

“XII Congreso Latinoamericano De Perforación”

**DESARROLLO “CERRO NEGRO”: UNA HISTORIA DE
EXITO...DESDE SU CONCEPCIÓN HASTA SU EJECUCIÓN**

Milton Vasquez

OPERADORA CERRO NEGRO S.A.

R E S U M E N

El desarrollo del proyecto Cerro Negro, ubicado en la Faja del Orinoco, al este de Venezuela, comenzó sus operaciones en 1997 con la ejecución de un programa de evaluación, en la cual se perforó la longitud horizontal más extensa para la fecha. La información recogida durante esta fase inicial, sirvió como base para la planificación de una campaña de perforación, por un periodo de un año y medio, en la cual se perforaron 103 pozos, completaron 54 pozos y se dió inicio a la etapa de producción la cual, para diciembre de 1999 era de 45.000 BPPD. Nuevas tecnologías en perforación, completación y levantamiento artificial se implementaron en el diseño de pozos horizontales para el desarrollo del campo Cerro Negro. Estas tecnologías incluyen:

- 1) diseño y fabricación de dos taladros de perforación contruidos por objetivo (fit for purpose), cuyo tiempo de mudanza, entre pozo y pozo, es 1½ hr.
- 2) implantación de un programa de pozos estratigráficos para la definición de objetivos geológicos complejos, utilizando una unidad de tubería continua.
- 3) planificación de pozos 2D y 3D en tres yacimientos, para alcanzar un drenaje óptimo y minimizar el número de localizaciones de superficie.
- 4) aplicación de la más reciente tecnología de navegación direccional.
- 5) desarrollo de bombas de capacidad progresiva para el levantamiento artificial.

Puntos claves para el éxito del programa incluyen una clara comunicación del operador con las compañías de servicios para el logro de las metas y expectativas del proyecto, la continuidad del personal técnico, designación específica de equipos al proyecto, presencia de personal de perforación direccional en la oficina, fuerte y visible manejo de medidas de mejoramiento continuo, y aplicación de conceptos dinámicos de benchmarking. El programa ha alcanzado una reducción en un 33% en costos de perforación y completación, y en un 40% en los tiempos de perforación correspondientes.

INTRODUCCION.

El proyecto Cerro Negro constituye una asociación estratégica entre Mobil de Venezuela (Subsidiaria de Exxon Mobil Corporationn), Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), y Veba Oel filial de Veba AG Alemania, para la explotación de crudo extra pesado de 8.5°API, producido de la concesión que ocupa 295 km² (72,895 acre) ubicado al este de Venezuela (Fig. 1 – Ubicación de la concesión, y Fig. 2 – Faja del Orinoco, Este de Venezuela). Cerro Negro es un proyecto integrado aguas-arriba y aguas-abajo que tiene como objetivo producir 120.000 BOPD de crudo por el lapso de 35 años. Por los momentos, el crudo de 8.5°API es mezclado con condensado (Diluyente) al nivel de cabeza de pozo, enviado vía un sistema de producción by-pass, y transportado a las instalaciones de Jose para su exportación al Golfo de México en los Estados Unidos. En la etapa de producción a gran escala, el crudo será diluido y procesado en el campo y enviado por tubería al mejorador para su conversión a un crudo con 16.5°API (Crudo sintético). El crudo así mejorado, será exportado en tanqueros a refinerías en los Estados Unidos y Alemania, y el condensado reciclado hacia el campo Cerro Negro (Fig. 3 – Diagrama de proceso). El crudo es producido del miembro Morichal, niveles Inferior, Medio y Superior de la formación Oficina en el Mioceno, a profundidades de 2.500 a 3.400 pies TVD. Las características del yacimiento son excelentes con porosidad entre 30 a 32%, y permeabilidad en el rango de 10 a 15 Darcies (Fig. 4 – Registro tipo y datos de yacimiento). Hasta el presente se han perforado con camisa ranurada en el fondo, 103 pozos (Seis macollas) y completados 54 (Tres macollas). En diciembre 1999, 31 pozos de estos 54 estaban produciendo un promedio de 45.000 BOPD de crudo extra pesado. Durante los 35 años de vida del proyecto, aproximadamente 400 pozos serán perforados para mantener los volúmenes de producción contemplados.

CONCEPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Cerro Negro se encuentra dividido en dos fases. La fase inicial o de evaluación consistió en una prueba piloto para aplicar nuevas tecnologías en perforación, completación y levantamiento artificial, a pozos prototipos horizontales y altamente desviados. El primer objetivo fue el de seleccionar la óptima combinación de tecnologías para el desarrollo del campo. El programa consistió en la perforación de tres pozos horizontales (Uno bi-direccional 2D, dos tri-direccional 3D), y dos altamente desviados. Los pozos direccionales demostraron la factibilidad de perforar pozos tri-direccionales (pozos con doble giro) a partir de una macolla, lo cual causó un impacto al plan de desarrollo. Uno de los pozos horizontales alcanzó una sección horizontal de 3.009 pies lo que constituyó un récord en Venezuela. Los pozos fueron completados y probados utilizando dos tipos de levantamiento artificial basados específicamente en el diseño especial de una bomba de capacidad progresiva (BCP). Los resultados de esta fase validaron el modelo de yacimiento para el proyecto, se establecieron predicciones de declinación de producción, y se generó la información para la estimación de la fase de desarrollo. Específicamente, la producción estable del pozo récord horizontal, dio como resultado la planificación de pozos que abarcaran un área mayor de drenaje a partir de una macolla con secciones laterales de 4.000 ft de alcance. Esto trajo como resultado que el número total de macollas y pozos para la fase de desarrollo se redujeran, además de la reducción en inversión de capital y costos operativos en el transcurso de la vida del proyecto.

El modelo geológico usado en la fase de desarrollo se basó principalmente en pozos estratigráficos esparcidos en el área (32 pozos perforados por Lagoaven en los 295 km² de la concesión y 7 pozos perforados durante la fase piloto) y el procesamiento de la información sísmica 3D. El modelo así obtenido, asumía una distribución de arenas de un espesor considerable y lateralmente continua en la parte central del campo. Esta parte central fue altamente cotizada y seleccionada para el comienzo de la fase de desarrollo. El espaciamiento y longitud horizontal de los pozos fueron derivados de los estudios de simulación.

El programa de perforación para la fase de desarrollo original consistió en la perforación de 99 pozos en series y 18 pozos por macolla. Cada macolla fue diseñada con el concepto de localización seca, sin fosa, y con un sistema de drenaje y recolección de fluidos que incluye agua de lluvia y fluidos de superficie. Para cada macolla de desarrollo se perforó un pozo vertical como control estratigráfico de los 18 pozos horizontales. Los pozos fueron planificados en forma de tenedor, en dos y tres dimensiones, con seis pozos en cada uno de los tres niveles del miembro Morichal (Fig. 5 – Diseño de Macolla). La planificación se basó en la perforación y corrida de revestidores en 13 días por pozo, con un objetivo restringido de 10 días por pozo. El tiempo de perforación fue establecido basado en la información y comportamiento de pozos vecinos con la expectativa de mejorar la eficiencia de perforación una vez arrancado el programa multi-pozo. Un proceso de mejoramiento continuo, con la seguridad industrial como prioridad, fue diseñado para alcanzar el objetivo restringido de 10 días por pozo. Cada pozo fue diseñado con una longitud horizontal de 4.000 ft como se muestra en la Fig. 6 – Diseño típico de pozo.

Uno de los enfoques en la planificación de los pozos fue la identificación de los requerimientos de equipos y capacidades de un taladro ideal para la perforación de los pozos. Varios contratistas fueron consultados sobre la factibilidad de construir este taladro ideal, y sus respuestas fueron utilizadas para refinar el concepto de diseño a un diseño real. El equipo de trabajo seleccionó a una contratista a través de un proceso de licitación para el diseño y construcción de dos taladros contruidos con "proposito-especifico," basado en el concepto refinado de un taladro ideal. Los taladros están equipados con un sistema de rodamiento que les permite deslizarse con la sarta de perforación y ensamblaje de fondo parados en la torre de perforación. Con este sistema el taladro tiene la capacidad de moverse entre pozo y pozo, armar en sitio y dar comienzo al hoyo superficial en menos de dos horas. Los taladros también incluyen un sistema "Top Drive" de 350 Toneladas, dos bombas triplex de 1700 HP, y una torre de 142 pies de altura y 1.000.000 de libras de capacidad. El sistema de zarandas (Shale shakers) esta montado integralmente en la parte trasera de la sub-estructura para facilitar su manejo durante las mudanzas (Fig. 7 – Taladro de perforación de 2000 HP, y Fig. 8 – Macolla y campo de perforación). El requerimiento de un taladro convencional

de 950 HP también fue identificado para la perforación de los hoyos de superficie, trabajo de completación, perforación de pozos de inyección y pozos estratigráficos.

EJECUCIÓN DEL PROYECTO:

La etapa inicial fue problemática. Durante la perforación de las primeras dos macollas, la mitad de los pozos requirieron por lo menos una desviación geológica, incluyendo la suspensión de un pozo. La predicción del aterrizaje de los pozos con el revestidor de 9 5/8" fue difícil al igual que permanecer navegando en la arena durante la perforación de la sección horizontal. La continuidad de la arena del yacimiento se hizo más difícil de predecir que lo originalmente anticipado. El control estratigráfico ofrecido por los pozos vecinos no representó exactamente la variabilidad con que se encontró la distribución vertical y lateral de las arenas objetivo. La información sísmica 3D adquirida en 1997 demostró ser de limitada utilidad en la planificación y "geosteering" de los pozos debido al poco contraste de impedancia entre arenas y lutitas. Adicionalmente, el progreso operacional de los pozos fue reducido por problemas relacionados con la estabilidad del hoyo abierto los cuales resultaron en el atascamiento de ensamblajes de fondo.

Con el objeto de reducir el riesgo geológico y mejorar la perforación, dos iniciativas se pusieron en práctica: Primeramente, dos campañas de pozos estratigráficos fueron iniciadas para obtener información y mejorar el modelo geológico y el entendimiento de la continuidad de los canales de arenas en el área. El primer programa involucró la perforación de pozos verticales utilizando una unidad de tubería continua para definir los límites de las arenas alrededor del área perimetral de la macolla. El segundo programa involucró la perforación de pozos estratigráficos altamente inclinados desde la macolla, utilizando los taladros de 2000 HP, con el objeto de definir el punto de aterrizaje o hacia la mitad de las trayectorias en donde se presenta el riesgo más alto de discontinuidad o incertidumbre (Fig. 9 – Diseño de trayectoria de pozos). Una vez procesada la información de los pozos estratigráficos, permitió mejorar la definición de los objetivos geológicos y del yacimiento. Las trayectorias se clasificaron y se jerarquizaron permitiendo una variación del diseño original de tenedor y de arreglo en el subsuelo (Fig. 10 – Diseño de macolla antes y después de los programas de pozos

estratigráficos). Esta iniciativa redujo significativamente el número de desviaciones geológicas de uno en cada dos pozos, a uno en cada cinco pozos (Fig. 11 – Estadísticas de desviaciones, y Fig. 12 – Desviaciones típicas).

Segundo, el problema relacionado a la inestabilidad del hoyo y atascamiento de ensamblajes de fondo fue abordado. Una evaluación detallada de la incidencia de atascamientos en varios pozos, utilizando un análisis cuantitativo de riesgos, estableció la necesidad de aumentar la densidad del lodo para combatir el problema. Los resultados de este análisis; combinados con los resultados de una prueba de Micro-frac, condujeron al desarrollo de un “Modelo de Estabilidad de Hoyo (MEH)” para predecir la densidad de lodo requerida. La implementación de este MEH redujo la frecuencia de atascamientos de uno en cada dos pozos, a uno en cada diez pozos (Fig. 13 – Estadística de incidentes de atascamiento).

Durante la fase inicial del proyecto, un programa de perforación de pozos en serie fue implementado con los taladros de 2000 HP. Las fases del hoyo de superficie, sección intermedia y sección horizontal de nueve pozos, fueron perforadas en serie en las macollas #1 y #2. El objetivo fue acelerar la eficiencia del aprendizaje de la cuadrilla de perforación: Operaciones de levantamiento de tubería, preparación del ensamblaje de fondo, bajada de sarta y perforación del hoyo; enfatizando la seguridad personal y el trabajo en equipo. El programa de perforación en serie también tuvo como objetivo establecer la línea base operacional y la identificación de los programas de entrenamiento requeridos por el personal del taladro.

El progreso en el mejoramiento del proceso de perforación fue seguido utilizando los conceptos de la curva de aprendizaje estableciendo días objetivo y días objetivo restringido (Stretch target days), y “benchmarking” dinámicos con respecto a otros operadores en el área. Un programa “gerencial total del hoyo (Total wellbore management, TWM)” fue también implementado a través de un programa de incentivos para el contratista y compañías de servicio durante las porciones más difíciles y retadoras de la curva de aprendizaje.

Como resultado de estas iniciativas en el curso de perforar y completar 103 pozos, el promedio de días por pozo se redujo de 14.5, para las primeras dos macollas (36 pozos) a 9.0 días por pozo para el resto (67 pozos). Esto representa una reducción global del 40% en días y un 33% en costos (Fig. 14 – Curva de aprendizaje (Pozos vs. días), y Fig. 15 – Sumario del comportamiento de perforación). Como resultado del proceso de mejoramiento continuo, el cronograma de perforación se encuentra dos meses adelantado y los ahorros derivados de la mejora en operaciones, han permitido añadir siete pozos y dos multilaterales al programa de perforación (Fig. 16 – Tiempo de perforación y tiempo “no productivo”).

Completaciones: Levantamiento artificial y medidores de presión

El equipo de levantamiento artificial consiste de una bomba de cavidad progresiva “BCP” manejada desde superficie. La viscosidad del crudo a nivel del yacimiento es aproximadamente de 2.000 cp (Crudo vivo), y 5.000 cp al nivel del cabezal (Crudo muerto). Un crudo condensado es inyectado en el cabezal del pozo para reducir la presión de bombeo aguas abajo. Presiones de fondo son monitoreadas utilizando medidores en la sarta de completación (Figure 17 – Completación convencional). La producción de los pozos se inició con el uso de un “protocolo de arranque” en el cual la presión de fondo inicial de succión en el yacimiento esta limitada hasta que el fluido de completación sea drenado y la producción alcance niveles estables. La tasa de producción se incrementa gradualmente en intervalos específicos mientras se controla la producción de gas y agua. El arranque brusco de los pozos puede resultar en la excesiva producción de gas y en la perdida de energía de empuje, y por ende daño irreversible al yacimiento.

PUNTOS SOBRESALIENTES DEL MEJORAMIENTO CONTINUO

- **Seguridad como una prioridad numero uno:** Antes de la ejecución de todas las operaciones criticas un análisis de seguridad es preparado por la cuadrilla del taladro haciendo énfasis en la planificación y ejecución, e identificando y mitigando riesgos asociados al trabajo.
- **Excelencia en la protección del ambiente:** Los ripios de perforación son procesados a un estado semi-seco, mezclados con fijador y esparcidos sobre

carreteras de tierra o llevados a un préstamo para ser usados como relleno. Los volúmenes residuales de lodo son secados para su reciclaje y el agua limpia es utilizada para aspersión mientras cumpla con los requisitos establecidos para su descarga al ambiente.

- **Comunicaciones y trabajo en equipo:** Puesta en práctica de reuniones diarias de trabajo con el equipo técnico, de ingeniería y operaciones, para discutir el progreso de las operaciones y planes inmediatos. Toma de decisiones por los supervisores a nivel del taladro fue con el apoyo y soporte de los equipos técnicos y de construcción de pozos.
- **Lineamientos para mejorar la limpieza de hoyo y reducción/eliminación de viajes de calibración:** Lineamientos específicos para los caudales de fluido y propiedades de los lodos que permitan la remoción efectiva de los ripios de perforación y prevención de la formación de camas de ripios en el pozo. Estos lineamientos incluyen operaciones de backreaming en la sección intermedia antes de correr el revestidor de 9 5/8", backreaming cada conexión durante la perforación de la sección horizontal, y el bombeo de píldoras para la limpieza del hoyo y revestidor. Adicionalmente, la reducción o eliminación de viajes de calibración como resultado del continuo acondicionamiento del hoyo abierto.
- **Control direccional:** Cuidadosa planificación y seguimiento de las rutinas de deslizamiento y rotación para alcanzar las patas de perro "dog-leg severity" especificadas. Estos lineamientos fueron desarrollados específicamente para la primera sección curva, tangente para ubicar la BCP, segunda sección curva y la sección horizontal.
- **Un ensamblaje de fondo por sección de hoyo:** El objetivo es de perforar cada sección, curva y horizontal, con la utilización de un ensamblaje de fondo por sección. Este objetivo fue alcanzado con la utilización y continua evaluación de los motores de fondo en la perforación de pozos 2D y 3D. La incorporación de mediciones de inclinación cerca de la mecha (ABI) facilitó el seguimiento de tasas de "levantar" y "girar" observando las tolerancias establecidas para los pozos. Las mechas fueron seleccionadas para resistir altas tasas de penetración y altas cargas durante la perforación de arenas abrasivas y también resistir las frecuentes operaciones de repaso del hoyo.

- **Vibraciones de fondo:** Los parámetros de perforación, WOB y RPM, son evaluados en tiempo real con el objeto de minimizar nocivas vibraciones de fondo, las cuales son la causa de fallas mecánicas de los componentes de los ensamblajes de fondo y afectan la calidad de la data LWD.
- **Fluidos de perforación:** La densidad del fluido de perforación fue incrementada de acuerdo a los resultados del modelo de estabilidad del pozo, para minimizar el riesgo de atascamiento del ensamblaje de fondo. La formulación del fluido de perforación fue modificada para alcanzar el mínimo costo por barril siguiendo las especificaciones de un fluido limpio polimérico. El manejo del lodo se centró en la selección optima de aditivos y control de propiedades con el mínimo daño a la formación.
- **Cambio en la composición de la lechada de cemento:** La formulación original de dos lechadas, se reformuló con la aplicación de un aditivo multi-propósito (Multipurpose additive, MPA-1) de una sola mezcla con el objeto de reducir el tiempo de mezclado y reducir los riesgos asociados cuando se cambia de la lechada de cabeza a lechada de cola. Otro beneficio adicional es el desarrollo de una más alta resistencia a la compresión en la lechada de cabeza. La reducción de costos por cada trabajo de un 10% del costo total del trabajo. El impacto combinado del cambio en formulación de la lechada y el lodo representa un ahorro de un 5% del costo total del pozo.
- **Tiempo de mudanza entre pozo y pozo:** El diseño de los taladros de 2000 HP incluye un sistema de patines que facilitan la mudanza entre pozo y pozo (1 ½" hr) con la tubería de perforación parada en la plataforma.
- **Reducción del tiempo no productivo:** El tiempo no productivo se ha reducido en un 50% a lo largo del programa. Los tiempos para el armado y desarmado de la sarta de perforación, corrida y cementación de revestidores, instalación y prueba de los elementos del cabezal, etc., se han reducido significativamente (Fig. 16 – Tiempo de perforación y Tiempo no productivo).
- **Modificación de los equipos de control de sólidos para reducir pérdidas de lodo y tiempo no productivo:** El equipo de control de sólidos fue reorganizado con el objeto de procesar los ripios a un estado mas seco. Esto se hizo instalando una caja de distribución de fluido antes de las tres zarandas, eliminando un nivel de

zarandas, y elevando el sistema recolector de ripios para eliminar los derrames accidentales. Una centrifugadora adicional fue instalada para la recuperación de fluido y reducir los costos de mantenimiento.

- **Mejora de los sistemas de control de calidad de las compañías de servicio:** Con el objeto de mejorar la dependencia de las herramientas de fondo LWD (Reducir tiempo entre fallas), un análisis de causa "Root cause analysis" fue implementado con énfasis en la preparación de las herramientas, mantenimiento, y aplicación. Esta iniciativa tuvo como resultado un mejoramiento en un 20% en el tiempo entre fallas.
- **Perforación extendida para reducir el número de macollas requeridas:** Macolla #9 fue eliminada a través de la perforación extendida de pozos en las macollas #6 y #7. Esto requirió la perforación y bajada de revestidores de 9 5/8" hasta 6.131 ft MD (3.322 ft TVD), equivalente a pozos de un radio MD/TVD de 1.84:1.
- **Desarrollo de una bomba de cavidad progresiva para levantamiento artificial:** El estado de arte de las BCP es de 2.500 BPD para crudo pesado (2.000 cp a condiciones de yacimiento). Actualmente se encuentra en la fase de construcción una BCP de 3.000 BPD de capacidad.

RÉCORDS DE PERFORACIÓN

- | | |
|--|--|
| • Récord pozo "3-D" (12 ¼" y 8 ½" secciones) | 5.7 días/pozo (8,814 ft), CH0605. |
| • Récord pozo "2-D" (12 ¼" y 8 ½" secciones) | 4.7 días/pozo (7,220 ft), CH0706. |
| • Récord hoyo de superficie | 0.5 días/pozo. |
| • Mas profundo 9 5/8" CSG @ | 6,131 ft MD / 3,321 ft TVD, H0703. |
| • Mas larga 8 ½" sección horizontal | 5,525 ft (Pozo 2-D), CH0607. |
| • Pozo más profundo | 10,387 ft MD, CG0107 (Pozo 3-D) |
| • Récord pies perforados en 24 hrs, hoyo 12 ¼" | 4,098 ft (Sección curva), CG0116. |
| • Récord pies perforados en 24 hrs, hoyo 8 ½" | 4,682 ft (Sección horizontal),
H0611. |
| • Radio "HD/TVD" mas alto | 2.58 (Pozo 2-D), CG0318. |

Seguidamente se señalan las áreas claves para el éxito de la campaña de perforación del proyecto Cerro Negro, así como también los retos y oportunidades que se presentan:

CLAVES DEL ÉXITO

- “*Front end loading*” del proyecto: Involucramiento temprano de los contratistas y compañías de servicio en la procura de equipos, servicios, y la selección de personal apropiado para ofrecer continuidad y soporte al proyecto.
- Trabajo en grupo “Teamwork”: Integración de los distintos equipos de trabajo; técnico y operacional, y las distintas compañías de servicio.
- Diseño específico de taladros “Fit-for-purpose”: Top drive, sistema de patines para facilitar la mudanza, instalación de bombas y torre de alta capacidad.
- Perforación de pozos estratigráficos verticales y de alto ángulo para definir las trayectorias de los pozos con más confiabilidad.
- Establecimiento de un estricto protocolo para el arranque en producción de los pozos.
- Asignación permanente de personal de planificación de perforación direccional en las oficinas de la Operadora.
- Asignación permanente de personal de perforación direccional en cada taladro.
- Comunicaciones: Clara definición de tareas a realizar y evaluación de riesgos. Planificación y contingencias en las operaciones e intercambio de información.
- Decisiones en tiempo real: Delegar al personal de operaciones el poder en la toma de decisiones a nivel de taladro minimizando o eliminando el tiempo no productivo.
- Implementación del modelo de estabilidad de hoyo para eliminar los eventos de atascamiento de tuberías.
- Prácticas seguras de operación: Seguridad primero!
- Perforación de pozos en serie: Optimización de operaciones en el hoyo de superficie e intermedio minimizando el tiempo no productivo. Implementación de periodos de estreno en los taladros de alta capacidad para incrementar su confiabilidad y entrenar las cuadrillas de operación.
- Manejo de desperdicios: Utilización de los ripios de perforación en combinación con un fijador “Bardust” para su esparcimiento en carreteras.

- Uso de agua reciclada del proceso de de-watering para irrigar la sabana, mientras cumpla con las normativas ambientales.

RETOS

- Mantener el objetivo restringido de perforar los pozos en 10 días/pozo.
- Reducir aún más el numero de desviaciones geológicas.
- Mejorar el diseño de las macollas para minimizar el área afectada.
- Continuo mejoramiento del trabajo direccional para mantener un ensamblaje por sección de hoyo a medida que las trayectorias se hacen más complicadas.

OPORTUNIDADES

- Optimización en la selección de fluidos para los pozos.
- Reducir los costos del manejo de ripios.
- Continuar la investigación de las alternativas que ofrece la aplicación de pozos multilaterales (Dos secciones horizontales drenadas por una misma bomba BCP).

CONCLUSIONES

- El proyecto Cerro Negro, conceptualmente diseñado como un programa de desarrollo basado en arenas continuas, demostró tener retos no anticipados, dado a la complejidad geológica encontrada.
- Soluciones a los problemas de control direccional, limpieza e inestabilidad del hoyo, permitió superar las expectativas de tiempo y costos del proyecto, con una reducción en el tiempo de perforación de un 40% y un impacto en la reducción de los costos de perforación del 33%.
- Un mejor control de la estratigrafía para generar las trayectorias de los pozos permitió reducir el número de desviaciones geológicas e incrementar el contenido de arena neta.



Fig. 1: Ubicación de la concepción Cerro Negro

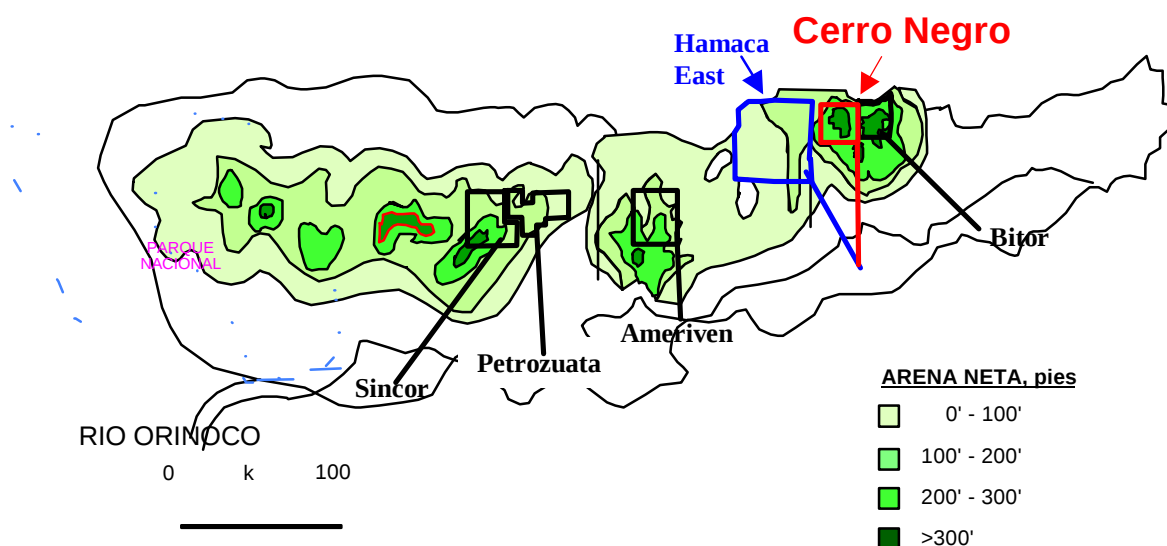


Fig. 2: Faja del Orinoco, Este de Venezuela

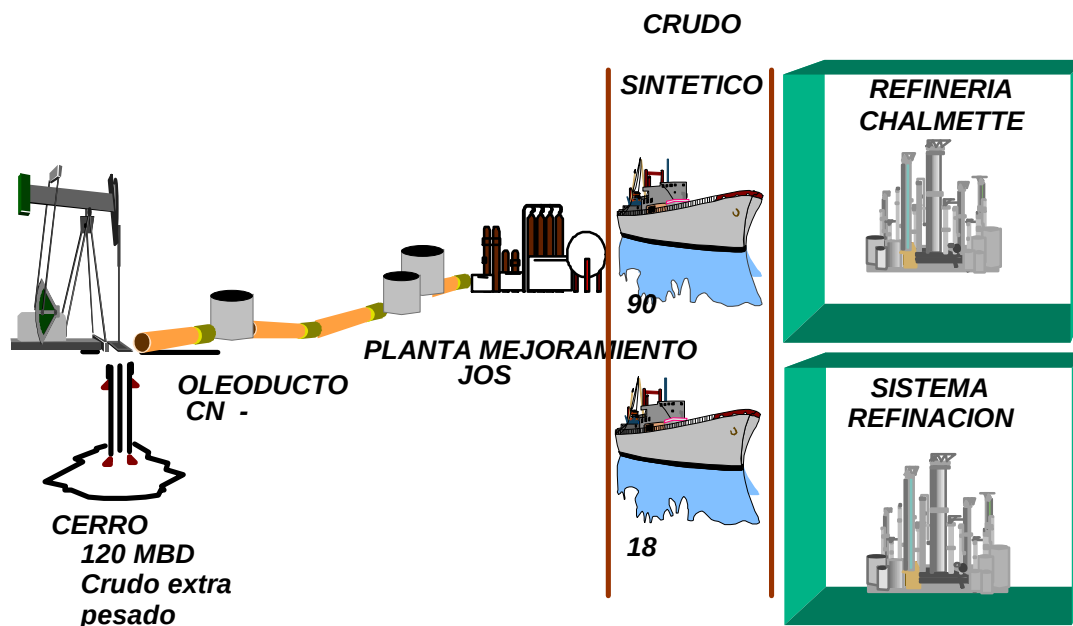


Fig. 3: Diagrama de Proceso

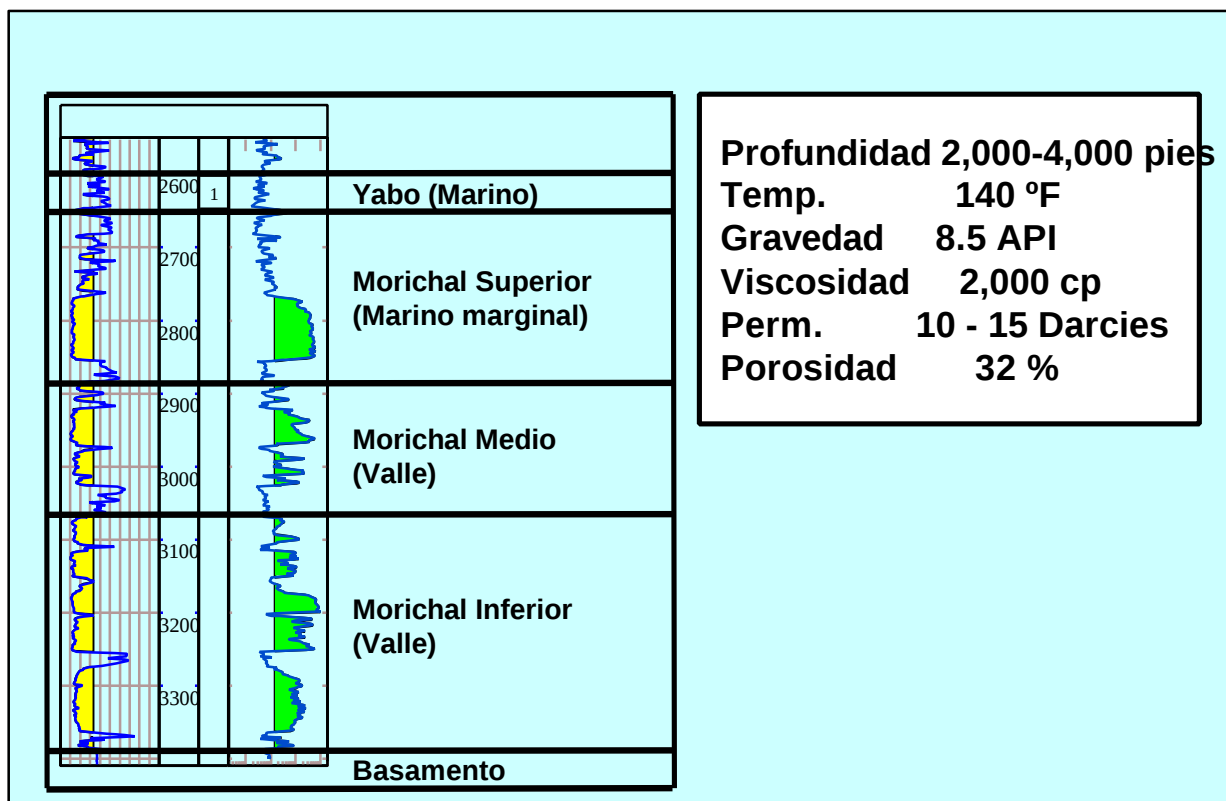


Fig. 4: Registro Tipo y Datos del Yacimiento

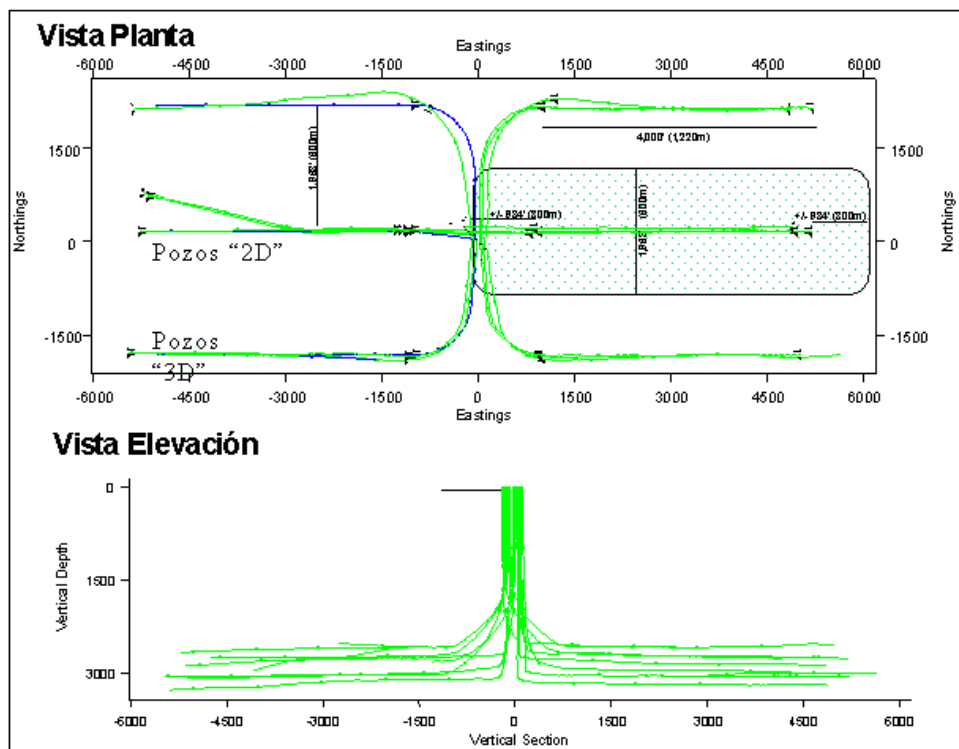


Fig. 5: Diseño de macolla

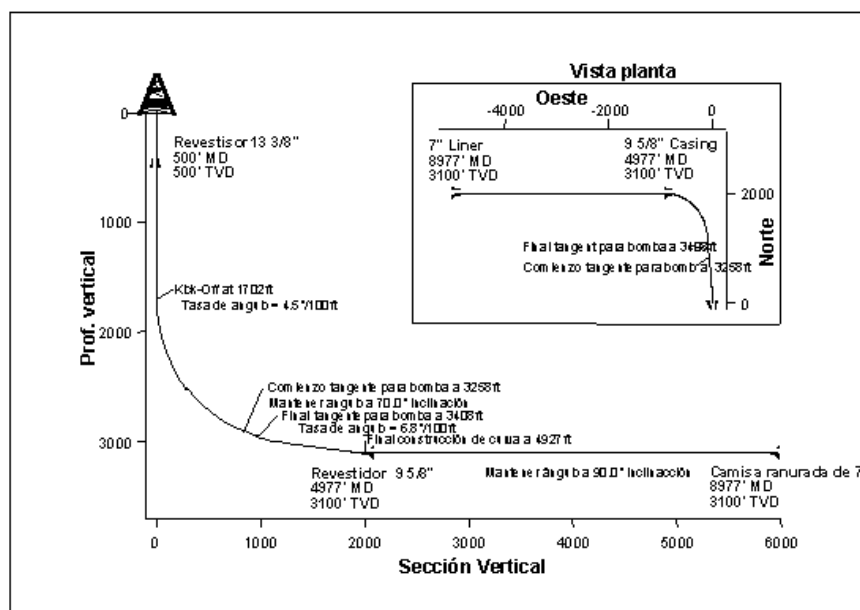


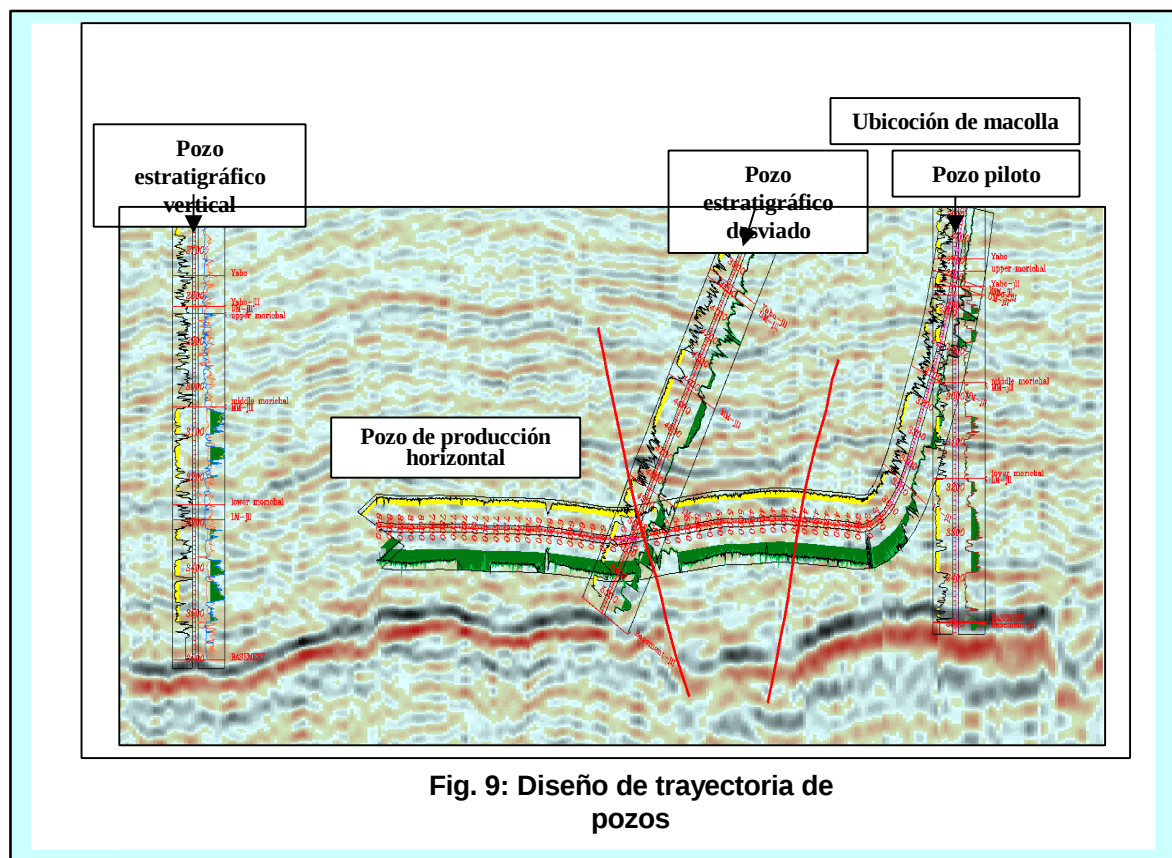
Fig. 6: Diseño típico de pozo



Fig. 7: Taladro de perforación de 2000 HP



Fig. 8: Macolla y campo de perforación



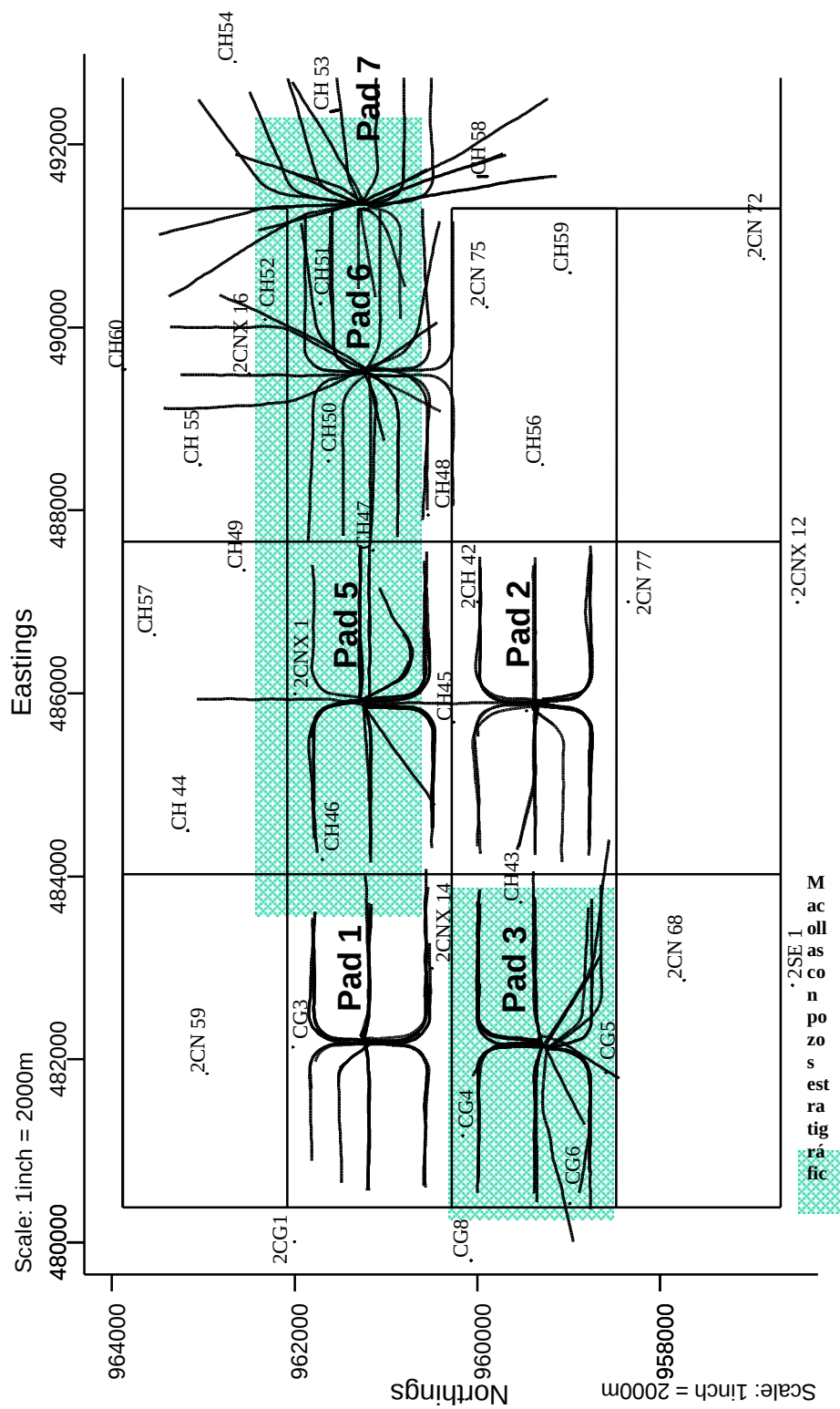


Fig. 10: Diseño de macolla antes y después de programas estratigráficos

Estadísticas de desviaciones

Macolla #	Desviaciones planificadas				Desviaciones geológicas			Desviaciones mecánicas				
	Estrat. Desv.	Hoyos Pilotos	Multi Laterals	Disv. Planificadas	Mecha R Horz	Desv. Exploratory	Geol. / No Sand	Mecha R Curva	Pérdida Majando	Pérdida Ampliando	Pesca	Atrasado en el plan
1	0	1	0	1	3	2	8	1	1	1	1	2
2	0	1	0	1	0	1	7	1	1	1	2	0
3	2	1	0	3	2	2	7	3	0	0	1	0
5	3	0	0	3	2	0	7	0	0	0	1	1
6	3	1	1	5	1	0	0	1	0	0	1	0
7	3	0	0	3	2	0	1	3	0	2	0	1
Totales	11	4	1		10	5	30	9	2	4	6	4
	Total desv. planificadas =				Total desv. geo. =			Total desv. mecánicas =				
	16				45			25				

NOTES: Mecha R Horz: Leuz tamaño de mecha en sección horizontal.
Mecha R Curva: Leuz tamaño de mecha en sección curva.

Fig. 11: Estadísticas de desviaciones

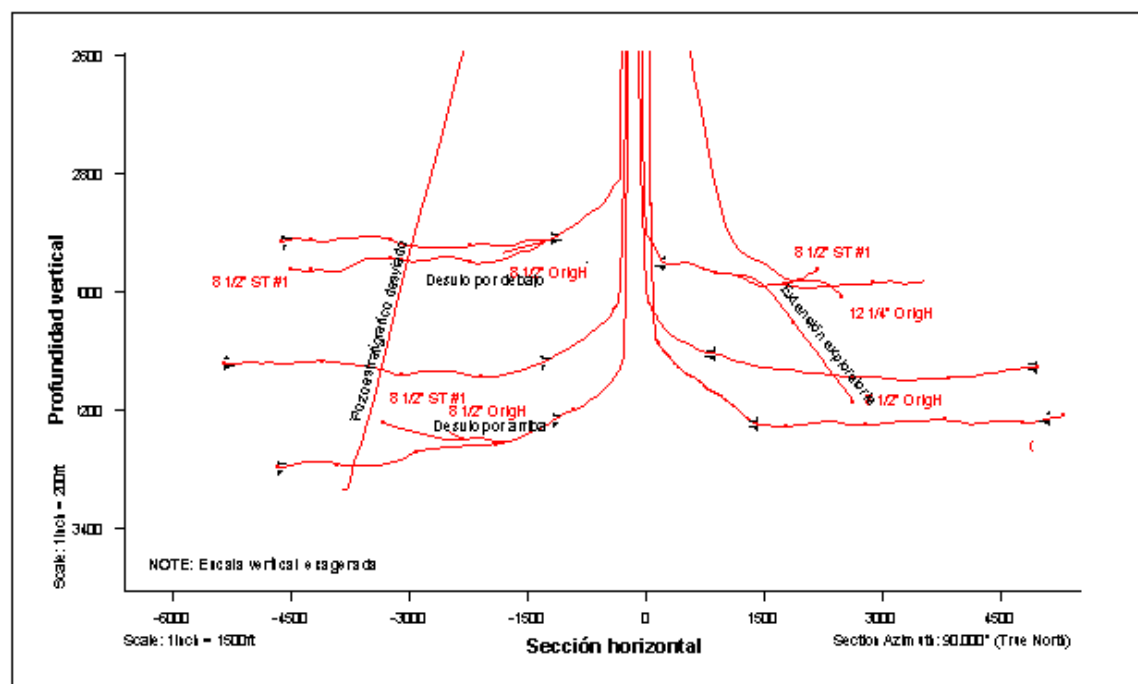


Fig. 12: Desviaciones típicas

Estadística de atascamientos

Macolla #	# de pozos	# de pozos c/ atascamiento	# Eventos	BHAs en el pozo	# de desv.
1	17	2	5	2	1
2	19	6	12	0	0
3	5	4	6	0	0
TOTALES = 41 12 23 2 1					
Análisis cuantitativo de atascamientos y desarrollo del MEH					
3	14	0	0	0	0
5	18	2	2	2	2
6	18	1	1	1	1
7	14	2	3	0	0
TOTALES = 64 5 6 3 3					

Fig. 13: Estadística de incidentes de atascamiento

Desarrollo Cerro Negro - Tiempo de Perforación

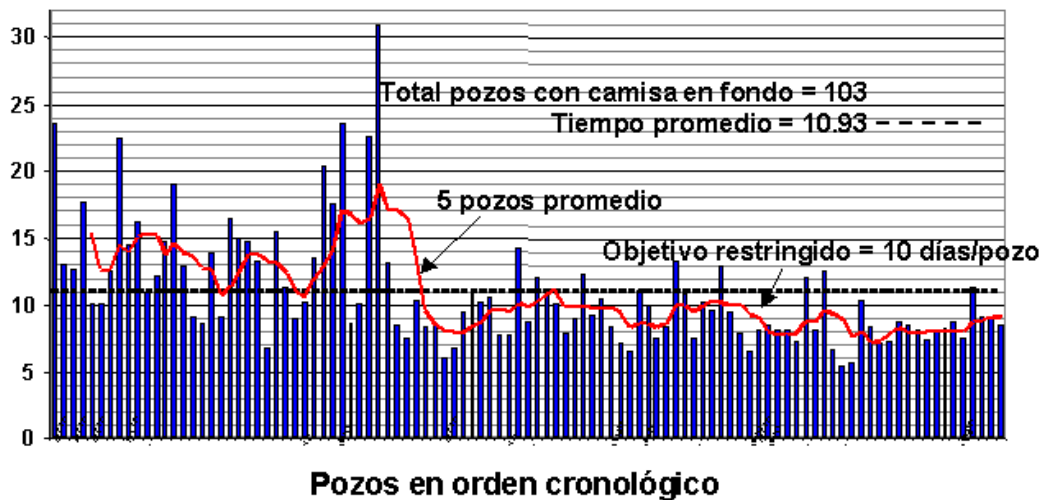


Fig. 14: Curva de aprendizaje (Pozos vs días), desde el inicio hasta camisa en fondo

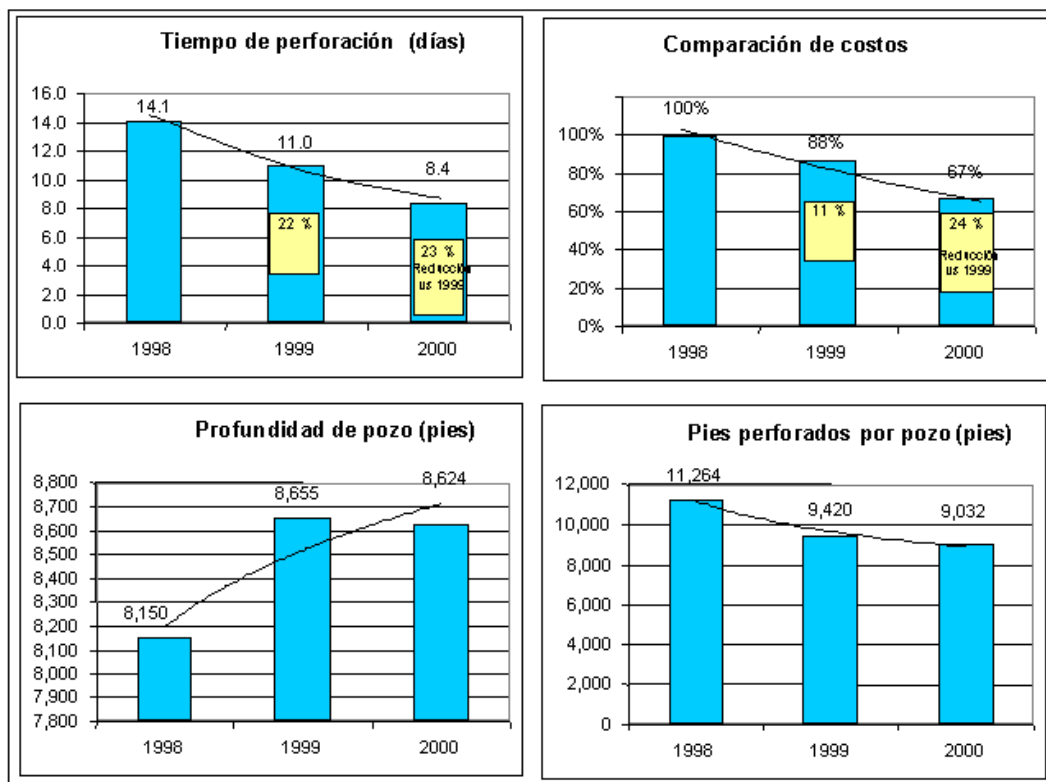


Fig. 15: Sumario del comportamiento de perforación

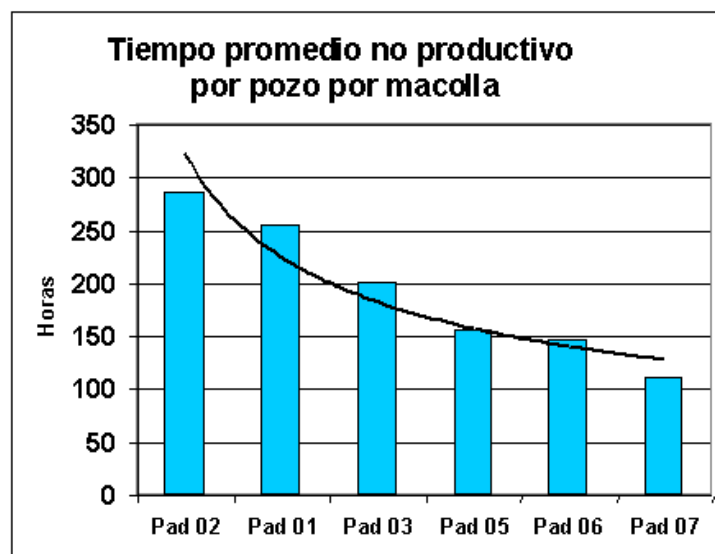
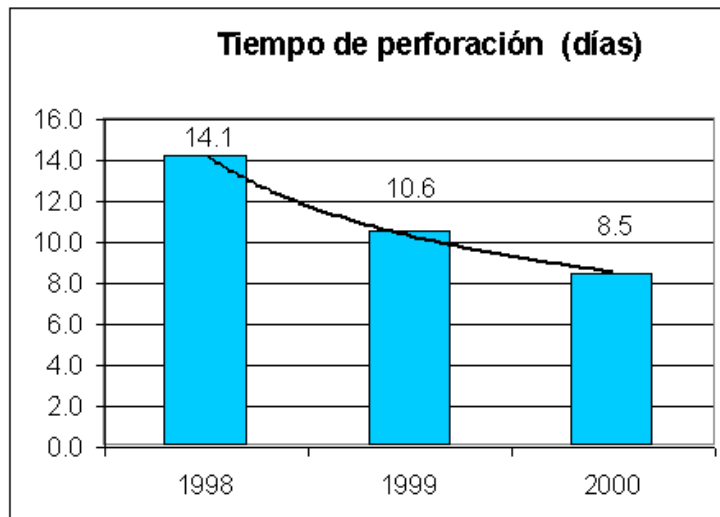


Fig. 16: Tiempo de perforación y tiempo “no productivo”

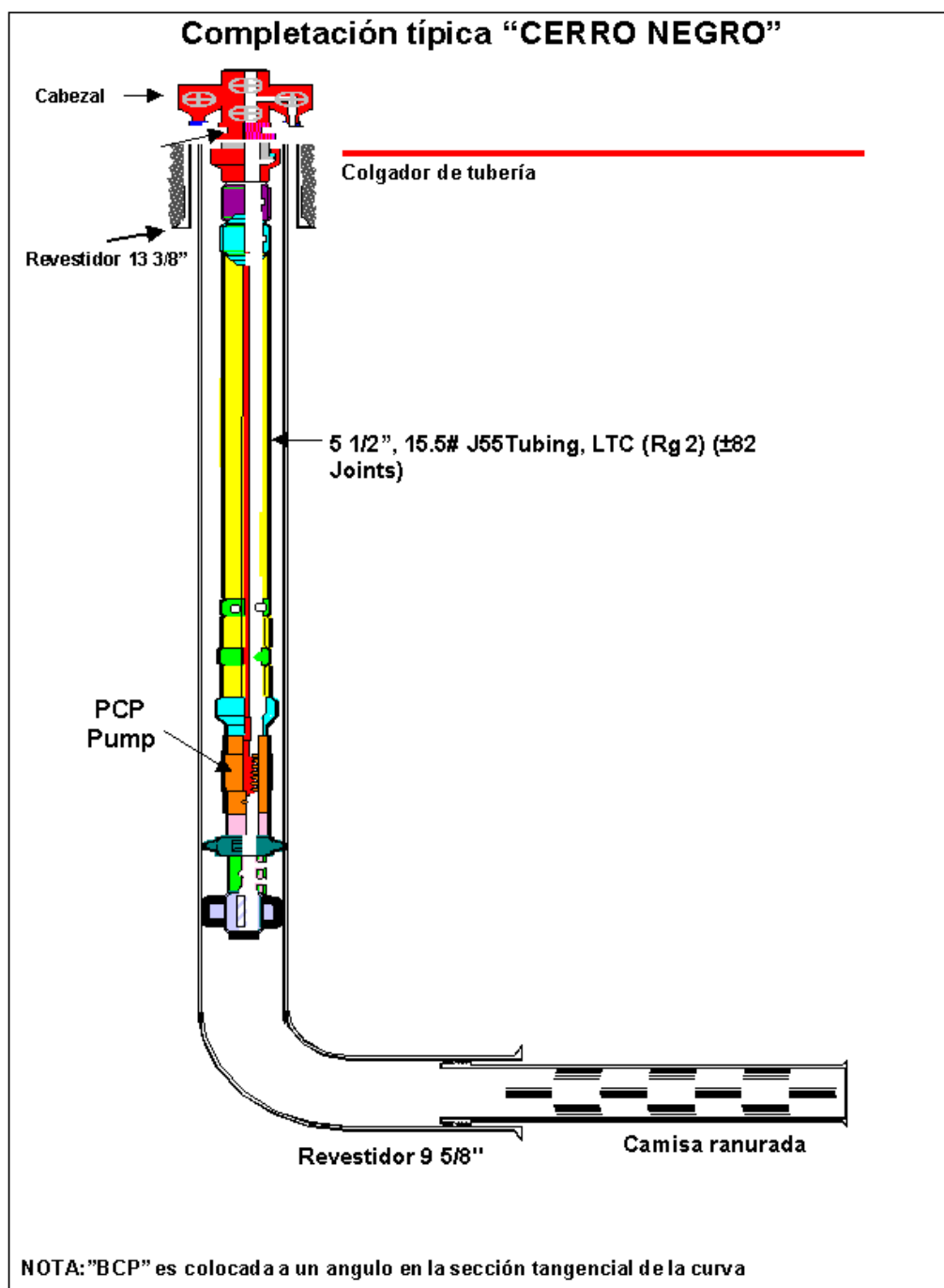


Fig. 17: Completación convencional