

Perforación con casing en secciones de superficie

Esteban Bazan, Pablo Fernandez, Sinopec Argentina,
esteban_bazan@sinopecarg.com.ar pablo_fernandez@sinopecarg.com.ar

Sinopsis:

La perforación con casing es una tecnología existente desde hace décadas, sin embargo no es una tecnología muy utilizada en la cuenca del golfo San Jorge y particularmente para perforar las secciones guías. Sinopec vio en ella el potencial de mitigar eficientemente problemas de pozo que se le presentaban durante la perforación convencional en sus campos maduros de la Cuenca del Golfo San Jorge.

El proyecto se vio impulsado por la necesidad de reducir riesgos y costos en la perforación de las secciones guías, además de aprovechar los equipos de perforación H&P Flex4 los cuales cuentan con el equipamiento adecuado para este tipo de operaciones. Debido a su tradicional concepción, los costos asociados a la perforación con casing suelen ser altos para operaciones marginales como las que se realizan en la cuenca. Con el fin de optimizar el proceso de construcción de pozos, el departamento de perforación de Sinopec decidió avanzar con el desarrollo de esta metodología y su aplicación como una herramienta de *performance drilling*.

El objetivo del proyecto se centró en la reducción de tiempos planos (flat times) para completar la etapa de perforación, corrida de casing y cementación en una sola operación. Para alcanzar este fin, se aplicó un análisis de ingeniería y operaciones para el manejo de contratos, selección de equipos y accesorios, y fijación de procedimientos y buenas prácticas. La sinergia obtenida logró que el proyecto sea rentable a partir del 7^{mo} pozo en que se aplicó, y que el mismo se adoptara como práctica estándar tras perforar el 12^{vo}. Mediante su implementación se mitigaron las complicaciones en las operaciones de corrida de casing (pozo estrecho y atascamiento por derrumbes de canto rodado) y eliminación de tiempos de perforación de pozos pilotos de menor diámetro y/o sacadas de conjuntos de fondo por dificultad para atravesar el canto rodado.

Tras haber perforado más de 80 guías con casing, se redujo en un 50 % el tiempo de construcción de la sección y se logró hasta un 100 % de aumento en la velocidad de penetración. Es importante remarcar que el proyecto es parte de un plan mayor del departamento de perforación de optimizar su proceso de construcción de pozos, buscando entregar el mayor rendimiento de perforación en términos de velocidad, costo, seguridad y calidad.

Introducción

Las secciones de superficie presentan la siguiente geometría

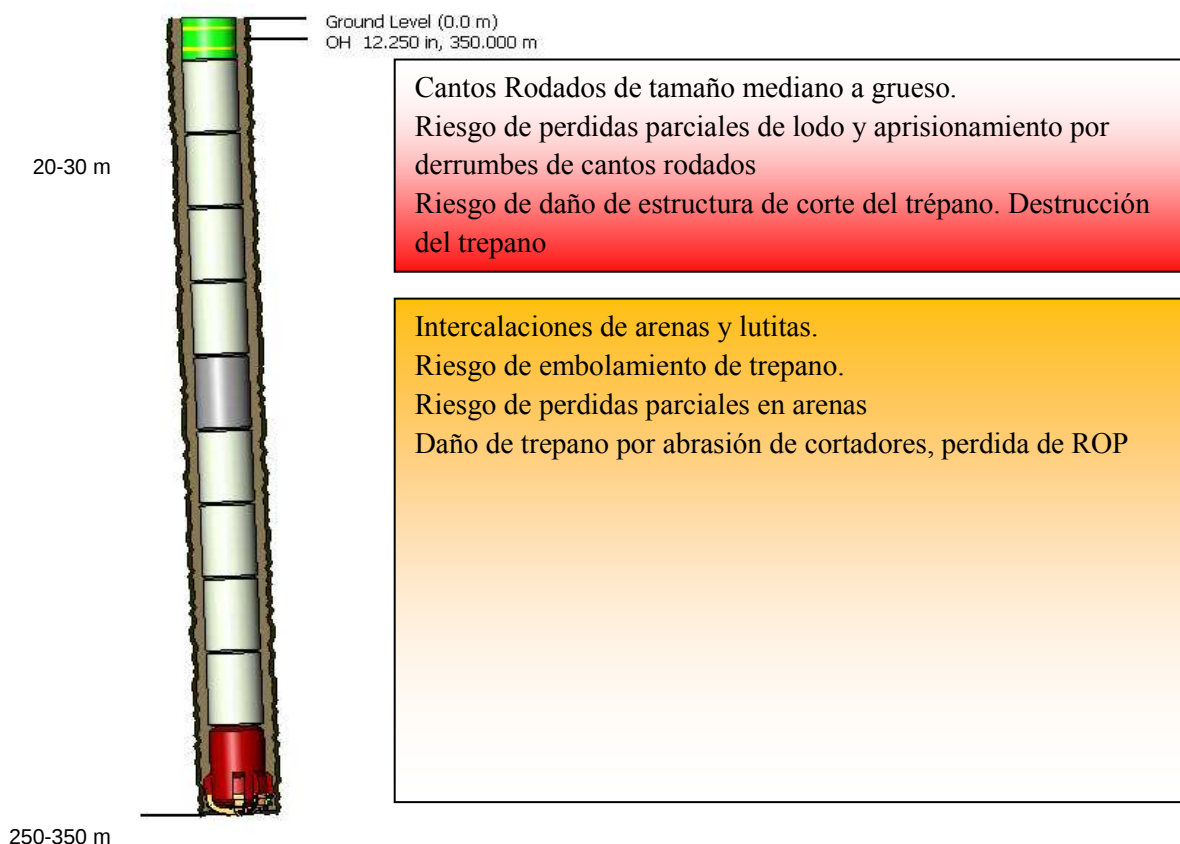
Diámetro: 12 ¼ in

Profundidad: 250m a 350 m

Los desafíos del diseño son:

- Perforación de los primeros 30 m a 40m de cantos rodados sin provocar daño al trépano tipo PDC (perforable).
- Perforación de la sección de arcillas por debajo de los 50 m sin eventos de embolamiento de trépano ni pérdidas de ROP.
- Planificación y coordinación detallada de todas las tareas involucradas en la perforación de la guía para eliminar esperas y tiempos muertos.

- No disminuir la performance hasta ahora lograda en la perforación de la sección de 8 ½” reduciendo o evitando el daño del trepado PDC de 8 ½” utilizado para hacer el drill out del drill shoe o trépano de CD y perforar a TD.



Desarrollo

Selección de equipos y accesorios:

- Equipo de perforación**

	Info
Equipo	Helmerich & Payne Flex4M Drilling Rig; 3000 HP
Draw works	1,000 HP
Top Drive	Tesco 150 Ton EMI 400 HP; 20,000 ft-lbs @ 100 rpm (figura#1)
Casing Drive System	Tesco 32,3-36 # tooling kit (internal grapple); Sistema hidráulico 2,000 psi / 7 gpm
Bombas	2 x Gardner Denver PZ-11; 545 gpm; presión máxima 4,529, 1,350 HP
Zarandas Primarias	3 x mini king cobra
Circuito de lodos	70 m3 activo + 70 m3 reserva
BOP	Anular, pipe rams, blind rams, 11" 3000 psi
Motores Diesel	2 x Caterpillar, 1,476 HP (2,952 HP)
Generador	2 x AC, Output 1,250 kW - 1,720 KVA

- **Cañería:** 9 5/8, K55, 36 lb/ft. Cumple con las condiciones de diseño de carga, torque & arrastre y daño acumulado por fatiga. El análisis se realizó tanto al cuerpo como a las conexiones del tubo utilizando un software propietario de Tenaris. Los parámetros adoptados para la evaluación del diseño fueron:

Diámetro:	12 ¼ in
Trayectoria:	recta y vertical
Casing:	9 5/8 in, 36 lb/ft, K55
Perforación con casing desde	0 m a 350 m
Densidad de lodo:	1070 g/l a 1100 g/l
Parámetros de perforación:	Peso sobre trépano: 11 tn
	RPM de sarta: 200
	ROP: 20 m/h
Factor de fricción:	0.35
Torque en el trépano	3500 – 4500 lb-ft
Tortuosidad:	3°/100 ft
Largo promedio tubo:	12.8 m
Curva S-N:	“T&C buttress type connection” Tenaris Technical note 09.001B

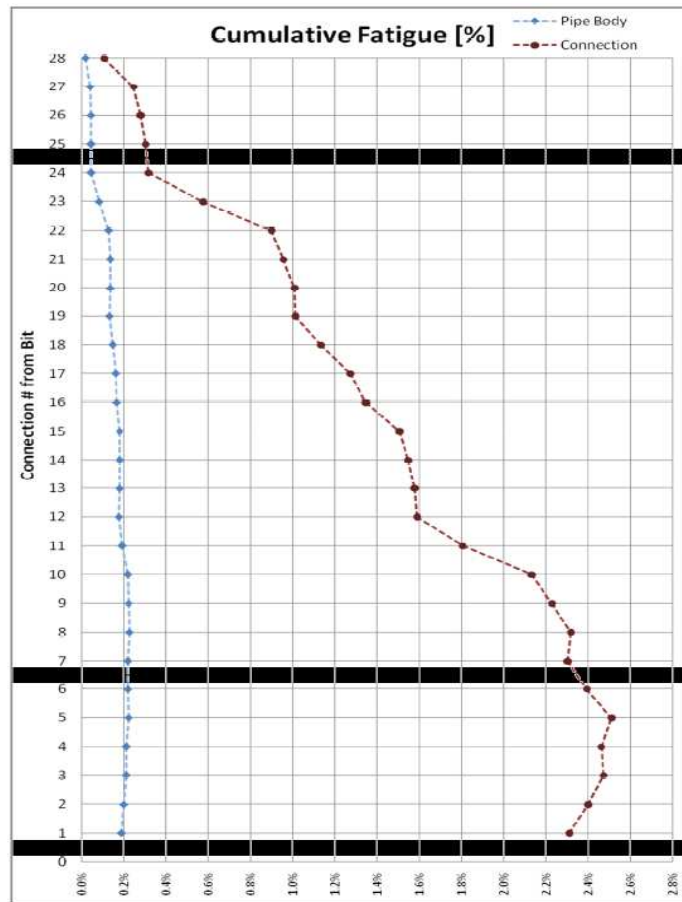
Análisis de cargas: todos los esfuerzos analizados resultaron por debajo del valor de fluencia del material tanto en la conexión como en el cuerpo del tubo. Los valores máximos obtenidos en la simulación se reflejan en la siguiente tabla.

Carga	Resistencia	Valor Maximo	Factor de diseño	Criterio de diseño
Torque*, lb-ft	12060	4862	2.48	NA
Tension, lbs	564000	10750	52.46	1.75
Compresion, lbs	564000	- 30512	18.48	1.30
VME stress, psi	55000	7957	6.91	1.25

Análisis de fatiga acumulada: de acuerdo a los resultados obtenidos, no es factible falla por fatiga acumulada con las condiciones de diseño descritas anteriormente. La totalidad de los esfuerzos de flexión son provocados por la tortuosidad de pozo.

Columna	Zona	Daño máximo acumulado por fatiga, %	Posición final de la zona más afectada (mbbp)
9 5/8 in, 36 lb/ft, K-55	Conexión: TTL	2.51	287
	Cuerpo del tubo	2.27	250

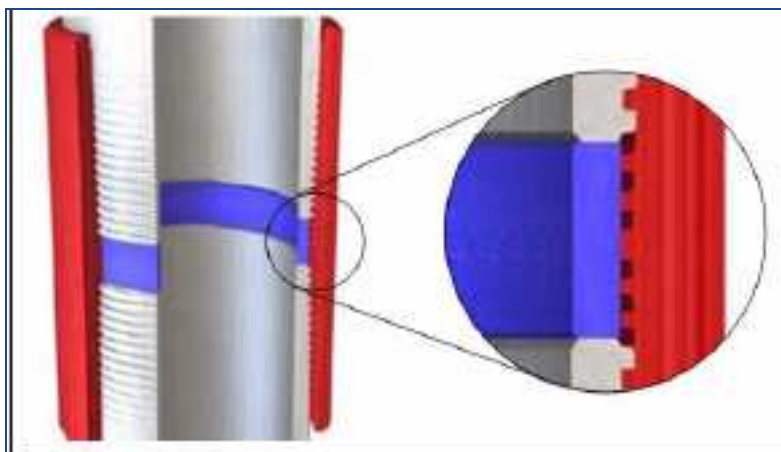
Buckling: se verificó la ausencia de buckling bajo las condiciones mencionadas de perforación mencionadas.



• **Conexión:** las conexiones evolucionaron desde Buttress (BTC) con anillos MLT de Tesco, pasando por Tenaris Blue Thermal Liner (TTL) y Tenaris TXP utilizada actualmente

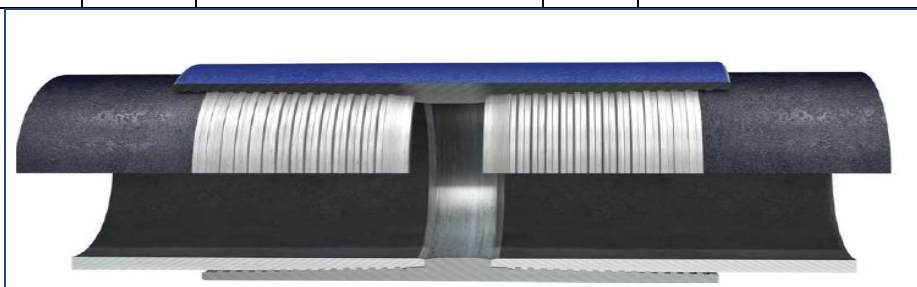
1. BTC con anillos MLT de Tesco: los anillos MLT (multi lobe torque rings) proveen un hombro mecánico donde asienta el pin, incrementando la capacidad de torque la conexión.

CUERPO					
Geometria					
OD, in	9.625	Espesor de pared, in	0.352	Drift, in	8.765
Peso Nominal, lb/ft	36	ID nominal, in	8.921		
Performance					
Grado de acero	K-55	Presion de estallido, psi	3520	Minimum yield, psi	55000
Limite elastico, lbs	564000	Presion de Colapso, psi	2020	Minimum Ultimate, psi	95000
CONEXIÓN BTC (Buttress)					
OD cupla, in	10.625	Filetes por pulgada	5		
Performance					
Grado de acero	K-55	Minimun yield,psi	55000	Minimun Ultimate,psi	95000
Resistencia , lb	755000	Presion Estallido, psi	3520		



2. TTL: Tenaris Blue Thermal Liner, conexión premium, robusta, rápida y confiable, no se produjeron eventos de falla de ningún tipo durante la perforación con TTL. Se reemplazó por la TXP ya que es una conexión sobredimensionada que excede los requerimientos de la operación.

CUERPO					
Geometria					
OD, in	9.625	Espesor de pared, in	0.352	Drift, in	8.765
Peso Nominal, lb/ft	36	ID nominal, in	8.921		
Performance					
Grado de acero	K-55	Presion de estallido, psi	3520	Minimum yield, psi	55000
Limite elastico, lbs	564000	Presion de Colapso, psi	2020	Minimum Ultimate, psi	95000
CONEXIÓN TTL . Tenaris Blue Thermal Liner					
OD cupla, in	10.625	Filetes por pulgada	4		
Performance					
Grado de acero	K-55	Presion de colapso,psi	2020	Minimun Ultimate,psi	95000
Resistencia , lb	56400	Presion Estallido, psi	3520		
Datos de Torque de conexión, lb-ft					
Torque minimo	9860	Optimo	10960	Maximo	12060
Yield torque	35560				



3. TXP (BTC): conexión con rosca perfil Buttress con cuplas premium, las cuplas tienen hombros de torque torneados que realizan el mismo trabajo que un anillo MLT, le confieren un 100% de resistencia a la compresión y capacidad extra de torque. Como ventaja se puede agregar que es intercambiable con API Buttress (BTC), eliminando la utilización de cross over. La conexión ha mostrado performance similar a la TTL y es la utilizada actualmente en todas las operaciones de casing drilling.

CUERPO					
Geometria					
OD, in	9.625	Espesor de pared, in	0.352	Drift, in	8.765
Peso Nominal, lb/ft	36	ID nominal, in	8.921		
Performance					
Grado de acero	K-55	Presion de estallido, psi	3520		
Limite elastico, lbs	564000	Presion de Colapso, psi	2020		
CONEXIÓN TXP					
OD cupla, in	10.625	Filetes por pulgada	5		
Performance					
Grado de acero	K-55	Presion de colapso,psi	2020		
Resistencia , lb	56400	Presion Estallido, psi	3520		
Datos de Torque de conexión, lb-ft					
Torque minimo	16760	Optimo	18620	Maximo	20480



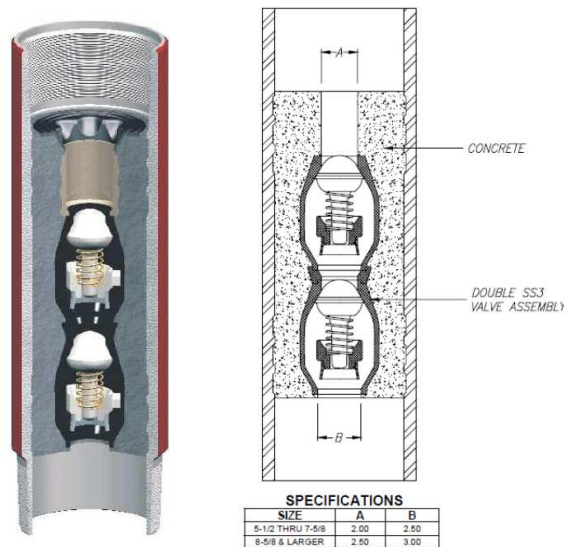
- **Collares:** (figura#3)se utilizan collares con válvula tipo asiento y resorte (poppet valve). Cumplen con la norma API RP 10F, categoría III: exposición durante 24 horas a un flujo de 10 bbl/min de un lodo con 2 a 4% de sólidos y densidad 12 a 12.5 lb/gal.
De los modelos disponibles que cumplen con esta normal, se seleccionó el de mayor área de flujo ya que la condición de más crítica a la está sometido el collar en esta operación es el caudal de trabajo (500-800 gpm).
1. Halliburton Super Seal II: K-55, 36 lb/ft, conexión TTL. Diámetro de válvula 4.5 in. Área de flujo 15.9 in². Disponible también con conexión BTC con alojamiento para anillo MLT, utilizados durante la primer etapa del proyecto. Durante la operación 2011- 2012, se registraron solo 7 fallas del collar en 61 guías perforadas con CD (11%).



2. Weatherford Sure Seal 3: K55,

32.3 lb/ft, conexión buttress. Diámetro

2,5 in, área mínima de flujo 4,91 in² . Se realizaron pruebas con resultados satisfactorios, no se registraron fallas.



- **Trepanos perforables:**

En los primeros 5 pozos con CD en 2010 (áreas EH, PC) se utilizaron exitosamente trépanos EZCase (acero) de BakerHughes: 4 (cuatro) 12-1/4" EZC406 (6 aletas, cortadores PDC de 13mm) y 1 (uno) 12-1/4" EZC404 (4 aletas, cortadores PDC de 13mm). Se perforó pozo piloto a través del canto rodado en 3 de los 5 pozos, iniciando en 2 pozos la estrategia de perforar desde superficie con el casing. Luego, habiendo analizado su performance, se aumentó la proporción de trépanos de 4 aletas para minimizar daño al trépano 8-1/2" PDC que hiciera el drill out. Se consolidó la estrategia de perforar con casing desde superficie en EH/MEN.

Durante 2010 se probaron también los trépanos Defyer de Weatherford (Serie DT, cuerpo de aluminio, estructura de corte TSP) 12-1/4" DT306 (3 aletas). No se alcanzó la TD programada, por lo que se decidió avanzar con la nueva serie DPA (cuerpo de aluminio y acero, estructura de corte PDC).

En 2011, habiendo ya estandarizado la operación de Perforación con Casing en las guías de Sinopec Argentina con trépanos 12-1/4" EZC404 y 12-1/4" EZC404X (4 aletas y doble hilera de cortadores de 13mm), se utilizó con buen resultado el 12" DPA4413 (4 aletas, cortadores de 13mm). Tuvieron lugar también las pruebas exitosas con los trépanos 12-1/4" XCD3-516 (5 aletas, cortadores de 16mm) de la serie XCD3 (aleación de cobre/aluminio, estructura de corte PDC) de Tesco.

Ya en 2012, se continuó con el uso de trépanos 12" DPA6413 (4 aletas, cortadores de 13mm) de Weatherford y 12-1/4" XCD3-516 de Tesco. Con ambas líneas de trépanos para casing se observaron los menores daños a los trépanos PDC de 8-1/2" que hacían el drill out. De este modo, se logró conciliar una buena performance en la guía perforando con casing de 9-5/8", manteniendo el rendimiento obtenido en la sección de producción antes de la implementación de las guías perforadas con casing (1 carrera de 8-1/2" PDC a TD).

La siguiente tabla resume los tipos de trépanos utilizados:

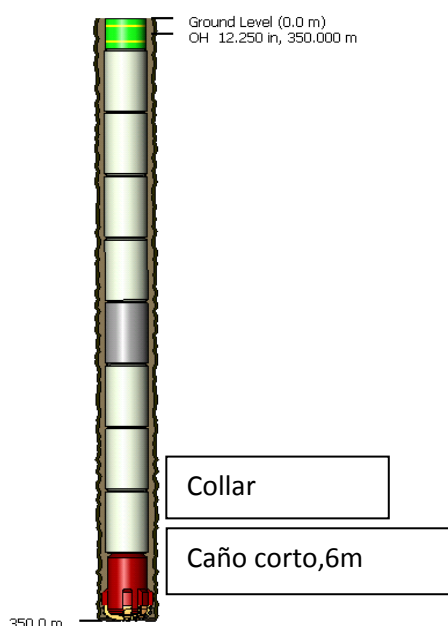
Modelo	Fabricante	Características	observaciones
EZC406	Baker Hughes	6 aletas, 6 boquillas intercambiables. Estructura de corte: PDC 13 mm, hilera simple. Puerto secundario de bypass en caso de obstrucción de boquillas (Figura#4)	Performance progresiva, soportó los incrementos de RPM, WOB y Caudal (900gpm max). Permitió atravesar conglomerado superficial. Daño en trépanos 8-1/2" PDC.
EZC404	Baker Hughes	4 aletas, 6 boquillas intercambiables. Estructura de corte: PDC 13mm, hilera simple. Puerto secundario de bypass en caso de obstrucción de boquillas	Performance similar al anterior. Atravesó intervalos de roca ígnea en EH. Excelente ROP y durabilidad. Menor daño en trépanos 8-1/2" PDC.
EZC404X	Baker Hughes	4 aletas, 6 boquillas intercambiables. Estructura de corte: PDC 13mm, doble hilera. Puerto secundario de bypass en caso de obstrucción de boquilla	Trépano diseñado para reemplazar al EZC406, reteniendo ventajas hidráulicas de un trépano de 4 aletas pero con durabilidad de un trépano de 6 aletas.
DT306	Weatherford	3 aletas, 3 boquillas intercambiables. Estructura de corte: cuerpo con cortadores PDC, nariz con cortadores de diamante TSP, aletas reforzadas con insertos de carburo de tungsteno.	Ambas carreras de prueba fueron cortadas antes de plan por caída de ROP, extrayendo los trépanos (desgaste de estructura de corte por abrasión/erosión).
DT406	Weatherford	4 aletas, Estructura de corte: cuerpo cortadores PDC, nariz: cortadores de diamante TSP. 4 boquillas intercambiables	No se utilizaron debido a las fallas de la tecnología DT
DPC516	Weatherford	5 aletas, cortadores de 16mm, 5 boquillas. Cuerpo deformable con pistón activado mecánica – hidráulicamente. (Figura #5)	Prueba de estructura de corte PDC. Buena durabilidad (perforó desde superficie a través del conglomerado/canto rodado). Excelente performance de 8-1/2" PDC.
XCD3-516	Tesco	5 aletas, 5 boquillas intercambiables. Cuerpo es de aleación a base de cobre. Estructura de corte: PDC de 16 mm en nariz y 13mm en calibre. Recubrimiento de carburo de tungsteno en calibre.	Buena performance en guía. Alcanzó TD habiéndose perforado pozo piloto en 1 caso, luego se perfora con casing directamente desde superficie. Excelente performance de 8-1/2" PDC.
DPA-4413	Weatherford	4 aletas, 6 boquillas. Cuerpo de acero, nariz Aluminio con tratamiento "hard facing". Estructura de corte: PDC 13 mm, protección de calibre: insertos de carburo de tungsteno. 4 aletas para hacer drill out con 8-1/2".	Prueba en 2 pozos. Rendimiento aceptable. Buena performance de 8-1/2" PDC.
DPA6413	Weatherford	6 aletas, 8 boquillas. Cuerpo de acero, nariz Aluminio con tratamiento "hard facing". Estructura de corte: PDC 13 mm, protección de calibre: insertos de carburo de tungsteno. 4 aletas para hacer drill out con 8-1/2".	Oportunidad de mejora: sensibilidad en ciertos casos a condiciones hidráulicas. Buena a excelente performance durante perforación de guía y buen rendimiento de 8-1/2" PDC.

- **BHA**

Se utiliza el mismo BHA para guías de 260 o 350 m. Los componentes son:

Item	Cant	OD,in	ID,in	Largo,m	LargoAc,m	Peso,lb/ft	PesoAc,lb	Conexión
Trepano PDC	1	12.25		0.85	0.85			TTL
Casing corto	1	9.625	9.001	6	6.85	36	708	TTL
Collar	1	9.625	4.25	1	7.85	36	826	TTL
Casing	25	9.625	9.001	13.7	350	36	41268	TTL

No se utilizan estabilizadores o centralizadores dentro del BHA. Las mediciones de inclinación tomadas luego de rotar el trepano perforable al inicio de la sección de 8 ½ no han superado medio grado (0.5°) de inclinación en la mayoría de los casos.



- **Fluidos de Perforación:**

El diseño del fluido de perforación apuntó a reforzar al limpieza de pozo y sustentación en la sección superior de piedras / cantos rodados y a evitar el embolamiento del trepano en la sección de lutitas.

Uno de los factores críticos en el diseño está relacionado con la utilización de detergentes y sus implicaciones medioambientales debido a que se perforan acuíferos. Con el fin de seleccionar un detergente que cubra estas especificaciones se realizaron análisis de biodegradabilidad en el INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial). Posteriormente se entregó la información a la DMA de Santa Cruz para obtener los permisos de utilización del detergente para atravesar acuíferos.

Formulaciones

Tramo 0-30 m

Producto	Función	Concentración
Bentonita	Viscosificante	80-120 kg/m3
Mixel	Obturante para contingencias	

Tramo 30-300 m

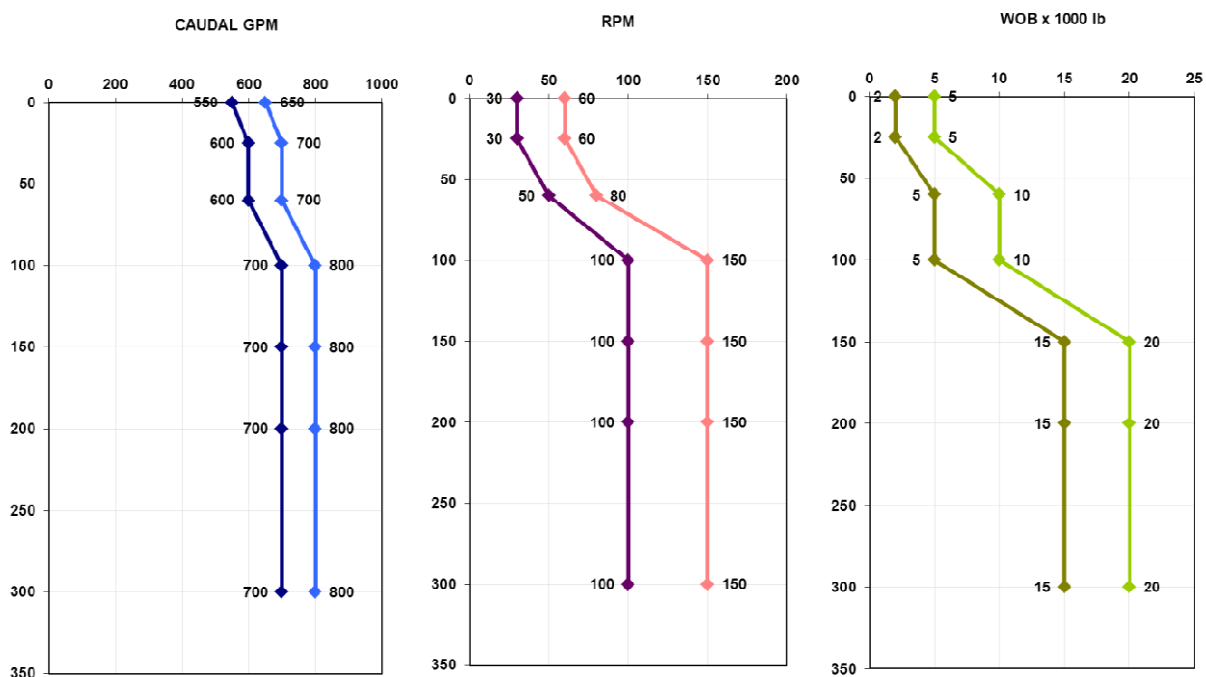
Producto	Función	Concentración
Bentonita	Viscosificante	30 kg/m ³
Biodrill	Detergente	8-12 l/m ³
Yeso	Inhibidor	30 kg/m ³

Propiedades	unidad	0 – 30 m	30-300 m
Densidad	gr/l	1040	1070
Viscosidad de embudo	s	85	40
Viscosidad plástica	cps	16	8
Punto de Fluencia	Lb/100ft ²	40	22
Solidos	%	2.8	3

- **Parámetros de Perforación:**

Los parámetros de perforación aplicados se encuentran dentro de los siguientes rangos:

Parámetros		Rango
WOB	lb	5000 - 20000
RPM top drive	rpm	100 - 130
Caudal	Gpm	700 - 800



- **Cementación:**

Se cementa a través del Top Drive y las boquillas del trepano. El diseño es igual a los utilizados para la cementación de las guías convencionales, con cemento clase A más cloruro de calcio (3.5%) como acelerador.

Tipo de Cemento	A	
Densidad	15.8	ppg
Rendimiento	38.97	l/sks
Agua de mezcla	28	l/sks
Fluido de Mezcla	38.97	l/sks
Viscosidad plástica	36.7	Cp
Punto de Fluencia	87.2	Lb/100ft ²
Agua libre	-	%
Filtrado	-	Cc
Relación A/C	0.44	
Esfuerzo compresivo 550 psi	4	Hs
Esfuerzo compresivo 800 psi	6	Hs
T Bomb 40 BC	21	Min
T 70 bc	80	min
100 bc	120	min

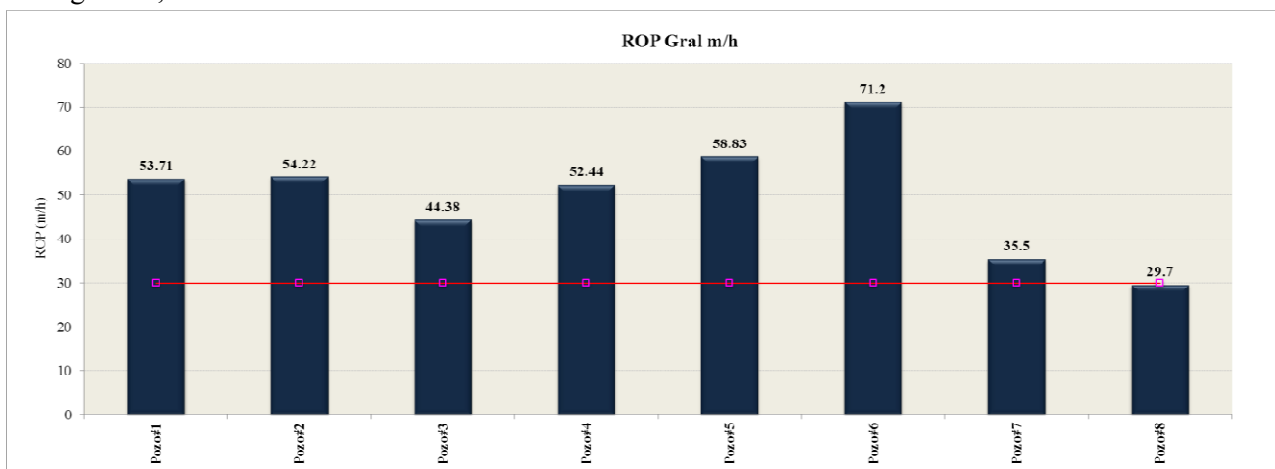
- **Performance:**

Para medir performance se utilizaron tres parámetros:

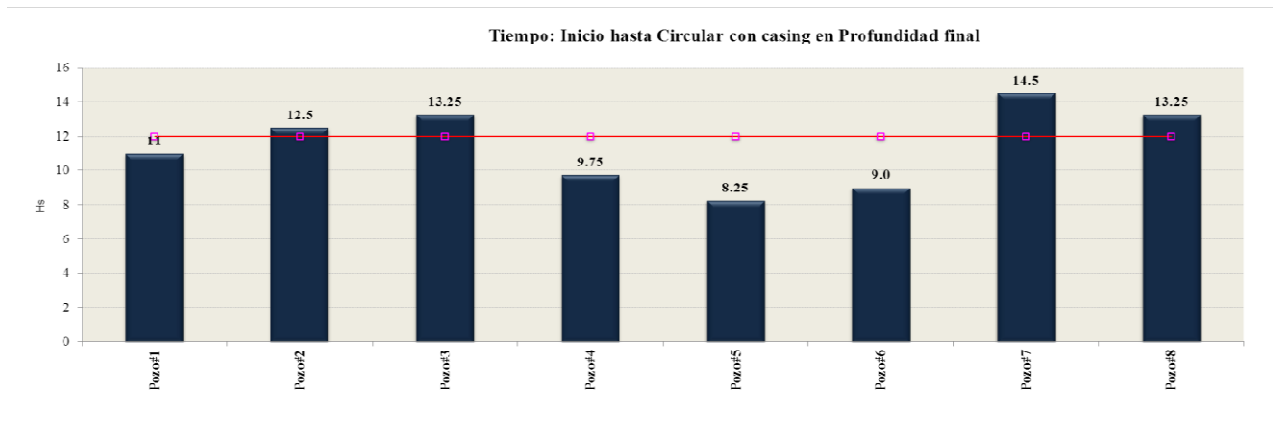
1. **ROP promedio:** se definió como objetivo ROP igual o mayor a 30 m/h
2. **Tiempo desde inicio de perforación a cementación:** del análisis económico resulta que este tiempo debe ser menor o igual a 16 hs para que no supere los costos de perforar una guía convencionalmente.
3. **Tiempo desde inicio de perforación a circulación con la cañería en fondo:** este tiempo se utiliza para poder visualizar y filtrar fallas y demoras en las operaciones de acondicionamiento y cementación de la cañería guía una vez que se ha llegado a la profundidad programada. Se fijó como objetivo un tiempo menor o igual a 12 hs.

Los siguiente gráficos muestran la evolución de estos parámetros de medición de performance en el yacimiento MEN durante el año 2011 para guías de 350 m

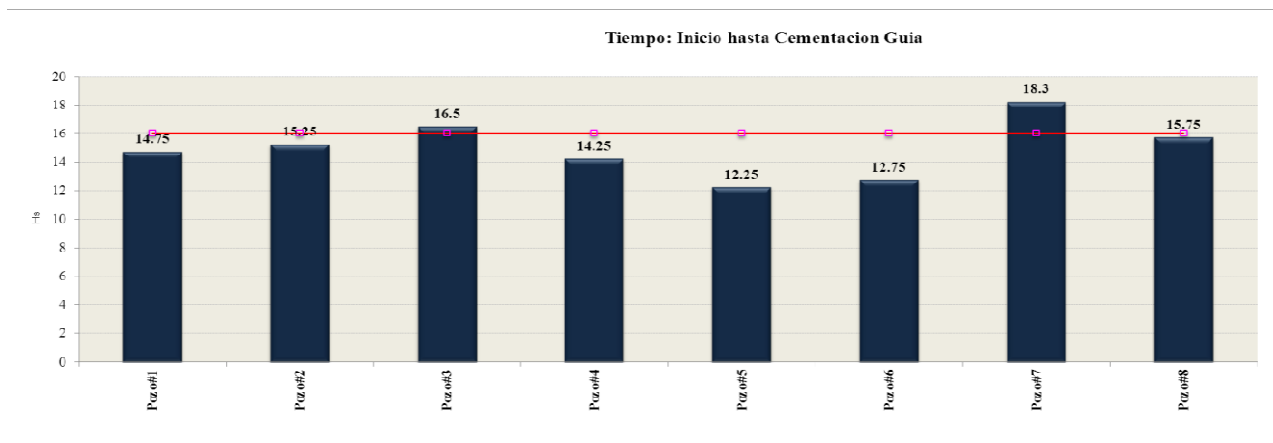
ROP general, m/h:



Tiempo desde inicio de perforación de sección hasta circular en profundidad final de la guía:

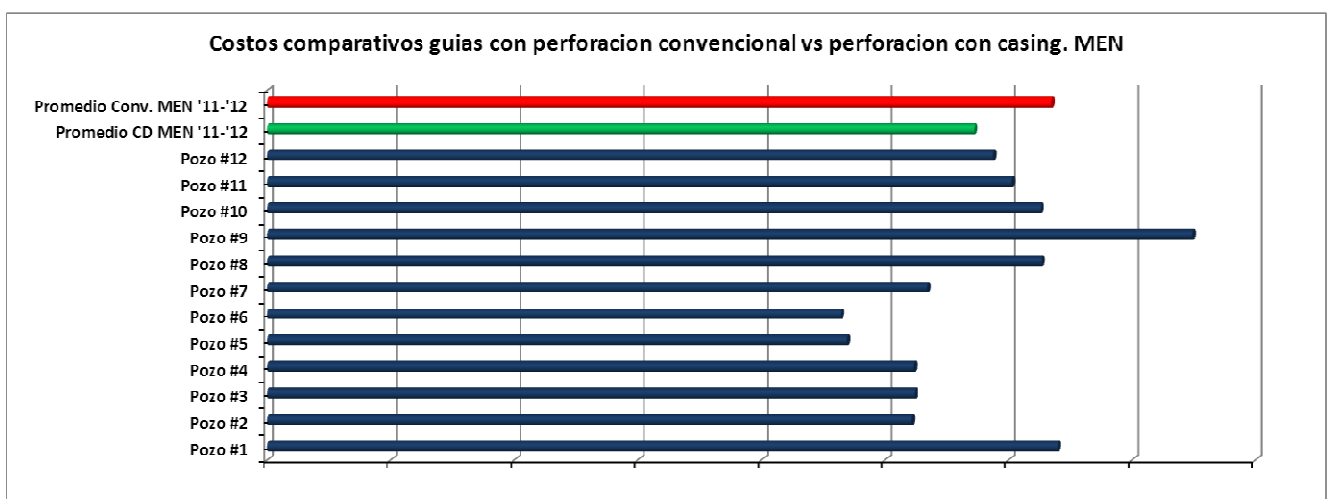


Tiempo desde inicio de perforación de sección hasta cementación:



Resultados en Costos & Tiempos:

En terminos de costos promedio, podemos hablar de una reduccion de un 10% respecto a una guia convencional. El grafico de barras muestra el resultado del analisis comparativo de costos promedio. En rojo el costo para guia convencional y en verde para guia perforada con casing. Tambien se puede apreciar el potencial de reduccion de costos observando los resultados del pozo#5 y pozo#6, en los cuales se logró un 26% menos respecto al promedio de guias convencionales



Considerando tiempos promedio se ha logrado reducir en un 50% los tiempos de construcción de guías, tomando en cuenta el tiempo desde el inicio de la perforación hasta el final de la cementación, con un potencial de reducción de tiempos comprobado de un 60 %.

Conclusiones:

El proyecto de perforación de guías con casing ha logrado cumplir con las metas y objetivos de tiempo y costo planteados por el departamento de perforación y lo que es muy importante ha demostrado consistencia en los resultados obtenidos brindando un aporte significativo en la reducción de tiempos totales de construcción de pozos. Como resultado de la investigación y pruebas de distintas tecnologías de trépanos perforables se ha alcanzado el punto óptimo en donde los trépanos de 8 ½ PDC utilizados en la perforación del tramo de producción sufren un daño mínimo al realizar el drill out del trepano perforable sin afectar su performance, logrando perforar tramos de hasta 2600 m en una sola carrera.

Apendice 1



Fig#1 Top Drive Tesco 150 ton



Fig#2 Anillos de torque MLT Tesco



Fig#3 Instalacion de collar



Fig#5 Trepano Weatherford DPC-516



Fig#4 Trepano perforable EZC-406