

Límite técnico. Impacto económico de su aplicación en aguas someras

Alejandro Montiel Meléndez
alejandromontiel@pemex.com

Petróleos Mexicanos

Natzayany Martínez Rosado
yany.39@hotmail.com

Información del artículo recibido: agosto de 2016-aceptado: enero de 2017

Resumen

El desarrollo de campos petroleros requiere de la construcción de pozos que permitan transportar el petróleo del yacimiento hacia la superficie. El proyecto de explotación del campo estima el número y tipo de pozos requerido. Generalmente un alto porcentaje del costo para desarrollar el proyecto lo representa la construcción de los pozos de desarrollo. Los costos operacionales de un pozo son sensibles al tiempo de perforación, por lo que la optimización del beneficio –costo de los pozos conlleva su reducción, lo cual implica la aplicación efectiva y eficiente de tecnología adecuada para el campo en desarrollo. Entre las herramientas más importantes para la disminución de los costos de perforación se encuentra el límite técnico, el cual se ha venido aplicando en los pozos de la Gerencia de Proyectos Aguas Someras desde el inicio del Proyecto T-X, logrando aminorar los costos directos e indirectos en cerca de un 25 %. El caso presentado en este trabajo es el desarrollo del Campo X. Como parte de la metodología VCDSE de pozos, la aplicación del Límite Técnico resultó en el abatimiento del orden del 32.2%. En particular, el pozo X-36, se programó con 200 días de instalación y perforación, y 31.42 días de terminación, entregándose en 156.86 días totales, lo cual significa una reducción de 74.56 días (32.2%). La construcción del pozo se efectuó de acuerdo a la metodología VCDSE, con un seguimiento minucioso diario de las actividades. Lo anterior permitió alcanzar la profundidad programada de 6,424 m. Este reajuste considerable en días de renta de equipo, aunado a la producción del pozo, así como la administración óptima del yacimiento y el adecuado ritmo de extracción, han sido factor clave para la rendición de cuentas y resultados favorables presentados ante la Subdirección de Desarrollo de Campos por el personal a cargo del desarrollo del Campo X.

Palabras clave: Límite técnico, impacto económico, aguas someras, desarrollo de campos, Campo X.

Technical limit. Economic impact when TL method is applied in shallow water drilling operations

Abstract

Oil/gas fields development require wells construction that allow crude oil or natural gas transport from the reservoir to the surface. The Oil Field Exploitation Project estimates the number and type of wells required. Generally, a high percentage of field development project cost is consumed in wells construction. Operating costs of an oil well are sensitive to drilling time, therefore profit - cost optimization involves reducing drilling times, which implies the effective and efficient application of technology to the developing field. Among the most important methods and tools used for reducing drilling costs is the technical limit in well construction process. The Technical Limit process has been applied in the well planning and well drilling operations conducted by the Shallow Waters Projects Management since the beginning of the project, achieving reduction of direct and indirect costs by about 25%. The case presented in this paper is the of X oil field development. As part of the VCDSE well project methodology, the application of Technical Limit resulted in costs lowering of 32.2%. As a particular case, well X-36, was programmed with 200 days for site installation

and drilling operations, and 31.42 days for completions operations, finishing all operations in a total of 156.86 days, which means a reduction of 74.56 days (32.2%). Well construction was executed according to the processes programmed through the VCDSE methodology, which included detailed daily monitoring of drilling activities. This allowed reaching the total depth programmed of 6,424 m. This considerable readjustment in days of equipment rental, coupled with earlier well production, optimal reservoir management that involves adequate extraction rates, have been key factors for accountability and favorable results that were submitted to the Oil Fields Development Management Board by the staff in charge of X oil field development.

Keywords: Technical limit, economic impact, shallow water, field development, Field X.

Límite técnico

El método de Límite técnico de la perforación y terminación de pozos, conocido como “Drilling The Limit (DTL)” por sus siglas en inglés, es un método alternativo de planeación, ejecución y evaluación, donde se puede alcanzar la mejora de tiempos, aplicando recursos y esfuerzos importantes, orientados a resolver problemas recurrentes durante su desarrollo.

El concepto “DTL” se aplicó inicialmente en las diferentes líneas de negocios del Consorcio Shell en un trabajo (Step Change Improvement and High Rate Learning are Delivered by Targeting Technical Limits on Sub-Sea Wells), presentado en 1996 por Bond, Scott y Windham, en un estudio del Campo Woodside Offshore Petroleum de Australia, durante la Conferencia sobre Perforación de SPE/ IADC, en el que se demostró que mediante una planeación excelente, la metodología de Límite técnico puede ser usada para modelar las operaciones de perforación y terminación de pozos, fijando los más altos estándares posibles de desempeño y logrando reducciones significativas en los tiempos de operación; y después en las intervenciones de perforación y terminación de pozos, basándose fundamentalmente en la solución de retos en aguas profundas y así confirmar lo que teóricamente es factible de lograr.

Se busca alcanzar un nivel de desempeño definido como el “mejor tiempo posible para la perforación de un pozo en un campo”, identificando las mejores prácticas empleadas en el mismo campo, utilizando las lecciones aprendidas, la experiencia, el conocimiento y habilidades del personal.

El Límite técnico debe conceptualizarse como una forma de “trabajar más inteligentemente”. No debe interpretarse como una forma de realizar las tareas acortando caminos, comprometiendo la seguridad, o estableciendo retos y metas irreales. Adicionalmente, el aspecto tecnológico desempeña un papel importante, ya que su aplicación adecuada en el pozo, se reflejará en mejoras de tiempo

y costo de la intervención. El método se basa en las preguntas siguientes:

- ¿Cuál es el desempeño real? Se refiere a los tiempos históricos reales registrados en el campo.
- ¿Qué es posible alcanzar? Se refiere a los límites teóricos a los cuales se pretende llegar.
- ¿Qué se necesita para llegar a lo posible? Se refiere a la inversión de recursos humanos, técnicos, tecnológicos y financieros para el mejor desempeño.

El tiempo del Límite técnico indica que existe una probabilidad teórica, que pudiese alcanzarse. La intención es indicar el tiempo requerido si la operación se desarrolla sin tiempo no productivo, (sin ningún problema, sin retrasos, sin errores, sin ineficiencias).

El tiempo total del pozo es el número total de días que se emplean en desarrollar las actividades de perforación de un pozo. Incluye los tiempos productivo (es el tiempo requerido para terminar una actividad o paso operativo con la gente, equipo y tecnología disponible) y no productivo visible (es el tiempo referido a las operaciones y/o eventos que atrasa o detiene una actividad o paso operativo). Como puede observarse en la **Figura 1**, el tiempo productivo puede ser expresado como la diferencia entre el tiempo real de la intervención y el tiempo no productivo visible.

Los tiempos no productivos visibles están referidos a operaciones y/o eventos que atrasa o detiene una actividad o paso operativo; es la suma de eventos identificados claramente como:

- Reparaciones del equipo.
- Fallas de equipos de las compañías de servicio.
- Esperas en general (compañías de servicio, materiales, decisiones, etc.)
- Mala planeación.



Figura 1. Descripción de tiempos de un pozo.

El tiempo no productivo invisible es el tiempo no productivo inmerso en el tiempo productivo informado, de difícil identificación; en general, se trata de ineficiencias del sistema:

- Mala planeación.
- Operaciones lentas.
- Operaciones simultáneas ineficientes.
- Procedimientos o herramientas inadecuadas.
- Pasos operacionales innecesarios: repasos,
- Tiempo operacional adicional: viajes lentos de tubería, bajas velocidades de penetración por desgaste de barrena, uso de equipo obsoleto o en condiciones inadecuadas, etc.

El tiempo óptimo es el requerido para terminar una actividad o paso operativo con el personal, equipo y tecnología que se dispone actualmente, si se realiza a perfección, (sin tiempos no productivos visible y el tiempo no productivo invisible y es la referencia para la determinación del Límite técnico.

Metodología de Límite técnico

El proceso metodológico para la aplicación del Límite técnico en el Campo X incluyó siete pasos ejecutados en el proceso VCDSE de pozos, los cuales se observan en la Figura 2 y se describen a continuación:

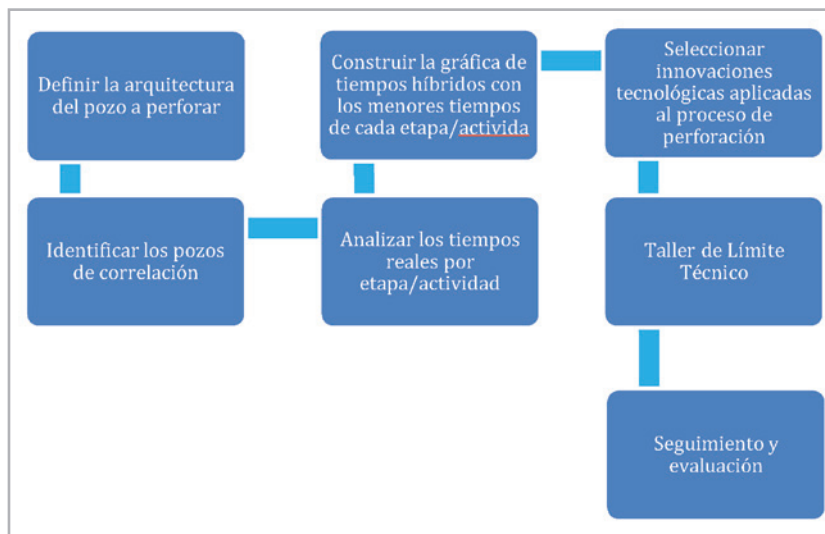


Figura 2. Proceso metodológico para la aplicación del Límite técnico.

Definir la arquitectura del pozo a perforar

El primer paso para la aplicación de la metodología de Límite técnico es definir la arquitectura del pozo que se va a perforar; esto es, el arreglo de las tuberías de revestimiento o geometría del pozo, el cual, entre otros aspectos, estará en función de la profundidad total y los requerimientos de producción. Esta arquitectura se definió por el pozo tipo terminado en el proceso de diseño bajo la metodología VCD del pozo. La **Figura 3** muestra la arquitectura tipo de la mayoría de los pozos del Campo X, iniciando con una

tubería conductora de 30" asentada a 200 md, una tubería de revestimiento superficial de 20" asentada a 1102 md, dos tuberías de revestimiento intermedias de 16" y 13 5/8" asentadas a 2102 md y 3750 md respectivamente, una tubería de revestimiento de producción de 9 7/8" que se introduce en dos secciones (liner y complemento) asentada a 5530 md en la cima del Paleoceno Superior, un liner de producción de 7" asentado a 6150 md en la base del JST y por último, un liner ranurado de 5" a 6300 md para cubrir la zona productora del JSK.

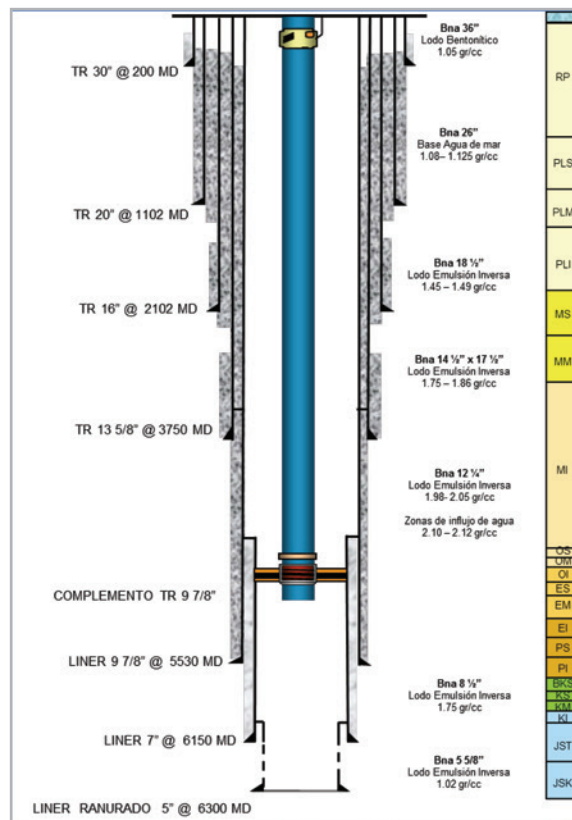


Figura 3. Pozo tipo, Campo X.

Identificar los pozos de correlación

Los pozos de correlación se seleccionan de acuerdo al tipo, cantidad y calidad de la información que poseen y a su similitud con la geología de la localización que se va a diseñar. Para una acertada selección de los pozos de correlación es necesario considerar la ubicación del proyecto pozo geográficamente, esto con la finalidad de identificar los pozos de correlación por cercanía y así poder

evaluar el plano de distancias. Las características similares de profundidad, diámetros, número de etapas. Revisar los objetivos geológicos y determinar que pozos existen en la misma cuenca geológica y modelo de ambiente sedimentario. Analizar que pozos se localizan en la misma estructura geológica, las ventanas operativas, eventos operativos y estados mecánicos. Analizar y seleccionar por clasificación de presión y temperatura, así como por equipo de perforación, marino, lacustre o terrestre principalmente

cuando las estructuras están cercanas a la costa. Analizar por el perfil direccional, por tipo de terminación y fluidos a producir y productividad. La cantidad final de los pozos de correlación depende del análisis, la depuración de la información y el criterio final del evaluador. Para el Campo X se cuenta con una variedad de pozos perforados con diversos equipos auto elevables, de los cuales se dispone de los datos de tiempos ejecutados por cada actividad.

Analizar los tiempos reales por etapa/actividad

En este punto se realiza una revisión de datos históricos de las operaciones y actividades globales en los pozos de correlación y se seleccionan los menores tiempos de operación para cada una de las etapas/actividades. Una vez que se han definido las etapas/actividades que conforman el pozo, en los reportes diarios de operación de los pozos correspondientes se identifican los tiempos perdidos convencionales TNP (clasificados como problemas,

reparaciones y esperas), de cada una de esas etapas/ actividades. Adicionalmente, se determinan los tiempos perdidos invisibles (TNPI), los cuales son un poco más difíciles de identificar, ya que están “ocultos” dentro de los tiempos clasificados como normales, pero son operaciones donde se invierte más tiempo del que se debería emplear en una actividad determinada; por ejemplo, sacar la tubería muy lentamente, circular en demasía, perforar con una barrena inadecuada, etc. La **Figura 4**, muestra la distribución de tiempos de un pozo ejemplo del campo, donde se observa que el 80% de los tiempos reportados son operaciones normales (tiempos productivos) y un 20% de tiempos no productivos, constituidos por operaciones con problemas durante la perforación representando un 14% del tiempo total, reparaciones del equipo de perforación (bombas, top drive, tubo lavador) con un 2% y por último un 4% de esperas por materiales, equipos y condiciones climatológicas.

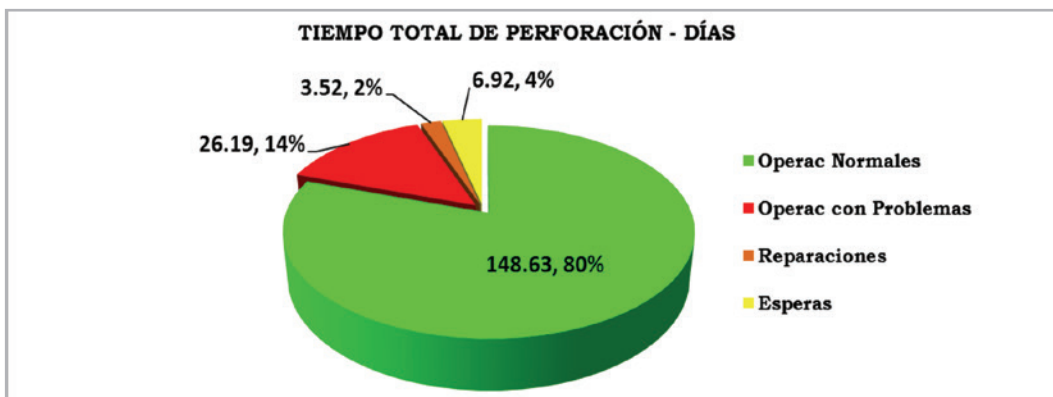


Figura 4. Analizar los tiempos reales por etapa/actividad.

Aplicando la metodología, en la **Tabla 1** se muestra un ejemplo de aplicación del análisis de tiempos reales por actividad para la etapa de tubería conductora de 30”, donde se analizan los tiempos productivos de cada actividad y se seleccionan (color amarillo), los menores tiempos para cada actividad de los pozos de correlación. En la primera columna se muestran las actividades principales realizadas en los pozos para la etapa de 30”, posteriormente se muestran los tiempos normales (días), observados durante la realización de cada actividad en los pozos de correlación seleccionados, las dos últimas columnas muestran el promedio (días), de cada actividad y el valor de Límite técnico asignado (mínimo valor realizado para dicha actividad).

Tabla 1. Análisis de tiempos reales por actividad para la etapa de tubería conductora de 30”.

| 1ra. ETAPA - TR DE 30" | | PLANIFICACION DE TIEMPOS - POZOS - CAMPO X | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| PROGRAMA ACTIVIDADES | AGUJERO DE 36" | x-1 | x-1A | x-4 | x-12 | x-22 | x-5 | x-36 | x-24 | x-2 | x-21 | x-6 | PROM (Días) | LT (días) |
| Perforar con agua de mar y baches lodo bentonítico de 1.65 gr/cc. | | 1.04 | 0.58 | 0.29 | 0.17 | 0.73 | 0.52 | 0.20 | 0.29 | 0.40 | 0.42 | 0.23 | 0.44 | 0.17 |
| Circular y acondicionar Agujero | | 0.50 | 0.17 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.11 | 0.04 |
| Realizar Viaje corto | | 0.12 | 0.27 | 0.30 | 0.17 | 0.15 | 0.10 | 0.09 | 0.10 | 0.09 | 0.15 | 0.10 | 0.15 | 0.09 |
| Circular y acondicionar Agujero. Colocar bache de 1.20 gr/cc | | 0.21 | 0.06 | 0.17 | 0.17 | 0.06 | 0.06 | 0.08 | 0.27 | 0.06 | 0.10 | 0.17 | 0.13 | 0.06 |
| Levantar barrena de 36" a superficie. | | 0.10 | 0.13 | 0.42 | 0.21 | 0.13 | 0.23 | 0.15 | 0.06 | 0.17 | 0.06 | 0.13 | 0.16 | 0.06 |
| Preparativos para meter conductor de 30" | | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.13 | 0.15 | 0.06 | 0.08 | 0.13 | 0.04 | 0.10 | 0.08 | 0.09 | 0.04 |
| Meter conductor de 30". | | 0.35 | 0.38 | 0.42 | 0.56 | 0.33 | 0.33 | 0.25 | 0.52 | 0.29 | 0.25 | 0.33 | 0.37 | 0.25 |
| Preparativos para cementar TR 30" | | 0.13 | 0.10 | 0.09 | 0.09 | 0.21 | 0.12 | 0.13 | 0.10 | 0.15 | 0.08 | 0.13 | 0.12 | 0.08 |
| Cementar conductor de 30" y esperar fraguado, desplazar con lodo próxima etapa. | | 0.77 | 0.73 | 0.96 | 0.79 | 0.96 | 0.94 | 0.79 | 0.98 | 0.79 | 0.69 | 0.71 | 0.83 | 0.69 |
| Efectuar desconección y colocar tramo corto con brida soldable 29 % | | 0.27 | 0.77 | 0.54 | 0.60 | 0.46 | 0.08 | 0.38 | 0.35 | 0.08 | 1.13 | 0.17 | 0.44 | 0.08 |
| Instalar diverter 29 1/2" (2M), línea de flote y campana | | 0.63 | 0.88 | 1.58 | 1.67 | 0.31 | 0.23 | 0.79 | 1.08 | 0.21 | 0.42 | 0.83 | 0.78 | 0.21 |
| Meter bna de 26" con sarta lisa y bajar a cima de cemento | | 0.31 | 0.33 | 0.48 | 0.38 | 0.50 | 0.60 | 0.19 | 0.31 | 0.21 | 0.25 | 0.17 | 0.34 | 0.17 |
| Rebajar cemento, accesorios y reconocer PI | | 0.27 | 0.75 | 0.27 | 0.08 | 0.20 | 0.42 | 0.27 | 0.10 | 0.18 | 0.08 | 0.19 | 0.26 | 0.08 |
| Levantar bna a superficie | | 0.12 | 0.13 | 0.10 | 0.13 | 0.10 | 0.10 | 0.13 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.10 | 0.11 | 0.10 |
| Armar y meter sarta direccional con bna 26" a fondo perforado | | 0.70 | 0.80 | 0.50 | 0.80 | 0.70 | 0.50 | 0.73 | 0.65 | 0.71 | 0.63 | 0.68 | 0.67 | 0.50 |
| Tiempo Op. Normales- E- 30" | | 5.63 | 6.17 | 6.23 | 5.97 | 5.02 | 4.39 | 4.31 | 5.15 | 3.54 | 4.54 | 4.06 | 5.00 | 2.62 |

Construir la gráfica de tiempos híbridos con el menor tiempo de cada etapa/actividad

Con los datos obtenidos del análisis de tiempos por actividad en cada etapa, se construye el pozo híbrido, que se representa como una gráfica de "actividad vs tiempo" de la intervención, caracterizado por representar los menores tiempos de operación de cada etapa/actividad de los pozos de correlación. La **Figura 5**, muestra las curvas de avance de cuatro pozos del Campo X, representadas por los tiempos productivos de cada etapa de perforación y el pozo híbrido como resultado de los menores tiempos seleccionados de cada uno de los pozos.

Seleccionar innovaciones tecnológicas aplicadas al proceso de perforación

Se lleva a cabo un análisis de la problemática presentada en los pozos de correlación identificándose si existe alguna tecnología que pueda aplicarse para reducir aún más los tiempos de perforación. Es importante señalar que se debe evaluar el costo-beneficio de las aplicaciones tecnológicas propuestas, buscando que éstas agreguen

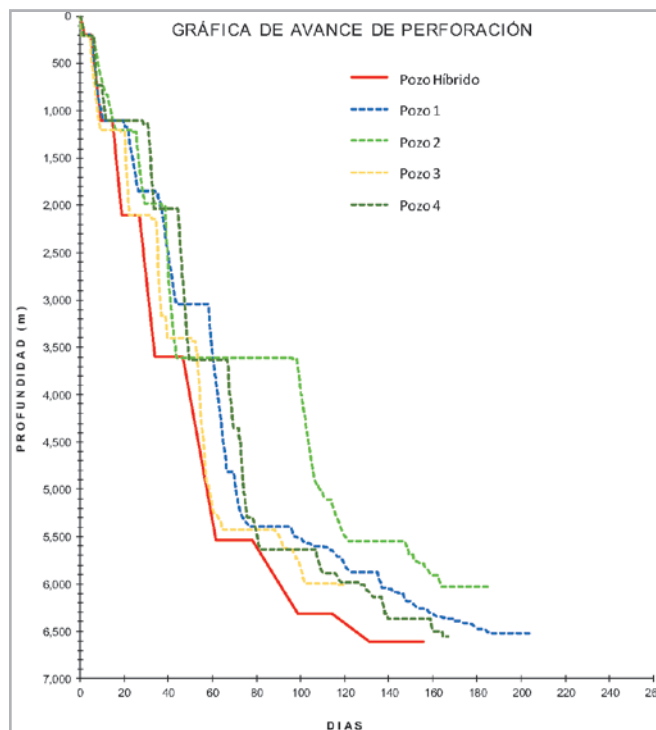


Figura 5. Pozo híbrido.

valor económico al proyecto. Por ejemplo, si en los pozos de correlación se observa que se tienen rendimientos bajos, se podrían mejorar y/o reducir el número de barrenas requeridas con la aplicación de una mejor tecnología. Los valores estimados de reducción de tiempos con las aplicaciones tecnológicas se restan del pozo híbrido de acuerdo a la etapa/actividad en que se esté considerando su aplicación, con lo cual se obtiene lo que se conoce como Límite técnico. Una vez que se ha obtenido el Límite técnico, se efectúan los ajustes por profundidad de las etapas del pozo programado, para lo cual se toma en consideración el ritmo de penetración estimado para el Límite técnico.

Taller de Límite técnico

Una vez que se han determinado los tiempos del Límite técnico, el éxito de su implementación en el campo depende en gran medida del compromiso del personal involucrado en la fase de ejecución. Para esto, lo recomendado es realizar un Taller de Límite técnico, el cual, puede realizarse independiente o como parte del Taller de perforación en papel.

La perforación en papel es una reunión efectuada entre todos los involucrados en el proyecto pozo (incluye al Equipo multidisciplinario VCDSE de pozos, unidades operativas, compañías de servicio, logística y telecomunicaciones) la cual comprende la revisión a detalle de cada etapa de la intervención del pozo, generando los acuerdos que deben cumplirse para asegurar la continuidad operativa durante la fase de seguimiento y en caso de identificar algún riesgo difícil de mitigar en las operaciones programadas, proponer las modificaciones pertinentes a los procesos correspondientes.

El taller de Límite técnico tiene como objetivo reforzar en el personal el deseo de optimar las operaciones y que concientice que es posible acortar los tiempos de la intervención sin comprometer la seguridad de todos y así reducir costos. Es de suma importancia que el personal finalice el taller, motivado a plantearse nuevos retos y sobrepasar su desempeño anterior y con la meta de superar a otras cuadrillas en otros equipos y que se sientan responsables por el éxito del mismo.

El taller de Límite técnico debe generar acuerdos y compromisos asociados a los siguientes puntos:

- Beneficios de la implementación del Límite técnico en el proyecto pozo, tales como mejorar la rentabilidad

del proyecto, asegurar su continuidad y mejorar la seguridad en las operaciones, entre otros.

- Describir el proceso de Límite técnico y sus resultados, enfatizando que es posible lograr un cambio significativo en el desempeño.
- Revisar el programa detallado de actividades y tiempos.
- Análisis histórico estadístico de fallas del equipo de perforación seleccionado.
- Presentación y llenado de matriz de mitigación de riesgos asociadas a fallas del equipo de perforación.

Se deben buscar los siguientes tres objetivos:

- Identificar cualquier oportunidad de mejora de la ejecución y quien es el personal indicado para capitalizar esa oportunidad.
- Establecer una meta de tiempo para cada actividad. las metas de tiempo deben ser basadas en el mejor desempeño que se haya obtenido anteriormente y en cómo podría mejorarse aún más. En la reunión se puede utilizar la experiencia e iniciativa del grupo para desarrollar su propio Límite técnico para cada fase del proyecto.
- Es vital que al concluir esta junta cada integrante del equipo asuma su responsabilidad individual y la convierta en su meta personal y del equipo.

La duración del taller es variable; para personal nuevo pueden requerirse de 2 a 3 días, mientras que para personal que ya tiene experiencia en el proceso, el taller puede durar sólo 1 ó 2 días. El personal operativo del equipo de perforación normalmente asiste en su tiempo de descanso, por lo que es responsabilidad del coordinador del taller asegurarse de aprovechar su tiempo y agregue valor. Con el programa del pozo desglosado en una secuencia detallada de actividades, se crea la oportunidad para que el personal operativo adapte este plan a su equipo particular, e incorporen su experiencia para mejorar la forma y los tiempos en que se ejecutará. Esto asegura que el personal operativo adquiera un sentido de pertenencia del programa, y establezca metas que estén comprometidos a alcanzar.

En la **Tabla 2** se muestra un ejemplo del formato a emplear, donde se describen las actividades principales, detallando el tiempo programado para la actividad, el tiempo del límite técnico asignado a dicha actividad y el tiempo meta o compromiso logrado en el Taller de Límite técnico,

identificando los equipos y herramientas requeridos para obtener el tiempo compromiso, así como también, los riesgos asociados a las actividades y las acciones requeridas para lograr el objetivo y el responsable de la misma. La

información obtenida en el Taller de Límite técnico, así como el Programa del pozo deben ser enviados al personal a bordo del equipo de perforación, para difusión y seguimiento.

Tabla 2. Formato del taller de Límite técnico.

| Operación | Tiempo Programa (hrs) | Tiempo Límite Técnico (hrs) | Meta Taller LT (hrs) | Oportunidades | Equipos y herramientas | Riesgos | Acciones | Responsable |
|---|-----------------------|-----------------------------|----------------------|--|--|-------------------------------|--|----------------------------|
| Armar TP 5" | 16 | 13 | 15 | Empleo de TP 6 5/8" para mejor limpieza de agujero | | | Verificar disponibilidad de TP 6 5/8" | Coordinador de operaciones |
| Armar TR 36" | 10 | 8 | 9 | | | Disponibilidad de grúa | Tener un operador de grúa adicional | Compañía Perforadora |
| Armar aparejo de fondo para jeteo | 3 | 3 | 3 | | | Falla de motor de fondo | Probar las herramientas de la compañía direccional en cubierta antes de armarlas | Coordinador de operaciones |
| Meter hasta lecho marino | 3 | 3 | 3 | | | | | |
| Jetear TR 36" (80 metros bajo lecho marino) | 6 | 5.5 | 6 | Empleo de Herramienta Drilling Ahead | Herramienta Drilling Ahead en buenas condiciones | Angulo del cabezal mayor a 1° | Controlar PSB durante el jeteo | Especialista técnico |
| Totales | 38 | 32.5 | 36 | | | | | |

Seguimiento y evaluación

Durante la perforación del pozo, es importante reportar y cuantificar el tiempo de toda actividad ejecutada para ser comparada con el tiempo establecido en el Límite técnico y tiempo programado. El reporte apropiado de la distribución de tiempo de la intervención (tiempo productivo, el tiempo no productivo y los tiempos no productivos invisibles), es fundamental para medir y administrar el desempeño. Estos datos los debe reportar el ingeniero de pozo a medida que se vayan generando.

A medida que se perfora el pozo, los datos deben analizarse; en una tabla que muestre las secciones perforadas, el Límite

técnico establecido, el tiempo real que tarda cada actividad, el tiempo removible y cualquier cambio que se requiera en los tiempos del Límite técnico.

La **Figura 6** muestra el detalle del seguimiento a los tiempos empleados en las actividades de perforación de la etapa de 30" de un pozo de correlación, donde se muestra el análisis comparativo de los tiempos programados para cada actividad, el tiempo límite técnico calculado y el tiempo real efectuado por el pozo en perforación durante la actividad correspondiente.

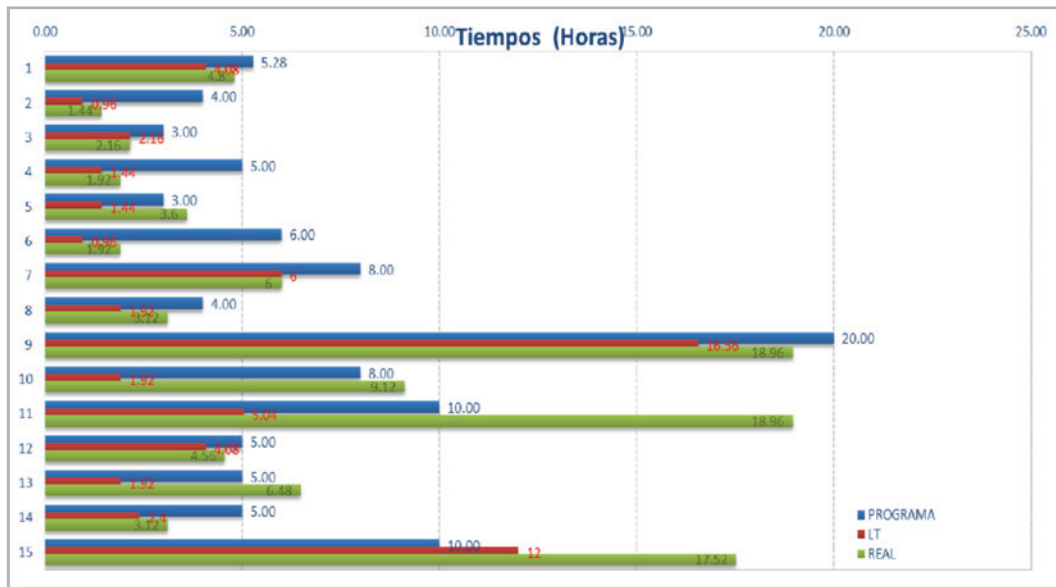


Figura 6. Ejemplo de seguimiento de tiempos por actividades.

Resultados de aplicación

El pozo X-36 se diseñó para perforarse desde un equipo autoelevable en un tiempo pronosticado de 200 días de perforación, a una profundidad programada de 6613 md; sin embargo, aplicando la metodología VCDSE, este pozo cuya gráfica de avance se muestra en la **Figura 7**, concluyó las actividades de perforación en 129.48 días totales, contando 112 días de actividades normales, así mismo dentro del tiempo total se incluyeron 10.06 días de operaciones con problemas, las cuales consistieron en problemas por fricción y resistencias, conformación de agujero. Al tomar en cuenta la renta diaria del equipo de perforación, que asciende a 149,000 USD por día, se observa que la reducción de estos tiempos logró un ahorro de 10, 507,480 USD, lo cual equivale a cerca de 189, 134,640 MXN.

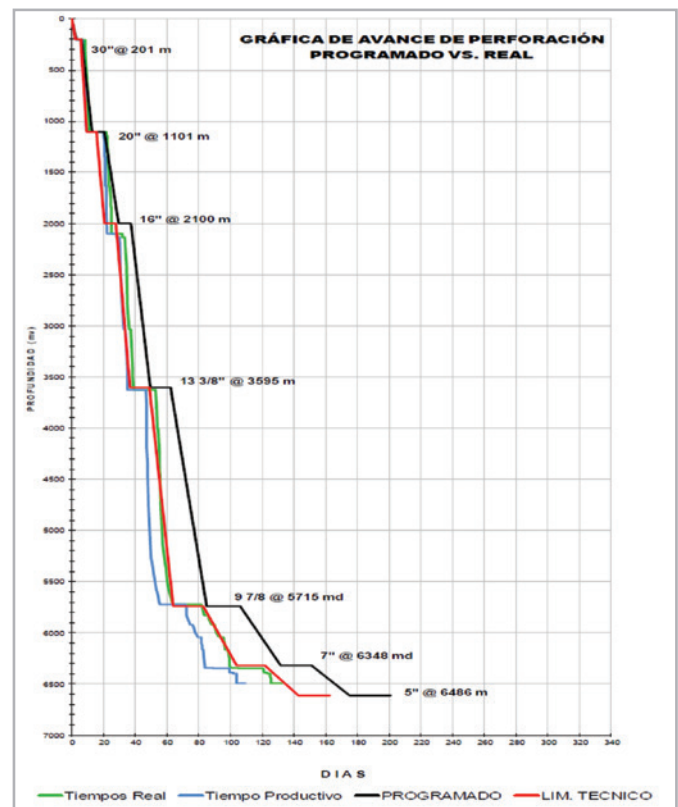


Figura 7. Gráfica de avance del pozo X-36.

En la **Figura 7**, se observa que el pozo X-36, tenía un tiempo programado de 200 días, un límite técnico calculado de 162 días, sin embargo, el pozo fue perforado con un tiempo de 129.48 días y un tiempo productivo de 112 días.

Desglose de los tiempos correspondientes al pozo X-36

A continuación se describen los tiempos no productivos visibles durante las operaciones de perforación del pozo X-36, para las operaciones con problemas, esperas y reparaciones de equipo.

- Desglose de operaciones con problemas X-36: la **Tabla 3**, muestra el detalle de las operaciones con problemas con mayor impacto en los tiempos no productivos, destacándose 2.08 días debidos a problemas de taponamiento de la TP con recortes del pozo, 1.98 días por fallas de herramientas direccionales, 1.81 días debido a resistencias y fricciones durante los viajes con tubería y 1.17 días por operaciones de control de pérdida de circulación. La **Figura 8** muestra una representación gráfica de la **Tabla 3**, identificando los principales problemas operativos presentes durante la perforación del pozo.

Tabla 3. Clasificación y tiempos de operaciones con problemas del pozo X-36.

| Operaciones c/Problemas | días | (%) |
|--|------|-------|
| Taponamiento de TP | 2.08 | 20.7% |
| Falla herramienta MWD/LWL/motor | 1.98 | 19.7% |
| Fricción / resistencias | 1.81 | 18.0% |
| Pérdida circulación | 1.17 | 11.6% |
| Falla herram. de registros geofísicos | 0.63 | 6.2% |
| Falla cementación/TxC/forzada | 0.50 | 5.0% |
| Conformar agujero | 0.48 | 4.8% |
| Circular/ acond. lodo | 0.40 | 3.9% |
| Control de pozo | 0.38 | 3.7% |
| Brote/gasificac. /cierre con preventor | 0.29 | 2.9% |
| Trató de meter TR S/E | 0.13 | 1.2% |
| Registros parciales | 0.10 | 1.0% |
| Falla de herr/eqpo sup | 0.08 | 0.8% |
| Sarta atrapada | 0.04 | 0.4% |

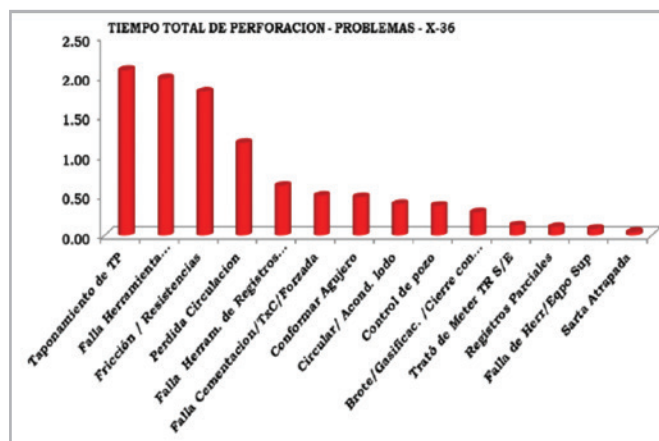


Figura 8. Operaciones con problemas del pozo X-36.

- Desglose de reparaciones de equipos X-36: La **Tabla 4**, muestra el detalle de los tiempos no productivos causados por las reparaciones efectuadas al equipo de perforación durante las operaciones en el pozo X-36, destacándose 0.75 días en reparaciones de charola ecológica, línea de flote, 0.46 días por falla de Top drive y 0.31 días corrigiendo fugas de BOP. La **Figura 9** muestra una representación gráfica de la **Tabla 4**, identificando las reparaciones efectuadas al equipo de perforación.

Tabla 4. Clasificación y tiempos de reparaciones de equipo de perforación en el pozo X-36.

| Reparaciones | días | (%) |
|-------------------------------|------|-------|
| Charola/equipos superficiales | 0.75 | 42.9% |
| Top drive | 0.46 | 26.2% |
| BOP's | 0.31 | 17.9% |
| Bombas | 0.23 | 13.1% |

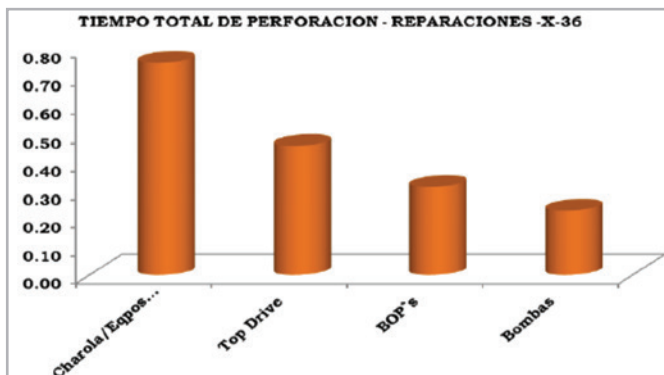


Figura 9. Reparaciones de equipo de perforación en el pozo X-36.

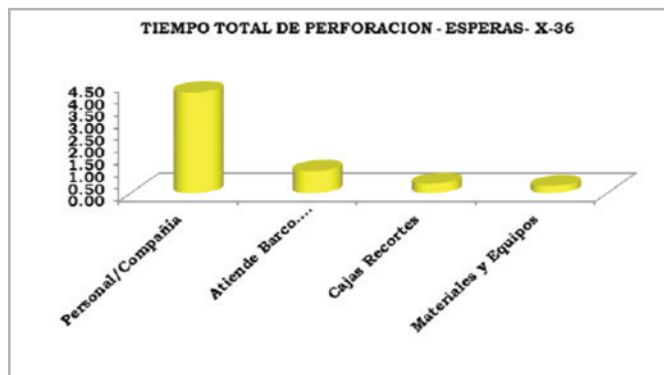


Figura 10. Tiempos de espera durante la perforación del pozo X-36.

- Desglose de tiempos de esperas en el pozo X-36: La **Tabla 5**, muestra el detalle de los tiempos no productivos causados por esperas durante las operaciones de perforación en el pozo X-36, destacándose 4.13 días por esperas de personal de compañías de servicios, 0.90 días por suspensión de actividades para atender barcos con materiales y equipos, 0.38 días esperando cajas de recorte para continuar la perforación y 0.27 días por esperas de equipos y materiales diversos. La **Figura 10** muestra una representación gráfica de la tabla 5, identificando los tiempos de esperas durante la perforación del pozo X-36.

Tabla 5. Clasificación y tiempos de espera durante la perforación del pozo X-36.

| Esperas | días | (%) |
|--|------|-------|
| Personal/Compañía | 4.13 | 72.8% |
| Atiende Barco. Rec./Ret/Htas/ Fluidos/Mat. | 0.90 | 15.8% |
| Cajas Recortes | 0.38 | 6.6% |
| Materiales y Equipos | 0.27 | 4.8% |

La aplicación de la metodología de límite técnico en conjunto con el seguimiento y toma de decisiones, ha permitido reducir en forma significativa para el Campo X; los tiempos de perforación de 249 días promedio en el 2014 a 161 días en el 2015. El record del campo corresponde al pozo X-36 con 129 días de perforación. La **Figura 11** muestra el tiempo de perforación en días de los pozos perforados durante los años 2013 a 2015, incluyendo el pozo exploratorio del campo. Como se observa, dos pozos exploratorios presentan un tiempo promedio de perforación de 294 días, la campaña de perforación del año 2013, para el inicio del desarrollo del campo con sólo 1 pozo perforado presenta un tiempo de 185 días. La campaña de perforación del 2014 con siete pozos perforados presenta un promedio de 249 días de perforación y en el año 2015 con tres pozos perforados un promedio de 161 días de perforación.

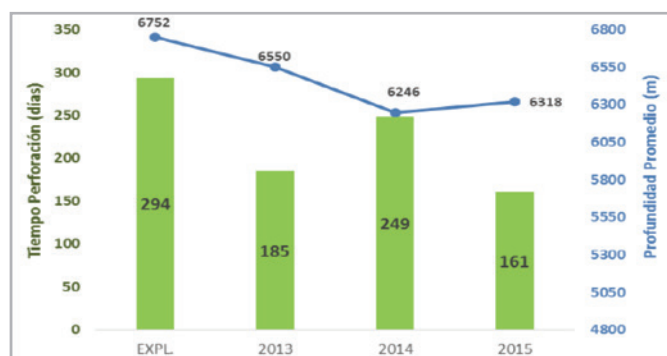


Figura 11. Gráfica comparativa de rendimiento diario por año en el Campo X.

La **Figura 12** muestra la tendencia de incremento de los metros perforados por día desde la perforación de los pozos exploratorios hasta los pozos perforados en la campaña

del año 2015, donde se observa la variación de 22.96 m/días perforados por los pozos exploratorios a 39.54 m/día en promedio de los pozos perforados en el año 2015, lo cual representa un incremento del 38.54 % de la tasa de perforación total de los pozos.

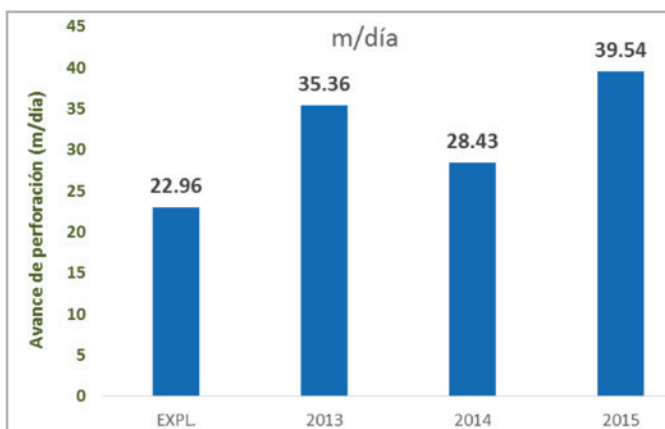


Figura 7. Gráfica de avance de perforación por metros avanzados.

Conclusiones

La reducción de 74.56 días en los tiempos de construcción del pozo X-36, es una muestra/evidencia de la efectividad de la metodología de límite técnico DTL en el control de los tiempos de operación del campo. En este caso particular la aplicación de la metodología tuvo un impacto de 10, 507,480 USD.

Para un pozo tipo del Campo-X se solían considerar aproximadamente 29 días dentro del estimado de tiempos para operaciones con problemas, sin embargo, con la implementación del Límite técnico se han impulsado cambios en distintas prácticas, ubicadas como las causas principales de tiempos improductivos, como control de pérdida de circulación y taponamiento de la TP, que hoy en día han permitido registrar tiempos record de solo 10.07 días para este rubro. Así mismo, la identificación y optimización que con el DTL se viene realizando para los cuellos de botella que se generan por la logística y coordinación de la operación, ha permitido llevar las esperas de un estimado de 6.92 a 5.68 días. En cuanto a reparaciones, el promedio del Campo-X en años anteriores a la aplicación del límite técnico daba cuenta de 3.52 días; desde que se utiliza el DTL, estos tiempos han disminuido y hoy en día en el caso de estudio del pozo X-36 se lograron tiempos de 1.75 días. De igual manera, los indicadores de avance de la perforación,

muestran progresos considerables, al pasar de 28.43 m/día en 2014 a 39.54 m/día en 2015; de la misma forma se lograron reducir los tiempos promedio globalizados de construcción de pozos entre los años antes mencionados, de 249 a 161 días.

La puesta en práctica, desde 2013 en el Campo X del Límite técnico como metodología de modelamiento de las operaciones de perforación y terminación de pozos, ha logrado que se permitan identificar y estudiar las actividades más afectadas por tiempos no productivos, lo que ha llevado a su vez a su seguimiento minucioso, que se refleja en el cambio drástico de tiempos y costos, todo esto conjuntado un equipo multidisciplinario de profesionales supervisando a detalle el proceso. Uno de los proyectos del año 2016, involucra el diseño y construcción del pozo X-14, con el objetivo de perforarlo en 127 días, enfatizando ante todo la ejecución correcta de las actividades. Debido a que el panorama económico se encuentra cada día más inestable, es menester enfocarse en trabajar de manera eficiente. La perfección no es alcanzable; sin embargo, buscándola se puede alcanzar la excelencia. El fijarse metas extremas es necesario para obtener altos rendimientos; sin ellas, sólo se obtendrán resultados limitados.

Referencias

1. Bond, D. F., Scott, P. W., Page, P. E. et al. 1988. Applying Technical Limit Methodology for Step Change in Understanding and Performance. SPE Drill & Compl 13 (5): 197-203. SPE-51181-PA. <https://doi.org/10.2118/51181-PA>.
2. Bond, D. F., Scott, P. W., Page, P. E. et al. 1996. Step Change Improvement and High Rate Learning are Delivered by Targeting Technical Limits on Sub-Sea Wells. Artículo presentado en la SPE/IADC Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, marzo 12-5. SPE-35077-MS. <https://doi.org/10.2118/35077-MS>.
3. Bond, D. F., Scott, P. W., Page, P. E. 1998. Applying Technical Limit Methodology for Step Change in Understanding and Performance. SPE Drill & Compl 13 (3): 197-203. SPE-51181-PA. <https://doi.org/10.2118/51181-PA>.
4. Common Process Guidelines. Drilling and Completions. BP. Technical limit. Pages 124-144.
5. Dolan, S. P., Barrows, W. J., Dickson, J. W. et al. 2000. Performance Improvement Techniques Used on Goodwyn a Platform. Artículo presentado en la IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference, Kuala

- Lumpur, Malasia, septiembre 11-13. SPE-62767-MS. <https://doi.org/10.2118/62767-MS>.
6. Jones, J. A. y Poupet, P. 2000. Drilling the Limit – A practical Approach to Breakthrough Performance. Artículo presentado en la IADC/SPE Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, febrero 23-25. SPE-59207-MS. <https://doi.org/10.2118/59207-MS>.
 7. Kadaster, A. G., Townsend, C. W. y Albaugh, E. K. 1992. Drilling Time Analysis: A Total Quality Management Tool for Drilling in the 1990's. Artículo presentado en la SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Washington, D.C., octubre 4-7. SPE- 24559-MS. <https://doi.org/10.2118/24559-MS>.
 8. Marshall, D. W. 2001. The Technical Limit - Illusion and Reality. Artículo presentado en SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam, febrero 27-marzo 1. SPE-67819-MS. <https://doi.org/10.2118/67819-MS>.
 9. Noerager, J. A., Norge, E., White, J. P. et al. 1987. Drilling Time Predictions for Statistical Analysis. Artículo presentado en la SPE/IADC Drilling Conference, New Orleans, Louisiana, marzo 15-18. SPE-6164-MS. <https://doi.org/10.2118/16164-MS>.
 10. Shute, J. y Alldredge, G. 1982. Conoco Cuts North Sea Drilling Time by 40%. World Oil 195 (1): 78-87.

Semblanza de los autores

Alejandro Montiel Meléndez

Líder de evaluación. 2015-2016. Coordinación de Diseño y Ejecución de Pozos. Gerencia de Proyectos Aguas Someras. Subdirección de Desarrollo de Campos. Petróleos Mexicanos.

ED. Coordinación de Diseño y Ejecución de Pozos. 2015. Coordinación de Diseño y Ejecución de Pozos. Gerencia del Proyecto de Desarrollo Tsimin-Xux. Subdirección de Desarrollo de Campos.

Líder del VCD de Pozos de GPDTX. 2011-2015. Coordinación de Diseño y Ejecución de Pozos. Gerencia del Proyecto de Desarrollo Tsimin-Xux. Subdirección de Desarrollo de Campos.

Ingeniero de Diseño de Perforación y Terminación de pozos. 2009-2011. Grupo Multidisciplinario VCDSE de Pozos. Activo de Producción Litoral de Tabasco. Región Marina Suroeste.

Ingeniero de Productividad de Pozos. 2005-2009. Superintendencia de Productividad de Pozos. Activo de Producción Litoral de Tabasco. Región Marina Suroeste.

Natzayany Martínez Rosado

Ingeniera de Límite técnico, 2015-2016. Grupo Multidisciplinario VCDSE de Pozos. Coordinación de Diseño y Ejecución de Pozos. Gerencia de Proyectos Aguas Someras. Subdirección de Desarrollo de Campos.