

CMP2018_PF21

Nueva metodología de límite técnico no convencional para la reducción de tiempos y costos en la perforación de pozos shale.

Autores

Gustavo Espinosa Castañeda, David Velázquez Cruz, José Adalberto Morquecho Robles, Rogelio Resendiz Franco, David Silva Santiago, (Instituto Mexicano del Petróleo)

Resumen

La optimización de la perforación de pozos, es el proceso lógico de analizar las variables involucradas en la construcción del pozo para maximizar la eficiencia de las operaciones involucradas. La filosofía de la perforación optimizada consiste en emplear como base el aprendizaje, el conocimiento y experiencias adquiridas en el primer pozo perforado, para su aplicación en la perforación de los pozos subsecuentes; de tal manera que el costo total de perforación sea reducido al mínimo. Para identificar aquellos puntos a optimizar, primero, se desarrolló una metodología de análisis de tiempos de perforación (ATP), la cual permitió obtener los tiempos reales de las operaciones de perforación, los tiempos no productivos (NPT's) y los tiempos normales para cada una de las etapas de los pozos seleccionados del área shale gas/oil al norte de México. En segundo término se identificaron los mejores tiempos, las etapas comparables e índices de penetración (ROP'S) que atravesaron los pozos seleccionados. Finalmente, se obtienen las diferentes problemáticas con altos índices de frecuencias y las mejores prácticas identificadas para obtener un límite técnico no convencional como base para la planeación y diseño de pozos shale en México.



Introducción

Ante los retos actuales a los que se enfrenta la industria petrolera mundial, se deben plantear estrategias que permitan perforar pozos en forma eficiente, segura y económica, que generen experiencias y conocimiento en función de los primeros pozos del área a estudiar (Velázquez-Cruz, 2003, 2007).

Las compañías líderes a nivel mundial se preocupan por encontrar o desarrollar sistemas y métodos de trabajo que les permitan optimizar su desempeño. Tal es el caso del concepto FEL (Fronnd End Loanding). En cuya metodología se utiliza el límite técnico como practica internacional en la planeación de pozos.

En México, podemos asegurar que a lo largo de la historia de la perforación se han realizado esfuerzos intuitivos, empíricos y prácticos para mejorar el desempeño de las actividades de perforación y terminación de pozos. Cabe mencionar el proyecto “Optimización de Tiempos de Perforación”, mejor conocido como OTP que surgió como respuesta a un estudio previo con el cual se demostró que el tiempo empleado por PEMEX en la perforación de pozos era elevado, comparándolo con los tiempos estándares internacionales (PEMEX 1999), y el desarrollo de la metodología “Evaluación Operativa de la Perforación de Pozos” y el Software SEOPIMP V.1.0. y V 2.0. Con objeto de definir el desempeño y la eficiencia de las operaciones de la perforación de pozos para cerca de 100 pozos marinos (Ortiz-Benito y Velazquez-Cruz, 1998,1999), Espinosa- Gustavo y Velazquez-Cruz, 2000, 2001). La metodología de “Análisis de los Tiempos No Productivos” y el software NPT’s V 1.0., en análisis postmorten y de seguimiento operativo para identificar las áreas de oportunidad y las mejores prácticas de la perforación de pozos (Velazquez-Cruz, 2004).

Actualmente, lo anterior no es suficiente, ya que el alto precio del dólar y los bajos precios del petróleo originan que las operaciones de perforación se ejecuten en el

menor tiempo y costo posible ajustándose a un margen rentable y más aún en pozos shale.

Por lo que, se originó la necesidad desarrollar e implementar una nueva metodología para la obtención de un Límite Técnico No convencional y así optimizar la planeación del pozo a perforar a partir del análisis de las mejores prácticas, tiempos, tecnologías y recursos humanos, basados en el conocimiento adquirido.

En este trabajo se presenta la metodología, su aplicación y resultados de pozos exploratorios shale como base para la planeación de futuros pozos a perforar de las diferentes áreas prospectivas shale en México,

El Límite Técnico

El concepto de Límite Técnico fue introducido plenamente a través de la Brunei Shell Petroleum, 1998, con el objetivo de reducir significativamente los costos en la perforación de pozos, esto sin afectar la seguridad de los procesos que conllevan a la terminación de los mismos pozos.

El primer pozo planeado y perforado con el concepto del Límite Técnico fue el Golden eye, por la Transocean John Shaw, el concepto de Límite Técnico fue utilizado por BSP sobre pozos marinos en desarrollo, estos pozos fueron realizados con un 40% de tiempo ahorrado comparado con el historial de pozos perforados normalmente, (Schreuuder et al. 1999).

En México se implantó a principios del nuevo siglo (Espinosa, et al. .2014). Por último, cabe mencionar que la realidad de Límite Técnico es que puede tener un impacto característico sobre la reducción del tiempo y costo al planear y perforar un pozo.

El Límite Técnico se puede definir como el proceso para alcanzar el óptimo desempeño, revisando, analizando y aplicando las mejores prácticas de ingeniería

a las operaciones de planeación de la perforación y terminación de los pozos sirviendo de base para la administración del conocimiento en alguna actividad que genera aprendizaje y/o experiencia. Es una forma gráfica de ver el “mejor pozo”, para centrarse en el análisis de las mejores prácticas operativas y determinar “lo que se hizo y cómo”. Figura 1.0.

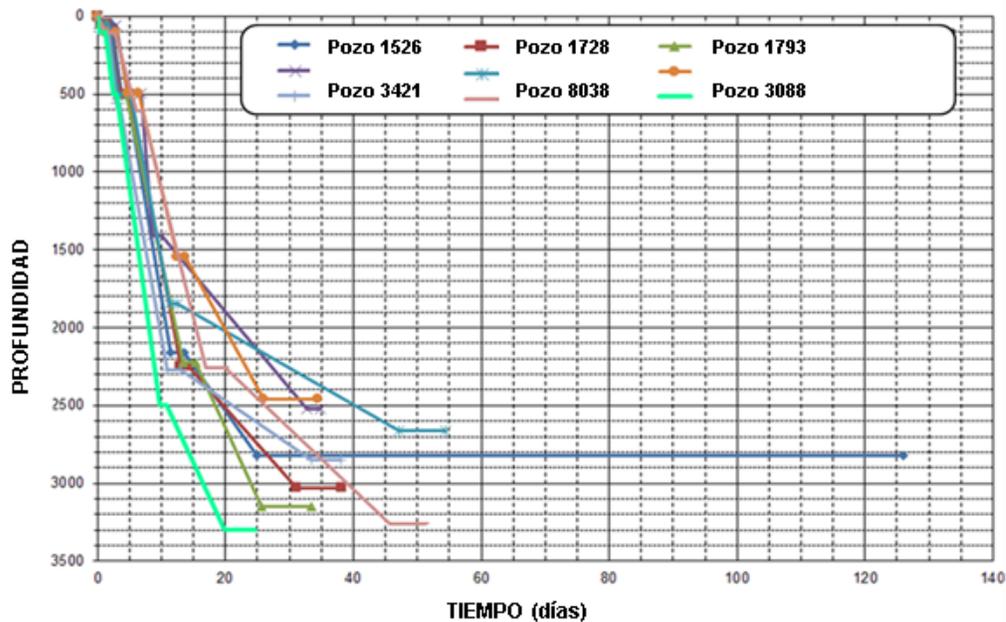


Figura 1.0. Ejemplo gráfico del Límite Técnico

El realizar un análisis de límite técnico tiene como objetivo reducir tiempo y costo del proceso de perforación. Para establecer el límite técnico, se realiza un análisis del tiempo real de las operaciones de perforación y terminación, como se observa en la figura 2.0



Figura 2.0. Tiempos de perforación

Tiempo real, se compone del empleado en operaciones normales más los tiempos no productivos. Los tiempos no productivo son los tradicionales NPT's, corresponden al tiempo que se ocupa en el desarrollo de todas aquellas actividades que impiden el progreso de las operaciones del pozo, por operaciones con problemas, fallas y esperas.

Tiempos normales: Son compuestos por los tiempos en los que se planea va a ser perforado el pozo y por aquellos no programados necesarios para cumplir con el objetivo.

Metodología

Proceso desarrollado modelo TECHLINM

El siguiente modelo representa el flujo de trabajo para obtener el Límite Técnico.

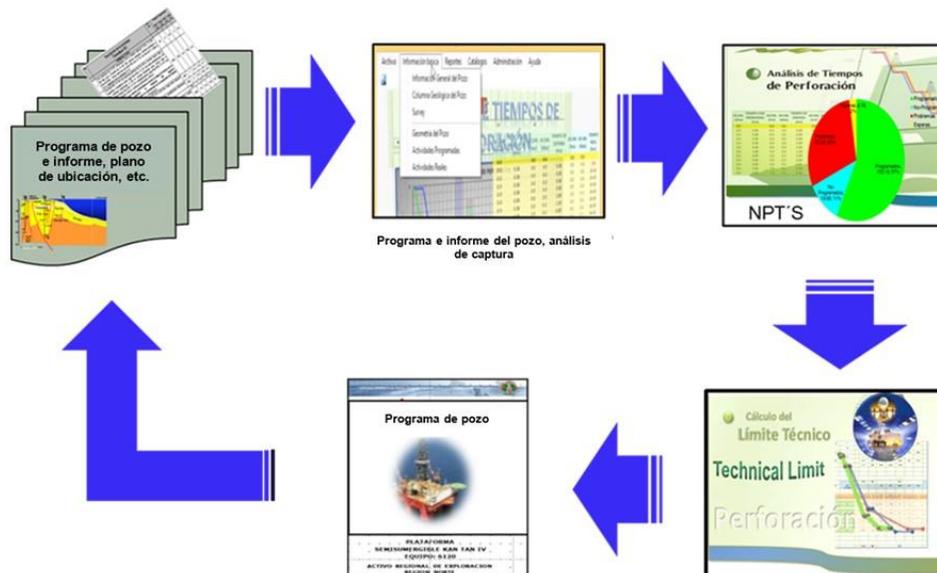


Figura 3.0. Proceso desarrollado modelo TECHLINM

Programa del pozo y reporte diario de perforación.

En la primera fase, se identifica el pozo del área o campo a analizar, se recoge la información necesaria y se valida como:

- Compilación de información de campo.
- Ubicación geográfica del campo.
- Campo de fondo.
- Características geológicas.
- Números de pozos perforados.
- Programa e informe de perforación diaria.

Para la segunda fase, se identifica la distribución y el tipo de sus pozos, su profundidad total, el tipo de equipo de perforación y el año en que fueron perforados.

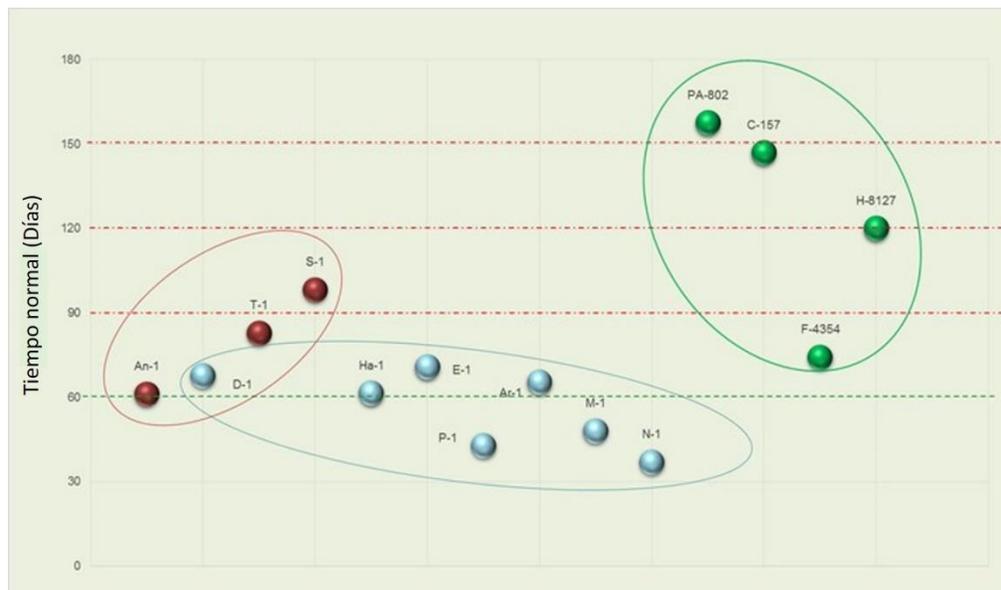


Figura 2.0. Pozos de la zona o del campo y la distribución de tiempos por tipo de pozos.

Posteriormente, se seleccionan los pozos y etapas en los que pueden compararse y se inicia la captura del programa de actividades y el informe diario de perforación en el software, ATP-IMP V.1.0.®, se compara el tiempo en que se estima perforar un pozo, con el tiempo real empleado en la construcción del pozo para realizar el análisis del tiempo y obtener los tiempos normales (programados y no programados) tiempos no productivos (problemas y esperas), i. e. Tiempos reales de la perforación. Figura 5.0.

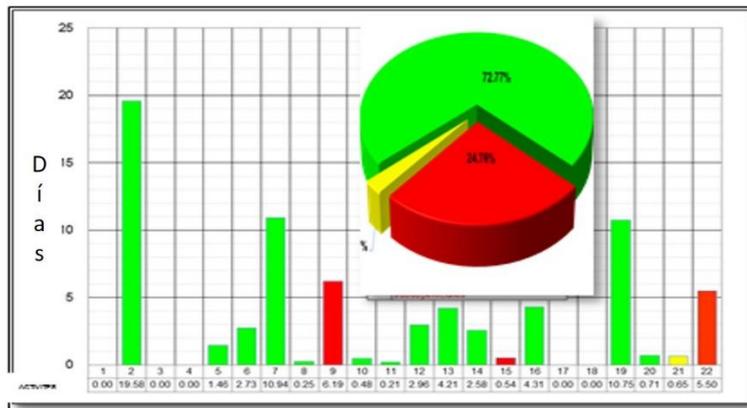


Figura 3.0. Análisis de los tiempos de la perforación.

En esta etapa, la información generada en la fase anterior se utiliza para identificar las desviaciones y las mejores prácticas obtenida para cada pozo en función de las actividades que tuvieron menos tiempo y las que cumplieron con el tiempo programado. Posteriormente se consideran los tiempos mejor documentados de la fase anterior (Figura 6.0.) y el ritmo de penetración (Ec.1.0.) para obtener un pozo optimizado que se proponen como base del límite técnico para futuros pozos en la zona. Figura 7.0.

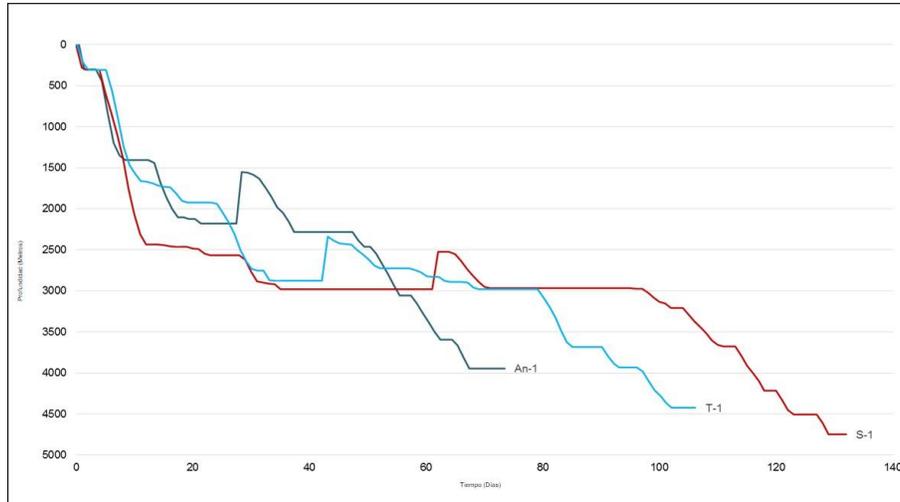


Figura 6.0. Desviaciones y tiempos obtenidos para cada pozo.

$$ROP = \frac{Y}{Tr} ; \dots \dots \dots \text{Ec.1.0.}$$

Donde:

- ROP= Ritmo de penetración
- Y= Profundidad del intervalo de la etapa
- Tr= Tiempo de rotación

Para la proyección de los tiempos del cambio de etapa proponemos la ecuación 2.0.

$$CE [Days] = \frac{CE \text{ min } [Days]}{Depth \text{ CE min}[m]} * PDepth [m] \dots \dots \dots \text{Ec. 2.0.}$$

Donde:

- CE min= Cambio de etapa mínima
- Depth of CE min= Profundidad en la que se realizó este cambio de etapa
- PDepth= Cubierta de profundidad planeada

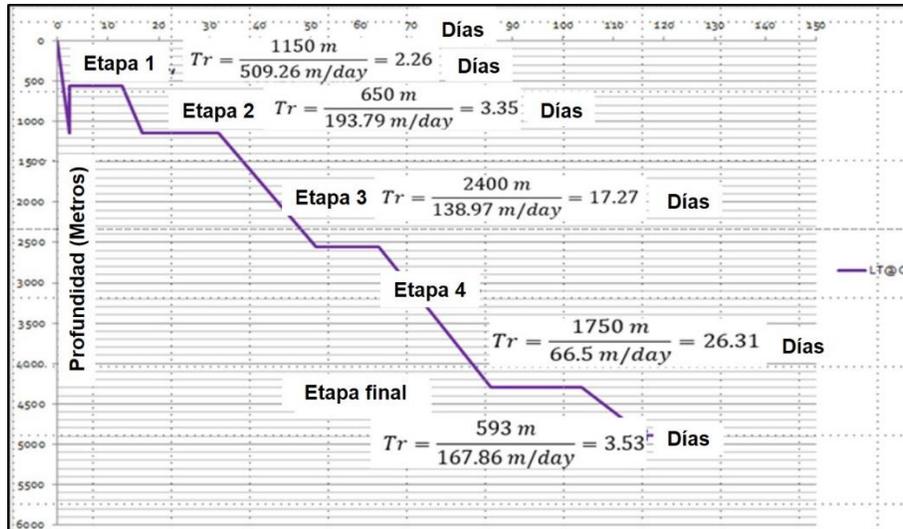


Figura 7.0. Pozo optimizado y límite técnico.

Límite propuesto en la planificación del pozo.

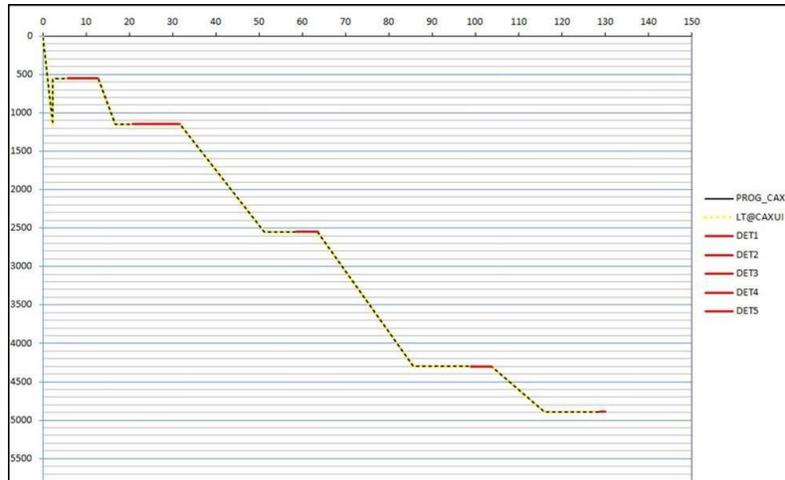


Figura 8.0. Límite propuesto en la planificación del pozo.

Aplicación y resultados

El estudio de caso se realizó en pozos Shale con énfasis en la formación de Pimienta en México considerando los siguientes pozos:

NO.	POZO	MD	FECHA INICIO	ETAPAS	TR	TERMINACIÓN
1	C-1112	2108	11/07/2010	3	TR 7"	TR
2	C-1113	2071	06/01/2011	2	TR 7"	TR
3	C-1111	2108	12/02/2011	2	TR 4 1/2"	TL
4	C-1185	2007	04/06/2011	2	TR 7"	TR
5	C-1198	2358	23/08/2012	3	TR 4 1/2"	Liner
6	PA-802	4085	23/11/2012	5	TR 4 1/2"	TL
7	C-157	4787	27/07/2013	6	TR 4 1/2"	TL
8	H-8127	4360	12/09/2013	5	TR 4 1/2"	TL
9	F-4354	4150	10/10/2013	4	TR 4 1/2"	TL

Tabla 1.0. Información de los pozos utilizados para el cálculo del límite técnico.

Identificación de los pozos que serán comparados para la actividad de perforación y para el cambio de etapa.



Figura 9.0. Pozos seleccionados para cada tipo de actividad.

Para el pozo propuesto L-1, 5 se planificaron las etapas con las siguientes geometrías y profundidades (tabla 2.0.), Que debe ser considerado en el análisis

para obtener los tiempos de todas las etapas comparables entre los pozos en la Figura 8.0.

Etapas	Barrena	TR	MD
1	17 1/2"	13 3/8"	58
2	12 1/4"	9 5/8"	1180
3 (Piloto)	8 1/2"	8 1/2"	2643
4	8 1/2"	7"	2869
5	6 1/8"	4 1/2"	4463

Tabla 2.0. Geometrías y profundidades seleccionadas para el pozo L-1

Ritmo de penetración máximo alcanzado en cada formación perforada:

C-1111		
ROP (m/h)	Formación	Profundidad (m)
45.11	TERCIARIO	0
		1203.95
40.53	MÉNDEZ	1203.95
		1272.36
40.65	K. SAN FELIPE	1272.36
		1335.05
27.5	K. AGUA NUEVA	135.05
		1412.88
16.2	K. TAMPAS SUP.	1412.88
		1479.03
16.2	OTATES	1479.03
		1482.1
14.05	K. TAMPAS INF.	1482.1
		1900.78
12.55	PIMIENTA	1900.78
		1945.91
13.75	J. SAN ANDRÉS	1945.91
		2108.71

C-1112		
ROP (m/h)	Formación	Profundidad (m)
19.37	TERCIARIO	0
		1125
13.39	MÉNDEZ	1125
		1207
45.88	K. SAN FELIPE	1207
		1238
17.93	K. AGUA NUEVA	1238
		1316
6.45	K. TAMPAS SUP.	1316
		1400
8.57	OTATES	1400
		1401
2.49	K. TAMPAS INF.	1401
		1825
1.01	PIMIENTA	1825
		1869
8.03	J. SAN ANDRÉS	1869
		2090
12.00	ARENISCAS/CUERPO O B	2090
		2108

C-1113		
ROP (m/h)	Formación	Profundidad (m)
45.11	TERCIARIO	0
		1202
19.31	MÉNDEZ	1202
		1259
14.01	K. SAN FELIPE	1259
		1305
6.73	K. AGUA NUEVA	1305
		1387
7.32	K. TAMPAS SUP.	1387
		1473
1.62	OTATES	1473
		1475
6.63	K. TAMPAS INF.	1475
		1895
3.62	PIMIENTA	1895
		1931
2.77	J. SAN ANDRÉS	1931
		2057
4.40	ARENISCAS/CUERPO B	2057
		2091
11.53	BASAMENTO	2091
		2125
		2159

NUEVO POZO L-1			
TR (in)	Formación	Profundidad (md)	ROP (m/h)
13 3/8"	TERCIARIA	1164	45.11
9 5/8"	Mendez	1180	40.53
	Mendez	1671	40.53
	San Felipe	1725	45.88
	Agua Nueva	1744	27.50
8 1/2" (Agujero piloto)	Tamaulipas Superior	2003	16.20
	Tamaulipas Inferior	2340	14.05
	Pimienta	2492	12.55
	Pimienta Inferior	2635	12.55
	Taman	2643	13.75
7"	Tamaulipas Inferior	2010	14.05
	Pimienta	2492	12.55
	Pimienta Inferior	2869.32	7.00
4 1/2"	Pimienta Inferior	4463.3	7.00

Figura 10.0. Los valores de ROP determinados para cada formación perforada en los tres pozos y la propuesta para el pozo L-1.

La velocidad de penetración (ROP) se determinó usando la ecuación 1.0. Para cada una de las formaciones atravesadas por los pozos C-1111, C-1112 y C-1113, para obtener el ritmo de penetración en cada formación perforada y planificar su uso en el pozo L-1 como se muestra en figura 10.

Tiempos de cambio de etapa

Se determinaron y analizaron los tiempos correspondientes a los cambios en las etapas de los pozos C-1185, C-1198, Co-157, F-4354, H-8127 y PA-802 para identificar y seleccionar los mejores tiempos considerando geometrías similares.

POZO C-157				POZO F-4354				POZO H-8127			
N° Etapa	ETAPA	CAMBIO DE ETAPA (días)	Profundidad (md)	N° Etapa	ETAPA	CAMBIO DE ETAPA (días)	Profundidad (md)	N° Etapa	ETAPA	CAMBIO DE ETAPA (días)	Profundidad (md)
1	20"	6.13	148	1	16"	4.38	151	1	16"	5.96	301
2	16"	6.25	926	2	10 3/4"	5.94	1003	2	10 3/4"	6.17	1657
3	10 3/4"	9.02	1851	3	7 5/8"	4.75	2608	3	9 1/2"	3.27	2885
4	9 1/2"	3.19	2465	4	4 1/2"	12.33	4150	4	7 5/8"	7.81	3005
5	7 5/8"	4.25	3008					5	4 1/2"	2.38	4360
6	4 1/2"	6.44	4787								
TOTAL		35.27		TOTAL		27.40		TOTAL		25.58	

POZO PA 802				POZO C-1185				POZO C-1198			
N° Etapa	ETAPA	CAMBIO DE ETAPA (días)	Profundidad (md)	N° Etapa	ETAPA	CAMBIO DE ETAPA (días)	Profundidad (md)	N° Etapa	ETAPA	CAMBIO DE ETAPA (días)	Profundidad (md)
1	16"	12.29	200	1	9 5/8"	4.02	450	1	9 5/8"	4.79	452
2	10 3/4"	6.65	1034	2	7"	2.31	2007	2	7"	2.56	2204
3	9 1/2"	4.42	2098					3	4 1/2"	1.21	2358
4	7 5/8"	6.27	2585								
5	4 1/2"	22.02	4085								
TOTAL		51.65		TOTAL		6.33		TOTAL		8.56	

Tabla 3.0. Tiempo de cambio de etapa para cada pozo.

A partir del análisis previo de los 6 pozos, se determinaron los pozos que tuvieron el tiempo mínimo en el cambio de etapa con su respectiva profundidad, tabla 4.0.

Pozo con CE min	C.E. mínimo (días)	Profundidad del CE min (md)
F-4354	4.38	151
C-1185	4.02	1003
C-157	3.19	2465
C-1185	2.31	2007
C-1198	1.21	2358

Tabla 4.0. Mejora de los tiempos de cambio de etapa

Nuevo pozo L-1			
Etapa	Profundidad (md)	Cambio de etapa (Días)	S.C. acumulado (Días)
13 3/4"	58	1.68	1.68
9 5/8"	1164	4.67	6.41
8 1/2"	2643	3.42	9.76
7"	2869	3.30	13.07
4 1/2"	4463	2.29	15.36

Tabla 2.0. Tiempos optimizados para el cambio de etapa para el pozo L-1.

Proyectando los tiempos antes del pozo L-1 se obtienen los siguientes días para cambiar las diferentes etapas.

Límite técnico Pozo L-1

El Límite Técnico para el Pozo L-1, quedo definido en 33.26 días, como se muestra en la tabla 6.0.

Barrena (in)	TR (in)	Formación	Tipo de actividad	Profundidad (md)	ROP (m/h)	Tiempo (h)	Tiempo (días)	Tiempo acumulado(días)
17 1/2"	13 3/4"	Terciario	D	58	45.11	1.29	0.05	0.05
			SC	58	-	40.33	1.68	1.73
12 1/4"	9 5/8"	Mendez	D	1164	45.11	24.52	1.02	2.76
			D	1180	40.53	0.39	0.02	2.77
8 1/2" (piloto)	9 5/8"	San Felipe	SC	1180	-	113.52	4.73	7.50
			D	1671	40.53	12.11	0.50	8.01
		Agua Nueva	D	1725	45.88	1.18	0.05	8.06
			SC	1744	27.50	0.89	0.03	8.08
		Tamaulipas Superior	D	2003	16.20	15.99	0.67	8.75
			SC	2340	14.05	23.99	1.00	9.75
		Pimienta	D	2492	12.55	12.11	0.50	10.25
			SC	2635	12.55	11.39	0.47	10.73
		Tamaulipas Inferior	D	2643	13.75	0.58	0.02	10.75
			SC	2643	-	82.02	3.42	14.17
8 1/2"	7"	Tamaulipas Inferior	TXC	2010	-	4.50	0.19	14.36
			D	2340	14.05	23.49	0.98	15.34
6 1/8"	4 1/2"	Pimienta Inferior	D	2492	12.55	12.11	0.50	15.84
			SC	2869.32	7.00	53.90	2.25	18.09
6 1/8"	4 1/2"	Pimienta Inferior	D	2869.32	-	79.25	3.30	21.39
			SC	4463.3	7.00	227.71	9.49	30.88
6 1/8"	4 1/2"	Pimienta Inferior	SC	4463.3	-	57.12	2.38	33.26

Tabla 3.0. Mejores tiempos por etapa previstos para el pozo L-1.

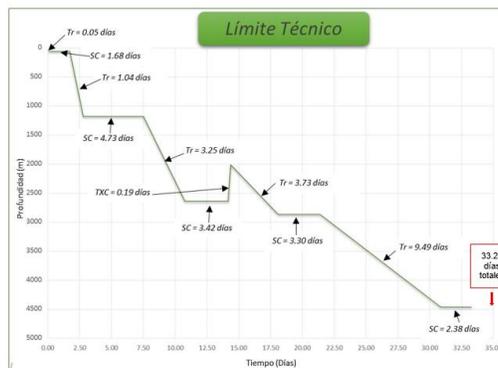


Figura 11.0. Límite técnico para el pozo de lutitas L-1.

Conclusiones

- Se desarrolló una nueva metodología para pozos no convencionales Shale
- Derivado del análisis y aplicación de la metodología se obtuvo el límite técnico no convencional para pozos Shale con alto grado de precisión.
- La obtención de los cambios de la etapa fue relevante para la optimización del pozo planeado.
- La definición del límite técnico, impacta en la planeación del costo del pozo.
- La metodología es práctica y fácil de aplicar

Referencias

- Castro Martínez Humberto, Pavón Prevé José Manuel, Ayala Vivanco Enrique. PEMEX Exploración y Producción, Boletín: Ingeniería de Perforación y Mantenimiento de Pozos “El Límite Técnico en la División Marina”. 2004
- Espinosa Castañeda G. 2014. El Límite Técnico como Herramienta para la Administración del Conocimiento en la Planeación de la Perforación de Pozos Petroleros Tesis de maestría, I.P.N., E.S.I.A. Ciencias de la Tierra, México D.F.
- Espinosa Castañeda Gustavo, Velazquez Cruz David, Morquecho Robles Adalberto, R. Resendiz Franco, D. Silva Santiago, Septiembre 2015 Nueva Metodología de Análisis de Tiempos de Perforación, Primer Foro Tecnológico de I&DT, Instituto Mexicano del Petróleo, México City.
- Espinosa Castañeda Gustavo, Velazquez Cruz David “Sistema Para La Evaluación Operativa de la Perforación”, Primer foro tecnológico de Perforación 2001, Villahermosa Tabasco.
- Espinosa Castañeda G., 2000. “Sistemas Para La Evaluación Operativa De La Perforación”, I.P.N., E.S.I.A. Ciencias de la Tierra, México D.F.
- Islas Zacarías Israel, Villafuerte Marco Antonio, Perez Fernando,” Analisis De Limite Técnico En El Campo Mata Pionche, IMP. Marzo 2004.

- Jones, J. A., & Poupet, P. (2000, January). Drilling The Limit*-A Practical Approach to Breakthrough Performance. In IADC/SPE Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Marshall, D. W. (2001, January). The technical limit-illusion and reality. In SPE/IADC drilling conference. Society of Petroleum Engineers.
- PEMEX, Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozos, “Un Siglo De La Perforación En México”, Cap. II, “Equipos De Perforación Rotatoria”.
- PEMEX, Unidad de Perforación y Mantenimiento de Pozos, “Un Siglo De La Perforación En México”, Cap. VIII, “Diseño De Perforación De Pozos”.
- Plan Rector UPMP PEMEX 1999
- Schreuder, J. C., & Sharpe, P. J. (1999, January). Drilling The Limit-A key to reduce well costs. In SPE Asia Pacific Improved Oil Recovery Conference. Society of Petroleum Engineers.
- Velazquez Cruz David, Ortiz Benito “Sistemas Para La Evaluación Operativa De La Perforación”, México D.F. Febrero del 2000, Jornadas Técnicas.
- Velazquez Cruz David, Apuntes: “Introducción A La Optimización De La Perforación De Pozos”, México D.F. Febrero del 2003, 2007, I.P.N., E.S.I.A. Ciencias de la Tierra.

Trayectoria profesional del autor y coautores

Gustavo Espinosa Castañeda

Ingeniero Petrolero y Maestro en Ciencias por el IPN, con más de 17 años en la Industria Petrolera en proyectos de perforación y estabilidad de Pozos. Trabajó en PEMEX, Región Sur, en SFG Global, Consulting. Actualmente es Investigador en el Instituto Mexicano del Petróleo. Ha publicado como autor y coautor en más de 17 artículos y presentado más de 21 conferencias en foros nacionales e internacionales, tiene 1 marca registrada y 13 derechos de autor. Es Instructor Certificado por la SEP-CONOCER y Perito Petrolero por el Colegio de Ingenieros Petroleros de México, es miembro de la SPE y del CIPM.

David Velázquez Cruz

Ingeniero Petrolero por el Instituto Politécnico Nacional, Maestro en Ciencias de la Computación por la Universidad Autónoma Metropolitana, con Doctorado en Explotación de Hidrocarburos por el Instituto Mexicano del Petróleo; Ha publicado 13 artículos como autor y 19 como coautor sobre tecnologías de perforación y presentado 34 conferencias sobre el mismo tema. Con 25 años de trayectoria en el Instituto Mexicano del Petróleo donde ha dirigido y colaborado en más de 30 proyectos sobre tecnologías de perforación; Instructor certificado por la Secretaría de Educación Pública y Perito en Perforación de Pozos por el Colegio de Ingenieros Petroleros de México.

José Adalberto Morquecho Robles

Es Ingeniero Petrolero por la Universidad Nacional Autónoma de México. Realizó servicio social y residencias profesionales en la Gerencia de Perforación y Terminación del Instituto Mexicano del Petróleo. Colaboró en la evaluación de la perforación y terminación de pozos y la determinación del límite técnico no





MEMORIAS

Congreso Mexicano del Petróleo

Acapulco, Gro. 2018. MÉXICO

convencional en pozos Shale. Ha participado como coautor en más de 4 artículos sobre perforación de pozos y presentado conferencias en foros nacionales. Actualmente realiza estudios de Maestría en Ciencias de la Tierra en la Universidad Nacional Autónoma de México. Es miembro de la Society of Petroleum Engineers y la American Rock Mechanics Association.

