras y muy bien definidas para no dar paso a errores de clasificación.

La necesidad de crear una nueva matriz NPT surge como respuesta de la problemática que implica el hecho de que cada operadora y compañía de servicio cuenten con sus categorías propias, en el estudio se observa el impacto que esto supone en los reportes finales de perforación, al encontrar categorías de problemas que provocan confusión a la hora de clasificar un problema por no encontrarse delimitadas con claridad.

La perforación es un proceso complejo, a pesar de los sistemas que integran las múltiples variables consideradas en la planificación de un pozo, aún siguen apareciendo eventos no planeados (Kaiser & Pulshiper, 2007).

Desde el punto de vista de la gestión de proyectos, la operación de perforación debe desarrollarse cumpliendo el cronograma y el presupuesto asignado. La ocurrencia de problemas de perforación y algunas esperas técnicas y no técnicas desplazan los tiempos fuera de lo programado (Nabai, Alireza, & Moradinejad, 2016), por todo lo expuesto esperamos que la matriz permita una organización más eficiente de los datos relevantes de los problemas al perforar.

La Tabla 1, en el Anexo 1, permite apreciar cómo se distribuyen los problemas en la matriz NPT, además de manera breve se explica el contenido que se incluye en la misma.

Validación de los datos

Es un medio que no podemos pasar por alto. La manipulación de la información desde la observación, registro y emisión del reporte, y la interpretación del problema es un proceso que puede ir restando detalles significativos, los cuales cobran relevancia a la hora de identificar las causas del NPT. La validación se llevó a cabo comparando los tiempos en sus respectivas tablas de NPT, curvas de profundidad vs. tiempo, registro de lecciones aprendidas y en los reportes diarios de perforación en las campañas de perforación comprendidas entre los años 2011 a 2014 en la Cuenca Oriente Ecuador. Para el estudio se seleccionaron únicamente los pozos de dos secciones. Los datos están disponibles en la Tabla 2, Anexo 1 al final del documento.

Metodología

Para diagnosticar el efecto dentro del proceso de perforación que tienen los NPT se realizó un análisis que deje en evidencia el incremento en el tiempo, así como en los costos finales del proyecto.

La investigación demostró que los eventos en superficie tienen como raíz principal la falta de implementación de programas de mantenimiento preventivo y que los problemas en el fondo del pozo obedecen a fallos en los equipos como respuesta de la exposición de los mismos a condiciones agresivas de las formaciones atravesadas. Los datos recopilados se sometieron a un proceso de validación para comprobar su duración, presencia y causa; posteriormente los datos se incluyeron en la matriz de NPT, una vez registrados los tiempos se asoció a cada problema una causa, siendo este paso el aporte más relevante de la investigación. Como paso final se realizó un análisis económico del impacto del NPT en los costos de perforación.

Resultados

NPT al perforar

Los problemas aislados no reflejan el estado del NPT en los pozos, sin embargo, esta condición tampoco es motivo para que sean descartados, por el contrario, estos inconvenientes deben ser examinados para encontrar una relación con otros problemas en la sección perforada a la que corresponden, y así ver si obedecen a la misma dificultad o complejidad asociada a la geometría, profundidad y diámetro del pozo. La Figura 2 y 3 muestran los porcentajes de NPT registrados.

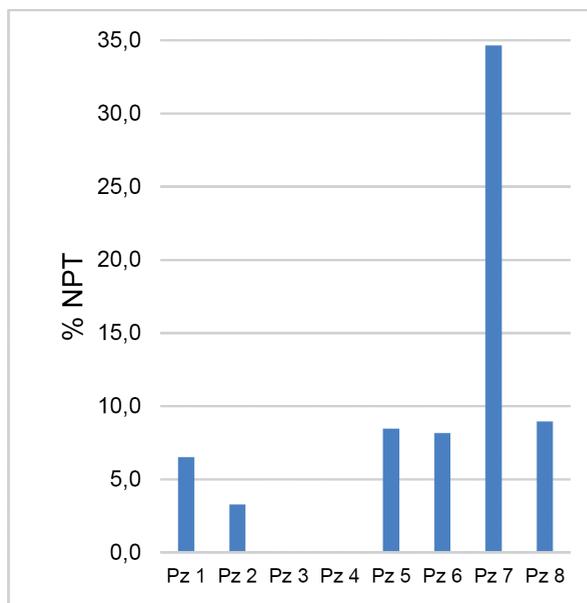


Figura 2. Porcentaje de NPT en cada pozo.

La evaluación del NPT varía entre el 6% y el 9% en 4 pozos, sobresale un caso con NPT muy alto respecto al resto que alcanza el 35%. Se encuentra que en 2 pozos

no se registra NPT y en uno el valor es bastante bajo del 3,27%. De los 181,3 días invertidos en la perforación de los pozos 18,58 días son NPT, con un promedio de 10,26% de NPT para la muestra de 8 pozos, el detalle se observa en la Tabla 3.

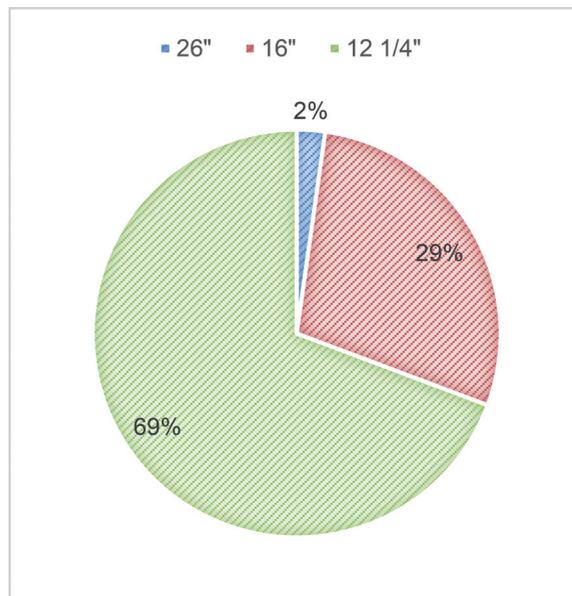


Figura 3. Porcentaje de NPT por sección.

Tabla 3. Registro del NPT en la muestra.

Pozo N°	Tipo de pozo	Sección final	MD	Perforación Días	NPT Horas	NPT Días	NPT %
Pz 1	Direccional	12 1/4"	10360	18,9	29,5	1,2	6,5
Pz 2	Direccional Tipo S	12 1/4"	9965	19,7	15,5	0,6	3,3
Pz 3	Direccional Tipo S	12 1/4"	10651	22,4	0,0	0,0	0,0
Pz 4	Direccional Tipo S	12 1/4"	10575	20,0	0,0	0,0	0,0
Pz 5	Direccional Tipo S	12 1/4"	9996	20,2	41,0	1,7	8,5
Pz 6	Direccional Tipo S	12 1/4"	10183	23,5	46,0	1,9	8,2
Pz 7	Direccional Tipo S	12 1/4"	10174	31,3	260,0	10,8	34,6
Pz 8	Direccional Tipo S	12 1/4"	10711	25,2	54,0	2,3	8,9
Total				181,1	446,0	18,6	10,3

La mayoría de los pozos se perforó en 2 secciones y el resto en 3 secciones siendo estos últimos en donde se aprecia que aumenta el NPT.

Todos los pozos han sido perforados con taladros de capacidad 2000 HP hasta la sección final de 12 ¼”, es primordial destacar que no se observa evidencia de relación entre la profundidad perforada y el NPT, descartando así una condición que es típica en otros estudios. Como muestra de esa excepción se mencionará que el pozo con mayor profundidad en la campaña 2015 se perfora sin registrar NPT.

La distribución del NPT por secciones muestra que el mayor porcentaje se concentra en la sección final de 12 ¼” con el 69,28% mientras en la sección de 16” se encuentra el 28,48 % del NPT. La sección de 26” que se encuentra en 3 pozos tan solo suma el 2,24% del NPT, esto indica que en los pozos con 3 secciones de perforación no existe un aumento del NPT de forma importante debido a esta sección adicional.

Para detectar las dificultades de la operación de perforación a partir del NPT es importante considerar la frecuencia y distribución de los eventos de fallas en el grupo de pozos. De acuerdo con esto se puede estimar los problemas más importantes en cada sección según se ha organizado la información. Se considerarán dos términos para detallar los eventos NPT: **frecuencia**, se considerará al número de veces que un evento ocurre en un mismo pozo. **Distribución**, hará referencia al número de veces que un evento se repite en los pozos de la muestra.

El número de eventos relacionados con NPT en la sección de 16” tiene una frecuencia de 18 eventos y de 12 en la sección de 12 ¼”.

Sección de 16”

El problema más frecuente dentro del pozo es falla del BHA – herramientas, impidiendo efectuar un trabajo normal por la avería o falta de respuesta de un equipo que lo compone, el problema está distribuido en 4 de los 6 pozos que presentaron NPT. Considerando el criterio de distribución y frecuencia, el segundo problema en importancia es reparaciones en el taladro, que se presenta en 4 eventos y en 3 pozos. Otros problemas destacables son problemas TDS (Top Drive System), falla de revestimientos, esto incluye dificultades en el proceso de corrida de las tuberías, fallos de los equipos-accesorios, fallas de los revestimientos después de incorporados en el pozo, y limpieza de línea de retorno que se presentan en 2 pozos. La Tabla 4, presenta el detalle del NPT.

Tabla 4. NPT en la sección de 16”.

Problema	Tiempo NPT horas	Frecuencia	Distribución
Falla del BHA – herramientas	32	4	4
Reparaciones en el taladro	32	4	3
Problemas TDS	15,5	3	2
Falla de revestimientos	5	2	2
Limpieza de la línea de retorno	4,5	2	2
Pega de Tubería	29	1	1
Limpieza y rimado del hoyo	7,5	1	1

Sección 12 ¼”

Aquí se presentan problemas de reparaciones en el taladro, se encuentran distribuidos en diferentes pozos. Una gran cantidad de NPT corresponde a inconvenientes en el pozo, específicamente el problema de limpieza y rimado del hoyo. El otro contratiempo destacable dentro del pozo es falla del BHA – herramientas. El detalle del NPT se tabula en la Tabla 5.

Tabla 5. NPT en la sección de 12 ¼”.

Problema	Tiempo NPT horas	Frecuencia	Distribución
Limpieza y rimado del hoyo	184	4	2
Reparaciones en el taladro	17,5	3	3
Falla del BHA – herramientas	48,5	2	2
Falla de revestimientos	54,5	1	1

Estado del NPT en superficie y en el pozo

En superficie

El análisis se enfoca en el NPT que ocurre en la torre de perforación (taladro), el mismo que se distribuye principalmente entre los siguientes problemas: reparaciones en el taladro, problemas TDS y limpieza de la línea de retorno. La variable reparaciones en el taladro está presente en las 2 secciones consideradas y corresponde a un 25% de un total de 28,48% de NPT registrado en la sección de 16”, lo que convierte a este problema en un inconveniente reiterado. La frecuencia de NPT en superficie (torre de perforación) en la sección de 16” es la que predomina y está distribuida en 5 de

los 8 pozos de la muestra. En la sección 12 ¼” existen 3 eventos de reparaciones en el taladro distribuidos en 3 pozos de los 8 en estudio.

Se ratifica que los problemas principales en superficie se enfocan en la torre de perforación, y el evento preponderante es reparaciones en el taladro, que se presenta en 4 pozos en las 2 secciones de perforación con 7 eventos y un total de 49,5 horas. Otra dificultad son los problemas TDS que se presenta en 3 pozos, solamente en la sección de 16”, y con 15,5 horas de NPT. En los pozos 1,2 y 5 se observa mayor cantidad de NPT en superficie. La Figura 4 representa el NPT en superficie.

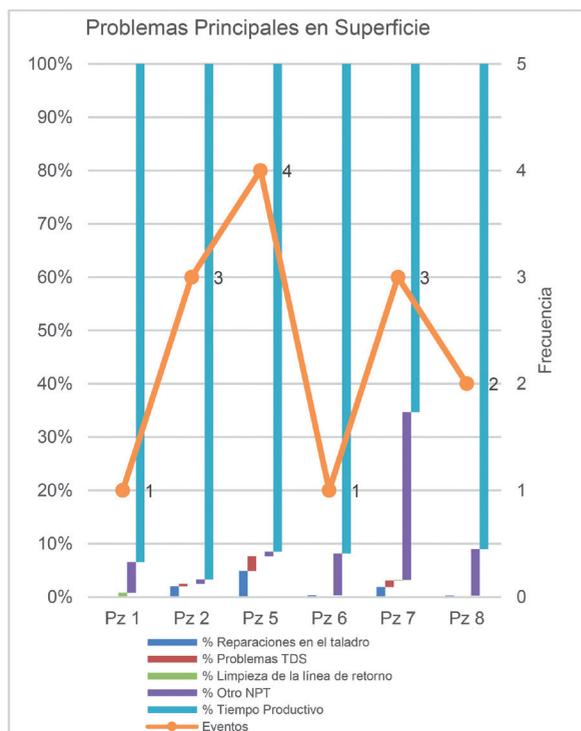


Figura 4. NPT en superficie.

En el pozo

Al enfocarse en los problemas en el interior del pozo la falla del BHA – herramientas se presenta en un 25% del 28,48% del NPT registrado en la sección de 16” y un 15% del 69,28% del NPT de la sección 12 ¼”, lo cual obedece a un comportamiento típico de la perforación al avanzar en profundidad y complejidad geométrica.

La limpieza y rimado del hoyo se distribuye en la sección de 12 ¼” y de manera proporcional y en menor volumen se distribuye la falla de revestimientos en las

secciones 16” y 12 ¼”. La gran cantidad de NPT en la sección de 12 ¼” se distribuye solamente en 3 pozos.

El problema falla del BHA – herramientas es el más significativo, puesto que se halla distribuido en 5 pozos con 6 eventos, ocupando la importante cantidad de tiempo de 80,5 horas, distribuidas entre los diferentes pozos y representa el 18 % del NPT.

La limpieza y rimado del hoyo tiene una frecuencia de 5 eventos con 191,5 horas que representa el 43% de NPT, se presenta en 3 pozos con eventos persistentes. El evento falla de revestimientos se registraron 3 eventos en 3 pozos, el NPT se concentra en uno de ellos con 59,5 horas. La Figura 5, muestra el NPT en el pozo.

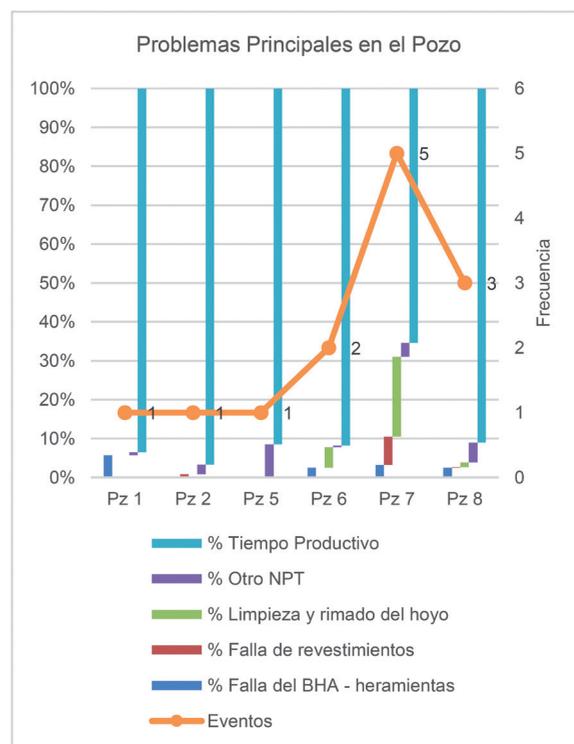


Figura 5. NPT en el fondo del pozo.

Discusión

Causas de los problemas principales

Posterior a la revisión de los eventos de fallas en el pozo, se observa que estos problemas obedecen a la complejidad que presenta la formación (geología regional) para las operaciones, muestra de ello es el deterioro de los elementos del BHA producido por vibración y abrasión que presenta la formación Napo, así como la complejidad de avanzar con la perforación en condiciones de hueco apretado y empaquetamientos que presenta la formación Tena.

No se verifica que los problemas hayan sido influenciados por prácticas inadecuadas en los procedimientos ejecutados por el personal. Las causas de los problemas se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Causas de los problemas principales que generan NPT.

Causas	Problemas	Horas	%
Fallas en el Taladro	Reparaciones en el taladro; problemas TDS	79,5	17,83
Complejidad Pozo-Formación	Falla del BHA - herramientas; limpieza y rimado del hoyo; falla de revestimientos	332	74,44
Organización	Esperas	1,5	0,34
--	Problemas dispersos	33	7,40

Costo asociado al NPT

El análisis se realiza después de categorizar los servicios con costos fijos y los servicios con costos variables, siendo éstos últimos los que dependen del tiempo y aquellos que influyen en el costo final del proyecto. Por esa razón se calculará el valor adicional de cada pozo como consecuencia del NPT, la Tabla 7, describe la clasificación.

Tabla 7. Costos fijos y variables en perforación.

VARIABLES	FIJOS
Fluidos de perforación (FP)	Brocas
Perforación direccional (PD)	Cementación
Control litológico (CL)	Otros cargos
Rol de compañía (RC)	Registros eléctricos
Supervisor de perforación (Co man)	Tubería de revestimiento
Asistente de perforación	Cabezal de producción

Haciendo uso de la ecuación (1) propuesta por (Bonilla & Buestán, 2013) se determina los costos variables (costo / día) en los servicios que dependen del tiempo y estos son:

- Fluidos de perforación (FP)
- Perforación direccional (PD)
- Control litológico (CL)
- Rol de compañía (RC)

$$CPD = \frac{FP + PD + CL + RC}{\text{Tiempo de operaciones}} \quad (1)$$

Reducir el NPT implica incrementar la productividad, un activo con mayor productividad costará menos operar. (Athenes Group, 2015).

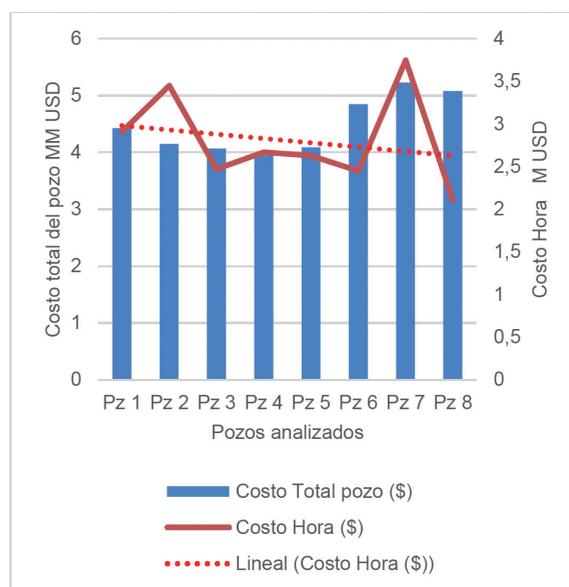


Figura 6. Costo variable total y por hora.

La Figura 6, expone los resultados obtenidos. Los pozos 2, 3, 4 y 7, muestran los costos variables más altos. Por otra parte, con una tendencia uniforme los costos más bajos se observan en los pozos 1, 4, 6, 8. Los resultados guardan concordancia con lo obtenido en el análisis técnico, demostrando el efecto directo en el costo que tienen las operaciones no productivas. El detalle del costo variable por secciones, así como el registro del costo por problema se lo puede apreciar en la matriz Tabla 2, la cual fue completada con los valores determinados en esta parte del estudio. En términos generales podemos decir que la campaña de perforación de los 8 pozos fue exitosa. Para llegar a esta conclusión, se ha tomado el costo promedio de 3000 USD/HORA propuesto por Schlumberger, un valor estándar general (utilizado para cualquier taladro, y para cualquier geometría de pozo), cifra referencial para determinar el costo del tiempo asociado a las tareas no productivas que generan NPT.

Schlumberger, no indica en ninguna fuente bibliográfica cómo se obtiene este costo (genérico único), tampoco explica por qué lo usa de manera indistinta para cualquier geometría de pozo. Al parecer es solo un valor referencial que ayuda a tener una idea del costo/hora. Por esta razón, al comparar los valores obtenidos en los cálculos, salvo dos excepciones (pozo 2 y 7) que su costo/hora excede los 3000 USD/HORA, se puede decir que la perforación mantiene niveles aceptables de NPT. La suma acumulada del costo asociada a las tareas no productivas fue de 908 212,5 USD, un valor nada despreciable en la situación económica actual de la industria.

NPT como medida para evaluar la optimización de la perforación

La tasa de perforación (días/pie) suele ser una de las variables más utilizadas para verificar la optimización del proceso de perforación, ilustrada en la Figura 7. El NPT es una variable dependiente del tiempo, enfocado en las tareas no productivas y en los costos variables, puede ser un excelente apoyo de la planeación y una herramienta de diagnóstico para determinar el éxito de un proyecto.

En la muestra se contrastó el valor del NPT vs. la tasa de perforación. En la Figura 7 se observa que la tasa de perforación mantiene una constante aproximada de 0,2 días/pie perforado, sin embargo la curva del NPT nos hace notar que el pozo 7, a pesar de encontrarse dentro de la media por cada 100 pies perforados su NPT es el más alto, lo que permite concluir que esta variable no es del todo infalible, y por esta razón, el análisis del NPT podría revelar eventos no considerados, relegados por lo diversos y dispersos que se encuentran en el proceso, pero que al sumarlos significan un impacto considerable en el tiempo final.

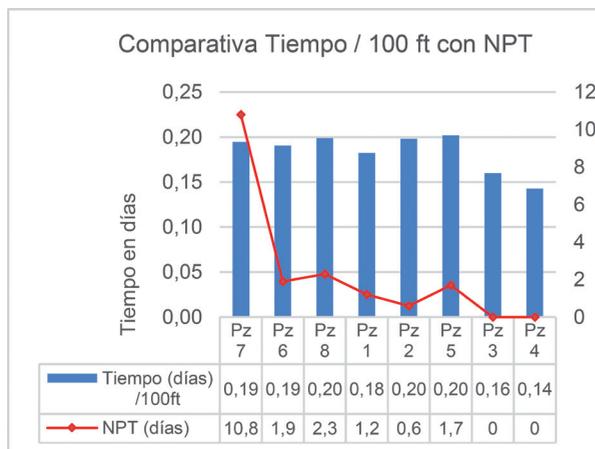


Figura 7. Análisis de tasa de perforación y el NPT.

Conclusiones y recomendaciones

La muestra de pozos con profundidad aproximada de 10000 pies MD, evidencia que en los pozos de dos secciones presentan una acumulación de NPT con respecto a los pozos de tres de secciones, lo que permite establecer que existe una relación directa entre el NPT y el número de secciones que se planifiquen para un pozo.

El NPT puede revelar que las tasas de perforación no siempre permiten diagnosticar con certeza absoluta que un pozo se ha desarrollado con éxito, el NPT permite

revelar problemas aislados o recurrentes que por su duración podrían ser descartados o desestimados.

Existe presencia de eventos aislados, pero de larga duración como son pega de tubería, limpieza y rimado del hoyo, los cuales deben ser analizados de manera separada para no afectar la evaluación final de toda la campaña de perforación realizada.

La aplicación de la matriz de NPT permitió consolidar la duración, la frecuencia de aparición de un evento, así como el costo asociado a cada tarea no productiva por secciones y el costo total del NPT de una campaña de perforación, lo cual agilitó el análisis y el diagnóstico de los problemas más importantes.

Establecer las causas más comunes de los problemas que generan NPT permitió establecer el origen de las tareas no productivas, con este recurso se pudo establecer un requerimiento puntual de mantenimiento preventivo.

Los problemas en superficie son los que más NPT generan específicamente problemas TDS, reparaciones en el taladro y limpieza en la línea de retorno, todos ellos tienen una génesis común, los fallos registrados en el taladro, estos problemas se hacen más recurrentes en la sección de 16» y están asociados a la falta de mantenimiento preventivo.

La muestra de ocho pozos reúne un total de 446 horas de NPT a la cual se asocia un costo de 908212 USD, el valor calculado del costo/hora NPT fue de 2000 USD, valor que se encuentra por debajo del costo promedio que establece Schlumberger para cada hora de NPT, el cual es de 3000 USD/hora, lo que nos permite definir a la campaña de perforación como un proceso exitoso.

Referencias

1. Adams, N. (1977). A Field Case Study of Differential-Pressure Pipe. *SPE Annual Fall Technical Conference and Exhibition*, SPE-6716-MS, Denver Colorado, USA (8).
2. Alappat, N. (2015). LinkedIn. Obtenido de <http://www.linkedin.com/pulse/measuring-non-productive-time-kpi-minimize-drilling-flat-alappat/>
3. Athenes Group. (2015). Beyond Non Productive Time (NPT): Effective Production Time. Obtenido de <http://www.athenesgroup.com/news/beyond-non-productive-time-npt-effective-production-time/>.

4. Ayala, D., Benítez, A., & Valencia, R. (2017). Optimización de la Tasa de Penetración mediante el análisis de las vibraciones al perforar, caso de estudio Ecuador. *Revista Fuentes*, 15(1), 27-40.
5. Ayala, F. E. B., Gómez, J. Q., & León, E. A. (2011). Estudio de factibilidad del uso del biodiesel como fase continua en lodos de perforación de emulsión inversa. *Fuentes: El reventón energético*, 9(1), 6.
6. Ayala, D., Torres, F., Valencia, R., & Loaiza, M. (2016). Impacto del Tiempo no Productivo (NPT) en Operaciones de Perforación y Análisis de los Datos Mediante la Prueba de Chicuadrado. *Fuentes El Reventón Energético* (11).
7. Bonilla, M., & Buestán, A. (2013). Estudio del Límite Técnico para la Perforación de Pozos en los Campos Cuyabeno y VHR. Quito: EPN (316).
8. Campana, D. E. A., & Tapia, R. A. V. (2017). Evaluación cualitativa de la limpieza de hoyo en pozos de alta inclinación-alto desplazamiento en la Cuenca Oriente. *Fuentes: El reventón energético*, 15(2), 49-56.
9. Halliburton. (2013). Halliburton. Obtenido de <http://www.halliburton.com/en-US/ps/solutions/deepwater/challenges-solutions/reduce-non-productive-time.page?node-id=hgjyd452&Topic=DeepwaterWestAfrica>.
10. Kaiser, M., & Pulshiper, A. (2007). Generalized Functional Models for Drilling Cost Estimation. *SPE Drilling & Completion*, SPE-98401-PA. (7).
11. Moazzeni, A., Nabaei, M., & Azari, A. (2011). Reducing Consumed Energy while Drilling an Oil Well through a Deep. *Omidieh Iran: Advanced in Petroleum Exploration and Development*, Omidiech, Iran (10).
12. Molina, D. (2014). Modelo de Control de Costos de Perforación de Pozos para los Campos Cuyabeno-VHR de Petroamazonas EP. Quito: Universidad Tecnológica Israel (152).
13. Morán, H. (2014). Análisis del Proceso de Perforación Direccional de Pozos Petroleros en el campo Auca de la Amazonía Ecuatoriana para la Reducción de los Tiempos no Productivos. Quito: UTE (217).
14. Nabai, M., Alireza, M., & Moradinejad, M. (2016). Non-Productive Time (NPT) Analysis, New Opportunity in Drilling Operation Management. *Rama Omidieh: Azad Islamic University* (7).
15. Portilla, H. E., Suárez, D. F., & Corzo, R. (2012). Metodología para la optimización de parámetros de perforación a partir de propiedades geomecánicas. *Revista Fuentes*, 10(2).
16. Weakley, R. (1990). Use of Stuck Pipe Statistics to Reduce the Occurrence of Stuck Pipe. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, SPE-20410, New Orleans, Louisiana (8).
17. Wisnie, A., & Zhiwei, Z. (1994). Quantifying Stuck Pipe Risk in Gulf of Mexico Oil and Gas Drilling. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, SPE-28298-MS, New Orleans, Louisiana (12).
18. Zapata, I. (2011). Evaluación de Tiempos productivos e Improductivos en las Operaciones de los Taladros o Cabrias de RA/RC de la Empresa San Antonio Internacional durante los Años 2009-2010. Puerto la Cruz: Universidad de Oriente (118).

ANEXO 1

Tabla 1. Descripción de la matriz NPT.

Nº	NPT	Sección					Tiempo Total	Costo
		26"	16"	12,25"	8,5"	6,125"		
1	Reparaciones en el taladro	El primer bloque, corresponde al NPT relacionado con problemas del equipo de superficie y esperas.						
2	Problemas TDS							
3	Clean Flowline/Gumbo							
4	Esperas							
5	Limpieza y rimado del hoyo	El segundo bloque, en el área central se exhibe los problemas presentes en las diferentes etapas de perforación, organizados en la secuencia perforar, evaluar y revestir.						
6	Reacondicionar fluido							
7	Bit balling							
8	Falla mecánica de la tubería							
9	Falla del BHA Herramientas							
10	Control Direccional							
11	Desvío							
12	Logging Problems							
13	Falla de revestimientos							
14	Wear bushing							
15	Problemas de BOP	El tercer bloque ubica los problemas frecuentes en la perforación, aquellos que se localizan concretamente dentro del pozo.						
16	Cement problems							
17	Pega de tubería							
18	Pesca							
19	Pérdida de circulación							
20	Arremetidas							

Tabla 2. Matriz NPT de la muestra en estudio.

NPT	Secciones						Total, horas	Costo USD
	26"		16"		12 ¼"			
	Hrs	# Eventos	Hrs	# Eventos	Hrs	# Eventos		
Reparaciones en el taladro	1	1	32	4	18	3	51	103.275,0
		\$ 2025		\$ 64800		\$ 36450		
Problemas TDS	9	1	16	3	0	0	25	50.625,0
		\$ 18225		\$ 32400		--		
Limpieza de la línea de retorno	0	0	4,5	2	0	0	4,5	9.112,5
		--		\$ 9112,5				
Esperas	0	0	0	0	1,5	1	1,5	3.037,5
		--		--		\$ 3037,5		
Limpieza y rimado del hoyo	0	0	7,5	1	184	4	192	388.800,0
		--		\$ 15187,5		\$ 372600		
Reacondicionar lodo	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Embolamiento de la broca	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Falla mecánica de la tubería	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Falla del BHA herramientas	0	0	32	4	49	2	81	164.025,0
		--		\$ 64800		\$ 99225		
Control direccional	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Desvío	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Problemas de registros	0	0	0	0	3	1	3	6.075,0
		--		--		\$ 6.075		
Fallas de revestimiento	0	0	5	2	55	1	60	121.500,0
		--		\$ 10125		\$ 111375		
Problemas del cabezal	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Problemas de BOP	0	1	1,5	0	0	0	1,5	3.037,5
		--		\$ 3037,5		--		
Problemas de cementación	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Pega de tubería	0	0	29	1	0	0	29	58.725,0
		--		\$ 58725		--		
Pesca	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Pérdida de circulación	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Arremetidas	0	0	0	0	0	0	0	0,0
		--		--		--		
Total	10	\$ 20250	127	\$ 257175	309	\$ 625725	446	908.212,5

Tabla 3. Clasificación de las tareas no productivas y las causas más comunes que las provocan.

Problema	Causa 1	Causa 2	Causa 3	Causa 4	Causa 5	Causa 6	Causa 7	Causa 8	Causa 9	Causa 10
Reparaciones en el taladro	Bombas de lodo	Generador	Malacate	Stand pipe / manguerote/cuello de ganso / líneas de descarga	Manifold	Gato hidráulico	Llaves lagartos	Llaves st80		
Problemas TDS	Bomba de transmisión	Tarjeta de control	Cambio de mordazas del pipe hanger	Sistema electrónico	Cambio de wash pipe	Sistema mecánico engranes/caja de cambio	Sistema hidráulico	Sistema eléctrico	Brazo elevador	Unidad de potencia
Clean Flowline/ Gumbo	Arcilla blanda pegajosa	Diámetro flow line inadecuado								
Esperas	Falla de logística	No está en stock el repuesto	No disponibilidad inmediata del técnico							
Limpieza y rimado del hoyo	Arcillas reactivas	Mala limpieza de casing	No baja casing							
Reacondicionar fluido	Punto de asentamiento no planeado	Lodo cortado por gas	Fluido contaminado por acuifero	Disminución de densidad del lodo						
Bit balling	Arcillas reactivas									
Falla mecánica de la tubería	Falla en rosca	Desconexión	Colapso	Estallido	Washout	Pandeo	Tensión / torsión			
Falla del BHA Herramientas	Recepción de señal	Broca (mecánica / conos / jets)	MWD Calibración/ válvula/ programa	LWD Calibración/ válvula/ programa	Motor de fondo	Fuga en sellos/ empaques motores de fondo				
Control Direccional	BHA no desliza	Poca respuesta direccional	Inadecuada configuración de BHA	Suministro de energía cable/conectividad						
Desvío	Pesca fallida	Vibraciones en la sarta	Complejidad geológica							
Logging Problems	Baterías	Cable								
Falla de revestimientos	Empacadura defectuosa	Lutita solidificada en caja, cuñas de colgador	Casing drive system	Acondicionar tope de colgador	Tubería colapsada ligeramente	Tubería rota en área de cabezal				
Wear bushing	Falla al instalar (torque)									
Problemas de BOP	Sello de boca de pozo con liqueo	Liqueo en líneas hidráulicas	Válvula reguladora de presión Anulares	Sistema de cierre manual	Mala alineación con boca del pozo	Anillos, bridas				
Cement problems	Falla de equipos y accesorios	Fraguado prematuro del cemento	Corrección de cementación	Taponamiento de la línea de flujo con cemento						
Pega de tubería	Formaciones no consolidadas	Formaciones Fracturadas	Inestabilidad de Lutitas	Cemento Blando	Chatarra en el hueco	Formación permeable	Sobre balance	Geometría del pozo	Taponamiento de la sarta	
Pesca	Falla en la tubería	Pega de tubería	Chatarra en el hueco	Cable de registros roto						
Pérdida de circulación	Alta permeabilidad y porosidad	Formaciones naturalmente fracturadas	Inadecuado peso de lodo							
Arremetidas	Densidad insuficiente del lodo	Suabeo	Pistoneo	Llenado inadecuado del pozo	Pérdidas de circulación	Lodo cortado por gas				

Recepción: 11 de enero de 2018
Aceptación: 21 de mayo de 2018