

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**SEGUIMIENTO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL POZO ES-451 EN LA
LOCALIZACIÓN EPJ DEL CAMPO SOCORORO DEL DISTRITO
SAN TOMÉ, PERTENECIENTE AL CONVENIO PETROUCV**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo
por el Br. Fernando Ruiz E.

Caracas Octubre, 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

SEGUIMIENTO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL POZO ES-451 EN LA LOCALIZACIÓN EPJ DEL CAMPO SOCORORO DEL DISTRITO SAN TOMÉ, PERTENECIENTE AL CONVENIO PETROUCV

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Luis Norberto Bueno

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Frank Méndez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero de Petróleo
por el Br. Fernando Ruiz E.

Caracas Octubre, 2003

Caracas, 18 de Octubre de 2003

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería de Petróleo, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Fernando Ruiz Enríquez, titulado:

“Seguimiento en la Construcción del Pozo ES-451 de la Localización EPJ del Campo Socororo, Distrito San Tomé, perteneciente al Convenio PetroUCV”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero de Petróleo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



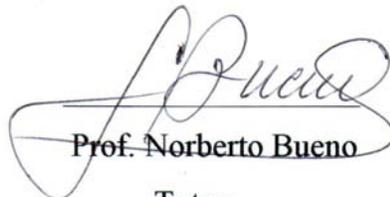
Prof. Víctor Escalona

Jurado



Prof. Franklin González

Jurado



Prof. Norberto Bueno

Tutor

A mi mamá Edith por darme el ser, siempre guiarme en mis pasos y apoyarme en todo momento, con sus consejos y enseñanzas.

A mi papá Sixto por su esfuerzo y empeño en hacerme una persona de bien, y sobre todo por enseñarme a aprender a aprender.

A José Rafael Pérez Amaral “El Santo”, pilar fundamental en mi educación tanto intelectual como humana, Muchas Gracias Santito.

A mi Prima Mayra, lucero que siempre me ha servido de guía, demostrándome siempre que con esfuerzo y perseverancia se obtiene lo que uno desea.

A todos Uds. que Dios los Bendiga

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, Patrimonio Cultural de la Humanidad, por haber tenido el privilegio de estudiar en ella.

A mi mamá Edith y mi papá Sixto por todo su esfuerzo y constancia para poder lograr esta primera meta en mi vida. Los Quiero Mucho.

A mis hermanas Susana y Sofía, tía América, tío Bolívar, tía Gretty, tío Carlos, Alex, Carlitos, Gabriel, Ernesto, Raquel, Cintia, Ma. del Carmen, Alejandro Pecas, Indira, Judith, Yolanda, Tío Leandro, Norma y mi Primita Mayra, por siempre estar pendiente de mí, por su apoyo incondicional durante toda mi vida, dándome esas palabras de aliento cuando las necesitaba. Muchas Gracias

Al Prof. Luis N. Bueno, por su confianza depositada para el asesoramiento de este Trabajo Especial de Grado y sobre todo por su esfuerzo para hacer de mí un excelente profesional.

A los Ing. Adolfo Alzurú, Ing. María Capello e Ing. Pedro Ochoa, por su voto de confianza para la realización de este Trabajo Especial de Grado así como su ayuda y consejos cuando lo requería.

A los Profesores de la Facultad de Ingeniería y de la Escuela de Petróleo de la Universidad Central de Venezuela, por sus conocimientos impartidos hacia mi persona.

Al personal del Dpto. de Perforación y Subsuelo de PDVSA del Distrito San Tomé, personas muy amables y cordiales, quienes en todo momento me brindaron su apoyo incondicional; especialmente a los Ingenieros F. Méndez, E. Villalobos, T. Díaz, E. Velásquez, N. Jara, L. Chacín, R. Romero, J. Brito, R. Quezada, E. Carvajal, A. Marcano, J. Cova, Olivares, A. Mata, G. Marquez y Maricruz.

A las contratistas Halliburton, Baker Atlas, GeoSubsuelo, Huabey, Tesco, Swaco, MI, Desca, Tiet, involucradas en la construcción del pozo ES-451. Los obreros de las cuadrillas comandadas por Prado, Lanza y Helguera, los Company Man Orlando y Ender, los

supervisores de 12 , 24 y de área. Quienes me ayudaron e instruyeron en la parte operativa durante mi estadía en el taladro CPV-10.

A Jenny y Nuny, mis grandes amigas, mis panas, mis confidentes, mi Black & White, les deseo lo mejor de este mundo porque se lo merecen y más!, las Quiero Mucho .

A Kenny y Fernando “Bacanal”, grandes panas durante toda la carrera, muchas gracias por todo su compañerismo y ayuda cuando siempre la necesité.

A mis panitas Catty, Luis, Chesco, Adrianita, la Negra, Daisy, Nadya, Jennyfercita, Ma Isabel, Migda, Marilyn, Subset, Vero, Nino, Roberto, Anita, Sergio, Niño, Argenis, Leo, Hector, Leonte, Gonzo, Melissa, Kristle, Gabrielita, Heidy, Alejandro, Ana María, Mafer, Angélica, Benhul, Jhonny, Caricua, Dayana, Diomar, Gian Franco, Alvarito, Fanny, Elvirita, Marelys, Ronald, tati, Macri, Daniel, Marianita, Lou, Achuelo, Roger, Simón, Marino, Anita Assi, Juvenal, Amebelys, Ponky, Doris, Anen y Duly son excepcionales!!.

A mi querido pueblo de Miranda, lugar donde nací y crecí, así como a su bella gente, que siempre me dio ánimos en seguir adelante.

A las familias Yu Woo, Parra Ferrer, Fernández y Sanguino, por su cordialidad al abrirme las puertas de sus hogares, además de hacerme sentir uno más de Uds. Muchas Gracias.

A ti, por siempre iluminarme con tu sonrisa y cada día con mayor intensidad,
Simplemente Tequiamoro mi Sol.

Ruiz E. Fernando

**SEGUIMIENTO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL POZO ES-451 EN LA
LOCALIZACIÓN EPJ DEL CAMPO SOCORORO DEL DISTRITO
SAN TOME, PERTENECIENTE AL CONVENIO PETROUCV.**

Tutor Académico: Ing. Luis Norberto Bueno.

Tutor Industrial: Ing. Frank Méndez

Trabajo Especial de Grado. Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería de Petróleo. Año 2003.

Palabras Claves: Pozo ES-451, perforación, revestidores, fluidos de perforación, captura de información, mechas, ampliadores.

Resumen. El Área Mayor de Socororo es un bloque irregular de 270 km² de superficie aproximadamente, que está conformada por los campos Socororo, Caricari y Cachicamo. Ubicada geográficamente al oeste del estado Anzoátegui, cercano a la población de Pariaguán, Municipio Miranda, Distrito San Tomé y geológicamente en el flanco sudoeste de la Cuenca Oriental de Venezuela.

Esta área posee un POES estimado de 451 MMBF, con crudos de 16 °API en aproximadamente 180 yacimientos de petróleo y gas, además tiene 94 pozos perforados, con 58 productores y 35 secos, encontrándose activos a la fecha solamente 2 pozos. La producción acumulada de estos campos es aproximadamente 10 MMBF, es decir, un 2,21% del POES, siendo su principal mecanismo de producción la expansión de gas y el empuje por avance del acuífero.

El pozo ES-451, se encuentra al Sudeste del Campo Socororo, siendo el pionero en la recuperación del Area Mayor de Socororo, y es quien da inicio a la materialización del convenio entre la Universidad Central de Venezuela (UCV) y Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA), el cual lleva por nombre PetroUCV, cuya función además de crear dividendos a la nación y a la máxima casa de estudios del país por medio de la explotación de hidrocarburos, es capacitar en el ambiente laboral al estudiantado que se encuentra en carreras como ingeniería de petróleo, geología, geofísica, etc., por medio de pasantías y trabajos especiales de grado en campo, aplicándose la filosofía de *aprender haciendo*.

La construcción de este pozo, se inició a comienzos de noviembre del dos mil dos, cuyo objetivo principal era explotar la arena U1M, perteneciente al yacimiento SOC-03, estimándose a una profundidad de 4300' y con una tasa de producción de 380 BFPD.

El ES-451, se perforó a una profundidad total de 4438', utilizando el taladro Corpoven-10, el cual poseía una cabria de 750 HP con una altura de 108', capaz de levantar hasta 365.000 lbs.

El pozo constó de tres fases, el hoyo superficial de 12-1/4" a una profundidad de 1210'. El segundo hoyo, fue de 8 1/2", alcanzando la profundidad de 4340', y la última sección fue un hoyo original de 6-1/8" ampliado a 13", para luego bajarle un liner ranurado y empacarlo con grava para prevenir la producción de finos. Esto tres hoyos originales fueron perforados con mechas tricónicas, realizándose en el hoyo intermedio, un estudio de costo por pie.

El tipo de levantamiento programado a aplicarse al pozo ES-451, está compuesto por un sistema de bombas de cavidad progresiva, estimando una tasa de producción de 370 BNPD, con el cual se obtendrán TIR's a partir de 35,21 % y VPN's por encima de 740.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|--------------|
| DEDICATORIA | II |
| AGRADECIMIENTOS | III |
| RESUMEN | V |
| LISTA DE FIGURAS | XVIII |
| LISTA DE TABLAS | XXIII |
| INTRODUCCIÓN | XXVI |
| I PROYECTO | 1 |
| I 1 Alcance de un proyecto | 3 |
| I 2 Planificación de un proyecto | 4 |
| I 3 Ventaja de la planificación | 5 |
| I 4 Limitaciones de la planificación | 5 |
| I 5 Fases de un proyecto | 6 |
| I 5.1 Fase conceptual | 6 |
| I 5.2 Fase planificación | 6 |
| I 5.3 Fase ejecución | 7 |
| I 5.4 Fase completación | 7 |
| I 6 Estimado de costos y proyectos | 8 |
| I 6.1 Estimado de costos Clase V (orden de magnitud) | 8 |
| I 6.2 Estimado de costo Clase IV (conceptual) | 9 |
| I 6.3 Estimado de Costo Clase III (preliminar) | 9 |
| I 6.4 Estimado de costo Clase II (definitivo) | 10 |
| I 6.5 Estimado de costo Clase I (control) | 11 |
| I 7 Plan de ejecución del proyecto | 11 |
| I 7.1 Descripción del plan de ejecución del proyecto (PEP) | 12 |
| II VCD Ó FEL | 13 |
| II 1 Objetivos del proceso VCD | 14 |
| II 2 Evolución | 15 |
| II 3 Proceso de planificación, ejecución y operación de proyectos de perforación de pozos | 15 |
| II 3.1 Visualización | 16 |
| II 3.2 Conceptualización | 17 |
| II 3.3 Definición | 17 |
| II 3.4 Ejecución | 18 |
| II 3.5 Operación | 18 |
| II 4 Importancia de la aplicación del Front End Loading | 19 |
| II 5 Equipos multidisciplinarios y comunidades de conocimiento | 20 |
| II 6 Elaboración de PEP (planes de ejecución de proyectos) | 20 |

| | |
|--|-----------|
| II 6.1 Requerimientos funcionales | 21 |
| II 6.2 Ingeniería conceptual | 22 |
| II 6.3 Ingeniería básica | 22 |
| II 6.4 Ingeniería de detalle | 22 |
| II 6.5 Análisis de operación | 22 |
| II 6.6. Análisis de mantenimiento | 23 |
| II 6.7 Análisis de construcción | 23 |
| II 6.8 Estimación de costos | 23 |
| II 6.9 Análisis de riesgo y rentabilidad | 23 |
| II 7 Impacto de la aplicación del proceso VCD en perforación PDVSA EPM | 24 |
| II 8 Conclusiones sobre el VCD | 25 |
| III PERFORACIÓN | 26 |
| III Componentes y sistemas del taladro de perforación | 27 |
| III 1 El sistema a percusión | 27 |
| III 2 Perforación rotatoria | 29 |
| III 3 Componentes del taladro de perforación rotatoria | 29 |
| III 3.1 La planta de fuerza motriz | 30 |
| III 3.2 El sistema de izaje | 32 |
| III 3.2.1 El malacate | 32 |
| III 3.2.2 El cable de perforación | 33 |
| III 3.2.3 La cabria de perforación | 34 |
| III 3.2.4 El parejo o polipasto | 35 |
| III 3.3 El sistema rotatorio | 37 |
| III 3.3.1 La mesa rotatoria o colisa | 37 |
| III 3.3.2 La junta giratoria | 39 |
| III 3.3.3 La junta kelly | 39 |
| III 3.3.4 El top drive | 39 |
| III 3.3.5 La sarta de perforación | 40 |
| III 3.3.6 La barrena de perforación | 41 |
| III 3.3.6.1 Tipos de barrenas | 42 |
| III 3.3.6.2 Código IADC (International Association Drilling Contractor) | 43 |
| III 3.3.7 La tubería lastrarbarrena | 44 |
| III 3.3.8 La tubería de perforación | 45 |
| III 3.4 El sistema de circulación del fluido de perforación | 46 |
| III 3.4.1 El fluido de perforación | 46 |
| III 3.4.2 Funciones básicas del fluido de perforación | 47 |
| III 3.4.2.1 Transporte de recortes y derrumbes | 47 |
| III 3.4.2.2 Suspensión de partículas cuando se detiene la circulación | 48 |
| III 3.4.2.3 Control de presiones de la formación | 48 |
| III 3.4.2.4 Enfriamiento y lubricación de la barrena y de la sarta de perforación | 49 |
| III 3.4.2.5 Soporte lateral de las paredes del pozo | 49 |
| III 3.4.2.6 Suspensión de la sarta de perforación y de la tubería de revestimiento | 50 |
| III 3.4.2.7 Transmisión de energía hidráulica | 50 |
| III 3.4.2.8 Proporcionar el medio para la toma de registros de núcleos | 50 |

| | |
|--|----|
| III 3.4.3 Ventajas en la aplicación adecuada de los fluidos de perforación | 51 |
| III 3.4.4 Lodos base agua | 51 |
| III 3.4.4.1 Lodos tratados con dispersantes inorgánicos | 51 |
| III 3.4.4.2 Lodos tratados con dispersantes orgánicos | 52 |
| III 3.4.4.3 Lodos base agua emulsionados | 53 |
| III 3.4.4.4 Lodos base agua inhibidos | 53 |
| III 3.4.4.5 Lodos base agua de bajo contenido de sólidos (Lodo polimérico) | 54 |
| III 3.4.5 Lodos base aceite | 55 |
| III 3.4.6 Fluidos aereados | 56 |
| III 3.4.6.1 Aire | 56 |
| III 3.4.5.2 Espuma | 56 |
| III 3.4.7 Area de preparación del lodo de perforación | 57 |
| III 3.4.8 equipos de circulación | 58 |
| III 3.4.8.1 Línea de descarga y retorno | 58 |
| III 3.4.8.2 Tubo vertical | 58 |
| III 3.4.8.3 Manguera rotatoria | 58 |
| III 3.4.8.4 Las bombas de circulación | 59 |
| III 3.4.8.5 Tanques de acero y removedores | 60 |
| III 3.4.9 Area de acondicionamiento | 61 |
| III 3.4.9.1 Separador de gas | 61 |
| III 3.4.9.2 Zaranda o vibrador | 62 |
| III 3.4.9.3 Desgasificador | 62 |
| III 3.4.9.4 Desarenador | 63 |
| III 3.4.9.5 Separador de sólidos | 63 |
| III 3.5 Sistema impide reventones | 63 |
| III 3.5.1 El conjunto de válvulas impide reventones | 64 |
| III 3.5.2 Distribuidor de flujo | 64 |
| III 3.5.2.1 La línea de matar | 64 |
| III 3.5.2.2 El acumulador | 65 |
| III 4 El hoyo o pozo vertical | 65 |
| III 5 Cementación de sartas | 66 |
| III 5.1 Funciones de la cementación primaria | 66 |
| III 6 Terminación del pozo | 67 |
| III 6.1 Tipos de terminación | 68 |
| III 6.1.1 Terminación vertical sencilla | 68 |
| III 6.2 Bombeo de cavidad progresiva (BCP) | 70 |
| III 6.2.1 Equipo de subsuelo | 71 |
| III 6.2.2 Equipo de superficie | 72 |
| III 7 Planificación de la perforación | 73 |
| III 8 Peligros en las operaciones de perforación | 75 |
| III 8.1 Operaciones de pesca | 75 |
| III 8.2 Arremetida, reventón e incendio | 76 |
| III 9 Problemas latentes durante la perforación del hoyo | 77 |
| III 9.1 Lista general de los problemas operacionales de perforación | 78 |

| | |
|---|-----|
| III 10 Aspectos a considerar en la perforación | 79 |
| III 10.1 Geomecánica | 79 |
| III 10.2 Gradientes de presión | 79 |
| III 10.2.1 Presión de poro o formación | 79 |
| III 10.2.1.1 Presión anormal y presión subnormal | 79 |
| III 10.2.1.2 Presión de fractura | 80 |
| III 10.3 Factores que afectan la producción de arena | 80 |
| III 11 Control de arena | 82 |
| III 11.1 Rejillas de empaque con grava | 83 |
| III 11.2 Empaque con grava | 85 |
| III 12 Toma de núcleos | 87 |
| III 12.1 Tipo de información obtenida | 88 |
| III 12.1.1 Geológica | 88 |
| III 12.1.2 Reservorio | 88 |
| III 12.1.3 Petrofísica | 89 |
| III 12.2 Componentes del toma núcleos | 89 |
| III 12.2.1 Tubo externo | 89 |
| III 12.2.2 Tubo interno | 89 |
| III 12.2.3 Junta de seguridad | 89 |
| III 12.2.4 Estabilizadores | 89 |
| III 12.2.5 Corona | 89 |
| III 12.2.6 Ensamblaje de retención | 90 |
| III 13 Registros eléctricos | 91 |
| III 13.1 Tipos de registros eléctricos | 92 |
| III 13.1.1 HDIL (High Definition Induction Log) | 92 |
| III 13.1.2 ZDL (Z DensiLog) | 93 |
| III 13.1.3 CN (Compensated Neutron) | 94 |
| III 13.1.4 SL (Spectra Log) | 95 |
| III 13.1.5 MRIL (Magnetic Resonance Imaging Log) | 96 |
| III 13.1.6 RFT (Resistivity Formation Test) | 98 |
| III 13.1.7 GR (Gamma Ray) | 99 |
| III 13.1.8 MAC (Multipol Array Acoustilog) | 100 |
| III 13.1.9 VSP o Check-Shot | 101 |
| III 14 Multishot | 102 |
| III 15 Tubería de revestimiento | 104 |
| III 15.1 Conductor | 104 |
| III 15.1.1 Funciones del revestidor conductor | 104 |
| III 15.2 Revestidor de superficie | 104 |
| III 15.2.1 Funciones del revestidor de superficie | 104 |
| III 15.3 Revestidor intermedio, “liner” de perforación | 104 |
| III 15.3.1 Funciones del revestidor intermedio | 104 |
| III 15.4 Revestidor “liner” de perforación | 105 |
| III 15.3.1 Funciones del “liner” de producción | 105 |
| III 15.5 Método de diseño convencional y vida de servicio | 105 |

| | |
|--|------------|
| III 15.6 Aspecto de materiales y conexiones en los tubulares | 106 |
| III 15.7 Parámetros de diseño | 109 |
| III 15.8 Diseño de la profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento | 110 |
| III 15.8.1 Condición inicial o caso de carga | 113 |
| III 15.8.2 Consideraciones de diseño | 114 |
| III 15.8.3 Consideraciones generales | 118 |
| IV EXPERIENCIA DE CAMPO | 121 |
| V DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA | 134 |
| V 1 Descripción General | 135 |
| V 1.2 Ubicación del pozo ES-451 | 136 |
| V 2 Distribución de los pozos del área mayor de Socororo | 137 |
| V 2.1 Pozos inactivos | 137 |
| V 2.2 Pozos secos/abandonados | 138 |
| V 2.3 Pozos activos | 138 |
| V 3 Mecanismo de producción | 140 |
| V 3.1 Expansión de la roca y fluidos | 140 |
| V 3.2 Gas en solución | 140 |
| V 3.3 Capa de gas | 140 |
| V 3.4 Drenaje gravitacional | 141 |
| V 4 Descripción litológica | 141 |
| V 4.1 Estructura | 141 |
| V 4.2 Estratigrafía | 141 |
| V 4.2.1 Formación Mesa –las Piedras | 142 |
| V 4.2.2 Formación Freites | 144 |
| V 4.2.3 Formación Oficina | 144 |
| V 4.2.4 Formación Merecure | 145 |
| V 5 Sedimentación | 145 |
| VI METODOLOGÍA | 147 |
| VI 1 Diseño inicial | 148 |
| VI 2 Objetivos | 149 |
| VI 3 Alcance | 150 |
| VI 4 Métrica del yacimiento | 150 |
| VI 5 Ingeniería básica | 150 |
| VI 5.1 Los objetivos y características principales | 150 |
| VI 5.2 Recopilación y análisis de la información estadística | 152 |
| VI 5.3 Diseño básico | 152 |
| VI 5.3.1 Curvas de presión de poro y gradiente de fractura | 153 |
| VI 6 Puntos de asentamiento de revestidores | 154 |
| VI 6.1 Diseño VCD | 154 |
| VI 6.1.1 Revestidor de superficie 9-5/8” | 156 |
| VI 6.1.2 Revestidor intermedio 7” | 156 |
| VI 6.1.3 Esquema de revestidores de la VCD | 156 |
| VI 6.2 Programa de perforación | 158 |

| | |
|---|-----|
| VI 6.2.1 Revestidor de superficie 9-5/8" | 158 |
| VI 6.2.1 Revestidor intermedio 7" | 158 |
| VI 6.3 Operaciones de campo | 160 |
| VI 6.3.1 Revestidor de superficie 9-5/8" | 160 |
| VI 6.3.2 Revestidor intermedio de 7" | 165 |
| VI 6.3.3 Comparaciones entre los revestidores programados y los reales | 167 |
| VI 6.3.3.1 Diseño de estallido y colapso para el revestidor de superficie | 167 |
| VI 6.3.3.2 Diseño de tensión para el revestidor de superficie | 168 |
| VI 6.3.3.3 Diseño del esfuerzo biaxial para el revestidor de superficie | 168 |
| VI 6.3.3.4 Diseño de colapso y estallido para el revestidor intermedio | 169 |
| VI 6.3.3.5 Diseño de tensión para el revestidor intermedio | 170 |
| VI 6.3.3.5 Diseño de esfuerzos biaxiales para el revestidor intermedio | 171 |
| VI 6.3.4 Diseño del "liner ranurado" 4 1/2" | 173 |
| VI 7 Diseño del ensamblaje de fondo | 175 |
| VI 7.1 Diseño VCD | 175 |
| VI 7.1.1 Hoyo de superficie 12 1/4" | 175 |
| VI 7.1.2 Hoyo intermedio 8 1/2" | 176 |
| VI 7.2 Programa de perforación | 176 |
| VI 7.2.1 Hoyo de superficie 12 1/4" | 176 |
| VI 7.2.2 Hoyo intermedio 8 1/2" y original 6-1/8" | 177 |
| VI 7.3 Operaciones de Campo | 178 |
| VI 7.3.1 Hoyo de superficie 12 1/4" | 178 |
| VI 7.3.2 Hoyo intermedio 8 1/2" | 179 |
| VI 7.3.3 Hoyo original 6-1/8", ampliado a 13" | 180 |
| VI 8 Diseño de mechas | 180 |
| VI 8.1 Diseño VCD | 180 |
| VI 8.2 Programa de perforación | 180 |
| VI 8.2.1 Hoyo de superficie 12 1/4" | 181 |
| VI 8.2.2 Hoyo intermedio de 8 1/2" | 182 |
| VI 8.2.3 Hoyo original 6-1/8" | 182 |
| VI 8.2.4 Hoyo ampliado a 16" | 182 |
| VI 8.3 Operaciones de campo | 183 |
| VI 8.3.1 Hoyo de superficie 12 1/4" | 183 |
| VI 8.3.2 Hoyo intermedio 8 1/2" | 184 |
| VI 8.3.3 Hoyo original 6-1/8" | 189 |
| VI 8.3.4 Hoyo ampliado a 13" | 190 |
| VI 9 Programa de lodo de perforación | 195 |
| VI 9.1 Diseño VCD | 195 |
| VI 9.1.1 Hoyo de superficie 12 1/4" | 196 |
| VI 9.1.2 Hoyo intermedio 8 1/2" | 197 |
| VI 9.2 Programa de perforación | 197 |
| VI 9.2.1 Hoyo de superficie 12 1/4" | 197 |
| VI 9.2.1.1 Tipo de lodo | 198 |
| VI 9.2.1.2 Propiedades | 198 |

| | |
|--|-----|
| VI 9.2.1.3 Recomendaciones | 198 |
| VI 9.2.3 Hoyo intermedio 8 ½” | 199 |
| VI 9.2.3.1 Tipo de lodo | 199 |
| VI 9.2.3.2 Propiedades | 199 |
| VI 9.2.3.3 Recomendaciones | 200 |
| VI 9.2.3 Hoyo original 9-5/8”, ampliado 16” | 200 |
| VI 9.2.3.1 Tipo de lodo | 201 |
| VI 9.2.3.2 Propiedades | 201 |
| VI 9.3 Operaciones de campo | 201 |
| VI 9.3.1 Hoyo de superficie 12 ¼” | 201 |
| VI 9.3.2 Hoyo intermedio 8 ½” | 203 |
| VI 9.3.3 Hoyo original 6-1/8”, ampliado 13” | 208 |
| VI 10 Programa de cementación | 210 |
| VI 10.1 Diseño VCD | 210 |
| VI 10.1.1 Hoyo de superficie 12 ¼” | 210 |
| VI 10.1.1.1 Lechada de llenado convencional | 210 |
| VI 10.1.1.2 Lechada de cola | 211 |
| VI 10.1.1.3 Lodo de desplazamiento | 211 |
| VI 10.1.2 Hoyo intermedio 8 ½” | 211 |
| VI 10.1.2.1 Lechada de llenado convencional | 212 |
| VI 10.1.2.2 Lechada de cola | 212 |
| VI 10.1.2.3 Lodo de desplazamiento | 213 |
| VI 10.1.2.4 Espaciadores | 213 |
| VI 10.2 Programa de perforación | 213 |
| VI 10.2.1 Hoyo de superficie 12 ¼” | 213 |
| VI 10.2.1.1 Lechada de llenado convencional | 213 |
| VI 10.2.1.2 Lechada de cola | 215 |
| VI 10.2.1.3 Espaciadores | 217 |
| VI 10.2.1.4 Tasas de bombeo | 217 |
| VI 10.2.1 Hoyo intermedio 8 ½” | 218 |
| VI 10.2.1.1 Lechada de llenado convencional | 218 |
| VI 10.2.1.2 Lechada de cola | 220 |
| VI 10.2.1.3 Espaciadores | 222 |
| VI 10.2.1.4 Tasas de bombeo | 222 |
| VI 10.3 Operaciones de campo | 223 |
| VI 10.3.1 Hoyo de superficie 12 ¼” | 223 |
| VI 10.3.2 Hoyo intermedio 8 ½” | 224 |
| VI 11 Torque y arrastre de sartas | 227 |
| VI 11.1 Diseño VCD | 227 |
| VI 11.1.2 Perforación del hoyo intermedio 7” | 228 |
| VI 11.1.3 Corrida del revestidor intermedio 7” | 229 |
| VI 11.2 Programa de perforación | 229 |
| VI 11.3 Operaciones de campo | 229 |
| VI 12 Hidráulica de sartas | 229 |

| | |
|--|-----|
| VI 12.1 Diseño VCD | 229 |
| VI 12.2 Programa de perforación | 230 |
| VI 12.3 Operaciones de campo | 231 |
| VI 12.3.1 Hoyo de superficie 12 ¼" | 231 |
| VI 12.3.2 Hoyo intermedio 8 ½" | 231 |
| VI 12.3.3 Hoyo original 6-1/8", ampliado 13" | 231 |
| VI 13 Cementación de revestidores | 232 |
| VI 13.1 Diseño VCD | 232 |
| VI 13.2 Programa de perforación | 232 |
| VI 13.3 Operaciones de campo | 232 |
| VI 14 Programa de captura de información | 232 |
| VI 14.1 Diseño VCD | 232 |
| VI 14.1.1 Programa de registros eléctricos | 233 |
| VI 14.1.2 Toma de núcleos | 233 |
| VI 14.1.3 Muestras para análisis PVT | 234 |
| VI 14.1.4 Muestras de pared y presión | 234 |
| VI 14.1.5 Toma de muestras de canal | 235 |
| VI 14.1.6 Multishot | 235 |
| VI 14.2 Programa de perforación | 235 |
| VI 14.2.1 Programa de registros eléctricos | 235 |
| VI 14.2.2 Toma de núcleos | 236 |
| VI 14.2.3 Muestras para análisis PVT | 237 |
| VI 14.2.4 Muestras de pared y presión | 237 |
| VI 14.2.5 Toma de muestras de canal | 237 |
| VI 14.2.6 Multishot | 237 |
| VI 14.3 Operaciones de campo | 237 |
| VI 14.3.1 Programa de registros eléctricos | 238 |
| VI 14.3.1.1 Hoyo intermedio 8 ½" | 238 |
| VI 14.3.1.2 Hoyo original 6-1/8" | 238 |
| VI 14.3.2 Toma de núcleos | 240 |
| VI 14.3.2.1 Núcleo N° 1 | 242 |
| VI 14.3.2.2 Núcleo N° 2 | 242 |
| VI 14.3.2.3 Núcleo N° 3 | 243 |
| VI 14.3.2.4 Núcleo N° 4 | 244 |
| VI 14.3.3 Muestras para análisis PVT | 245 |
| VI 14.3.4 Muestras de presión | 246 |
| VI 14.3.4.1 Hoyo intermedio 8 ½" | 246 |
| VI 14.3.4.2 Hoyo original 6 1/8" | 246 |
| VI 14.3.5 Toma de muestras de canal | 246 |
| VI 14.3.5.1 Composición general de la litología observada | 248 |
| VI 14.3.6 Multishot | 251 |
| VI 15 Diseño de completación | 252 |
| VI 15.1 Diseño VCD | 255 |
| VI 15.1.1 Parámetros de diseño para la tubería de 2-7/8" 6,5 lb/pie J-55 EUE | 255 |

| | |
|---|-----|
| VI 15.1.1.1 Cuerpo del tubo | 256 |
| VI 15.1.1.2 Conexión | 256 |
| VI 15.1.2 Listado de equipos de completación (vertical) | 256 |
| VI 15.1.2.1 Revestidor de producción | 257 |
| VI 15.1.2.2 Equipo de levantamiento | 257 |
| VI 15.2 Programa de perforación | 258 |
| VI 15.2.1 Sistema insertable BCP para tubería de 3 ½” | 259 |
| VI 15.2.2 Sistema insertable BCP para tubería de 4 ½” | 260 |
| VI 15.2.3 Resultado de las simulaciones | 260 |
| VI 15.3 Operaciones de campo | 261 |
| VI 16 Identificación de equipos y herramientas | 266 |
| VI 16.1 Diseño VCD | 266 |
| VI 16.2 Programa de perforación | 266 |
| VI 16.3 Operaciones de campo | 266 |
| VI 16.3.1 Mudanza | 270 |
| VI 17 Opciones tecnológicas | 272 |
| VI 17.1 Diseño VCD | 272 |
| VI 17.2 Programa de perforación | 272 |
| VI 17.3 Operaciones de campo | 272 |
| VI 18 Estimación de productividad | 272 |
| VI 18.1 Diseño VCD | 272 |
| VI 18.2 Programa de perforación | 273 |
| VI 18.3 Operaciones de campo | 273 |
| VI 19 Estimado de tiempo y costo Clase II | 273 |
| VI 19.1 Diseño VCD | 273 |
| VI 19.2 Programa de perforación | 273 |
| VI 19.3 Operaciones de campo | 275 |
| VI 20 Métrica del pozo | 279 |
| VI 20.1 Fase I Recopilación de información | 279 |
| VI 20.2 Fase II Modelo estático | 280 |
| VI 20.2.1 Modelo geofísico | 280 |
| VI 20.2.2 Modelo estructural | 281 |
| VI 20.2.3 Modelo estratigráfico / sedimentológico | 281 |
| VI 20.2.4 Modelo petrofísico | 281 |
| VI 20.2.5 Geoestadística | 281 |
| VI 20.2.6 Modelo geomecánico | 282 |
| VI 20.2.7 Modelo integrado roca-fluido pozo vecino | 282 |
| VI 20.3 Fase III Modelo dinámico | 283 |
| VI 20.3.1 Modelo económico y riesgo | 283 |
| VI 20.4 Fase IV Plan de explotación | 284 |
| VI 20.4.1 Sistema de producción | 284 |
| VI 20.4.2 Opciones de explotación | 284 |
| VI 20.4.3 Análisis de operación y mantenimiento | 285 |
| VI 20.4.4. Ingeniería básica de construcción de pozos | 285 |

| | |
|--|------------|
| VI 20.4.4.1 Mundanza | 285 |
| VI 20.4.4.2 Hoyo de superficie | 285 |
| VI 20.4.4.3 Hoyo intermedio | 286 |
| VI 20.4.4.4 Hoyo de producción | 286 |
| VI 20.4.4.5 Completación | 286 |
| VI 20.4.4.6 Infraestructura y administrativos | 287 |
| VI 20.4.5 Ingeniería básica de mantenimiento de pozos | 287 |
| VI 20.4.5.1 Mudanza | 287 |
| VI 20.4.5.2 Desinstalación | 287 |
| VI 20.4.5.3 Habilitar | 287 |
| VI 20.4.5.4 Instalación | 288 |
| VI 20.4.5.5 Infraestructura y administrativos | 288 |
| VI 21 Análisis de riesgos | 288 |
| VI 21.1 Diseño VCD | 288 |
| VI 21.2 Programa de perforación | 289 |
| VI 21.3 Operaciones de campo | 289 |
| VI 22 Análisis de factibilidad económica | 289 |
| VI 22.1 Diseño VCD | 290 |
| VI 22.2 Programa de perforación | 290 |
| VI 22.3 Operaciones de campo | 290 |
| VI 23 Estimación de base de conocimientos | 293 |
| VI 23.1 Diseño VCD | 293 |
| VI 23.2 Programa de perforación | 294 |
| VI 23.3 Operaciones de campo | 294 |
| VI 24 Análisis general de operación y mantenimiento | 294 |
| VI 24.1 Diseño VCD | 294 |
| VI 24.2 Programa de perforación | 294 |
| VI 24.3 Operaciones de campo | 294 |
| VI 25 Esquema preliminar de modelo de negocio y contratación | 295 |
| VI 25.1 Diseño VCD | 295 |
| VI 25.2 Programa de perforación | 295 |
| VI 25.3 Operaciones de campo | 295 |
| VI 26 Revisión y diseño de la localización | 295 |
| VI 26.1 Diseño VCD | 295 |
| VI 26.2 Programa de perforación | 296 |
| VI 26.3 Operaciones de campo | 296 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS | 298 |
| CONCLUSIONES | 305 |
| RECOMENDACIONES | 308 |

| | |
|---|------------|
| BIBLIOGRAFÍA | 311 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS | 314 |
| ANEXO A (Procedimiento operacional para la corrida y corte de guaya) | 320 |
| ANEXO B (Revestidores) | 322 |
| ANEXO C (Procedimiento operacional para el empaque con grava) | 340 |
| ANEXO D (Procedimiento operacional para la toma de núcleos) | 343 |
| ANEXO E (Procedimiento operacional para realizar las conexiones del top drive) | 346 |
| APÉNDICE A (Pipe Tally de los revestidores del pozo ES-451) | 348 |
| APÉNDICE B (Especificaciones técnicas de los ensamblajes utilizados en el pozo ES-451) | 353 |
| APÉNDICE C (Reporte de las mechas utilizadas en el pozo ES-451) | 359 |
| APÉNDICE D (Reportes tipos del fluido de perforación y control de sólidos del pozo ES-451) | 361 |
| APÉNDICE E (Cementación de revestidores del pozo ES-451) | 365 |
| APÉNDICE F (Diagrama del empaque con grava a hoyo entubado para el pozo ES-451, diseñado por la VCD) | 368 |
| APÉNDICE G (Especificaciones técnicas del taladro Corpoven-10) | 370 |
| APÉNDICE H (Registro geológico del pozo ES-451) | 382 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Figura I 1 “Stakeholders” de un Proyecto | 3 |
| Figura I 2 “Stakeholders” de un Proyecto | 6 |
| Figura I 3 Tipos de Estimados de Costos | 8 |
| Figura I 4 Ciclo de Vida de un Proyecto. | 11 |
| Figura II 1 Implantación del Modelo VCD. Interacción Planificación, UEY y la mesa de trabajo | 16 |
| Figura II 2 Gráfico de Influencia y Oportunidad de Reducción de Costos en Proyectos | 19 |
| Figura II 3 Organización por proyectos y Comunidades de Conocimiento | 20 |
| Figura II 4 Programa de Perforación (proceso y contenido) | 21 |
| Figura II 5 Éxito Volumétrico de Perforación | 24 |
| Figura. III 1 Columna geológica de las cuencas sedimentarias del Lago de Maracaibo, Barinas-Apure y Oriente | 27 |
| Figura III 2 Componentes del equipo de perforación a percusión. | 28 |
| Figura III 3 Partes de un Taladro de Perforación | 30 |
| Figura III 4 Motores componentes de una planta de fuerza. | 31 |
| Figura III 5 Ejemplo de un tipo de malacate de perforación y su carrito | 33 |
| Figura III 6 Configuración y disposición de los elementos del cable de Perforación | 34 |
| Figura III 7 Cabria de Perforación | 35 |
| Figura III 8 Ancla, Garrapata y Medidor de Tensión | 36 |
| Figura III 9 Carrete de Almacenamiento | 36 |
| Figura III 10 Gancho, Bloque Viajero y Brazo de los Elevadores | 37 |
| Figura III 11. Cuñas | 38 |
| Figura III 12. Mesa Rotatoria | 38 |
| Figura III 13. Top Drive | 40 |
| Figura III 14 Barrena de conos y Barrena tipo Policristalina | 42 |
| Figura. III 15 Formato IADC para la Selección de la Mecha | 43 |
| Figura. III 16 Formato IADC para la Evaluación de Mechas | 44 |
| Figura. III 17 Caja o Tool Joint | 45 |
| Figura. III 18 Pin o Rosca | 46 |
| Figura. III 19 Heavy Weigth | 46 |

| | |
|--|----|
| Figura. III 20 Tubería de Perforación | 46 |
| Figura. III 21 Embudo de Mezclado | 57 |
| Figura. III 22 Tanque de Reserva | 57 |
| Figura. III 23 Tubería Vertical o Paral | 58 |
| Figura. III 24 Manguera Rotatoria o de Lodo | 59 |
| Figura. III 25 Bombas de Lodo Triplex y Amortiguador | 60 |
| Figura. III 26 Válvulas de las Bombas de Lodo | 60 |
| Figura. III 27 Tanque de lodo y removedores | 61 |
| Figura. III 28 Separador de Gas | 61 |
| Figura. III 29 “Many Fold” o estrangulador | 62 |
| Figura. III 30 Tanque de Gas | 62 |
| Figura. III 31 Zaranda | 62 |
| Figura. III 32 Desagasificador | 62 |
| Figura. III 33 Desarenador | 63 |
| Figura. III 34 Separador de Sólidos | 63 |
| Figura. III 35 Válvulas Impide Reventones | 64 |
| Figura. III 36 Acumulador | 65 |
| Figura. III 37. Modalidad de terminación sencilla básica, pozo vertical. | 69 |
| Figura. III 38. Terminación sencilla de opción múltiple selectiva | 69 |
| Figura. III 39. Terminación sencilla y empaque con grava a hoyo desnudo. | 70 |
| Figura III 40 Bomba de Cavidad Progresiva (BCP) | 71 |
| Figura. III 41 Estator y Rotor | 73 |
| Figura. III 42 Incendio de una Cabria | 77 |
| Figura. III 43 Movimiento de los granos de arena causado por esfuerzos Desestabilizadores | 80 |
| Figura III 44 Liners Ranurado | 83 |
| Figura III 45 Esquema de un empaque con grava | 86 |
| Figura III 46 Sacos de Grava | 86 |
| Figura III 47 Partes del Toma Núcleos | 90 |
| Figura III 48 Carrete de Guaya Eléctrica | 91 |
| Figura III 49 Computadoras de Registros Eléctricos | 91 |
| Figura III 50 Ensamblaje de la Herramienta de Registro Eléctrico | 91 |
| Figura III 51 HDIL | 92 |
| Figura III 52 ZDL | 94 |
| Figura III 53 CN | 95 |
| Figura III 54 SL | 96 |

| | |
|--|-----|
| Figura III 55 MRIL | 97 |
| Figura III 56 RFT | 99 |
| Figura III 57 Vehículos Generadores de Ondas Artificiales | 101 |
| Figura III 58 VSP | 102 |
| Figura III 59 Tipos de Revestidores | 105 |
| Figura III 60. Esfuerzo vs. Deformación | 107 |
| Figura III 61. Identificación de la Tubería | 109 |
| Figura III 62 Secuencia usuales de diámetros de los revestidores y hoyos | 111 |
| Figura III 63 Gradiente de Presión vs. Fractura | 112 |
| Figura III 64 Profundidad vs. Peso equivalente del lodo | 112 |
| Figura III 65 Determinación de la Profundidad de Asentamiento | 113 |
| Figura III 66 Representación de la Dirección de las Fuerzas de Colapso | 115 |
| Figura III 67 Representación de la Dirección de las Fuerzas de Estallido | 116 |
| Figura III 68 Efecto de Tensión | 117 |
| Figura III 69 Esfuerzos simultáneos que actúan en las tuberías | 117 |
| Figura III 70 Efecto de la Temperatura | 119 |
| Figura III 71 Efecto del Abombamiento | 120 |
| Figura III 72 Efecto de Flexión | 120 |
| Figura V 1 Ubicación Geográfica del Área Mayor de Socororo | 135 |
| Figura V 2 Campos que Componen el Área Mayor de Socororo | 135 |
| Figura V 3 Ubicación Geográfica del Pozo ES-451 | 136 |
| Figura V 4 Pozos del Área Mayor de Socororo | 137 |
| Figura V 5 Distribución Porcentual de Pozos en el Area Mayor de Socororo | 137 |
| Figura V 6 Pozos del Inactivos del Área Mayor de Socororo | 137 |
| Figura V 7 Distribución Porcentual de Pozos Inactivos en el Area Mayor de Socororo | 138 |
| Figura V 8 Pozos Secos/Abandonas del Área Mayor de Socororo | 138 |
| Figura V 9 Distribución Porcentual de Pozos Secos/Abandonados del Area Mayor de Socororo | 138 |
| Figura V 10 Pozos Activos del Área Mayor de Socororo | 139 |
| Figura V 11 Distribución Porcentual de Pozos Activos en el Area Mayor de Socororo | 139 |
| Figura V 12 Geología del Área Mayor de Socororo | 146 |
| Figura VI 1 Curvas de Presión de Poros y Gradientes de Fractura | 153 |
| Figura VI 2 Esquema de Revestidores | 155 |
| Figura VI 3 Diseño de Revestidores | 157 |

| | |
|--|-----|
| Figura VI 4 Diseño Final de Revestidores y Liner Ranurado | 159 |
| Figura VI 5 Traslado de Revestidores | 161 |
| Figura VI 6 Patio de Revestidores | 161 |
| Figura VI 7 Conejo | 161 |
| Figura VI 8 Guarda Rosca | 161 |
| Figura VI 9 Ventana del DIMS para “Pype Tally” de Revestidores | 163 |
| Figura VI 10 Centralizadores Flexibles | 165 |
| Figura VI 11 Esquema del Revestidor superficial 9 5/8” | 165 |
| Figura VI 12 Esquema del Revestidor Intermedio 7” | 166 |
| Figura VI 13 Estallido y Colapso para 9-5/8” | 167 |
| Figura VI 14 Tensión para Revestidor 9-5/8” | 168 |
| Figura VI 15 Colapso y Estallido recalculados por los Esfuerzos Biaxiales para Revestidor 9-5/8” | 169 |
| Figura VI 16 Colapso y Estallido para Revestidor 7” | 170 |
| Figura VI 17 Tensión para Revestidor 7” | 171 |
| Figura VI 18 Esfuerzo Biaxiales para Revestidor 7” | 171 |
| Figura VI 19 Colapso y Estallido recalculados por los Esfuerzos Biaxiales para Revestidor 7” | 172 |
| Figura VI 20 Punta de Lápiz | 174 |
| Figura VI 21 Empacadura “Graver Pack-TIET” | 174 |
| Figura VI 22 Diseño del Liner Ranurado | 175 |
| Figura VI 23 Profundidad Acumulado & Costo por Pie | 188 |
| Figura VI 24 Tiempo Acumulado & Costo por Pie | 189 |
| Figura VI 25 Ampliador Sencillo de Cuchillas | 191 |
| Figura VI 26 Guía Partida | 191 |
| Figura VI 27 Cuchilla Partida | 191 |
| Figura VI 28 Ampliador Doble de Cuchillas | 192 |
| Figura VI 29 Fresadora | 193 |
| Figura VI 30 Ampliador de Conos Convencional | 194 |
| Figura VI 31 Esquema del Hoyo Ampliado a 13” | 195 |
| Figura VI 32 Zona de tanques de lodos del CPV-10 | 202 |
| Figura VI 33 Sistema de Control de Sólidos del CPV-10 | 202 |
| Figura VI 34 Muestras de Canal del Pozo ES-451 | 203 |
| Figura VI 35 Diseño de la cementación para el Hoyo de Superficie | 224 |
| Figura VI 36 Diseño de la cementación para el Hoyo Intermedio | 227 |
| Figura VI 37 Diseño de Torque y Arrastre para el Hoyo Intermedio | 228 |

| | |
|--|-----|
| Figura VI 38 Corrida del Revestidor Intermedio | 229 |
| Figura VI 39 Corrida de Hidráulica del Hoyo Intermedio | 230 |
| Figura VI 40 Registro MRIL entre 3600' y 3700', Arena N-1-2 | 239 |
| Figura VI 41 Registro MRIL entre 3750' y 3780' | 240 |
| Figura VI 42 Corrida del CN en el hoyo de 6-1/8" | 241 |
| Figura VI 43 Tamiz y Toma Muestra | 249 |
| Figura VI 44 Horno para Secar las Muestras | 250 |
| Figura VI 45 Vista de Planta de la Trayectoria del Pozo ES-451 | 255 |
| Figura VI 46 Vista de Perfil de la Trayectoria del Pozo ES-451 | 255 |
| Figura VI 47 Diseño de completación de la VCD | 257 |
| Figura VI 48 Anclaje Mecánico Bomba 14.35-500IM | 259 |
| Figura VI 49 Cabezal de Producción del Pozo ES-451 | 261 |
| Figura VI 50 Estrangulador y Líneas de Presión | 264 |
| Figura VI 51 Vehículo de Empaque con Grava | 264 |
| Figura VI 52 Grava Reversada por la zaranda | 265 |
| Figura VI 53 Línea de Prueba del Anular | 265 |
| Figura VI 54 Cabria Corpoven – 10 | 266 |
| Figura VI 55 Caja de enrosque/desenrosque | 268 |
| Figura VI 56 Bomba del Top Drive | 268 |
| Figura VI 57 Consola del Top Drive | 269 |
| Figura VI 58 Medidas del Top Drive utilizado por el CPV-10 | 270 |
| Figura VI 59 Mudanza de Bomba de Lodos | 271 |
| Figura VI 60 Mudanza del Top Drive | 271 |
| Figura VI 61 Mudanza de la Cabria CPV-10 | 271 |
| Figura VI 62 Antena de Telecomunicaciones del Taladro Corpoven-10 | 272 |
| Figura VI 63 Tiempo Programado para el Pozo ES-451 | 274 |
| Figura VI 64 Tiempo Real del Pozo ES-451 | 275 |
| Figura VI 65 Comparación del Tiempo Real y el Programado del Pozo ES-451 | 276 |
| Figura VI 66 Relación entre VPN y Costo del Crudo para las distintas Tasas de Producción | 292 |
| Figura VI 67 Relación entre % TIR Y EL Precio del Crudo para las distintas Tasas de Producción | 293 |
| Figura VI 68 Diagrama del Pozo ES-451 | 296 |
| Figura VI 69 “Land Farmer” del Pozo ES-451 | 297 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla II 1 Evolución en la gerencia de proyectos de perforación y rehabilitación de pozos | 15 |
| Tabla II 2 Fases del proceso VCD | 21 |
| Tabla III 1 Potencia de izaje por profundidad | 32 |
| Tabla III 2 Especificaciones técnicas de los toma núcleos | 90 |
| Tabla III 3 Especificaciones del HDIL | 92 |
| Tabla III 4 Especificaciones técnicas del ZDL | 93 |
| Tabla III 5 Especificaciones técnicas del CN | 95 |
| Tabla III 6 Especificaciones técnicas del SL | 96 |
| Tabla III 7 Especificaciones técnicas del MRIL | 97 |
| Tabla III 8 Especificaciones técnicas del RFT | 98 |
| Tabla III 9 Especificaciones técnicas del GR | 99 |
| Tabla III 10 Especificaciones técnicas del MAC | 100 |
| Tabla III 11 Especificaciones técnicas del VSP | 101 |
| Tabla III 12 Especificaciones técnicas del Multishot | 103 |
| Tabla III 13 Especificaciones de los requerimientos mecánicos exigidos a los tubulares normalizados por la API | 107 |
| Tabla III 14 Casos de carga de los revestidores | 114 |
| Tabla V 1 Distribución de reservas | 139 |
| Tabla V 2 Formaciones del Área Mayor de Socororo | 142 |
| Tabla VI 1 Topes formacionales estimados | 151 |
| Tabla VI 2 Esquema de revestidores | 155 |
| Tabla VI 3 Valores mínimos de los factores de diseño, según PDVSA, para revestidores y tubería de producción. | 155 |
| Tabla VI 4 Diseño de revestidores | 157 |
| Tabla VI 5 Propiedades revestidor de superficie 9-5/8" | 158 |
| Tabla VI 6 Propiedades revestidor intermedio 7" | 159 |
| Tabla VI 7 Parámetros iniciales de perforación | 160 |
| Tabla VI 8 Torque óptimo para revestidores | 160 |
| Tabla VI 9 Distribución de las juntas revestidor 9-5/8" | 163 |
| Tabla VI 10 Distribución de las juntas para el revestidor 7" | 166 |
| Tabla VI 11 Tubulares recomendados y utilizados en 9-5/8" | 169 |
| Tabla VI 12 Tubulares compatibles para colapso y estallido | 170 |
| Tabla VI 13 Tubulares recomendados y utilizados en 7" | 172 |
| Tabla VI 14 Distribución de las juntas | 176 |
| Tabla VI 15 Distribución de las juntas | 176 |
| Tabla VI 16 Sarta diseñada para el hoyo de 12 ¼" | 177 |
| Tabla VI 17 Sarta diseñada para el hoyo de 8 ½" | 178 |
| Tabla VI 18 Sarta utilizada para el hoyo de 12 ¼" | 178 |

| | |
|--|-----|
| Tabla VI 19 Ensamblaje utilizado en el hoyo de 8 ½” | 179 |
| Tabla VI 20 Ensamblaje utilizado en el hoyo de 6-1/8” | 180 |
| Tabla VI 21 Características de la mecha 12 ¼” | 181 |
| Tabla VI 22 Características de las bombas | 181 |
| Tabla VI 23 Características de la mecha 8 ½” | 182 |
| Tabla VI 24 Revisión IADC, para la mecha 12 ¼” | 183 |
| Tabla VI 25 Parámetros de perforación desde 1210’ – 3777’ | 184 |
| Tabla VI 26 Primera revisión IADC, para la mecha 8 ½” | 185 |
| Tabla VI 27 Parámetros de perforación desde 3895’ – 4340’ | 185 |
| Tabla VI 28 Segunda revisión IADC, para la mecha 8 ½” | 185 |
| Tabla VI 29 Presupuesto de los equipos básicos para la construcción del Pozo ES-451 para 20 días. | 186 |
| Tabla VI 30 Tiempos de viaje promedios | 187 |
| Tabla VI 31 Costo por pie para la primera corrida de la mecha MX-C1 | 188 |
| Tabla VI 32 Parámetros de perforación desde 4340’ – 4400 | 190 |
| Tabla VI 33 Revisión IADC, para la mecha 6 1/8” | 190 |
| Tabla VI 34 Parámetros de perforación desde 4437’ – 4345’ | 191 |
| Tabla VI 35 Parámetros de perforación desde 4437’ – 4368’ | 192 |
| Tabla VI 36 Parámetros de perforación desde 4368’ – 4385’ | 193 |
| Tabla VI 37 Parámetros de perforación desde 4396’ – 4400’ | 194 |
| Tabla VI 38 Parámetros de perforación desde 4418’ – 4439’ | 195 |
| Tabla VI 39 Propiedades para el hoyo de 12 ¼” | 196 |
| Tabla VI 40 Propiedades para el hoyo de 8 ½” | 197 |
| Tabla VI 41 Componentes del lodo para el hoyo de 12 ¼” | 198 |
| Tabla VI 42 Propiedades para el hoyo de 12 ¼” | 198 |
| Tabla VI 43 Propiedades para el hoyo de 8 ½” | 199 |
| Tabla VI 44 Propiedades para el hoyo de 16” | 201 |
| Tabla VI 45 Propiedades del fluido de perforación entre los 1202’ y 3777’ | 204 |
| Tabla VI 46 Cantidad y productos utilizados en el hoyo 8 1/2” | 207 |
| Tabla VI 47 Propiedades promedias utilizadas en los hoyos 6-1/8” y 13” | 208 |
| Tabla VI 48 Cantidad y productos utilizados en el hoyo 8 1/2” | 209 |
| Tabla VI 49 Propiedades para la lechada convencional | 210 |
| Tabla VI 50 Propiedades para la lechada de cola | 211 |
| Tabla VI 51 Propiedades para el lodo de desplazamiento | 211 |
| Tabla VI 52 Propiedades para la lechada convencional | 212 |
| Tabla VI 53 Propiedades para la lechada de cola | 213 |
| Tabla VI 54 Propiedades para la lechada de desplazamiento | 213 |
| Tabla VI 55 Parámetros para la lechada de relleno del hoyo de superficie | 215 |
| Tabla VI 56 Parámetros para la lechada de cola del hoyo de superficie | 215 |
| Tabla VI 57 Parámetros para desplazar los tapones de cementación | 217 |
| Tabla VI 58 Parámetros para la lechada de relleno del hoyo intermedio | 219 |
| Tabla VI 59 Parámetros para la lechada de cola del hoyo intermedio | 220 |
| Tabla VI 60 Parámetros para desplazar los tapones de cementación | 222 |
| Tabla VI 61 Parámetros para el cálculo de los espaciadores | 225 |

| | |
|---|-----|
| Tabla VI 62 Hidráulica del hoyo de superficie | 230 |
| Tabla VI 63 Hidráulica del hoyo intermedio | 231 |
| Tabla VI 64 Hidráulica del hoyo original 6 1/8" y ampliado a 16" | 231 |
| Tabla VI 65 Registros programados para el pozo ES-451 | 233 |
| Tabla VI 66 Intervalos planificados para la toma de núcleos | 234 |
| Tabla VI 67 Profundidad y arena de las muestras PVT | 234 |
| Tabla VI 68 Profundidades programadas para la muestras de RFT | 235 |
| Tabla VI 69 Registros programados para el pozo ES-451 | 236 |
| Tabla VI 70 Intervalos planificados para la toma de núcleos | 237 |
| Tabla VI 71 Registros realizados para el pozo ES-451, hoyo 8 1/2" | 238 |
| Tabla VI 72 Registros realizados para el pozo ES-451, hoyo 6-1/8" | 241 |
| Tabla VI 73 Parámetros para la toma del núcleo N° 1 | 242 |
| Tabla VI 74 Revisión IADC, para la corona | 243 |
| Tabla VI 75 Resultado de la toma del núcleo N° 1 | 243 |
| Tabla VI 76 Parámetros para la toma del núcleo N° 2 | 243 |
| Tabla VI 77 Revisión IADC, para la corona | 244 |
| Tabla VI 78 Resultado de la toma del núcleo N° 2 | 244 |
| Tabla VI 79 Parámetros para la toma del núcleo N° 3 | 244 |
| Tabla VI 80 Revisión IADC, para la corona | 245 |
| Tabla VI 81 Resultado de la toma del núcleo N°3 | 245 |
| Tabla VI 82 Parámetros para la toma del núcleo N° 4 | 245 |
| Tabla VI 83 Revisión IADC, para la corona | 246 |
| Tabla VI 84 Resultado de la toma del núcleo N° 4 | 246 |
| Tabla VI 85 Presiones registradas por el RFT para el hoyo de 8- 1/2" | 247 |
| Tabla VI 86 Presiones registradas por el RFT para el hoyo de 6-1/8" | 248 |
| Tabla VI 87 Mediciones registradas en el pozo ES-451 | 253 |
| Tabla VI 88 Especificaciones técnicas de la tubería de producción | 261 |
| Tabla VI 89 Parámetros para el cálculo del volumen de la grava | 262 |
| Tabla VI 90 Juntas utilizadas para el empaque con grava | 263 |
| Tabla VI 91 Especificaciones técnicas del top drive | 269 |
| Tabla VI 92 Resumen de costos y tiempos | 273 |
| Tabla VI 93 Costos programados | 274 |
| Tabla VI 94 Costos reales | 276 |
| Tabla VI 95 Resumen de evaluación económica | 289 |
| Tabla VI 96 Parámetros teóricos para realizarla factibilidad económica del pozo-451 | 290 |
| Tabla VI 97 Resultados del cotejo de factibilidad económica | 291 |
| Tabla VI 98 Experiencia mínima del personal | 294 |

INTRODUCCIÓN

El Área Mayor de Socororo es un bloque irregular de 270 km² de superficie aproximadamente, que está conformada por los campos Socororo, Caricari y Cachicamo. Ubicada geográficamente al oeste del estado Anzoátegui, cercano a la población de Pariaguán, Municipio Miranda, Distrito San Tomé y geológicamente en el flanco suroeste de la Cuenca Oriental de Venezuela.

La profundidad promedio de los pozos es 3.850' y la °API del petróleo explotado se encuentra alrededor de dieciséis grados (16°). El Petróleo Original En Sitio (POES) se estima en 451 millones de barriles fiscales. La geología de los yacimientos de la zona, se caracterizan por ser lenticulares, de poco espesor, estimándose que el área posea 103 yacimientos de crudo, y 77 de gas. La estructura del Área Mayor de Socororo está definida mediante dos sistemas de fallas predominantes más o menos perpendiculares entre sí.

Desde el momento de su descubrimiento, y hasta la fecha, se han perforado 94 pozos, de los cuales 58 fueron productores, 35 resultaron no productores y 1 se encuentra esperando a ser estimulado. Hasta el presente se ha obtenido una producción acumulada que supera los 10 millones de barriles de petróleo, representando un recobro del 2,21% del POES. La mayoría de los yacimientos se encuentran cercanos a sus condiciones iniciales, y los mecanismos de producción más influyentes han sido la expansión del gas liberado y el empuje por avance del acuífero.

El pozo ES -451, localización EPJ, parcela ANZO – 8 - 1616, coordenadas N -969.919,99 y E -325.200,02 se encuentra ubicado en el Campo Socororo, y es quien dio inicio a la ejecución del convenio firmado entre La Universidad Central de Venezuela (UCV) y Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA), y el cual lleva por nombre PetroUCV.

Este pozo, es el pionero en la recuperación del Área Mayor de Socororo, de un total de 7 pozos a perforar, todos ellos verticales, programados para ser ejecutados en el lapso comprendido entre noviembre del dos mil dos (2002) y diciembre del dos mil tres (2003), además de la rehabilitación de 13 pozos que se encuentran inactivos por diversas causas; todos ellos localizados en el Campo Socororo.

El pozo ES-451 comenzó su proceso de construcción el dos (02) de noviembre del dos mil dos (2002) y concluyó su trabajo el cuatro (04) de diciembre del mismo año, con una duración de 31,5 días, el cual se le calificó como de Desarrollo (A-0), y estuvo ejecutado por el taladro Corpoven 10 (CPV-10), perteneciente a la estatal petrolera del país. En el mismo se tenía como objetivo primario perforar las arenas UIU,M, yacimiento SOC-3, y como objetivo secundario la P2, yacimiento SOC-1, estimando sus profundidades en 4369' y 3869' BMR respectivamente, mediante un pozo vertical.

Para la construcción de este pozo, se programó hacer toma de muestras de pared, toma de núcleos, toma de registros eléctricos, registro de desviación del pozo (multishot), ampliación en la última etapa, corrida de liners ranurados y empaque con grava, aparte de las operaciones que se realizan normalmente en una perforación, como lo son cementación, corridas de casing, sarta de perforación, hidráulica y mechas, tratamiento de ripios, preparación y tratamiento del fluido de perforación, cambió de válvulas impide reventones, cabezales, mantenimiento y reparación de equipos, mudanza, entre otros. Donde todos estos tópicos fueron ampliados con detalles en este trabajo.

Adicionalmente en este estudio, se realizó de manera exhaustiva y minuciosa, una comparación entre el diseño inicial generado por la VCD (Visualización, Conceptualización y Definición), el programa de perforación y las operaciones de campo, además de un análisis de tiempo entre el programado y el real, así como a los problemas que se presentaron al pozo mientras se le perforó, determinando sus causas, consecuencias y posibles soluciones a fin de evitar que reincidan en futuros pozos del convenio.

CAPITULO I PROYECTO

(MARCO TEÓRICO)



I Proyecto

Todo proyecto consiste en un conjunto ordenado de acciones que tienden a la realización de un determinado fin. Sea sencillo o complejo, todo proyecto tiene un inicio y un fin definidos en el tiempo, y se conciben como una secuencia de actividades tendientes a buscar, analizar y coordinar un conjunto de datos que justifiquen, según ciertos criterios su ejecución.

El orden en que las actividades de un proyecto debe ser ejecutadas, no es indiferente a las relaciones existentes entre las mismas y se designan con el nombre de precedencias y secuencias. Lo importante es que el proyecto representa una propuesta concreta de inversión, adecuadamente caracterizada en términos de sus componentes técnicos, económicos, financieros, organizaciones, institucionales y legales.

El proyecto se concibe como un proceso destinado a transformar una idea de un producto terminado, es decir, el proyecto se define por un objetivo a alcanzar en un cierto tiempo y con un presupuesto determinado. A pesar de la multiplicidad de las situaciones de que tratar productos o finalidades que persiguen, los proyectos presentan ciertas características comunes, tales como:

- Son finitos en el tiempo, esto es, el conjunto de actividades definidas para la obtención de una finalidad se sitúan entre el inicio y un fin especificados.
- Son esfuerzos singulares en el sentido de que las acciones que los definen no son ni repetitivas ni homogéneas.
- Son sistemas complejos, es decir, son entidades complejas compuestas por elementos físicos (materiales, máquinas, personas,...) y, abstractos (datos, informes, notas, procedimientos,...).
- Están estructurados, esto es, los elementos que integran un proyecto están relacionados entre sí, estructurados de manera que el sistema constituye una unidad diferente a la mera organización de las partes.

- Son entidades activas, en el sentido de que todo proyecto realiza una función o efectúa un proceso, o varias funciones o procesos independientes, que operan sobre ciertas entradas o insumos del proyecto, dando por resultado determinadas salidas o productos del mismo.
- Tiene una finalidad. Todo proyecto obedece a propósitos u objetivos definidos, que determinan la composición, estructuración y acción del sistema. Entre otras palabras, los proyectos se diseñan, construyen y operan con vista a objetivos bien especificados y, sus salidas o productos deben responder a los objetivos de aquellos.
- Tienen fronteras. Todo proyecto debe ser limitado para ser susceptible de análisis. Las fronteras del proyecto quedan definidas al especificarse componentes del mismo, ya sea enunciándoles explícitamente o dando características distintivas a los mismos.

En un proyecto están involucradas diversas partes "stakeholders" las cuales se muestran en la figura I 1

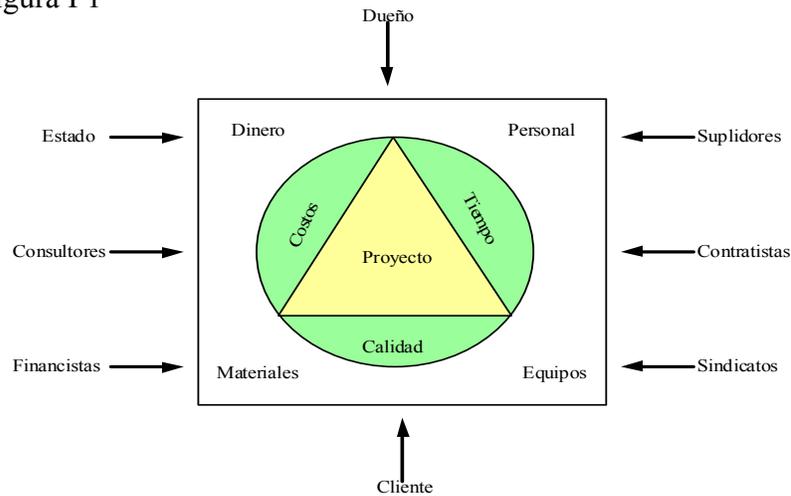


Figura I 1 "Stakeholders" de un Proyecto

I 1 Alcance de un proyecto:

Depende de identificar y asegurar la inclusión de todo el trabajo requerido para completar exitosamente el proyecto.

Para definir el alcance de un proyecto es necesario conocer:

- Objetivo del proyecto

- ❑ Justificación del proyecto
- ❑ Descripción de productos principales.
- ❑ Lista de sub-productos a ser entregados.
- ❑ Restricciones, preferencias del cliente
- ❑ Suposiciones
- ❑ Información histórica

I 2 Planificación de un proyecto:

La planificación, es el proceso de análisis para estructurar el proyecto, partiendo de un objeto único acompañado de todas las actividades que se requieren ordenadas lógicamente, indicando todos los productos solicitados y asignando los responsables en función de estrategias de ejecución acordadas, con el fin de completar el proyecto en tiempo, costo y calidad.

La planificación de proyecto, es el medio más importante para:

- ❑ Organizar y decidir el trabajo.
- ❑ Asignar y definir responsabilidades.
- ❑ Integrar los trabajos de las organizaciones involucradas en el proyecto..
- ❑ Establecer sistemas eficientes de comunicación.
- ❑ Estimar tiempos de iniciación y terminación.
- ❑ Manejar sucesos y cambios inesperados.
- ❑ Proporcionar bases para la delegación de actividades.
- ❑ Proporcionar las bases para el control presupuestario y financiero.
- ❑ Establecer bases para el auto análisis y el aprendizaje.

Finalmente, y ante todo, una planificación efectiva ayuda a completar el proyecto en menos tiempo a menor costo que cualquier otro caso.

I 3 Ventaja de la planificación.

- ❑ Promueve la acción consistente, integrada y definida.
- ❑ Ayuda a prever más fácilmente la crisis y evitar errores.
- ❑ Asegurar la economía del proyecto con acciones decididas que evitan dificultades.
- ❑ Suministra las bases para el control físico financiero.

I 4 Limitaciones de la planificación.

La planificación conlleva una serie de ventajas, pero en contraposición existen limitaciones, las cuales no inciden en si habrá o no planificación; sino más bien en la anticipación y el detalle con que se deben elaborar los planes.

Estas limitaciones pueden ser:

- ❑ *Seguridad en las previsiones.* Predecir es basarse en suposiciones o premisas. Todos hemos tenido que ver con pronósticos y sabemos cuan peligrosos son a veces. La mayoría de los planes están basados en un conjunto de condiciones supuestas, y sólo serán útiles en la medida en que estas demuestren ser correctas, es decir, en la medida en que las condiciones futuras no pueden ser previstas, puede dudarse de la utilidad de la planificación.
- ❑ *Repetición de problemas similares.* Las políticas y procedimientos, son por naturaleza propia, únicamente útiles siempre que una actividad se repita una y otra vez. No se adaptan bien a la ejecución de proyectos, por los que hay que utilizar vías alternativas para situaciones operativamente cambiantes.
- ❑ *Tendencias hacia la inflexibilidad.* El establecimiento de programas anticipados tiende a hacer inflexible a la gerencia. Cuanto más estrecho y detallados sean los programas tanto mayor será la inflexibilidad. Situación que no debe ser así, puesto que los planes deben variarse para ajustarlos a los cambios variables estratégicas.
- ❑ *Costo de la planificación.* La planificación es costosa y a veces, sus ventajas no justifican el gasto incurrido.

I 5 Fases de un proyecto:

Cada sistema, proyecto o producto tiene ciertas fases de desarrollo, por lo que un claro entendimiento de éstas permite un mejor control de los recursos en el camino hacia los objetivos.

Un proyecto se divide en cuatro fases principales, las cuales se presentan en la figura I 2 con sus respectivas distribuciones en porcentajes, del tiempo y recursos totales del proyecto así como los esfuerzos realizados en cada una de ellas.

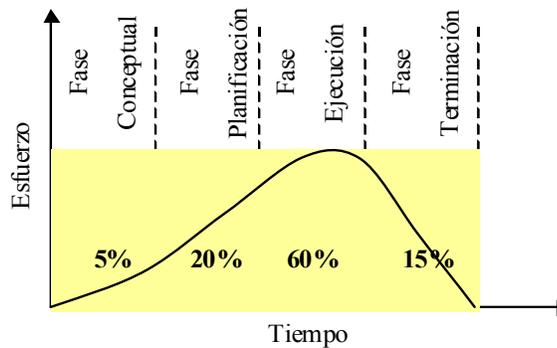


Figura I 2 “Stakeholders” de un Proyecto

I 5.1 Fase conceptual:

- ❑ Nace la idea.
- ❑ Se formula el proyecto al analizar los puntos clave.
- ❑ Se toma la decisión de iniciar las actividades del proyecto.
- ❑ Se establecen las metas.
- ❑ Se hacen los principales nombramientos y asignaciones de recursos.
- ❑ Producto “Project Charter”.

I 5.2 Fase planificación:

- ❑ Se define el tipo de organización.
- ❑ Se define el plan de proyecto y el programa para la fase de ejecución.

- ❑ Se definen los objetivos, las actividades, las tareas y los recursos del proyecto.
- ❑ Se constituye el equipo del proyecto.
- ❑ Producto: Plan de Ejecución del Proyecto (PEP).

I 5.3 Fase ejecución.

- ❑ Se ejecutan los trabajos principales del proyecto.
- ❑ Diseño.
- ❑ Desarrollo.
- ❑ Construcción.
- ❑ Producción
- ❑ Pruebas.
- ❑ Se consume la mayor cantidad de recursos del proyecto.
- ❑ Producto: Activo (Bien) o Servicio.

I 5.4 Fase completación:

- ❑ Terminación de las actividades.
- ❑ Cierre de los contratos
- ❑ Se transfieren los recursos y compromisos a otras organizaciones.
- ❑ Se hace la puesta en marcha.
- ❑ Producto: Cierre administrativo del Proyecto e Informe Post-Mortem.

La gerencia de proyectos puede ser descrita como la planificación, organización, dirección y control de los recursos asignados a un proyecto que debe ser completado para alcanzar metas y objetivos específicos. La gerencia de proyectos permite acometer tareas que no pueden ser manejadas eficientemente mediante las estructuras organizativas tradicionales, por lo que tiene que ser considerada como un desarrollo fundamental en la búsqueda de nuevas formas de organización, diseñadas para integrar esfuerzos complejos y distribuir la burocracia.

La Gerencia de Proyectos, es la encargada de visualizar y establecer las prioridades del proyecto, ubicarlas en un espacio y tiempo determinado y asignar el tipo y número necesario para satisfacer esas necesidades. Todo esto con la finalidad de ejecutar el proyecto, en el menor tiempo, el más bajo costo posible y con la calidad requerida bajo un ambiente de trabajo seguro y armónico.

I 6 Estimado de costos y proyectos:

Existen diferentes tipos de estimado de costos que están directamente relacionados con el desarrollo del proyecto, los mismos se pueden apreciar en la figura I 3.

I 6.1 Estimado de costos clase V (orden de magnitud):

Es un estimado con una precisión del tipo orden de magnitud, el cual se utiliza en la planificación a mediano plazo para establecer si los proyectos se reúnen los méritos suficientes para proseguir su desarrollo. Este estimado se realiza en la fase inicial o de ideas y se basa en una descripción muy general del proyecto donde la información disponible se limita esencialmente al tipo de proyecto, tamaño, posible ubicación, características de los insumos y gráficos de producción preliminares.

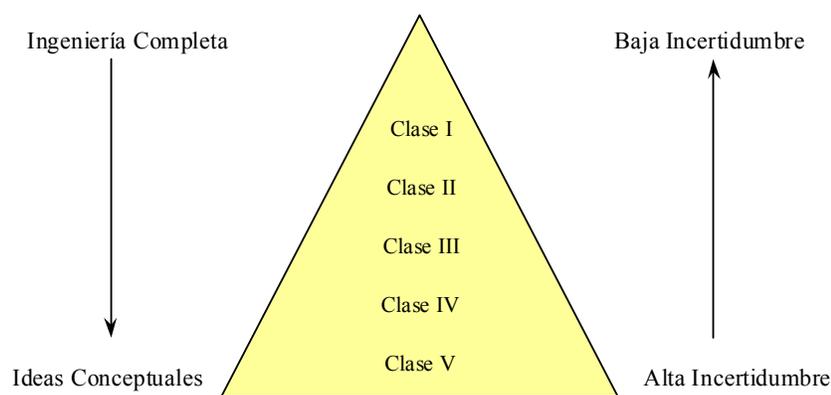


Figura I 3 Tipos de Estimados de Costos

La manera de estimar el costo clase V, se basa en datos históricos de costos que provienen de proyectos similares ejecutados o curvas de costos de unidades de procesos similares (extrapolación estadística), correlacionada por su capacidad y corregida por índices de precios, factores de ubicación geográfica. El estimado de tipo orden de magnitud no tiene una confiabilidad definida sino que esta depende de la calidad de la información disponible de proyectos similares ya completados o que estén en desarrollo y de la pericia que se evalúe, se ajusten por factores o escalen los datos de costo.

I 6.2 Estimado de costo clase IV (conceptual):

Para producir el estimado de costo esperado en esta etapa, normalmente se usan las técnicas paramétricas o de factorización, las cuales se incluyen en los manuales de estimación de costo. Los costos normalmente se obtienen de información histórica de la base de datos de estimaciones. Para generar el costo total, los estimadores incluirán provisiones especiales tales como: escalación, contingencia y provisiones de riesgo.

En la elaboración de estimado de costo, se ha avanzado poco en el diseño, por lo cual se basan en las experiencias del equipo de proyecto y los datos históricos para producirlos. Por eso es que estos deberán servir sólo para seleccionar la opción u opciones que serán definidas en detalles durante la última fase.

I 6.3 Estimado de costo clase III (preliminar):

Se realiza al terminar el 60% de la Ingeniería Básica y requiere para su elaboración

- Bases del diseño revisadas
- Diagramas de flujos revisados.
- Ubicación definitiva y selección de la opción óptima.
- Plano de ubicación definitiva de equipos y tuberías.
- Plano preliminar de flujo e instrumentación.
- Planificación preliminar.

Este estimado también puede emplear curvas o factores históricos para determinar el costo de los equipos mayores y del proyecto, en general, si las cotizaciones de dichos equipos no están disponibles.

I 6.4 Estimado de costo clase II (definitivo):

Este es el estimado más importante, debido a que él se toma la decisión definitiva de continuar con las fases más costosas del proyecto y por ende las de mayor compromiso de flujo de caja. Para su elaboración se requiere:

- ❑ Alcance bien definido.
- ❑ Los resultados del costo clase III
- ❑ Plano definitivo de flujo e instrumentación
- ❑ Estudio de impacto ambiental.
- ❑ Estudio de riesgo y seguridad de las condiciones operacionales
- ❑ Planos y especificaciones de diseño de todas las disciplinas involucradas, incluyendo la incorporación de comentarios y recomendaciones de los estudios anteriores.
- ❑ Cotizaciones suministradas por los fabricantes de los equipos y de largo tiempo de entrega.
- ❑ Cotizaciones suministradas por los fabricantes de los equipos y de largo tiempo de entrega.
- ❑ Plan maestro de ejecución.

Desde el punto de vista gerencial, la relación costo-beneficio que se obtiene con un costo clase II es sustancial, ya que invirtiendo en el desarrollo no más del 7% del costo total (incluyendo las fases anteriores), se reduce hasta un 85% la incertidumbre del proyecto. Otro uso que tiene el costo clase II definitivo, es servir de base para comparar las ofertas comerciales presentadas en la licitación para la ejecución conjunta de la ingeniería de detalle y la construcción.

I 6.5 Estimado de costo clase I (control):

Corresponde al monto final con el cual se otorgó la buena-pro al contratista que ganó la licitación y se usa para el control de costo de la ejecución de la ingeniería de detalle y construcción.

La figura I 4 relaciona las diferentes fases de un proyecto con sus respectivos estimados de costo.

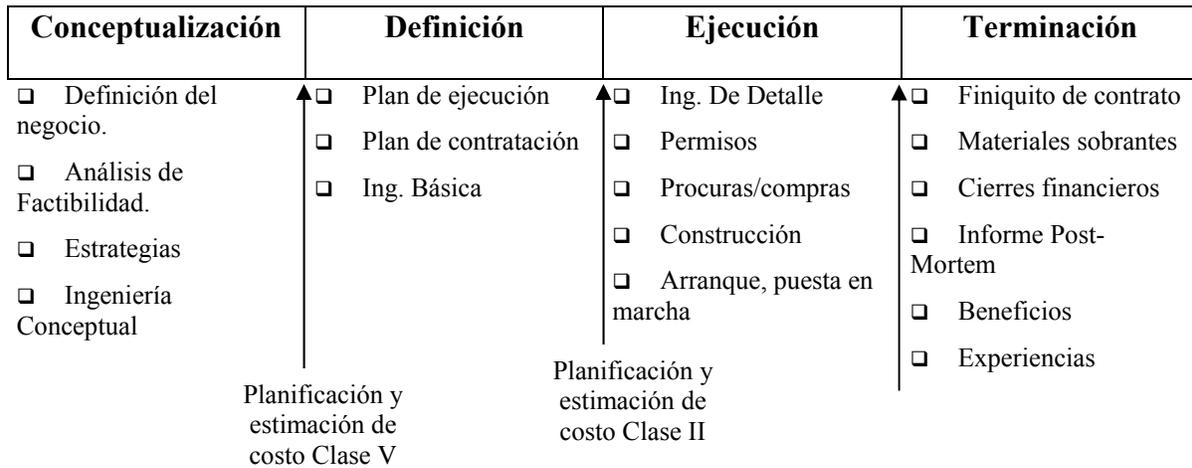


Figura I 4 Ciclo de Vida de un Proyecto.

I 7 Plan de Ejecución del Proyecto:

El Plan de Ejecución del Proyecto (PEP), es la herramienta por excelencia para asegurar que todas las actividades y tareas necesarias en la completación exitosa del proyecto, se ejecuten dentro de las metas de tiempo, costo y calidad. Este plan (PEP) permite una ejecución rápida pero ordenada de las tareas, que asegura cumplir con la fecha estimada de completación del proyecto, tomando en consideración el análisis cabal de todos los aspectos importantes. El PEP es un documento que se elabora, por primera vez durante la fase de visualización y se va enriqueciendo con la información generada en el proyecto a medida que éste progresa y el mismo debe ser periódicamente actualizado para considerar cambios en la estrategias corporativas.

I 7.1 Descripción del Plan de Ejecución del Proyecto (PEP):

Durante la fase de definición, se debe preparar un PEP con suficientes detalles que satisfaga a los siguientes requerimientos:

- ❑ Definir los objetivos del proyecto y la forma en que estos serán alcanzados.
- ❑ Definir el ambiente que influenciará o actuará sobre la ejecución del proyecto
- ❑ Definir los requerimientos de recursos para planificar la forma de obtenerlos.
- ❑ Establecer un programa de ejecución realista y balanceado.
- ❑ Establecer un plan de procura de equipos y materiales
- ❑ Establecer un plan de arranque y puesta en operación de las instalaciones
- ❑ Establecer un presupuesto del proyecto adecuado al alcance y estrategia de ejecución del mismo.
- ❑ Definir la estructura y filosofía de organización, roles, personal clave, responsabilidad y niveles de autoridad.
- ❑ Definir niveles de calidad y medidas de desempeño para el proyecto, y lograr entendimiento y consenso de los participantes del mismo.
- ❑ Establecer los criterios para la configuración y operación del sistema de información gerencial.
- ❑ Presentar soluciones para problemas detectados y definir planes alternos para la implantación ordenada y a tiempo de las soluciones.
- ❑ Definir el marco de referencia para la coordinación, seguimiento, información y control de la ejecución del proyecto, que esté en concordancia con la Estructura Partida de Trabajo (EPT) y la Estructura de Control de Costo (ECC) del proyecto.

Como se mencionó anteriormente el desarrollo de un proyecto está relacionado directamente con el hecho de haber alcanzado un buen grado de definición. Esta es la razón por la cual resulta de suma importancia hacer la evaluación de la definición del proyecto antes de someterlo a aprobación y solicitud de fondos para su aprobación.

CAPITULO II VCD (VISUALIZACIÓN, CONCEPTUALIZACIÓN Y DEFINICIÓN)

(MARCO TEÓRICO)



II. VCD ó FEL:

VCD significa V: Visualización, C: Conceptualización y D: Definición de Proyectos, el término es equivalente a FEL (“Front End Loading”), el cual es un proceso de trabajo en el cual se busca el involucramiento de todos los actores en cada una de las fases de un proyecto antes de su ejecución, de forma que todos tengan la misma concepción e idea de lo que se requiere. Este esquema de trabajo es utilizado por otras organizaciones en PDVSA, como la organización de Ingeniería y Proyectos y es el resultado de las mejores prácticas originadas de los análisis comparativos (“benchmarking”) realizados por el intermedio de la IPA (“Independent Project Analysis”) la cual es una institución que agrupa a 14 empresas a nivel mundial y donde se ha determinado la importancia de evaluar los grados de definición y complejidad de los proyectos para la toma de decisiones.

“Front End Loading” es el proceso a través del cual una empresa identifica y define el alcance de un proyecto de inversión de capital para satisfacer una necesidad dada del negocio. Entre sus características más importantes se puede destacar:

- Asegurar una definición detallada del alcance del mismo para satisfacer los objetivos del negocio en cuanto a la inversión de capital.
- Reduce el número de cambios en las etapas posteriores del proyecto, haciendo más predecibles los resultados que se esperan obtener del mismo.
- Se inicia con la identificación de una oportunidad u objetivo de negocio y continua hasta que el proyecto es autorizado.
- Requiere de la interacción de equipos multidisciplinarios para desarrollar un paquete de diseño (conceptual y básico), el cual es la base para la posterior autorización del proyecto.

II 1 Objetivos del proceso VCD:

- Garantizar que las necesidades del negocio sean el principal mecanismo para la inversión de capital.
- Asignar roles y responsabilidades a los miembros del equipo de los proyectos.
- Mejorar la productividad del capital invertido en los proyectos a través de la utilización de la mejor tecnología disponible.

- Minimizar los cambios durante la ejecución de los proyectos para reducir tiempo y costos, así como mejorar la calidad del producto final.

II 2 Evolución:

El concepto de Gerencia de Proyectos se ha venido formalizando en la organización de Perforación y Subsuelo a la medida que los equipos gerenciales se han dado cuenta de la verdadera creación de valor para la Corporación está en las fases de planificación y diseño para los proyectos y no en la ejecución perse de las actividades de perforación y rehabilitación. En la tabla II 1 se muestra de forma resumida la evolución de los conceptos de Gerencia de Proyectos de Perforación y Rehabilitación de Pozos.

Tabla II 1 Evolución en la Gerencia de Proyectos de Perforación y Rehabilitación de Pozos

| Gerencia orientada hacia la infraestructura y operación del pozo (hasta 1999) | Gerencia orientada hacia la infraestructura y operación del pozo con énfasis en VCD (2000 +) |
|--|---|
| Planificación y ejecución por pozo o grupos de pozos | Planificación y Ejecución por proyecto |
| Bajo nivel de integración de disciplinas | Integración de disciplinas desde la planificación |
| Ingeniero de pozo | Equipos Multidisciplinarios |
| Organización por áreas geográficas | Organización por mesa de trabajo |
| Diferentes prácticas operacionales | Mejores prácticas vía las comunidades de conocimiento |
| Metas regionales | Metas clase mundial |
| Compromisos regionales | Compromisos corporativos |

II 3 Proceso de planificación, ejecución y operación de proyectos de perforación de pozos:

En la figura II 4 se presenta en forma general, el proceso de planificación (VCD), ejecución y operación de los proyectos de perforación de pozos bajo la filosofía de Gerencia de Proyectos, similar al utilizado por la organización de Ingeniería y Proyectos de PDVSA para la construcción de Instalaciones de Superficie. De hecho, buena parte de los conceptos de Gerencia de Proyectos utilizados hoy en día por la organización de Perforación y Subsuelo han sido adaptados a partir de las Guías Generales de Gerencia de Proyectos de Inversión de Capital (GGPIC)

desarrolladas esa organización de PDVSA. Y es natural que esto sea así, porque al final del día la perforación de un pozo puede verse como un proyecto de construcción de una infraestructura de subsuelo que comunica a los yacimientos de hidrocarburos con la superficie para su posterior arranque de producción.

En forma general, cada una de las fases del proceso mostrado en la figura II 1 puede describirse más detalladamente de la siguiente manera:

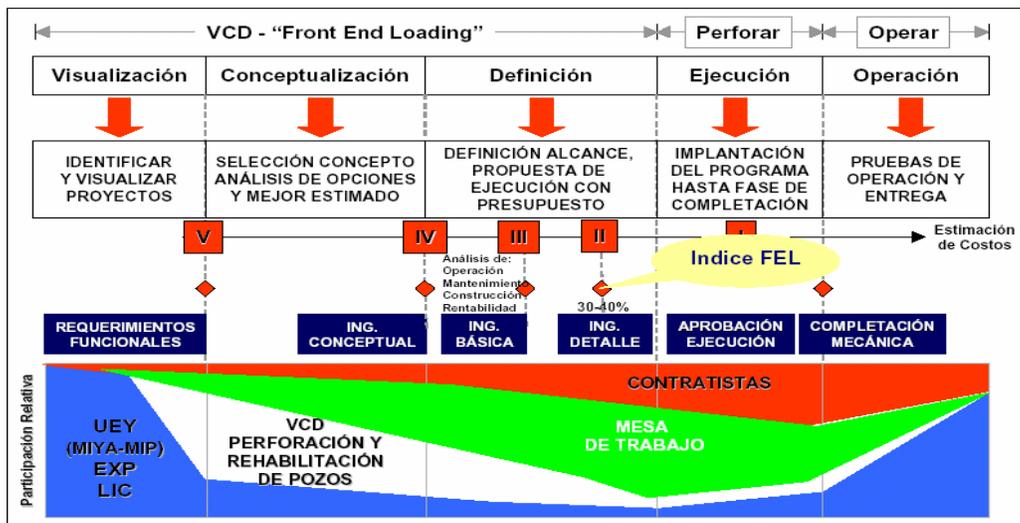


Figura II 1 Implantación del Modelo VCD. Interacción Planificación, Uey y la Mesa de Trabajo.

II 3.1 Visualización:

Identificación del proyecto y aseguramiento de su alineación con los objetivos del negocio.

- Establecer los objetivos y propósitos del proyecto.
- Verificar alineación del proyecto con estrategias corporativas
- Desarrollo preliminar del proyecto.
 - Elaborar Alcance del proyecto
 - Elaborar estimado de costo clase V
 - Preparar plan de ejecución clase V
 - Evaluar factibilidad del proyecto.

II 3.2 Conceptualización:

Selección de mejor (es) opción(es) y mejora de la precisión de estimados:

- Organizarse para la fase de planificación del proyecto
 - Conformar equipo de trabajo
 - Formalizar objetivo, roles y responsabilidades
 - Preparar plan para conceptualizar/definir
- Selección de la(s) opción(es) preferida(s) y solicitud de fondos para estimado clase II
 - Evaluar la(s) tecnología(s) disponible(s)
 - Evaluar el sitio de construcción
 - Preparar alcance de la conceptualización y estimado de costos clase IV.
 - Evaluar rentabilidad de opciones.
 - Preparar solicitud de fondos para alcanzar estimado de costos clase II

II 3.3 Definición:

Definición completa del alcance de opción(es) seleccionada(s) y desarrollo de un plan de ejecución detallado que le permita a la Corporación comprometer los fondos u obtener el financiamiento requerido.

- Desarrollar el paquete de definición del proyecto.
 - Analizar los riesgos del proyecto
 - Elaborar alcance, diseño básico y estimado de costo clase III.
 - Desarrollar planes detallados de ejecución
 - Preparar estimado de costos clase II
 - Evaluar grado de definición del proyecto (Índice FEL)
 - Establecer guías para el control del proyecto
 - Desarrollar plan de aseguramiento tecnológico.
- Establecer proceso de contratación (DSO)
 - Elaborar y validar estrategia de ejecución y contratación.
 - Desarrollar Documento de Solicitud de Ofertas (DSO).

- Preparar el paquete para la autorización del proyecto.
 - Revisar evaluación para solicitar fondos propios/financiamiento.
 - Preparar documentación para aprobación

II 3.4 Ejecución:

Contratación y materialización del plan de ejecución del proyecto hasta la completación mecánica.

- Contratación
 - Aprobación de estrategia de lista de empresas.
 - Proceso de selección de contratista.
 - Revisión y firma del contrato
 - Administración del contrato
- Ejecución
 - Ingeniería de detalle
 - Procura de materiales y equipo
 - Materialización del plan de aseguramiento tecnológico
 - Construcción

II 3.5 Operación:

Puesta en operación del proyecto y análisis del cumplimiento de las expectativas del negocio.

- Operación Inicial
- Pruebas de garantía
- Aceptación de instalaciones
- Elaboración de informes finales
- Evaluación continua

II 4 Importancia de la aplicación del “Front End Loading”

Observándose lo la gran cantidad de productos que se obtienen en cada una de las fases del proceso VCD y como en la etapa de Definición debe reducirse la incertidumbre del proyecto. Otra forma de ver esto es a través de la denominada gráfica de Influencia (figura II 2), la cual está dividida en tres sectores: alto, medio y bajo.

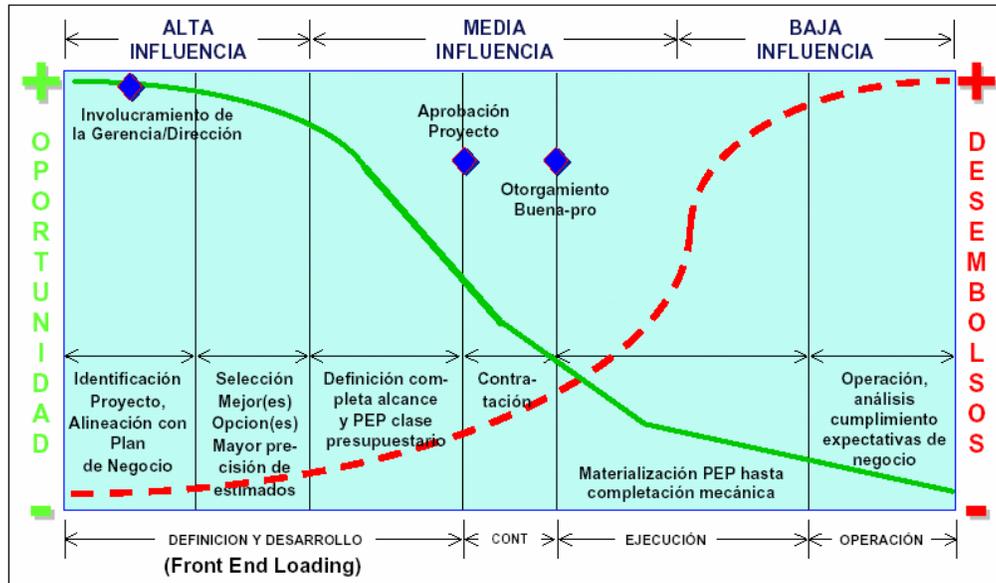


Figura II 2 Gráfico de Influencia y Oportunidad de Reducción de Costos en Proyectos

La curva continua representa la capacidad del equipo gerencial en hacer cambios durante la vida del proyecto. La curva a trazos representa el costo de la decisión por cambios realizados en alguna etapa del proyecto. Al observar la gráfica se puede deducir que a medida que el proyecto se va desarrollando y los equipos multidisciplinares van completando sus trabajos técnicos, la capacidad del equipo gerencial en hacer cambios disminuye drásticamente y los costos de la decisión asociados a cada cambio aumentan exponencialmente.

Se puede concluir que el mensaje detrás de la gráfica de influencia es que las fases iniciales del proyecto son fundamentales ya que dan al equipo gerencial la flexibilidad de hacer todos los cambios y estudios necesarios para satisfacer los requerimientos establecidos y generar

todas las actividades necesarias que permitan definir con precisión el alcance total del proyecto y todo esto bajo un costo.

II 5 Equipos multidisciplinarios y comunidades de conocimiento:

En la figura II 3 se muestra el tipo de organización para el manejo de los Proyectos de Perforación y Rehabilitación de Pozos a nivel nacional en PDVSA EPM. Se trata de una organización matricial donde los proyectos son interceptados por las distintas disciplinas técnicas, aglutinadas a través de las comunidades de Conocimiento, que garantizan la diseminación de las mejores prácticas y lecciones aprendidas entre los distintos proyectos.

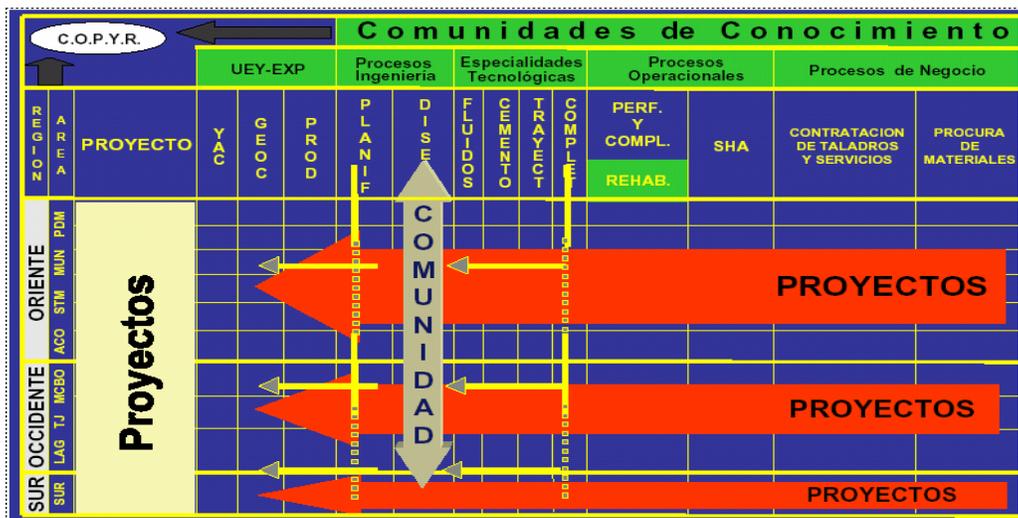


Figura II 3 Organización por proyectos y Comunidades de Conocimiento

II 6 Elaboración de PEP (Planes de Ejecución de Proyectos):

En la tabla II 2 se identifica las fases del VCD y la figura II 4 se muestra el esquema general del proceso y contenido de un Plan de ejecución de Proyectos (PEP) de perforación de Pozos (Programa de Perforación).

Tabla II 2 Fases del Proceso VCD

| | |
|--------------------------|---|
| Visualización: | Requerimientos Funcionales |
| Conceptualización | Ingeniería Conceptual |
| Definición | Ingeniería Básica Ingeniería de Detalle Análisis de Operación Análisis de mantenimiento Análisis de construcción Estimación de Costo (clase II) Análisis de Riesgo y Rentabilidad |

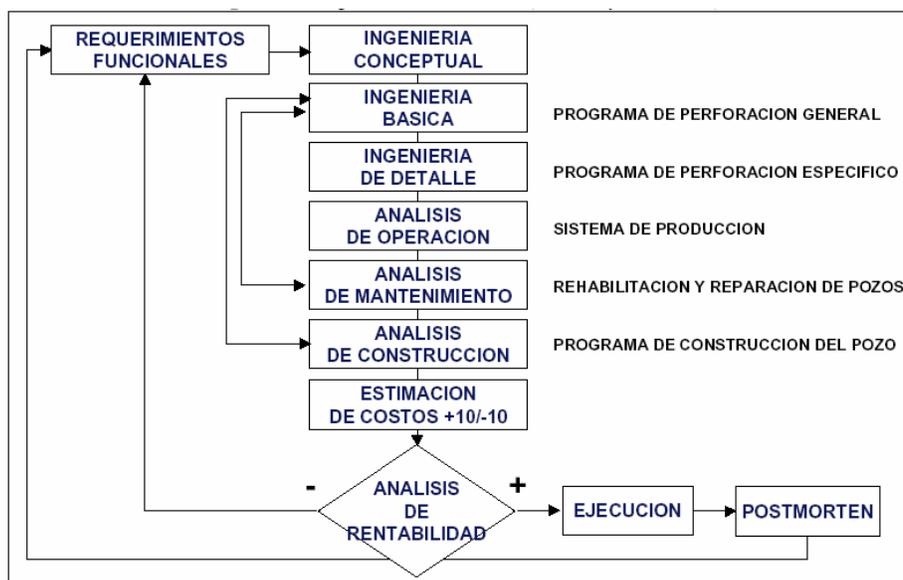


Figura II 4 Programa de Perforación (proceso y contenido)

A continuación se nombran los elementos que deben tenerse en cuenta en cada una de las fases descritas anteriormente

II 6.1 Requerimientos funcionales:

- ❑ Uso y tipo de pozo
- ❑ Revisar los objetivos de la corporación
- ❑ Revisar los objetivos de la unidad de explotación
- ❑ Revisar los objetivos de perforación.

II 6.2 Ingeniería conceptual:

- ❑ Reunir requerimientos e información disponible del proyecto
- ❑ Cumplimiento de los requerimientos funcionales
- ❑ Cumplimiento con arquitectura de drenaje marco en consistencia con el Estudio Integrado y el Plan de Explotación.

II 6.3 Ingeniería básica:

- ❑ Revisión de requerimientos funcionales
- ❑ Diseño básico de arquitectura del pozo
- ❑ Estimación de base de conocimiento (competencias requeridas)
- ❑ Estimación de productividad
- ❑ Estimación tiempo y costo
- ❑ Estrategia de contratación y pre-selección de empresas
- ❑ Análisis general de operación, mantenimiento y construcción del pozo
- ❑ Tramitar permisología y aprobaciones
- ❑ Revisión y diseño de localización (inicio de construcción, hincados)
- ❑ Procura de materiales de largo tiempo de entrega.

II 6.4 Ingeniería de detalle:

- ❑ Revisión detallada de los requerimientos funcionales
- ❑ Diseño detallado de la arquitectura del pozo
- ❑ Estructura de conocimiento (competencias requeridas)
- ❑ Equipo de trabajo y sus roles
- ❑ Estimación (clase II) de tiempo y costo
- ❑ Estrategia de contratación y selección de empresas
- ❑ Integración del programa de perforación (ejecución)
- ❑ Controles de ejecución del proyecto

II 6.5 Análisis de operación

- ❑ Predicción de los sistemas de operación del pozo.
- ❑ Predicción de la ventana operacional para prevenir efectos no deseados por los esfuerzos geomecánicos e hidráulicos a que se someterá el pozo.
- ❑ Predicción de los potenciales cambios de requerimientos funcionales a los que se someterá el pozo
- ❑ Reconceptualización del pozo
- ❑ Predicción de la rutina de mantenimiento preventivo.

II 6.6. Análisis de mantenimiento:

- ❑ Predicción de intervenciones debido a requerimientos mecánicos
- ❑ Inversión de capital en completación original para máxima estimulación versus planificar, fracturar o rehabilitar.

II 6.7 Análisis de construcción:

- ❑ Revisión detallada de los requerimientos funcionales
- ❑ Flujograma por actividad de la operacionalización
- ❑ Programación detallada por actividad con hitos aprobatorios por comunidad de conocimiento
- ❑ Requerimientos de equipos y materiales y plan logístico
- ❑ Estructura de recursos, competencia requerida y roles
- ❑ Estrategia de contratación y selección de empresas
- ❑ Plan de Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA).

II 6.8 Estimación de costos:

- ❑ Labor (labor propia, contratada, asesoría)
- ❑ Materiales y equipos
- ❑ Servicios

II 6.9 Análisis de riesgo y rentabilidad:

- ❑ Establecer estructura de costos del proyecto
- ❑ Plan de desembolsos
- ❑ Análisis de riesgos y árboles de decisión
- ❑ Diagramas de araña y tornado
- ❑ Costo de generación de potencial (M\$/BPD)

II 7 Impacto de la aplicación del proceso VCD en perforación PDVSA EPM:

Los resultados de la aplicación del proceso VCD pueden verse directamente a través del comportamiento de los indicadores de Éxito Volumétrico (BNPD Planificados/ BNPD reales) y Éxito Mecánico (Desviaciones en Tiempo y Costo) de los proyectos de Perforación.

En la figura II 5 se muestran los resultados correspondientes al año 2001 en cuanto al Éxito Volumétrico en perforación (sin la aplicación de VCD) y los resultados correspondientes al 1er trimestre del año 2002 (con la aplicación de VCD). Como puede apreciarse existe una mejora significativa en este indicador para el período Enero-Marzo 2001, que puede atribuirse a la aplicación rigurosa del proceso para garantizar que se cubran todas y cada una de las fases descritas en las secciones anteriores.

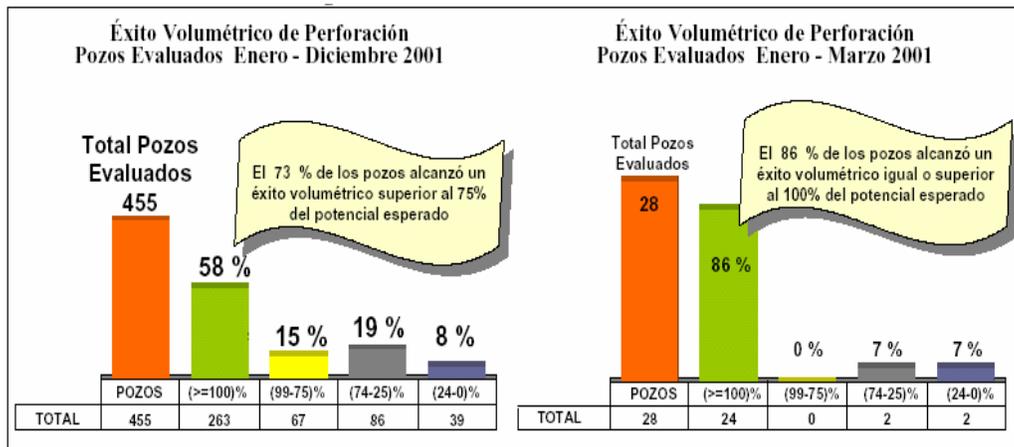


Figura II 5 Éxito Volumétrico de Perforación

II 8 Conclusiones sobre el VCD:

- La aplicación del proceso VCD es esencial para alcanzar los objetivos corporativos de PDVSA y de la organización de Perforación, dentro de los estándares de una compañía de clase mundial, a saber:
 - Estrategia de negocio bien definida que incluye e integra el desarrollo armónico de proyectos.
 - Proceso normalizado de trabajo para ejecutar proyectos (basado en “mejores prácticas”)
 - Medición continua contra competidores de la calidad de sus proyectos, para identificar áreas de mejora.
 - Proceso de trabajo capaz de permitir la cancelación temprana de proyectos que no soportan adecuadamente los objetivos del negocio.

- El proceso de VCD puede entenderse como un conjunto de guías, reglas y prácticas que permiten navegar ordenadamente a través de todas las fases de un proyecto, desde su visualización y concepción hasta su entrega a los grupos de operaciones, asegurando a que se agoten todas las instancias establecidas antes de pasar a la siguiente fase y acometer gastos adicionales.

- Un factor clave de éxito es que el proceso debe ser:
 - Rigurosamente aplicado a todo proyecto
 - Continuo sin marcadas diferencias entre fases.
 - Las decisiones entre fases deben ser documentadas y soportadas por Grupos Técnicos Gerenciales.
 - Aplicación de las herramientas de toma de decisiones y Análisis de Riesgo con enfoque probabilístico.
 - Uso obligatorio corporativo alineado al plan de negocio

CAPITULO III PERFORACIÓN

(MARCO TEÓRICO)



CPV-10

III Componentes y sistemas del taladro de perforación

El abrir pozos de agua, con implementos rudimentarios manuales, se remonta a tiempos inmemoriales. En ocasiones, la búsqueda de aguas subterráneas tropezaba con la inconveniencia de hallar acumulaciones petrolíferas someras que trastornaban los deseos de los interesados; el petróleo carecía entonces de valor.

Con la iniciación (1859) de la industria petrolera en los Estados Unidos de América, para utilizar el petróleo como fuente de energía, el abrir pozos petrolíferos se tornó en tecnología que, desde entonces hasta hoy, ha venido marcando logros y adelantos en la diversidad de tareas que constituyen esta rama de la industria. La perforación confirma las perspectivas de descubrir nuevos yacimientos, deducidas de la variedad de informaciones obtenidas a través de la aplicación de conocimientos de exploración: Ciencias de la Tierra.

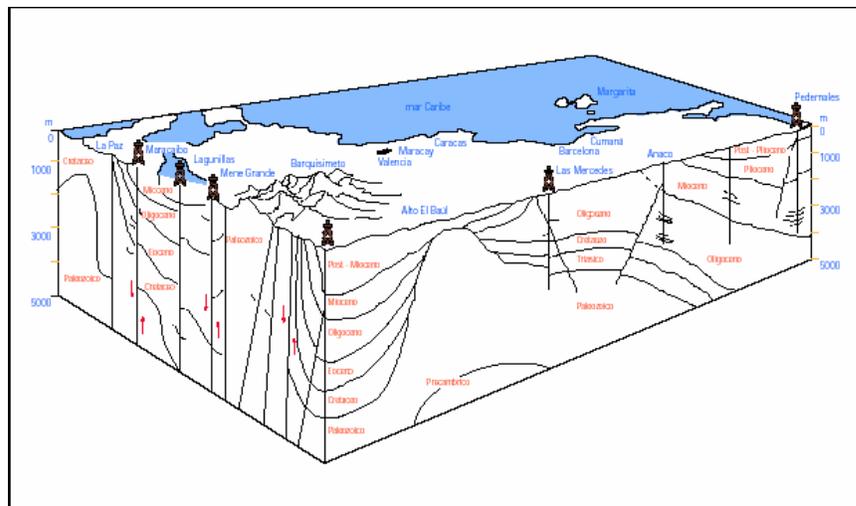


Figura. III 1 Columna geológica de las cuencas sedimentarias del Lago de Maracaibo, Barinas-Apure y Oriente.

III 1 El sistema a percusión:

La industria petrolera comenzó en 1859 utilizando el método de perforación a percusión, llamado también “a cable”. Se identificó con estos dos nombres porque para desmenuzar las formaciones se utilizó una barra de configuración, diámetro y peso adecuado, sobre la cual se enrosca una sección adicional metálica fuerte para darle más peso, rigidez y

estabilidad. Por encima de esta pieza se enrosca un percutor eslabonado para hacer efectivo el momento de impacto (altura x peso) de la barra contra la roca. Al tope del percutor va conectado el cable de perforación. Las herramientas se hacen subir una cierta distancia para luego dejarlas caer libremente y violentamente sobre el fondo del hoyo. Esta acción repetitiva desmenuza la roca y ahonda el hoyo, ver figura III 2.

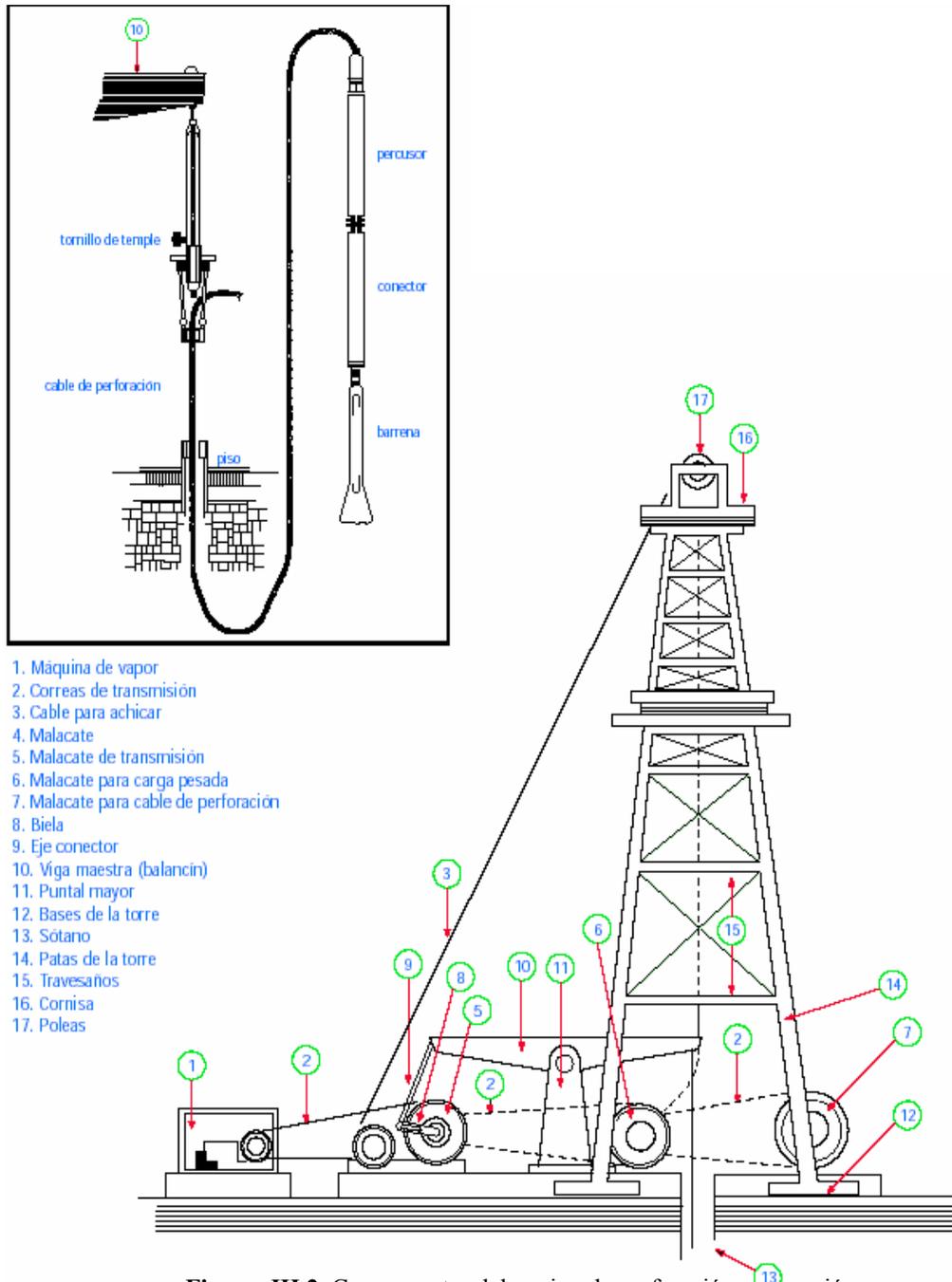


Figura. III 2. Componentes del equipo de perforación a percusión.

III 2 Perforación rotatoria

La perforación rotatoria se utilizó por primera vez en 1901, en el campo de Spindletop, cerca de Beaumont, Texas, descubierto por el capitán Anthony F. Lucas, pionero de la industria como explorador y sobresaliente ingeniero de minas y de petróleo.

Este nuevo método de perforar trajo innovaciones que difieren radicalmente del sistema de perforación a percusión, que por tantos años había servido a la industria. El nuevo equipo de perforación fue recibido con cierto recelo por las viejas cuadrillas de perforación a percusión. Pero a la larga se impuso y, hasta hoy, no obstante los adelantos en sus componentes y nuevas técnicas de perforación, el principio básico de su funcionamiento es el mismo.

Las innovaciones más marcadas fueron:

- ❑ El sistema de izaje,
- ❑ El sistema de circulación del fluido de perforación
- ❑ Los elementos componentes de la sarta de perforación.

III 3 Componentes del taladro de perforación rotatoria:

Los componentes del taladro son:

- ❑ La planta de fuerza motriz.
- ❑ El sistema de izaje.
- ❑ El sistema rotatorio.
- ❑ La sarta de perforación.
- ❑ El sistema de circulación de fluidos de perforación.

En la figura III 3 se podrá apreciar la disposición e interrelación de los componentes mencionados. La función principal del taladro es hacer hoyo, lo más económicamente posible. Hoyo cuya terminación representa un punto de drenaje eficaz del yacimiento. Lo ideal sería que el taladro hiciese hoyo todo el tiempo pero la utilización y el funcionamiento del taladro mismo y las operaciones conexas para hacer y terminar el hoyo requieren hacer altos durante

el curso de los trabajos. Entonces, el tiempo es primordial e influye en la economía y eficiencia de la perforación.

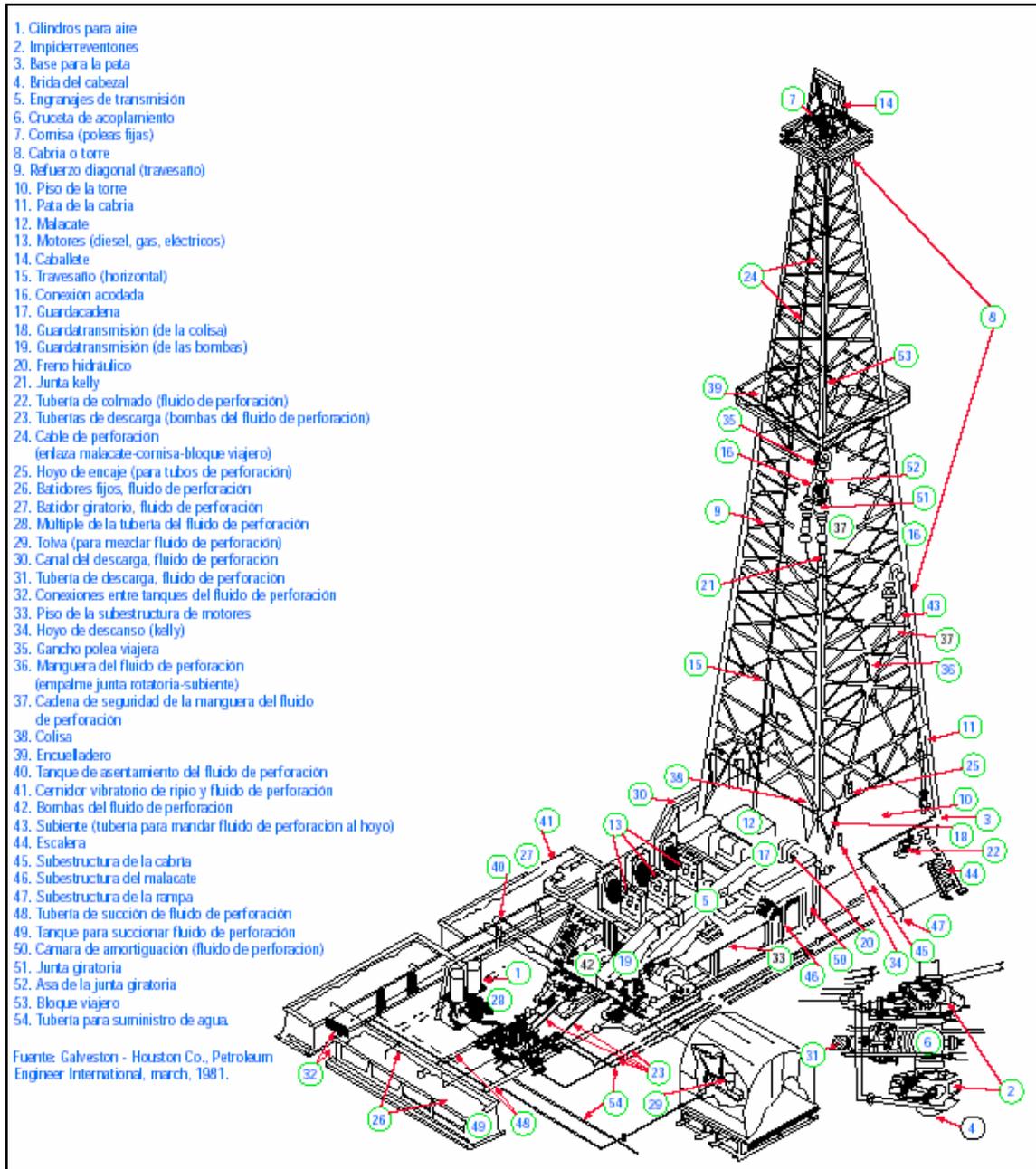


Figura III 3 Partes de un Taladro de Perforación

III 3.1 La planta de fuerza motriz:

La potencia de la planta debe ser suficiente para satisfacer las exigencias del sistema de izaje, del sistema rotatorio y del sistema de circulación del fluido de perforación.

La potencia máxima teórica requerida está en función de la mayor profundidad que pueda hacerse con el taladro y de la carga más pesada que represente la sarta de tubos requerida para revestir el hoyo a la mayor profundidad.

Por encima de la potencia teórica estimada debe disponerse de potencia adicional. Esta potencia adicional representa un factor de seguridad en casos de atasque de la tubería de perforación o de la de revestimiento, durante su inserción en el hoyo y sea necesario templar para librarlas. Naturalmente, la torre o cabria de perforación debe tener capacidad o resistencia suficientes para aguantar la tensión que se aplique al sistema de izaje.

La planta consiste generalmente de dos o más motores para mayor flexibilidad de intercambio y aplicación de potencia por engranaje, acoplamientos y embragues adecuados a un sistema particular.

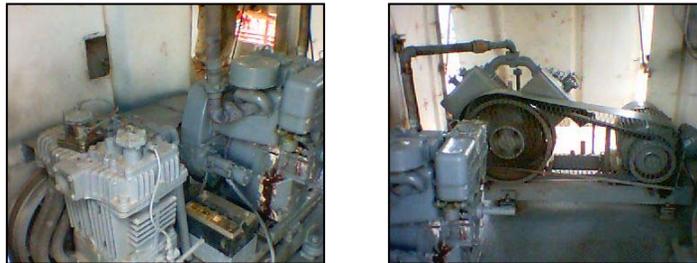


Figura. III 4. Motores componentes de una planta de fuerza.

Así que, si el sistema de izaje requiere toda la potencia disponible, ésta puede utilizarse plenamente. De igual manera, durante la perforación, la potencia puede distribuirse entre el sistema rotatorio y el de circulación del fluido de perforación.

El tipo de planta puede ser mecánica, eléctrica o electromecánica.

La siguiente relación da una idea de profundidad y de potencia de izaje (caballos de fuerza, c.d.f. o H.P.) requerida nominalmente.

Tabla III 1 Potencia de izaje por profundidad

| Requerida | Profundidad Potencia de izaje (m) (c.d.f.) |
|------------------|---|
| 1.300 - 2.200 | 550 |
| 2.100 – 3.000 | 750 |
| 2.400 – 3.800 | 1.000 |
| 3.600 – 4.800 | 1.500 |
| 3.600 – 5.400 | 2.100 |
| 3.900 – 7.600 | 2.500 |
| 4.800 – 9100 | 3.000 |

III 3.2 El sistema de izaje:

Meter en el hoyo, sostener en el hoyo o extraer de él tan pesadas cargas de tubos, requiere de un sistema de izaje robusto, con suficiente potencia, aplicación de velocidades adecuadas, freno eficaz y mandos seguros que garanticen la realización de las operaciones sin riesgos para el personal y el equipo.

Los componentes principales del sistema de izaje son:

III 3.2.1 El malacate:

Ubicado entre las dos patas traseras de la cabria, sirve de centro de distribución de potencia para el sistema de izaje y el sistema rotatorio. Su funcionamiento está a cargo del perforador, quien es el jefe inmediato de la cuadrilla de perforación.

El malacate consiste del carrete principal, de diámetro y longitud proporcionales según el modelo y especificaciones generales. El carrete sirve para devanar y mantener arrollados cientos de metros de cable de perforación. Por medio de adecuadas cadenas de transmisión, acoplamientos, embragues y mandos, la potencia que le transmite la planta de fuerza motriz puede ser aplicada al carrete principal o a los ejes que accionan los carretes

auxiliares, utilizados para enroscar y desenroscar la tubería de perforación y las de revestimiento o para manejar tubos, herramientas pesadas u otros implementos que sean necesarios llevar al piso del taladro. De igual manera, la fuerza motriz puede ser dirigida y aplicada a la rotación de la sarta de perforación.

El malacate es una máquina cuyas dimensiones de longitud, ancho y altura varían, naturalmente, según su potencia. Su peso puede ser desde 4,5 hasta 35,5 toneladas, de acuerdo con la capacidad de perforación del taladro.



Figura. III 5. Ejemplo de un tipo de malacate de perforación y su carrete.

III 3.2.2 El cable de perforación:

El cable de perforación, que se devana y desenrolla del carrete del malacate, enlaza los otros componentes del sistema de izaje como son el cuadernal de poleas fijas ubicado en la cornisa de la cabria y el cuadernal del bloque viajero.

El cable de perforación consta generalmente de seis ramales torcidos. Cada ramal está formado a su vez por seis o nueve hebras exteriores torcidas también que recubren otra capa de hebras que envuelven el centro del ramal. Finalmente, los ramales cubren el centro o alma del cable que puede ser formado por fibras de acero u otro material como cáñamo.

Normalmente, el diámetro de los cables de perforación es de 22 mm a 44 mm; con valores intermedios que se incrementan en 3,2 mm, aproximadamente. Según el calibre y el tipo de fabricación del cable, su resistencia mínima de ruptura en tensión puede ser de 31 a 6

toneladas, y la máxima de 75 a 139 toneladas. El peso por metro de cable va desde 2 Kg hasta 8,5 Kg. según el diámetro.

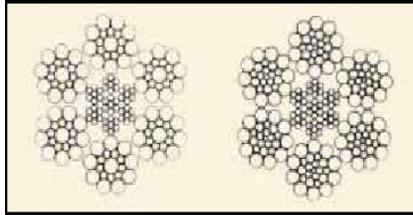


Figura. III 6. Configuración y disposición de los elementos del cable de perforación.

III 3.2.3 La cabria de perforación:

Se fabrican varios tipos de cabrias:

- ❑ Portátil
- ❑ Autopropulsada,

Estas se encuentran montadas en un vehículo adecuado; telescópicas o trípodes que sirven para la perforación, para el reacondicionamiento o limpieza de pozos.

La parte superior de la subestructura, que forma el piso de la cabria, puede tener una altura de 4 a 8,5 metros. Esta altura permite el espacio libre deseado para trabajar con holgura en la instalación de las tuberías, válvulas y otros aditamentos de control que se ponen en la boca del hoyo o del pozo.

Entre pata y pata, la distancia puede ser de 6,4 a 9,1 metros, según el tipo de cabria, y el área del piso estaría entre 40 y 83 metros cuadrados. La altura de la cabria puede ser de 26 a 46 metros. A unos 13, 24 ó 27 metros del piso, según la altura total de la cabria, va colocada una plataforma, donde trabaja el encuellador cuando se está metiendo o sacando la sarta de perforación. Esta plataforma forma parte del arrumadero de los tubos de perforación, los cuales por secciones de dos en dos (pareja) o de tres en tres (triple) se paran sobre el piso de la cabria y por la parte superior se recuestan y aseguran en el encuelladero.



Figura III 7 Cabria de Perforación

En su tope o cornisa, la cabria tiene una base donde se instala el conjunto de poleas fijas (cuadernal fijo). Sobre la cornisa se dispone de un caballete que sirve de auxiliar para los trabajos de mantenimiento que deben hacerse allí.

III 3.2.4 El aparejo o polipasto:

Para obtener mayor ventaja mecánica en subir o bajar los enormes pesos que representan las tuberías, se utiliza el aparejo o polipasto.

Del carrete de abastecimiento se pasa el cable de perforación por la roldana de la polea del cuadernal de la cornisa y una roldana del bloque viajero, y así sucesivamente hasta haber dispuesto entre los dos cuadernales el número de cables deseados. La punta del cable se ata al carrete del malacate, donde luego se devanará y arrollará la longitud de cable deseado. Este cable -del malacate a la cornisa- es el cable vivo o móvil, que se enrolla o desenrolla del malacate al subir o bajar el bloque viajero. Como podrá apreciarse el cable vivo está sujeto a un severo funcionamiento, fatiga y desgaste.

El resto del cable que permanece en el carrete de abastecimiento no se corta sino que se fija apropiadamente en la pata de la cabria, por medio de un ancla y una garrapata (véase figura III 8). Este cable -de la pata de la cabria a la cornisa- no se mueve y se le llama cable

muerto; sin embargo, está en tensión y esto es aprovechado para colocarle un dispositivo que sirve para indicar al perforador el peso de la tubería.



Figura III 8 Ancla, Garrapata y Medidor de Tensión

Cuando por razones de uso y desgaste es necesario reemplazar el cable móvil, se procede entonces a desencajarlo del malacate, cortarlo y correrse el cable entre la polea fija y el bloque viajero, supliendo cable nuevo del carrete de almacenamiento (figura III 9)



Figura III 9 Carrete de Almacenamiento

Generalmente, el número de cables entre el bloque fijo y el bloque viajero puede ser 4, 6, 8, 10, 12 o más, de acuerdo al peso máximo que deba manejarse.

Forma parte del bloque viajero un asa muy fuerte que lleva en su extremo inferior, del cual cuelga el gancho que sirve para sostener la junta giratoria del sistema de rotación durante la perforación. Del gancho cuelgan también eslabones del elevador que sirven para colgar, meter o sacar la tubería de perforación.

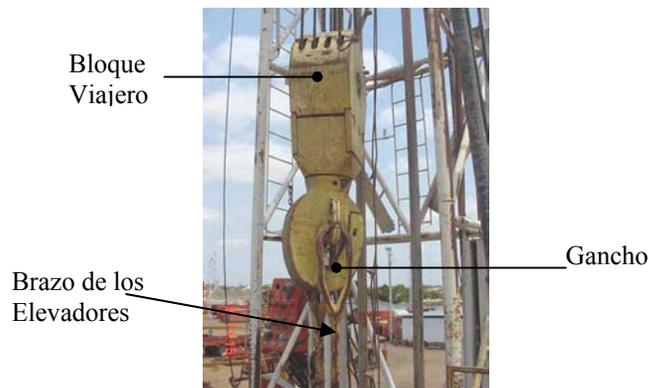


Figura III 10 Gancho, Bloque Viajero y Brazo de los Elevadores

III 3.3 El sistema rotatorio:

El sistema rotatorio es parte esencial del taladro o equipo de perforación. Por medio de sus componentes se hace el hoyo hasta la profundidad donde se encuentra el yacimiento petrolífero.

En sí, el sistema se compone de la mesa rotatoria o colisa; de la junta o unión giratoria; de la junta kelly o el kelly; de la sarta o tubería de perforación, que lleva la sarta lastrabarrena, y finalmente la barrena.

Actualmente la mayoría de los taladros poseen Top Drive, el cual es un mecanismo que reemplaza la junta kelly y la mesa rotatoria al mismo tiempo, evitando hacer un mayor número de conexiones en la tubería y de manera segura, ahorrando tiempo en la perforación.

III 3.3.1 La mesa rotatoria o colisa:

La colisa va instalada en el centro del piso de la cabria. Descansa sobre una base muy fuerte, constituida por vigas de acero que conforman el armazón del piso, reforzado con puntales adicionales.

La colisa tiene dos funciones principales:

- 1) Impartir el movimiento rotatorio a la sarta de perforación o sostener todo el peso de esta sarta mientras se le enrosca otro tubo para seguir ahondando el hoyo, o sostener el peso de la sarta cuando sea necesario para desenroscar toda la sarta en parejas o triples para sacarla toda del hoyo.
- 2) La colisa tiene que aguantar cargas muy pesadas durante la metida de la sarta de revestimiento en el hoyo.

La colisa tiene que resistir cargas estáticas, que se sujetan al buje maestro por medio de las cuñas, o en rotación que varían según la profundidad del pozo. Estas cargas pueden acusar desde 70 hasta 1.000 toneladas. De allí que la colisa sea de construcción recia, de 1,20 a 1,5 metros de diámetro, con pistas y rolineras de aceros de alta calidad, ya que la velocidad de rotación requerida puede ser de muy pocas a 500 revoluciones por minuto.



Figura III 11. Cuñas

A la colisa se le puede impartir potencia de manera exclusiva acoplándole una unidad motriz independiente. Pero generalmente su fuerza de rotación se la imparte la planta motriz del taladro, a través del malacate, por medio de transmisiones, acoplamientos y mandos apropiados. Ver figura III 12.



Mesa
Rotatoria

Figura III 12. Mesa Rotatoria

III 3.3.2 La junta giratoria:

La junta giratoria tiene tres puntos importantes de contacto con tres de los sistemas componentes del taladro. Por medio de su asa, cuelga del gancho del bloque viajero. Por medio del tubo conector encorvado, que lleva en su parte superior, se une a la manguera del fluido de perforación, y por medio del tubo conector que se proyecta de su base se enrosca a la junta kelly.

III 3.3.3 La junta kelly

Generalmente tiene configuración cuadrada, hexagonal, o redonda y acanalada, y su longitud puede ser de 12, 14 ó 16,5 metros. Su diámetro nominal tiene rangos que van de 6 cm hasta 15 cm, y diámetro interno de 4 cm a 9 cm. El peso de esta junta varía de 395 Kg a 1,6 toneladas. Esta pieza se conoce por el nombre propio de su inventor, Kelly. La mayoría de las veces tiene forma cuadrada; en castellano le llaman “el cuadrante”.

Para seguir profundizando el hoyo, el perforador iza la kelly, desencaja el buje de la colisa, el cual queda a cierta altura de la mesa, para permitir que sus ayudantes, los cuñeros, coloquen cuñas apropiadas entre el tubo superior de la sarta de perforación y la colisa para que cuando el perforador baje la sarta lentamente ésta quede colgando segura y firmemente de la colisa. Entonces se puede desenroscar la kelly para agregar otro tubo de perforación a la sarta. Agregado el nuevo tubo, se iza la sarta, se sacan las cuñas y se baja la parte superior del nuevo tubo hasta la colisa para volver a acuñar y colgar la sarta otra vez y luego enroscarle una vez más la kelly, izar, sacar las cuñas, encastrar el buje en la colisa, rotar y continuar así ahondando el hoyo la longitud de la kelly otra vez.

III 3.3.4 El top drive:

Este mecanismo consiste en un motor que es levantado por el gancho del taladro y unido a un riel que se encuentra colocado en la mitad de la cabria. Su función es levantar la tubería de perforación y darle el torque a la sarta para perforar.

Su implementación en los taladros, evita la utilización de la junta kelly, y la mesa rotatoria, disminuyendo el tiempo en la metida y sacada de la sarta en la tubería en aproximadamente $2/3$ del tiempo normal requerido, además por medio de este sistema se puede perforar en parejas de tubulares y no de tubo en tubo como se hacía anteriormente, eliminando un número significativo de conexiones que se traducen en disminución de riesgos al personal de las cuadrillas y mejoran la eficiencia en las perforaciones direccionales. Ver figura III 13.



Figura III 13. Top Drive

III 3.3.5 La sarta de perforación:

La sarta de perforación es una columna de tubos de acero, de fabricación y especificaciones especiales, en cuyo extremo inferior va enroscada la sarta de lastrabarrena y en el extremo de ésta está enroscada la barrena, pieza también de fabricación y especificaciones especiales, que corta los estratos geológicos para hacer el hoyo que llegará al yacimiento petrolífero.

A toda la sarta le imparte su movimiento rotatorio la colisa por medio de la junta kelly o Top Drive, dependiendo del sistema rotatorio, la cual va enroscada al extremo superior de la sarta. El número de revoluciones por minuto que se le impone a la sarta depende de las características de los estratos como también del peso de la sarta que se deje descansar sobre la barrena, para que ésta pueda efectivamente cortar las rocas y ahondar el hoyo. En concordancia con esta acción mecánica de desmenuzar las rocas actúa el sistema de circulación del fluido de perforación, especialmente preparado y dosificado, el cual se bombea por la parte interna de la sarta para que salga por la barrena en el fondo del hoyo y arrastre

hasta la superficie la roca desmenuzada (ripio) por el espacio anular creado por la parte externa de la sarta y la pared del hoyo.

Del fondo del hoyo hacia arriba, la sarta de perforación la componen esencialmente:

- ❑ La barrena
- ❑ Los lastrabarrena
- ❑ La tubería o sarta de perforación
- ❑ La junta kelly

II 3.3.6 La barrena de perforación:

Conocida también como mecha de perforación, es la que se encarga de triturar y desfragmentar la roca con el fin de poder avanzar en la perforación. Cada barrena tiene un diámetro específico que determina la apertura del hoyo que se intente hacer. Y como en las tareas de perforación se requieren barrenas de diferentes diámetros, hay un grupo de gran diámetro que va desde 610 hasta 1.068 milímetros, 24 a 42 pulgadas, y seis rangos intermedios, para comenzar la parte superior del hoyo y meter una o dos tuberías de superficie de gran diámetro.

La selección del grupo de barrenas que ha de utilizarse en la perforación en determinado sitio depende de los diámetros de las sartas de revestimiento requeridas. Por otra parte, las características y grado de solidez de los estratos que conforman la columna geológica en el sitio determinan el tipo de barrenas más adecuado que debe elegirse. Generalmente, la elección de barrenas se fundamenta en la experiencia y resultados obtenidos en la perforación de formaciones muy blandas, blandas, semiduras, duras y muy duras en el área u otras áreas. En el caso de territorio virgen, se paga el noviciado y al correr el tiempo se ajustará la elección a las características de las rocas.



Figura. III 14 Barrena de conos y Barrena tipo Policristalina

II 3.3.6.1 Tipos de barrenas:

Originalmente, en los primeros años de utilización de la perforación rotatoria, el tipo común de barrena fue la de arrastre, fricción o aletas, compuesta por dos o tres aletas. La base afilada de las aletas, hechas de acero duro, se reforzaba con aleaciones metálicas más resistentes para darle mayor durabilidad. Algunos tipos eran de aletas reemplazables.

Al surgir la idea de obtener una muestra cilíndrica larga (núcleo) de las formaciones geológicas, la barrena de aleta fue rediseñada integrándole un cilindro de menor diámetro, concéntrico con el diámetro mayor de la barrena. Así que durante la perforación, la barrena desmenuza la superficie circular creada por la diferencia entre los dos diámetros, y el núcleo, de diámetro igual al cilindro interno de la barrena, se va cortando a medida que la barrena cortanúcleo avanza.

A partir de 1909, la barrena de conos giratorios hizo su aparición. Este nuevo tipo de barrena ganó aceptación bien pronto y hasta ahora es el tipo más utilizado para perforar rocas, desde las blandas hasta las duras y muy duras. Las barrenas se fabrican de dos, tres o cuatro conos.

Cada cono rota alrededor de un eje fijo que tiene que ser muy fuerte para que cada cono soporte el peso que se le impone a la barrena y pueda morder bien la roca para desmenuzarla. Por tanto, el encaje del cono en el eje tiene que ser muy seguro para evitar que el cono se desprenda. El movimiento rotatorio eficaz del cono se debe al conjunto de rolineras

internas empotradas alrededor del eje, las cuales por lubricación adecuadamente hermética mantienen su deslizamiento.

Además, la disposición, el diámetro y las características de los orificios o boquillas fijas o reemplazables por donde sale el fluido de perforación a través de la barrena, han sido objeto de modificaciones técnicas para lograr mayor eficacia hidráulica tanto para mantener la barrena en mejor estado físico como para mantener el fondo del hoyo libre del ripio que produce el avance de la barrena.

Otro tipo de barrenas, llamadas de diamante, porque su elemento cortante lo forman diamantes industriales o diamantes policristalinos compactos incrustados en el cuerpo de la barrena, también son usadas con éxito en la perforación. El diseño del cuerpo de la barrena así como la disposición y configuración de las hileras de diamantes ofrecen una gran variedad de alternativas para perforar las diferentes clases de rocas.

III 3.3.6.2 Código IADC (International Asociation Drilling Contractors)

Es un formato estandarizado utilizado en la industria petrolera, la cual indica el tamaño y dureza del diente, el tipo de formación a perforar y las características de la mecha. La configuración utilizada es la siguiente:

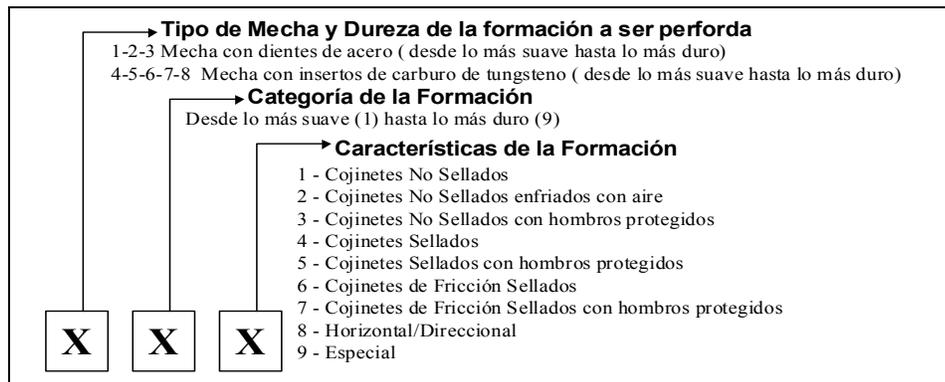


Figura. III 15 Formato IADC para la Selección de la Mecha

Además el código IADC, se utiliza para evaluar las condiciones físicas de la barrena, cada vez que esta se saca del hoyo, después de haber perforado un intervalo. El formato para la evaluación es el siguiente:

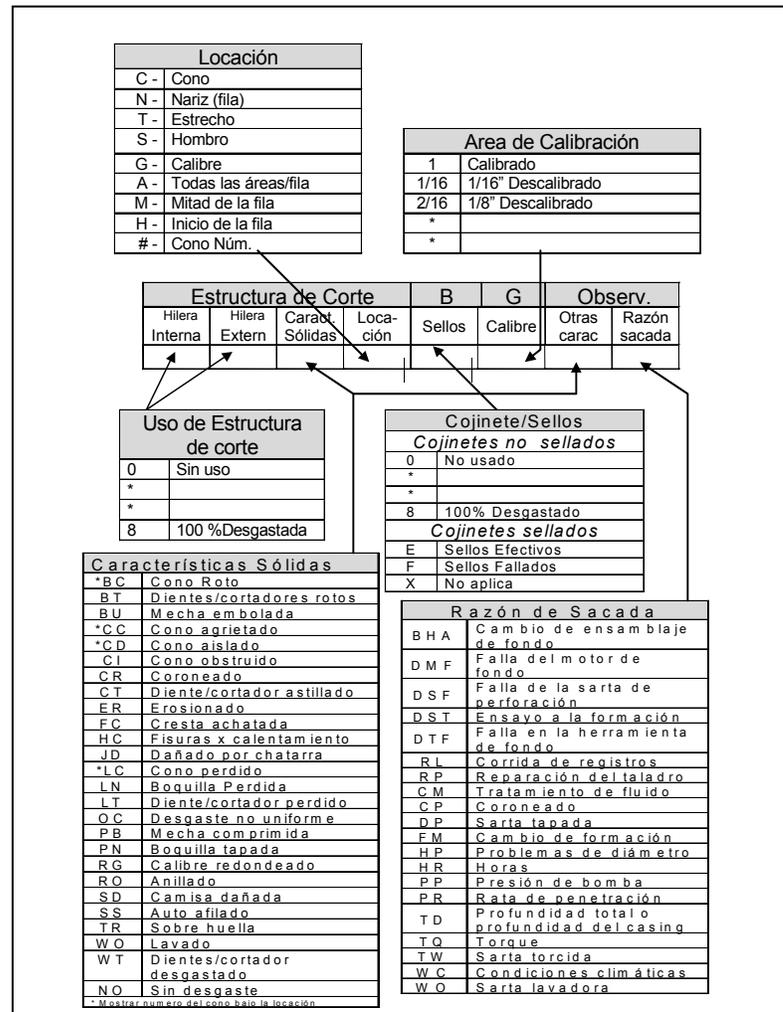


Figura. III 16 Formato IADC para la Evaluación de Mechas

III 3.3.7 La tubería lastrabarrena:

Tiene la función de mantener la tubería de perforación en tensión y no tener que imponerle pandeo y flexión para conservar sobre la barrena el lastre requerido para ahondar el hoyo, con el objeto de lograr que la trayectoria del hoyo se mantenga lo más verticalmente posible, controlando el peso sobre la barrena, la velocidad de rotación de la sarta y el volumen y velocidad anular del fluido de perforación bombeado.

Los lastrabarrena, como todo el equipo petrolero, se fabrican de acuerdo a normas y especificaciones del Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute, API) utilizando aleaciones de aceros especiales con cromo y molibdeno que tengan óptima resistencia y ductibilidad. Los lastrabarrena son, generalmente, redondos y lisos, pero los hay también con acanalamiento normal o en espiral, y del tipo cuadrado.

III 3.3.8 La tubería de perforación:

La tubería de perforación va conectada al lastrabarrena superior y su último tubo se enrosca a la junta kelly o Top Drive, la cual le imparte a la barrena y a toda la sarta el movimiento rotatorio producido por la mesa rotatoria o el top drive.

Además de las funciones de hacer girar e imponer peso a la barrena, la tubería de perforación es parte esencial del conducto que lleva el fluido de perforación desde las bombas al fondo del hoyo, a través de la barrena.

Por tanto, la tubería de perforación está expuesta a fuertes fuerzas de rotación, de tensión, de compresión, de flexión y pandeo, de torsión, de aprisionamiento por derrumbe del hoyo, de roce, de fatiga, de rebote y desgaste general. De allí que la fabricación se haga utilizando aleaciones especiales de acero, cuyas características soporten los esfuerzos a que están sujetos en el hoyo tanto cada tubo como las conexiones que los unen (caja o tool joint y pin o rosca), ver figura III 17 y III 18.

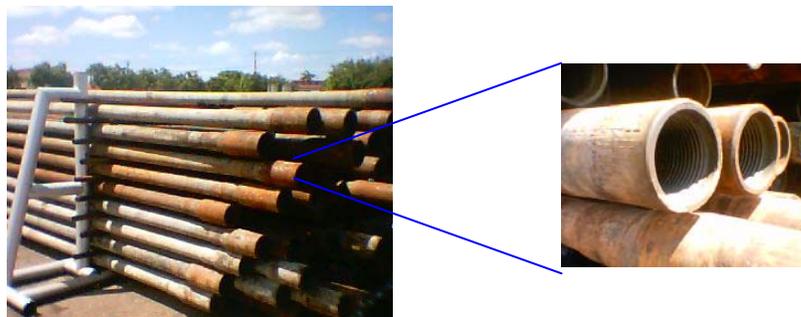


Figura. III 17 Caja o Tool Joint



Figura. III 18 Pin o Rosca

Las tuberías de perforación a su vez pueden clasificarse en dos tipos, el “heavy weight”, el cual puede trabajar a tensión y compresión, la cual puede ejercer peso a la mecha, y la tubería de perforación sencilla, la cual solo puede trabajar a tensión y tienen una longitud promedio de 30’. Ver figuras III 19 y III 20.



Figura. III 19 Heavy Weigth



Figura. III 20 Tubería de Perforación

III 3.4 El sistema de circulación del fluido de perforación:

El sistema de circulación del fluido de perforación es parte esencial del taladro. Sus componentes principales son:

- El fluido de perforación
- El área de preparación
- Los equipos de circulación
- El área de acondicionamiento

III 3.4.1 El Fluido de perforación:

Al correr de los años, la experiencia y la investigación básica y aplicada han contribuido a que las funciones y la calidad del fluido de perforación puedan ser ajustadas a las características de las rocas que desmenuza la barrena.

Originalmente, cuando se usaba el método de perforación a percusión, la barra de perforación ahondaba el hoyo percutiendo sobre la roca. Sin embargo, la acumulación de mucha roca desmenuzada en el fondo del hoyo entorpecía el avance de la perforación. La mejor manera disponible entonces para limpiar el fondo del hoyo de tanto ripio era extraer la barra y se le echaba agua al hoyo para hacer una mezcla aguada fácil de extraer utilizando el achicador. El achicador, de forma tubular, con una válvula en el extremo inferior y su asa en el extremo superior, también servía de batidor y su inserción y extracción del hoyo se hacía utilizando el cable auxiliar para achicar. De allí, para el perforador de la época y su cuadrilla, se originó que a lo extraído se le llamase barro, término hoy inaplicable al fluido de perforación por razones obvias.

III 3.4.2 Funciones básicas del fluido de perforación:

- 1) Transportar los recortes de la perforación y los derrumbes a la superficie.
- 2) Suspender los recortes de la perforación y los de los derrumbes en el espacio anular cuando la circulación se suspende.
- 3) Controlar la presión de la formación.
- 4) Enfriar y lubricar la barrena y la sarta de perforación.
- 5) Soportar las paredes del pozo.
- 6) Ayudar a suspender el peso de la sarta de perforación y el de la tubería de revestimiento.
- 7) Transmisión de energía hidráulica a la barrena.
- 8) Proveer el medio apropiado para correr registros petrofísicos.

III 3.4.2.1. Transporte de recortes y derrumbes:

Los recortes y los derrumbes son más pesados que el fluido de perforación, por lo que al mismo tiempo que son levantados por el fluido que circula por el espacio anular, están sujetos a la fuerza de gravedad y por lo tanto, a través del fluido de perforación, depende principalmente de la densidad y de la viscosidad del fluido, así como también del tamaño, forma y densidad de las partículas.

Conforme el fluido en el espacio anular se circula hacia arriba, la velocidad a la cual las partículas son levantadas es la diferencia entre la viscosidad anular y la velocidad de caída de los recortes y derrumbes. Si el agujero no se limpia apropiadamente, el material de sólidos se acumulará en el espacio anular causando incrementos en la torsión, la tensión y las presiones hidrostáticas. Las posibles consecuencias en este problema son: la falla de la tubería de perforación, tubería pegada, reducción en la velocidad de perforación y la pérdida de circulación.

III.3.4.2.2 Suspensión de partículas cuando se detiene la circulación:

Cuando el fluido no está circulando se elimina la fuerza de levantamiento de los mismos. Los recortes y derrumbes caerán al fondo al menos que el fluido de perforación tenga la propiedad de formar una estructura tipo gel cuando éste no fluya. El fluido deberá volver a su fluidez cuando la circulación se restablezca.

III 3.4.2.3 Control de presiones de la formación:

El agua, el gas y el aceite se encuentran en el subsuelo bajo grandes presiones. Esta presión se debe equilibrar para prevenir el flujo descontrolado de estos fluidos de formación hacia el pozo. El control se efectúa manteniendo la suficiente presión hidrostática en el pozo. La presión hidrostática es directamente proporcional a la densidad y altura de la columna del fluido de perforación, y viene dada por la siguiente ecuación:

$$P = 0,052 \cdot h \cdot \varphi$$

Ecuación III 1

Donde:

P = Presión [Psi]

h = Altura de la columna de fluido [Pies]

ϕ = Densidad del fluido de perforación [lpg]

III 3.4.2.4 Enfriamiento y lubricación de la barrena y de la sarta de perforación:

El calor se genera a medida que la barrena perfora el pozo y la sarta de perforación contra las paredes del mismo. El fluido de perforación debe absorber este calor para liberarlo durante la circulación.

El fluido de perforación también actúa como un lubricante para la barrena, la sarta de perforación y el revestimiento durante la perforación. Algunas partículas de perforación no pueden describirse apropiadamente como lubricantes; sin embargo la facilidad con la cual se deslizan una con otra y por su depositación sobre las paredes del hoyo, hacen que la fricción y la erosión sean mínimas. En ocasiones se agregan algunos materiales especiales al fluido de perforación para mejorar sus propiedades de lubricación. Entre los beneficios de esta propiedad de lubricación se incluye mayor tiempo en la vida de la barrena, disminución en la tensión y la torsión, reducción de la presión de la bomba y el desgaste por fricción entre la sarta de perforación y la tubería de revestimiento.

III 3.4.2.5 Soporte lateral de las paredes del pozo:

El soporte lateral de las paredes del pozo es realizado por el fluido de perforación hasta que sea colocada la sarta de revestimiento, de otro modo, la formación caería en el agujero. El mecanismo para prevenir estos derrumbes depende de la naturaleza de la formación. Si la formación es muy firme (de caliza por ejemplo) se requerirá de poco soporte del fluido de perforación. Si la formación es medianamente firme y consolidada (lutita por ejemplo), el soporte suficiente se obtendrá de la densidad del lodo. Si la formación es débil y no consolidada (arena por ejemplo), el fluido de perforación deberá tener la densidad y la capacidad suficientes para formar una costra delgada de partículas sobre las paredes del agujero.

III 3.4.2.6 Suspensión de la sarta de perforación y de la tubería de revestimiento:

El peso de una sarta de perforación o de una de revestimiento puede exceder de las 200 toneladas. Estos enormes pesos representan un gran esfuerzo para los equipos de perforación; sin embargo, estos pesos son parcialmente soportados por el efecto de flotación del fluido de perforación, el cual se traduce en una fuerza. La fuerza de flotación está en función de la presión ejercida por el fluido y del área de la sección transversal sobre la cual actúa esta presión.

III 3.4.2.7 Transmisión de energía hidráulica:

Durante la circulación, el fluido de perforación es expulsado a través de las toberas de la barrena a muy alta velocidad. Esta fuerza hidráulica mantiene a la superficie debajo de la barrena libre de recortes de perforación. Si los recortes no son removidos, la barrena vuelve a destruirlos y por lo tanto se reduce la velocidad de perforación. La remoción apropiada del material de la superficie de la barrena depende de las propiedades físicas del fluido de perforación y de su velocidad al salir por las toberas de la barrena.

En situaciones especiales, la fuerza hidráulica del fluido de perforación se utiliza para hacer que la barrena gire. La barrena se acopla de un motor de fondo hidráulico y este a su vez se ensambla en el fondo de la sarta de perforación. Este método se utiliza principalmente en la perforación direccional aunque también ha ganado aceptación para la penetración de agujeros verticales en algunas áreas.

III 3.4.2.8 Proporcionar el medio para la toma de registros de núcleos:

Aunque los fluidos de perforación perturban las características originales de las formaciones, su presencia es necesaria en muchos de los registros eléctricos más comunes utilizados para evaluar la formación. El uso de estos registros requiere de que el fluido de perforación sea conductor de electricidad y que además exhiba propiedades eléctricas diferentes a las de los fluidos en la formación. La evaluación de la formación se dificulta si la

fase líquida del fluido de perforación penetra más de lo debido en la formación o si el fluido erosiona física y químicamente el pozo.

III 3.4.3 Ventajas en la aplicación adecuada de los fluidos de perforación:

Las ventajas en la aplicación adecuada de los fluidos de perforación, son la de optimizar sus funciones y minimizar sus efectos adversos para lograr avances de perforación económicos, así como la máxima seguridad en las operaciones.

Los fluidos de perforación se clasifican en:

- Base Agua
- Base Aceite
- Aireados

III 3.4.4. Lodos base agua:

Son los lodos que contienen agua relativamente fresca y una arcilla en concentración variable, según el tipo de lodo que se trate.

Para una mejor identificación de este tipo de lodos, se clasifican de acuerdo al tipo de dispersantes usado en su control. Este dispersante es el que le da las características predominantes al lodo, según su naturaleza, la cual dictará su capacidad y limitaciones de control.

- Lodos tratados con dispersantes inorgánicos.
- Lodos tratados con dispersantes orgánicos.
- Lodos emulsionados
- Lodos inhibidos
- Lodos de bajo contenido de sólidos.

III 3.4.4.1 Lodos tratados con dispersantes inorgánicos:

El inicio de la perforación de cualquier pozo petrolero en el que se haya planeado utilizar un lodo base agua, se hace con lo que se conoce como un “lodo natural”, o sea, una mezcla de agua dulce con arcilla comercial conocida con el nombre genérico de bentonita.

La concentración de arcilla por m³ de agua generalmente es de 50 a 75 Kg, pero puede variar dependiendo de la calidad de ésta, de las características del agua empleada y de los requerimientos del lodo, dictados por el tipo y localización de pozo a perforar.

Conforme se avanza, después de iniciada la perforación, se incorpora al lodo partículas sólidas de la formación perforada que incrementan la viscosidad original del lodo, requiriéndose de algún producto reductor de ésta.

Los productos que ejercen esa función son los dispersantes, de diseño específico para este fin y que en este caso se les conoce como inorgánicos por su naturaleza química. Los de uso más común son los de polisfosfato, requeridos en concentraciones bajas para controlar la viscosidad en condiciones normales para la concentración de sólidos en el lodo. Esto requiere buena eliminación de sólidos a través del equipo auxiliar correspondiente.

III 3.4.4.2 Lodos tratados con dispersantes orgánicos:

□ Taninos:

Son una mezcla de arcilla (bentonita) y agua dulce y que tienen como característica principal el soportar temperaturas de aproximadamente 100°C antes de presentar dificultades en su control, además es sensible a las contaminaciones de calcio y cloruros.

□ Lignitos o cromolignitos:

El uso de este material en este tipo de lodos se hace en virtud de que estos productos soportan temperaturas de hasta 200°C y se comportan además como dispersantes, como agentes de control de filtrado, lo cual lo hace más útiles para diversos rangos de temperaturas

y profundidades, también tienen la versatilidad de poder ser emulsionados con aceite (5 a 10% en volumen).

□ **Cromolignitos y Lignosulfonatos:**

Es uno de los más usados en la actualidad; tiene la ventaja obvia de combinar la acción de control del filtrado del cromolignito con la eficiencia de dispersión del lignosulfonato.

III 3.4.4.3 Lodos base agua emulsionados:

Este tipo de lodos lleva emulsificantes, los cuales se encargan que se mantengan dispersas las moléculas de aceite en el agua. Sus funciones principales son la reducción de la torsión de la tubería, aumento en el avance de la perforación, aumento en la vida de la barrena, reducción del embolamiento de la barrena, prevención de pegaduras de tubería por presión diferencial entre otros.

Al emulsionar un lodo base agua se producen algunos cambios físicos como reducción en la densidad, aumento de la viscosidad y disminución del filtrado estático.

III 3.4.4.4 Lodos base agua inhibidos:

Son los que se utilizan para evitar la hidratación de la arcilla y su subsecuente dispersión. Estos lodos son preparados con grandes cantidades de sales disueltas las cuales poseen electrolitos, lo cual disminuye la dispersión de las arcillas.

Los tipos de los lodos inhibidos más conocidos son:

- Lodos cálcicos
- Lodos base yeso
- Lodos de agua de mar
- Lodos de agua de sal

Aunque el uso de estos lodos se ha visto reducido por la utilización de otros sistemas que ofrecen mayor versatilidad y economía, los lodos base agua de mar representan un valor potencial tremendo en cuanto a su perforación marina.

III 3.4.4.5 Lodos base agua de bajo contenido de sólidos (lodo polimérico):

Son lodos que llenan ciertos requisitos de densidad, viscosidad y filtrado con poco contenido de arcilla. Estos lodos son eficientes para el aumento de la tasa de perforación debido al poco contenido de partículas disueltas.

Se clasifican en:

- Lodos preparados con arcillas beneficiada
- Lodo no disperso.

- *Lodos preparados con arcilla beneficiada:*

Este lodo puede dar mejores avances de penetración sin sacrificar la capacidad de acarreo, necesaria para la limpieza del agujero y control de filtrado para mantener la estabilidad del mismo. Estas ventajas pueden perderse cuando se agregan dispersantes reductores de viscosidad. El control de estos lodos es difícil, debiendo cuidarse la relación crítica arcilla-polímero, cuidando mucho con agua o el aumento de sólidos.

- *Lodo no disperso:*

En este tipo de fluido se usan polímeros, en lugar de altas cantidades de baritas para el control del filtrado.

Por medio de pruebas de laboratorio y de campo se ha demostrado la utilidad de este tipo de lodos en áreas donde esta es aplicable, obteniéndose grandes por el aumento en el avance de penetración, en la vida de la barrena y una mejor estabilidad del agujero.

Entre las ventajas de este tipo de lodo se puede citar:

- ❑ Buenas propiedades de filtración a bajo contenido de sólidos.
- ❑ Funcionan bien sin necesidad de agregar grandes cantidades de dispersantes y soda cáustica, por tanto se evita la excesiva dispersión.
- ❑ Los polímeros tienden a encapsular los sólidos perforados que se incorporan al lodo, retardando así la hidratación y subsecuente dispersión del recorte en el lodo.

El mantenimiento de este tipo de sólidos, aparte de las instrucciones específicas para cada marca o clase, puede incluir las siguientes sugerencias:

- ❑ Uso mínimo de bentonita
- ❑ Uso de un agente de control de sólidos.
- ❑ Un mínimo de dispersantes para control de viscosidad y gelatinosidad.
- ❑ Uso de diesel o aceite para emulsionar sin necesidad de emulsionantes.
- ❑ Eliminar uso excesivo de agua
- ❑ Uso de equipos de control de sólidos adecuado.

III 3.4.5 Lodos base aceite:

Es aquel cuya fase continua es aceite y la fase dispersa es agua, ya sea dulce o salada, conociéndose como emulsión inversa, y su función principal es evitar daño en las zonas productoras.

Una emulsión de agua en aceite es estabilizada por varios emulsionantes. En una buena emulsión no debe haber tendencia a la separación de fases. El aceite permanecerá como fase continua y las gotas de agua no serán capaces de abrirse o entrar en contacto con el agujero o con la sarta de perforación.

Las gotas de agua incrementan la viscosidad y contribuyen sustancialmente a la fuerza de gelatinosidad, al control del filtrado y a la suspensión de la barita. Entre más

pequeñas son las gotas emulsionadas se obtienen viscosidades más altas, mejor suspensión y filtrado más bajo.

La mayoría de los lodos emulsión inversa se usan con una relación muy cercana a la óptima entre las cantidades de aceite y agua. Esta relación aceite/agua está diseñada para dar al lodo el mejor balance entre viscosidad, filtrado y estabilidad de la emulsión.

III 3.4.6 Fluidos aereados:

Se dividen en dos, de aire y de espuma

III 3.4.6.1 Aire:

Se utilizan principalmente por tres razones.

- 1) Se obtienen rápidos avances de penetración.
- 2) Se minimiza la presión ejercida sobre la perforación
- 3) Se puede perforar económicamente en zonas de pérdidas de circulación severa.

Además del uso del equipo especial requerido y las técnicas adecuadas, se requiere la previsión de problemas tales como la entrada de agua que da por resultado un embolamiento de la barrena, formación de anillos de las juntas de la tubería y empacamientos de las paredes del pozo.

III 3.4.6.2 Espuma:

Se utiliza donde la perforación con aire se imposibilita por la intrusión del agua. Este fluido es un sistema coloidal en el cual las dos fases son un gas (aire) y un líquido (agua) adicionado con un agente espumante.

Las ventajas de este fluido son las siguientes:

- Avances de penetración aproximadamente iguales a los obtenidos con aire a los obtenidos con aire.
- Permite economía en la perforación en zonas de pérdidas de circulación.
- Reduce los requerimientos de compresión de aire en forma substancial.
- Elimina problemas asociados con la perforación con la perforación con aire como lo son la erosión del agujero y la limpieza del mismo.

III 3.4.7 Area de preparación del lodo de perforación:

El área del fluido de perforación está localizada al comienzo del sistema de circulación, este es el área donde se prepara inicialmente el lodo. Las condiciones del lodo pueden alterarse para mantener las paredes del hueco estable, o un fluido que proteja las formaciones productoras de posibles daños.

Esta área consta de un ensamblaje de equipos especializados que facilitan la preparación y el tratamiento del lodo, los cuales incluyen la casa de la química, donde se almacenan los aditivos; los tanques de acero los cuales facilitan el manejo de perforación en la superficie; el embudo de mezclado que es un mecanismo usado para agregar rápidamente aditivos al lodo de perforación (ver figura III 21); depósitos de química a granel, las cuales son depósitos grandes en forma de embudos usados para el manejo de aditivos de grandes cantidades; el tanque de agua que es usado para almacenar agua para la preparación del fluido, en caso de este no existir, el mismo se traslada en camiones cisternas; y el tanque de reserva donde se encuentra el lodo a utilizar en caso de una pérdida de circulación (ver figura III 22).



Embudo de mezclado



Figura. III 21 Embudo de Mezclado

Figura. III 22 Tanque de Reserva

III 3.4.8 Equipos de circulación:

Son equipos especializados que físicamente mueven el lodo desde el área de preparación y lo envían dentro y fuera del hueco, el área de acondicionamiento y luego retorna al área de preparación para circular meramente. Estos equipos son:

III 3.4.8.1 Línea de descarga y retorno:

Líneas que conectan la entrada y la salida del lodo al pozo.

III 3.4.8.2 Tubo vertical:

Tubo vertical que conectan la entrada y la salida del lodo al pozo. En este tramo del circuito de circulación del fluido, la conexión tipo brida de la descarga de la bomba se une, por medio de una tubería de diámetro apropiado, al tubo subiente, también llamado tubería vertical o paral ubicado en la cabria, ver figura III 23.



Figura. III 23 Tubería Vertical o Paral

III 3.4.8.3 Manguera rotatoria:

Manguera fuerte y resistente de goma que une el tubo vertical a la junta rotatoria. Ver figura III 24



Figura. III 24 Manguera Rotatoria o de Lodo

3.4.8.4 Las bombas de circulación:

La función principal de la(s) bomba(s) de circulación es mandar determinado volumen del fluido a determinada presión, hasta el fondo del hoyo, vía el circuito descendente formado por la tubería de descarga de la bomba, el tubo de paral, la manguera, la junta rotatoria, la junta kelly o Top Drive, la sarta de perforación (compuesta por la tubería de perforación y la sarta lastrarbarrena) y la barrena para ascender a la superficie por el espacio anular creado por la pared del hoyo y el perímetro exterior de la sarta de perforación. Del espacio anular, el fluido de perforación sale por el tubo de descarga hacia el cernidor o zaranda vibratoria, luego pasa por el desgasificador, seguido por el desarenador, los conos invertidos y el deslimador, estos tres últimos conocidos como tres en uno, y los cuales separa del fluido la roca desmenuzada (ripio) por la barrena, este ripio sigue por un canal adecuado a un tanque de asentamiento donde es acondicionado con aserrín y esparcido en el “land farmer” para minimizar los daños en el ambiente. Por su parte el lodo llega a los tanques activos donde es removido continuamente para que mantenga su homogeneidad para luego ser otra vez succionado por la(s) bomba(s) y mantener la continuidad de la circulación durante la perforación, o parada ésta se continuará la circulación por el tiempo que el perforador determine por razones operacionales.

La selección de las bombas depende de la profundidad máxima de perforación del taladro, que a la vez se traduce en presión y volumen del fluido en circulación. Las bombas son generalmente de dos (gemela) o tres (triplex) cilindros. Cada cilindro de la gemela (dúplex) descarga y succiona durante una embolada, facilitando así una circulación continua.

La succión y descarga de la triple es sencilla pero por su número de cilindros la circulación es continua. Para evitar el golpeteo del fluido durante la succión y descarga, la bomba está provista de una cámara de amortiguación, también llamado pulmón. Figura III 25.

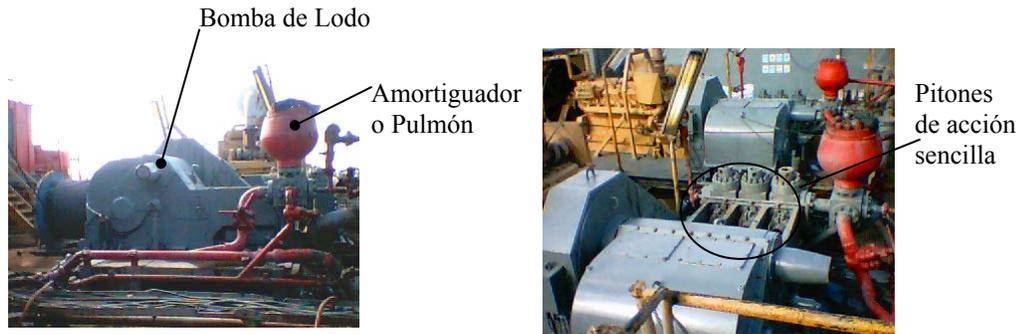


Figura. III 25 Bombas de Lodo triples y Amortiguador

La potencia o c.d.f. (h.p.) requerida por la bomba se la imparte la planta de fuerza motriz del taladro, por medio de la transmisión y mandos apropiados (Ver Figura III 26). La potencia máxima de funcionamiento requerida por la bomba especifica su capacidad máxima.

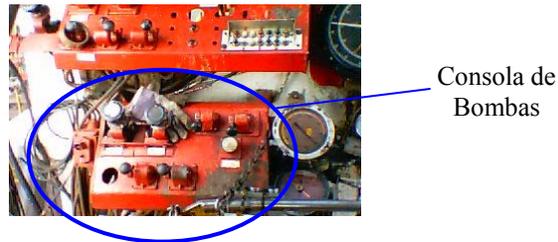


Figura. III 26 Válvulas de las Bombas de Lodo

III 3.4.8.5 Tanques de acero y removedores:

Tanques para el lodo que facilitan la preparación y mantenimiento del mismo y los removedores mantener el fluido homogeneizado en todo momento, ver figura. III 27.



Figura. III 27 Tanque de lodo y removedores

III 3.4.9 Area de acondicionamiento:

Esta es el área donde acondiciona el lodo después que sale del pozo. Van colocados en el siguiente orden:

III 3.4.9.1 Separador de gas:

Dispositivo que se usa para separar grandes cantidades de gas que entran al lodo, ya que este disminuye la densidad del mismo, reduce la presión de la columna hidrostática del fluido, aumenta su volumen y reduce la eficiencia de las bombas, ver figura III 28.



Figura. III 28 Separador de Gas

Este aparato se utiliza cuando el lodo viene con un alto corte de gas o existe la presencia de una arremetida por gas. En ese caso, el pozo se cierra y se desahoga a través de la tubería HCR, la cual está diseñada para resistir altas presiones, y está conectada con el many fold o estrangulador (figura. III 29), que luego va al separador de gas, donde el lodo sigue su recorrido normal y el gas se conduce por tubería hacia el tanque para gas (figura III 30).



HCR



Figura. III 29 Many Fold o estrangulador

Figura. III 30 Tanque de Gas

III 3.4.9.2 Zaranda o vibrador:

Aparato que sirve para separar los ripios cortados por la barrena y lo realiza mediante el movimiento del lodo al pasar por una malla vibrante quedando sobre esta las partículas o ripios ver figura III 31.



Figura. III 31 Zaranda

III 3.4.9.3 Desgasificador:

Es un aparato que continuamente sirve para separar las pequeñas cantidades de gas del lodo, ver figura III 32.

Desgasificador



Figura. III 32 Desgasificador

III 3.4.4.4 Desarenador:

Mecanismo que se usa para separar la arena del lodo, formado por varios cilindros cónicos. El lodo de perforación se hace pasar por cada cilindro a presión donde las partículas pesadas se separan y se envían al fondo por la acción de la fuerza centrífuga. Ver figura III 33.



Figura. III 33 Desarenador

III 3.4.9.5 Separador de sólidos:

Es similar al desarenador en la operación, y la diferencia consiste en que separa del lodo las partículas de sólido más pequeñas. Estos equipos ayudan a alargar la vida de la bomba y reduce las grandes cantidades de sólidos de la formación que afecta todo el sistema de circulación, ver figura III 34.



Figura. III 34 Separador de Sólidos

III 3.5 Sistema impide reventones:

Su función principal es controlar una arremetida. Un reventón es un flujo incontrolado de la formación a la superficie. Un reventón siempre comienza con una arremetida, la cual es una entrada de flujo de alta presión dentro del hueco. Esta entrada de flujo se puede convertir en un reventón si no es inmediatamente manejada por la cuadrilla. El sistema impide reventones lo forman dos subcomponentes principales:

III 3.5.1 El conjunto de válvulas impide reventones:

Es un ensamblaje de válvulas de alta presión que se utilizan para contener la presión del hueco del pozo en el momento de una arremetida, ver figura III 35.



Figura. III 35 Válvulas Impide Reventones

Los componentes del conjunto de válvulas impide reventones son:

- ❑ El preventor anular
- ❑ El preventor de ariete
- ❑ Los carros de perforación
- ❑ El cabezal de revestimiento

III 3.5.2 Distribuidor de flujo:

Es un ensamblaje de tubería bridada de alta presión con varias salidas laterales controladas por válvulas manuales o automáticas. Está conectado al conjunto de válvulas impide reventones por una línea de alta presión llamada línea de estrangulación. Cuando se activa el distribuidor de flujo se mantiene suficiente contrapresión en el hueco para prevenir que continúe entrando fluido de la formación al pozo. El lodo entonces puede desviarse a través de los impide reventones por una serie de válvulas, al separador de gas o el área de acondicionamiento.

III 3.5.2.1 La línea de matar:

Se conecta al conjunto de válvulas impide reventones directamente opuesta al distribuidor de flujo o línea de estrangulación. El lodo pesado se bombea a través de esta línea al pozo hasta que la presión se haya restaurado.

III 3.5.2.2 El acumulador:

Es una unidad de alta presión hidráulica, la cual conserva líquido bajo presión en tanques. En una emergencia, la cuadrilla puede usar el control del acumulador para cerrar cualquiera o todas las válvulas impide reventones, ver figura III 36.



Figura. III 36 Acumulador

III 4 El hoyo o pozo vertical:

En el verdadero sentido técnico y aplicación de la perforación rotatoria no es fácil mantener el hoyo en rigurosa verticalidad desde la superficie hasta la profundidad final. Mientras más profundo esté el yacimiento petrolífero, más control exigirá la trayectoria de la barrena para mantener el hoyo recto. Varios factores mecánicos y geológicos influyen en el proceso de hacer hoyo. Algunos de estos factores tienen marcada influencia entre sí, la cual a veces, hace más fácil la posible aplicación de correctivos para enderezar el hoyo.

Entre los factores mecánicos están: las características, diámetros y peso por unidad de longitud de los tubos que componen la sarta de perforación; el tipo de la barrena; la velocidad de la sarta; el peso de la sarta que se deja actuar sobre la barrena, para que esta muerda, penetre y despedace la roca; el tipo y las características tixotrópicas del fluido de perforación utilizado su peso por unidad de volumen para contrarrestar las presiones de las formaciones

perforadas, la velocidad y caudal suficientes de salida del fluido por las boquillas de la barrena para garantizar la limpieza del fondo del hoyo y el arrastre del ripio hasta la superficie.

Los factores geológicos tienen que ver con la clase y constitución del material de las rocas, muy particularmente el grado de dureza, que influye mucho sobre el progreso y avance de la perforación; el buzamiento o inclinación de las formaciones con respecto a la superficie como plano de referencia. La intercalación de estratos de diferentes durezas y buzamientos influye en que la trayectoria de la barrena sea afectada en inclinación y dirección por tales cambios, y más si los factores mecánicos de la sarta y del fluido de perforación sincronizan con la situación planteada. Por tanto, es necesario verificar cada cierto tiempo y a intervalos determinados la verticalidad convencional del hoyo, mediante registros y análisis de los factores mencionados.

En la práctica se acepta una cierta desviación del hoyo. Desde los comienzos de la perforación rotaria se ha tolerado que un hoyo es razonable y convencionalmente vertical cuando su trayectoria no rebasa los límites del perímetro de un cilindro imaginario, que se extiende desde la superficie hasta la profundidad total cuyo radio, desde el centro de la mesa rotaria, toca las cuatro patas de la cabria.

III 5 Cementación de sartas:

La cementación de pozos se define como el procedimiento combinado de mezcla de cemento y agua, y la inyección de estas a través de la tubería de revestimiento o la de producción en zonas críticas, esto es, alrededor del fondo de la zapata de la tubería revestidora, en el espacio anular, en el hoyo no revestido (desnudo) y más debajo de la zapata, o bien en una formación permeable.

III 5.1 Funciones de la cementación primaria:

Esta se realiza a presiones suficientes, para la mezcla de cemento bombeada por el interior de la sarta revestidora sea desplazada a través de la zapata que lleva el extremo inferior de la sarta. La zapata se deja a cierta distancia del fondo del hoyo. La mezcla que se

desplaza por la zapata asciende por el espacio anular hasta cubrir la distancia calculada que debe quedar rellena de cemento.

En el caso del revestimiento de superficie o sarta primaria, el relleno se hace hasta la superficie. Si por circunstancias, como sería el caso de que las formaciones tomaran cemento, la mezcla no llegase a la superficie, entonces el relleno del espacio anular se completa bombeando cemento desde arriba (“top job”).

Las funciones de la cementación son las siguientes:

- ❑ Sirve para afianzar la sarta y para protegerla contra el deterioro durante los siguientes trabajos de reacondicionamiento que se hagan en el pozo.
- ❑ Protege la sarta y las formaciones cubiertas: gasíferas, petroleras y/o acuíferas.
- ❑ Efectúa el aislamiento de las formaciones productivas y el confinamiento de estratos acuíferos. Evita la migración de los fluidos entre las formaciones, también protege las formaciones contra derrumbes.
- ❑ Refuerza la sarta revestidora contra el aplastamiento que puedan imponerle presiones externas.
- ❑ Refuerza la resistencia de la sarta a presiones de estallido.
- ❑ Protege la sarta contra la corrosión
- ❑ Protege la sarta durante los trabajos de cañoneo.

III 6 Terminación del pozo.

Cementada la última sarta de revestimiento, que tiene doble función de revestidor y de sarta de producción, se procede a realizar el programa de terminación del pozo.

La terminación constituye el primer paso en lo que será la etapa de producción del pozo.

Se define como fecha de terminación del pozo aquella en que las pruebas y evaluaciones finales de producción, de los estratos e intervalos seleccionados son consideradas satisfactorias y el pozo ha sido provisto de los aditamentos definitivos requeridos y, por ende, se ordena el desmantelamiento y salida del taladro en sitio.

III 6.1 Tipos de terminación:

Existen varios tipos de terminación de pozos. Cada tipo es elegido para responder a condiciones mecánicas y geológicas impuestas por la naturaleza del yacimiento. Sin embargo, siempre debe tenerse presente que la terminación mientras menos aparatosa mejor, ya que durante la vida productiva del pozo, sin duda, se requerirá volver al hoyo para trabajos de limpieza o reacondicionamientos menores o mayores. Además, es muy importante el aspecto económico de la terminación elegida por los costos de trabajos posteriores para conservar el pozo en producción.

La elección de la terminación debe ajustarse al tipo y a la mecánica del flujo, del yacimiento al pozo y del fondo del pozo a la superficie, como también al tipo del crudo. Si el yacimiento tiene suficiente presión para expeler petróleo hasta la superficie, al pozo se le cataloga como de flujo natural, pero si la presión es suficiente para que el petróleo llegue nada más que hasta cierto nivel en el pozo, entonces se hará producir por medio de bombeo mecánico o hidráulico o por levantamiento artificial a gas.

III 6.1.1 Terminación vertical sencilla:

La terminación sencilla contempla generalmente la selección de un solo horizonte productor para que descargue el petróleo hacia el pozo. Sin embargo existen varias modalidades de terminación sencilla.

La terminación sencilla clásica, con el revestidor cementado hasta la profundidad total del hoyo (figura III 37), consiste en que el revestidor sea cañoneado por bala o por proyectil a chorro, para abrir tantos orificios (perforaciones) de determinado diámetro por metro lineal hélico para establecer el flujo del yacimiento hacia el pozo.

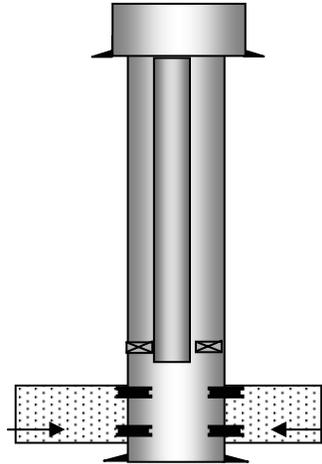


Figura. III 37. Modalidad de terminación sencilla básica, pozo vertical.

Otra versión de terminación sencilla, permite que selectivamente puede ponerse en producción determinado intervalo (figura III 38). Para esto se requiere adaptar la sarta de producción a las empaaduras de obstrucción requeridas y las válvulas especiales en frente de cada intervalo para permitir que el petróleo fluya del intervalo deseado y los otros dos estratos se mantengan sin producir.

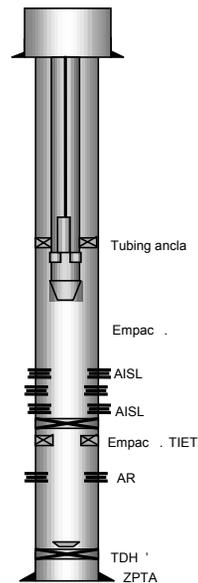


Figura. III 38. Terminación sencilla de opción múltiple selectiva.

Por las características petrofísicas de la roca, especialmente en el caso de caliza, dolomita o arenas masivas, la terminación puede hacerse a hoyo desnudo, o sea que el revestidor se cementa más arriba del intervalo productor. Luego se puede estimular o fracturar el intervalo productor, y en caso de arenas masivas o poco consolidadas, colocar liners ranurados y realizar un empaque con grava (figura III 39).

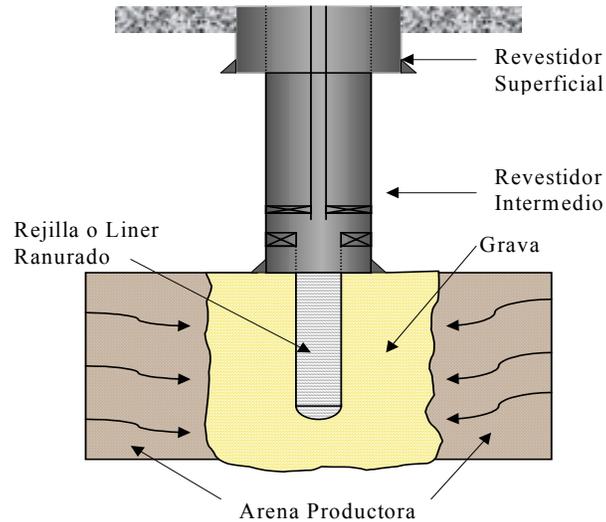


Figura. III 39. Terminación sencilla y empaque con grava a hoyo desnudo.

III 6.2 Bombeo de Cavidad Progresiva (BCP)

El funcionamiento de las bombas de cavidades progresivas está basado en el principio ideado por un inventor francés a finales de los años 20, llamado René Moineau. Utiliza un rotor de forma helicoidal de n lóbulos (ó entradas) dentro de un estator en forma de helicoide de $n+1$ lóbulos. Las dimensiones del rotor y el estator son tales que producen una interferencia, la cual crea líneas de sello que definen las cavidades. Al girar el rotor, estas cavidades se desplazan, en un movimiento combinado de traslación y rotación, que se manifiesta en un desplazamiento helicoidal de las cavidades desde la succión a la descarga, ver figura III 40.



Figura III 40 Bomba de Cavidad Progresiva (BCP)

El accionamiento del rotor es realizado generalmente mediante una sarta de cabilla, que transmite el movimiento giratorio desde la superficie este a su vez conectada a un cabezal giratorio que soporta la carga axial de las cabillas y que es accionado por un motor eléctrico.

Un sistema BCP está constituido por dos componentes: De superficies y de subsuelo. A continuación se enumeran los equipos típicamente utilizados en una completación BCP moderna desde el fondo hacia la superficie:

III 6.2.1 Equipo de Subsuelo

- *Ancla anti- torque:* Utilizada para evitar desprendimientos de la tubería por desenrosque o rotura.
- *Ancla de gas:* Su función es de limitar la cantidad de gas libre que maneja la BCP, permitiendo la mejor operación de la misma. Esto lo hace separando el gas libre del crudo y desplazándolo hacia el espacio anular.
- *Bomba de cavidad progresiva:* A través de la interacción entre el rotor y el estator se genera una cavidad sellada de forma helicoidal que permite el desplazamiento positivo del crudo. Las partes de una BCP son:
 - *Rotor:* Se fabrica con acero altamente fortalecido y se recubre de una capa de cromo para minimizar la abrasión generada por el transporte de fluidos que contienen

partículas sólidas y para disminuir la fricción entre el rotor y el estator. El espesor de dicha capa se fabrica en función de la naturaleza abrasiva de los productos bombeados (espesores típicos = 300 a 370 micras). Posee una sección longitudinal helicoidal sencilla, acoplada por arriba con las cabillas de quien recibe la energía rotacional para girar dentro del estator y provocar la progresión del fluido hacia la descarga o parte superior de la bomba. El diámetro del rotor, dependerá del posible hinchamiento del elastómero debido a la presión, temperatura y naturaleza de los fluidos bombeados.

- *Estator:* Se fabrica con un elastómero diseñado particularmente para tolerar efluentes a temperaturas de subsuelo: petróleo, agua y gas. Es externamente tubular e internamente helicoidal y está definido por: el diámetro seccional mínimo, diámetro seccional máximo y el paso de su hélice o etapa. El estator enrosca por arriba a la tubería de producción.
- *Niple de paro:* Es un tubular enroscado o soldado a la succión de la BCP, con un pin de cabilla que lo atraviesa transversalmente en su parte interior y evita que el rotor pueda caer en caso de desprenderse de las cabillas por partidura o desenrosque.
- *Sarta de cabilla:* Transmite la energía rotacional recibida desde el motor hacia el rotor de la BCP. Pueden ser continuas o convencionales acopladas por un niple hueco de doble rosca.
- *Tubería:* Generalmente usadas para desalojar el crudo de producción hasta la superficie.

III 6.2.2 Equipo de superficie

- *Arbol de navidad:* Comprendido por el Tubing Top, BOP, T de flujo. El tubing Top o tope de la tubería es una pieza integrada que funciona como colgador de la tubería de

producción. El BOP es una válvula preventora de explosiones y la T de flujo sirve de soporte al cabezal rotatorio así como permitir el paso del crudo hacia la tubería de superficie. Actualmente estos tres instrumentos vienen integrados en una sola pieza llamada CPT (Composite Pumping Tree o Crown Composite).

- *Cabezal rotatorio*: Tiene como función transmitir el movimiento rotacional del motor hacia las cabillas, soportar en superficie el peso total de la sarta de cabillas (transportar la carga axial de las cabillas), aislar el sistema de rotación del fluido del pozo por medio de una prensa estopa y soportar el sistema de rotación.

- *Motovariador o motor-reductor*: Estos equipos se dividen en dos tipos generales según la forma de transmitir a su través la energía recibida de parte del motor: “Directos”, en línea a través de un caja reductora y “de Correa y Poleas”. Los de correa y polea acoplan el motor al eje de una polea generalmente a un lado del cabezal rotatorio el cual acopla a la segunda polea. Las dos poleas son entonces unidas por una correa que permite la transmisión de la energía rotacional de polea a polea.

- *Variador de frecuencia*: Es un sistema de última tecnología que permite el ajuste de la frecuencia de operación del motor eléctrico en base a una curva que relaciona el voltaje con la frecuencia.

III 7 Planificación de la perforación:

Los objetivos de cualquier proyecto de perforación son, además de la seguridad del personal, llegar a los objetivos planteados al menor costo posible, en tiempo planificado y con un potencial inicial (barriles netos de petróleo por día), económicamente rentable. Para lograr dichos objetivos se debe anticipar o planificar los problemas potenciales que pueden ocurrir y abastecerse de las provisiones necesarias para la evasión de problemas mayores.

Para entender la importancia de una buena planificación debemos de ver los objetivos desde dos perspectivas: lidiar con los problemas de perforación y optimizar las operaciones normales.

Un problema de perforación es cualquier ocurrencia o condición que se atravesase en el camino hacia los objetivos. Puede implicar desde problemas ambientales o retrasos de transporte hasta reventones.

Una planificación fuertemente respaldada por una profunda investigación es nuestra mejor defensa contra problemas de hoyo. Cada aspecto del plan, desde mudanza del taladro hasta las actividades de completación deben ser diseñadas para predecir y controlar estos problemas. Un plan de pozo efectivo requiere tanto de una investigación como de recolección de data como:

- ❑ Registro de barrena
- ❑ Registro de lodo
- ❑ Estudios sísmicos
- ❑ Contornos geológicos
- ❑ Estudio de pozos
- ❑ Bases de data o archivos de compañía de servicios
- ❑ Historias de producción de pozos vecinos

El ingeniero debe usar todas las fuentes disponibles de información para identificar y planificar la operación para lidiar con los problemas operacionales. El personal del taladro debe monitorear continuamente el estado de la perforación de manera de lograr una temprana ejecución de los planes de contingencia ante cualquier problema que se presente.

El primer paso en la planificación de cualquier trabajo de perforación es acumular la data necesaria. De principal importancia es la configuración de los tubulares de completación.

- ❑ Peso y tamaño de revestidor y/o liner.

- ❑ Peso y tamaño del entubado
- ❑ Restricciones del entubado, localización y diámetro interno.
- ❑ El tipo de empaque y la presión que debe soportar.
- ❑ Especificaciones del cabezal o conexión del equipo impide reventones
- ❑ Condiciones de los revestidores o entubado, desgaste, corrosión, etc.

Otras condiciones del pozo deben ser tomadas en cuenta son:

- ❑ La temperatura esperada en el fondo
- ❑ La presión de formación
- ❑ El diferencial de presión presente en el subsuelo.
- ❑ El tipo de fluido en el pozo y en la formación.
- ❑ Nivel de fluido en la tubería o revestidores.
- ❑ Cualquier presión de superficie que se asume al fluido en el tubo o en el anular.
- ❑ Caudales y presiones de flujo
- ❑ Tipo de formación.
- ❑ Concentración de H₂S, si existe.

Finalmente con una planificación adecuada podemos evitar muchas de las circunstancias que conllevan a los llamados problemas operacionales, o si no es posible evitarlos, estamos preparados para controlarlos de manera de minimizar su impacto en el logro de los objetivos planteados.

III 8 Peligros en las operaciones de perforación:

III 8.1 Operaciones de pesca:

En la perforación siempre está presente la posibilidad de que desafortunadamente se queden en el hoyo componentes de la sarta de perforación u otras herramientas o elementos utilizados en las diferentes tareas de obtención de datos, pruebas o terminaciones del pozo, ocasionando lo que generalmente se llama tareas de pesca, o sea rescatar o sacar del hoyo esa

pieza que perturba la continuidad de las operaciones. Por tanto, en previsión para actuar en consecuencia, siempre hay en taladro un mínimo de herramientas de pesca de uso común, que por experiencia son aconsejables tener: como cesta, ganchos, enchufes, pecursos, roscadores y bloques de plomo para hacer impresiones que facilitan averiguar la condición del extremo del tubo.

III 8.2 Arremetida, reventón e incendio

Estos tres episodios son indeseables en la perforación o en tareas de limpieza o reacondicionamiento de pozos, pero suceden. Afortunadamente, los resultados lamentables son raros, gracias al adiestramiento del personal para actuar en tales casos y al equipo y procedimiento de contención disponibles.

La arremetida, o sea el desbordamiento de fluidos (gas y/o petróleo, agua fresca o salada) de la formación hacia el hoyo, ocurre cuando la presión ejercida por el fluido de perforación en el hoyo es menor que la presión que tienen algunas de las formaciones perforadas o a la formación que está siendo perforada por la mecha.

Las manifestaciones de la arremetida se captan en la superficie por el aumento de volumen de fluido en el tanque y por el comportamiento simultáneo de las presiones en la sarta y el espacio anular. La magnitud del volumen adicional del fluido descargado da una idea de la gravedad de la situación. La apreciación precoz del tipo de fluido desbordado ayudará a poner en ejecución uno de los varios métodos adecuados en contención, cuya finalidad, no obstante las diferencia de los procedimientos es permitir adicionar el fluido de perforación al peso requerido y bombearlo al hoyo ya que mientras tanto se controla el comportamiento del flujo por el espacio anular para descargar la arremetida inocuamente.

Por sus características físicas y comportamiento de la relación volumen-presión, la arremetida de gas es la más espectacular. Su fluidez, su rapidez de ascenso, inflamabilidad o posible contenido de sulfuro de hidrógeno hacen desde el mismo instante de la arremetida se proceda a contenerla sin dilataciones.

Toda arremetida es un amago de reventón. Toda arremetida que no pueda ser controlada termina en reventón, con sus graves consecuencias de posibles daños personales, destrucción segura de equipos y hasta posible pérdida del hoyo o del pozo. Si el reventón se incendia, los daños físicos serán mayores, más difíciles y más costosos serán también los esfuerzos para contenerlo, ver figura III 42.



Figura. III 42 Incendio de una Cabria

Para el yacimiento, el reventón se convierte en un punto de drenaje sin control, cuya producción durante días o meses ocasiona daños a la formación, con gran pérdida de fluido y abatimiento de la presión natural.

III 9 Problemas latentes durante la perforación del hoyo:

Aunque se disponga de los mejores equipos, herramientas, materiales, tecnología y personal capacitado, durante la perforación pueden presentarse una variedad de problema que a veces pueden ser difíciles y costosos. Prevenir situaciones que puedan malograr el buen ritmo y los costos de las operaciones es quizá el anhelo más importante que debe motivar a todo el personal de perforación y apoyo.

Entre estos problemas se encuentra:

- Derrumbe de formaciones
- Pérdida de circulación parcial o total del fluido
- Desviación crítica del hoyo
- Torcedura o enchavetamiento del hoyo

- ❑ Atascamiento de la sarta de perforación
- ❑ Desenrosque de elementos de la sarta y, por ende, tareas de pesca.
- ❑ Torcedura y desprendimiento de parte de la sarta.
- ❑ Arremetida y reventón
- ❑ Incendios.

III 9.1 Lista general de los problemas operacionales de perforación:

El ingeniero encargado de la planificación del proyecto necesita identificar los problemas potenciales del proceso de perforación, y dar una consideración apropiada en el plan del pozo.

A continuación se presenta una lista de los problemas potenciales más comunes. Otros pueden ser específicos a las condiciones de la localidad.

- ❑ Preparación de la localización
- ❑ Presiones anormales
- ❑ Pérdida de circulación
- ❑ Control de desviación
- ❑ Bajas tasas de perforación
- ❑ Embolamiento de la mecha
- ❑ Alargue del hoyo
- ❑ Atasque de tubería
- ❑ Sal
- ❑ Anhidrita o yeso
- ❑ Gas superficial
- ❑ Altas temperaturas de fondo
- ❑ Migraciones de gas a través del cemento
- ❑ Gases ácidos
- ❑ Clima

- Disposición de lodo y ripios
- Daños en la formación productora.

III 10 Aspectos a considerar en la perforación:

III 10.1 Geomecánica:

La geomecánica es la disciplina que estudia las características mecánicas de los materiales que conforman a las rocas de formación. Esta disciplina esta basada en los conceptos y teorías de mecánica de rocas y mecánica de suelos, que relacionan el comportamiento de la formación bajo los cambios de esfuerzos producidos por las operaciones petroleras de perforación, completación y producción de pozos.

La geomecánica es usada para entender el arenamiento, pues éste fenómeno depende de la relación entre los esfuerzos desestabilizadores y la resistencia mecánica de la formación.

III 10.2 Gradientes de presiones:

Cuando se perfora un pozo la presión en el hoyo debe ser superior a la presión de la formación, pero inferior a la presión de fractura de la misma, es decir la presión del hoyo debe mantenerse en un rango tal que no cause daño a la formación y no hayan riesgos de arremetidas (ventana operacional). La ventana operacional y un límite superior denominado Presión de Fractura de la Formación.

III 10.2.1 Presión de poro o formación:

Se define como la presión ejercida por el fluido que ocupa el volumen entre los granos de la roca, esta presión es ejercida contra las paredes del poro. Cuando la presión de poro de la formación es igual a la presión hidrostática ejercida por el agua a una determinada profundidad se dice que la presión de la formación es una presión normal.

III 10.2.1.1 Presión anormal y presión subnormal:

Sucede cuando la presión de poro de la formación a una determinada profundidad es mayor a la presión hidrostática ejercida por el agua a la misma profundidad, se dice que en ese punto existe un patrón de presión anormal; pero si la presión de poro de la formación se encuentra por debajo de la presión normal a la misma profundidad, el patrón de presión es definido como subnormal.

III 10.2.1.2 Presión de fractura:

La presión de fractura se refiere a la presión, que durante la perforación de un hoyo, produce una ruptura de la formación, esta presión normalmente es ejercida por el lodo utilizado en la perforación. La primera consecuencia que se origina luego de fracturar la formación es una pérdida de circulación que se traduce en un aumento de los costos y en el tiempo de perforación.

III 10.3 Factores que afectan la producción de arena

Los esfuerzos desestabilizadores y la resistencia mecánica de la formación pueden ser afectados sustancialmente por las operaciones tradicionales de pozos, tales como perforación, completación, producción y estimulación. En este sentido, dichas operaciones pueden disminuir sustancialmente la resistencia mecánica de la formación, y/o aumentar las velocidades de los fluidos, generando esfuerzos de arrastre excesivos, ver figura III 43.

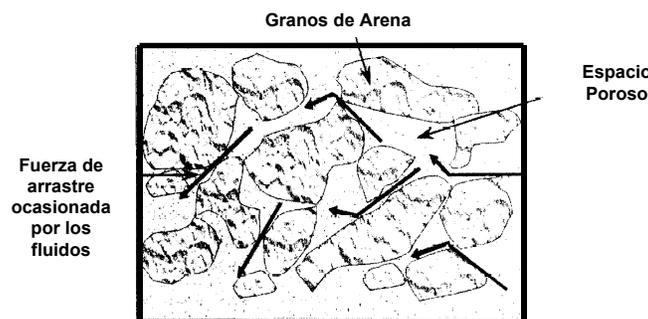


Figura. III 43 Movimiento de los granos de arena causado por esfuerzos desestabilizadores

A las actividades de pozos que pueden causar problemas de arenamiento ya mencionadas, se le suman las siguientes: cementaciones, cañoneos, cambios en las tasas de bombeo (arranque y parada de pozos) y estimulaciones.

El daño que causa la actividad de perforación a la resistencia mecánica de la formación, es proporcional a la tasa de penetración. Adicionalmente, los fluidos de perforación pueden ocasionar daño, por pesos demasiado altos que causan rompimiento mecánico de la formación (fractura hidráulica no planificada) y problemas de invasión de lodo, originándose daño a la formación en las inmediaciones del pozo ("skin damage") y reduciendo además la permeabilidad en esa zona. Aunque la perforación siempre ocasionará algún daño a la formación, estas operaciones deben optimizarse para minimizar sus efectos.

Las actividades de cementación pueden fomentar problemas de arenamiento, especialmente si quedan canales entre la formación y el revestidor, pues estos se volverán canales preferenciales de flujo con velocidades excesivas y, por lo tanto, se originarán mayores fuerzas de arrastre. Adicionalmente, si el cemento no hace buen contacto con la formación, entonces, esta no tendrá el confinamiento óptimo y los esfuerzos efectivos serán muy bajos. Como los esfuerzos efectivos bajos producen resistencias al corte bajas, una mala cementación crearía zonas de baja resistencia alrededor del pozo, provocando un escenario propicio para el arenamiento.

Los cañoneos deben ser planificados y ejecutados para producir cavidades estables a largo plazo. Los parámetros de diseño de dichos cañoneos, tales como: diámetro, longitud, penetración, densidad, ángulo de fase, etc., deberán ser especificados en función de las propiedades mecánicas de la formación, para evitar condiciones inestables en la formación que propicien el arenamiento.

Finalmente, las actividades de producción quizás sean las más perjudiciales desde el punto de vista del arenamiento. Si un pozo se produce con una tasa de producción indiscriminadamente elevada, ello puede generar graves problemas de arenamiento, ya que

probablemente se sobrepase la tasa crítica de la formación y se generen fuerzas de arrastre excesivas. Dicho problema se agrava en aquellos pozos que sufran bruscas variaciones de tasas en cortos periodos de tiempo, bien sea por aperturas y cierres, o por cambios de reductores o equipos de superficie.

III 11 Control de arena

El control de arena es el conjunto de técnicas mediante las cuales se elimina, total o parcialmente, la producción de sólidos que soportan cargas provenientes de la formación productora y los cuales se producen conjuntamente con los hidrocarburos. Así un efectivo control de arena sería un tratamiento preventivo que evitaría la producción de arena sin restringir la productividad del pozo.

Los problemas de producción de arena se presentan en aquellas formaciones no consolidadas, las cuales consisten en su mayor parte de granos finos de arena, en los cuales el material cementante, si existe, no es lo suficientemente fuerte como para soportar los esfuerzos ocasionados por el paso de fluidos a través de ellos. Esto origina un desmoronamiento de la arena y por consiguiente el arrastre de las partículas más finas hacia el pozo. Este fenómeno es muy común en los yacimientos de la Edad Terciaria, debido a que estos yacimientos son geológicamente jóvenes y normalmente se localizan a profundidades relativamente bajas, no han logrado compactarse y tienen cementación intergranular muy pobre, como es el caso del Area Mayor de Socororo.

Para poder evitar el arenamiento del pozo, se utilizan dos métodos, el químico y el mecánico, este último previene la acción de arena de la formación mediante el uso de rejillas o tuberías ranuradas y empaquetamiento con grava. Ellos se basan en la formación de un puente o filtro, de manera que los diámetros de mayor diámetro son puenteados en las ranuras de las tuberías ranuradas o rejillas y/o en los empaquetamientos con grava. Estos a su vez sirven de puente a los granos más pequeños de la formación. El tamaño de la grava a usarse y el tamaño de las ranuras de las rejillas o tuberías ranuradas deben ser seleccionadas cuidadosamente para asegurarse de que la formación va a estar bien puenteadas.

Las tuberías ranuradas son de muy bajo costo y relativamente fáciles de instalar, pero su aplicación en el control de arena no ha sido suficientemente efectiva. El empaque con grava ha sido hasta el momento uno de los métodos más efectivos para el control de arena.

III 11.1 Rejillas de empaque con grava.

Los empaques con grava constituyen el método de control de arena frecuentemente usado en pozos verticales o desviados en arenas poco consolidadas; son filtros de fondo que previenen la producción no deseada de arena de formación. Consisten en la colocación de grava cuidadosamente seleccionada, que actúa como filtro entre arena de formación y el "liner" o rejilla, es decir, la arena de formación se mantiene en su sitio gracias a la acción de una arena de empaque debidamente dimensionada, la cual será sostenida por una rejilla ó "liner".

Estos tubos son generalmente tubulares API, en los cuales se ha cortado previamente ranuras verticales y/u horizontales con un tamaño determinado. Las ranuras horizontales se utilizan con poca frecuencia hoy en día, ya que éstas reducen la resistencia a la tensión de los tubos. Las ranuras verticales son cortadas en forma sesgada, de manera que los granos más finos que atraviesen las ranuras pueden ser producidos. Esto evita el acuñaamiento de la arena en las ranuras y por consiguiente su taponamiento, véase figura III 44. La mayor ventaja de la tubería es que dispone de poca área de flujo, lo que limita la producción de fluido.

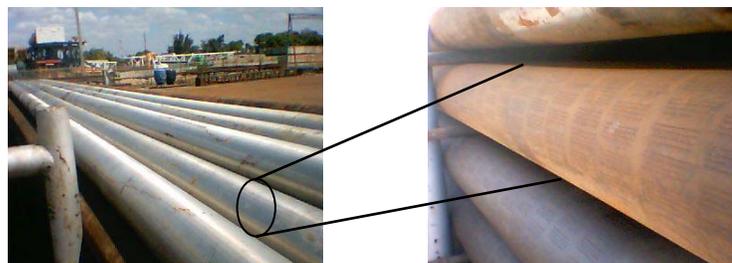


Figura III 44 Liners Ranurado

Entre estas tuberías, existen las de corte recto que tienden a taponarse rápido y son virtualmente imposibles de limpiar en el sitio. Las utilizadas hoy en día son sesgadas o cortes sesgados, ya que poseen una acción autolimpiante y pueden teóricamente facilitar la limpieza en el sitio del forro. El tamaño de ranura anteriormente utilizado no era menor de 0,020'' de espesor; ahora con nueva tecnología de manufacturas se pueden fabricar forros con ranuras de hasta 0,010'' y 0,008'' de diámetro. El forro ranurado se emplea todavía ampliamente ya que es el más económico para intervalos largos.

Existen varios criterios para diseñar las aperturas del "liner" ranurado, estos en algunos casos, se dimensionan de tal manera que su tamaño duplique el diámetro del grano de arena de formación en el percentil cincuenta de la arena (D_{50}), en otros casos, se diseñan para que su tamaño triplique el percentil diez más pequeño de la arena (D_{10}). Estos criterios de dimensionamiento se derivan de varios estudios, en los cuales se determina que un grano de arena de formación forma un puente en la abertura de una ranura cuyo tamaño sea dos o tres veces el diámetro del grano, siempre y cuando dos partículas traten de entrar en la ranura al mismo tiempo. Evidentemente, la formación de estos puentes requiere de una concentración suficiente de arena de formación que trate de penetrar el "liner" o rejilla al mismo tiempo.

El problema más común y frecuente con la rejilla sola o "liner" ranurado como una técnica de control de arena, es la corrosión de las ranuras antes de que ocurra el puenteo. Por otra parte si los puentes que se han formado no son estables, pueden romperse cuando se cambien las tasas de producción o en los arranques y cierres del pozo. Como consecuencia de la ruptura de los puentes formados, es posible que la arena de la formación se reorganice, lo cual, con el tiempo, tiende a ocasionar la obstrucción de la rejilla o "liner"; Por esto cuando se utilice esta técnica para controlar arena de formación, debe procurarse que el diámetro del "liner" o rejilla sea lo más grande posible, con el fin de minimizar la magnitud de la reorganización que pueda ocurrir.

Para que un "liner" ranurado o rejilla sea eficaz, generalmente se recomienda su utilización en formaciones de permeabilidad relativamente elevada, que contengan poca o

ninguna arcilla, es decir, arenas limpias y cuyos granos de arena sean grandes y estén bien distribuidos, con poca dispersión entre tamaños de granos, es decir, con un coeficiente de uniformidad de la arena bajo, menor a tres. Si la formación presenta suficiente arcilla, los puentes de arena que se forman en el "liner" o en la rejilla podrían obstruirse y si el rango de tamaño de las partículas de arena es amplio, es posible que el "liner" ranurado o la rejilla se obstruyan con granos de arena durante la formación del puente en el mismo.

La selección entre "liner" ranurado y rejilla se basa fundamentalmente en factores económicos. El "liner" ranurado es menos costoso, pero presenta limitaciones de espesor mínimo práctico de ranura y presentan menos área de flujo disponible. Por su parte, las rejillas pueden tener aberturas mucho más pequeñas y un área de flujo mayor, pero resultan ser más costosas.

III 11.2 Empaque con grava:

El empaque con grava es el bombeo de grava con fluido acarreador a las perforaciones, con el fin de proporcionar un soporte mecánico a la formación y evitar la migración de arena de formación. Esta técnica es una de las de mayor uso en la actualidad. Su aplicación se ha generalizado en todos los campos petrolíferos con problemas de producción de arena.

El empaque con grava puede clasificarse según al tipo de completación al cual este asociado, que son interno y externo; en ambos casos, la operación consiste en colocar grava de manera de filtro entre dos paredes cilíndricas, con el propósito de acondicionar adecuadamente el espacio anular entre el tubo ranurado y el revestidor o entre el tubo ranurado y las paredes del hoyo. El objetivo de esto es que la grava soporte las paredes de la formación evitando desmoronamiento del material, y al mismo tiempo sea capaz de impedir que entren al pozo material desintegrado de las formaciones no consolidadas, ver figura III 45.

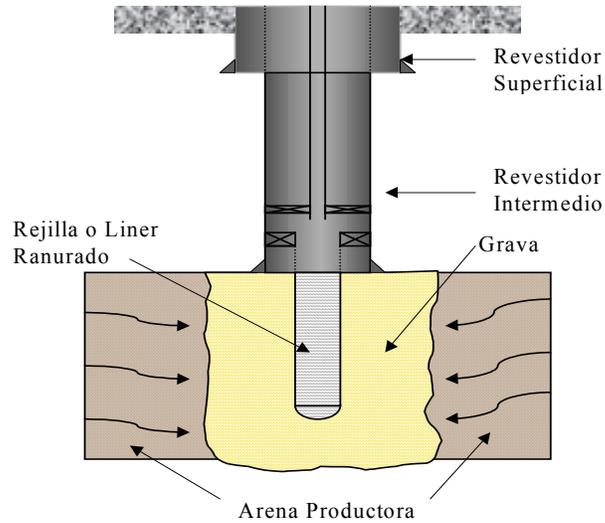


Figura III 45, Esquema de un empaque con grava

La productividad del pozo está íntimamente relacionada con la selección de la grava de empaque a utilizar, ya que una inadecuada selección del tamaño de grava a utilizar puede permitir que la arena de formación y la grava se mezclen, trayendo como consecuencia un área de baja permeabilidad que disminuye la productividad del pozo. El tamaño de la grava debe ser seleccionado de tal forma que la arena de formación se puentee con poco o ningún movimiento de la arena dentro del empaque de grava. Esta grava viene generalmente en sacos de 50 lbs. cada uno, figura III 46.



Figura III 46 Sacos de Grava

La grava del empaque colocada en las perforaciones y en el anular entre el liner y el revestidor filtra la arena de la formación mientras que la rejilla o "liner" filtra la arena del empaque con grava. Una variedad de técnicas son usadas para colocar la rejilla y el "liner" frente a las perforaciones y controlar la colocación de la grava. La escogencia de la técnica

más adecuada dependerá de las características particulares del pozo tales como profundidad; espesor del intervalo, presión de la formación, etc.

El empaque con grava es históricamente el tipo más exitoso de control de arena por una variedad de condiciones, sin embargo, tiene la desventaja de que requiere una inversión sustancial para el taladro, fluido de completación, el equipo de fondo de pozo, equipo de superficie y bombeo, y materiales. La pérdida de fluidos durante la completación podría causar daño a la formación, puede producir erosión/corrosión de la rejilla o "liner" debido a la arena que choca contra cualquier superficie expuesta y dificultad de colocar fluidos de estimulación a través del intervalo empacado con grava.

Si el empaque con grava se utiliza en hoyo abierto, es necesario perforar por debajo de la zapata, repasar la sección del hoyo abierto y entonces colocar una rejilla o "liner" a lo largo del intervalo del hoyo abierto, para posteriormente circular la grava al anular entre la rejilla o "liner" y el hoyo abierto, de tal forma que la rejilla o "liner" funciona como dispositivo de retención de la grava y el empaque con grava como filtro de la arena de la formación.

Entre las desventajas del empaque con grava en hoyo abiertos tenemos que en zonas con grandes cantidades de arcilla y finos, los grandes volúmenes de fluido que contactan la formación durante la perforación y completación pueden causar daño, por otra parte, la estabilidad del hoyo normalmente es un problema, es difícil aislar fácilmente la producción de fluidos no deseables como agua y/o gas, las rejillas o "liner" pueden ser difíciles de remover para futuras re-completaciones y la habilidad para controlar la colocación de tratamientos de estimulación es difícil.

III 12 Toma de núcleos:

Es la toma de una muestra cilíndrica representativa de la roca en el fondo del pozo. Su importancia radica en que podemos obtener directamente las propiedades físicas y químicas de las rocas y sus fluidos.

III 12.1 Tipo de información obtenida

III 12.1.1 Geológica

- Litología
- Sedimentología
- Textura
- Edad
- Geoquímica
- Mineralogía
- Paleontología
- Planos de fractura
- Mecánica de las rocas
- Tamaño del grano y distribución.
- Otros

III 12.1.2 Reservorio

- Capilaridad
- Humectabilidad
- Permeabilidad relativa
- Interacción roca/fluido
- Contenido de fluido
- Saturación residual de aceite y gas
- Permeabilidad y heterogeneidad
- Volumen y presión de poro
- Poisson's Ratio
- Compresibilidad de la roca
- Módulos recientes

III 12.1.2.3 Petrofísica

- Propiedades acústicas
- Calcimetría
- Porosidad
- Permeabilidad
- Densidad de grano
- Otros

III 12.2 Componentes del toma núcleos:**III 12.2.1 Tubo externo:**

Es donde se guarda los componentes y es por el cual se trasmite el peso, rotaria, torque y el fluido a la corona

III 12.2.2 Tubo interno:

Es el receptor del núcleo después de cortado (Manga) y el cual se ensambla el sistema de retención del núcleo

III 12.2.3 Junta de seguridad:

Su principal función es recuperar el ensamblaje interno y núcleo en caso de una pega de tubería, además aquí se desconecta el toma núcleo, para poder recuperar el tubo interno y a la vez hacerle servicio.

III 12.2.4 Estabilizadores

Centralizar el equipo en el hoyo, colocándose cada 15 a 30 pie entre tubos externos.

III 12.2.5 Corona:

Esta conectada en el fondo del toma núcleo, cuya función es cortar un anular en el fondo del hoyo formando un núcleo.

III 12.2.6 Ensamblaje de retención:

Es el sistema de cortar el núcleo y retenerlo dentro del tubo interno

Las partes del toma núcleos se muestra en la figura 47 y en la tabla III 2 las especificaciones técnicas de la herramienta.

Tabla III 2 Especificaciones Técnicas de los Toma Núcleos

| | | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Diametro del Equipo | Pulgadas | 4-3/4" x 2-5/8" | 6-3/4" x 4" | 8" x 5-1/4" |
| Tipo de Rosca | | STD - HD | STD - HD | STD - HD |
| Diametro del Hoyo | Pulgadas | 5-1/2" - 7" | 8" - 9" | 9" - 12-1/4" |
| Diametro del Núcleo | Pulgadas | 2-5/8" | 4" | 5-1/4" |
| Conexión | Box-API | 3-1/2" IF | 4-1/2" IF | 6-5/8" REG |
| Tubo Externo | Pulgadas | 4-3/4" X 3-3/4" | 6-3/4" X 5-3/8" | 8" X 6-5/8" |
| Tubo Interno | Pulgadas | 3-3/8" X 2-7/8" | 4-3/4" X 4-1/4" | 6-1/4" X 5-1/2" |
| Longitud | Pies | 30 | 30 | 30 |
| Capacidad de Arrastre | Libras | 239000 - 246000 | 471000 - 506000 | 524000 - 626000 |
| Torque de Conexión | Pies-Libras | 5200 - 9600 | 9600 - 25800 | 21400 - 36900 |
| Maximo Torque | Pies-Libras | 8100 - 14800 | 14800 - 39000 | 32400 - 55500 |
| Diametro de la Bola | pulgadas | 1" | 1-1/4" | 1-1/4" |
| Peso | Libras/60 pies | 2500 | 4900 | 5100 |

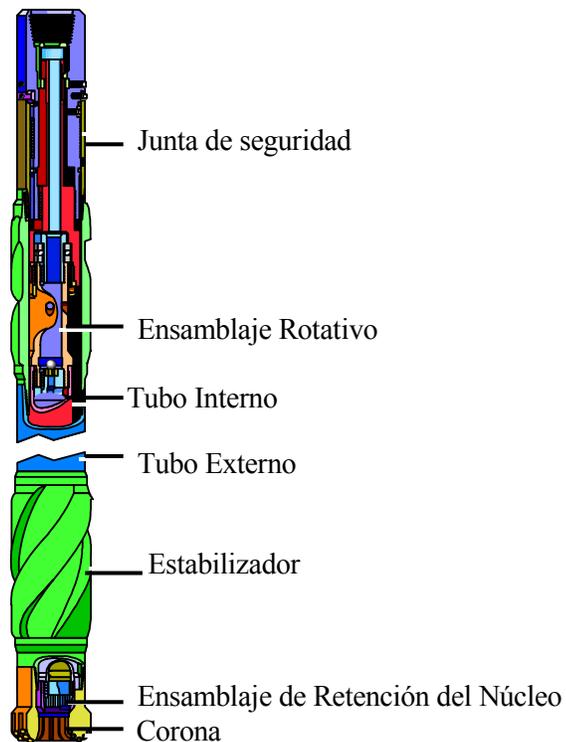


Figura III 47 Partes del Toma Núcleos

III 13 Registros eléctricos:

Son herramientas diseñadas para realizar registros petrofísicos, las cuales pueden arrojar innumerable información referente al pozo, yacimiento, arenas, potenciales, cementaciones, etc., y pueden ser corridas por medio de tubería o guaya eléctrica, tanto en hoyos entubados como abiertos.

En el caso de guaya eléctrica, se utiliza un vehículo, equipado con un carrete de cable, una fuente que emite la energía hacia la herramienta y computadoras con sistemas digitales y analógicos, que tienen la función de interpretar y graficar las señales que emiten las herramientas, provenientes de la formación, desde el pozo, las cuales se transmiten por la guaya hasta llegar a superficie. Ver figuras III 48 y III 49



Figura III 48 Carrete de Guaya Eléctrica



Figura III 49 Computadoras de Registros Eléctricos

El registro eléctrico, está conformado por una o varias herramientas en cada corrida, dependiendo del tipo de información que se quiere conocer. Estas herramientas poseen unos levantadores, de los cuales va conectada cada sección de la herramienta, y en algunos casos, requieren estabilizadores para estar centradas en el hoyo, o un patín para que deslicen por el mismo. Ver figura III 50



Figura III 50 Ensamblaje de la Herramienta de Registro Eléctrico

III 13.1 Tipos de registros eléctricos:

Existen muchas herramientas de registros eléctricos, para el caso de este trabajo en particular, sólo se hará una breve descripción y especificaciones técnicas, de las utilizadas en el pozo ES-451.

III 13.1.1 HDIL (High Definition Induction Log)

Su traducción es Registro de Inducción de Alta Definición, proporciona resistividades de la formación a múltiples profundidades de investigación en sistemas de fluido de perforación tanto base agua como aceite. El HDIL junto a sistemas de alta resolución, vertical como horizontal, suministra un análisis detallado de la resistividad de la formación, así como la zona de transición y la zona invadida, además muestra un perfil de la zona de invasión. El HDIL es un instrumento multi-receptor con un mecanismo de multi-frecuencia.

Es muy preciso en la medición de la resistividad de formación, saturación de agua y estimado de reservas, además registra de manera eficiente en zonas profundas y altamente invadidas. La tabla III 3 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta y la figura III 51 el HDIL.

Tabla III 3 Especificaciones del HDIL

| | | |
|--|------------------------|-----------|
| Temperatura | 204 C | 400 F |
| Presión | 137,9 Mpa | 20000 lpc |
| | | |
| OD | 92,2 mm | 3,630 plg |
| Longitud | 8,3 m | 27,1 pie |
| Peso | 196,4 kg | 433 lbs |
| Min. Tamaño de Hoyo | 114,3 mm | 4,5 plg |
| Max. Tamaño de Hoyo | 508 mm | 20 plg |
| | | |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 861,8 kg | 1900 lbs |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 14515 kg | 32000 lbs |
| | | |
| Máxima Velocidad de Registro | 60 Pie/min. (18m/min.) | |

| | | |
|--------------------------------------|---|------------------|
| Velocidad Recomendada para Registrar | 30 Pie/min. (9.1 m/min.) | |
| Profundidad de Investigación | 10 Plg (254 mm), 20 Plg (508 mm), 30 Plg (762 mm), 90 Plg (2286 mm), 120 Plg (3048 mm) | |
| Frecuencia de Operación | 10,30,50,90,120,150, kHz | |
| Tasa Normal de Muestreo | 13.1 muestreo/m | 4.0 muestreo/pie |
| Tasa Baja de Muestreo | 6.6 muestreo/m | 2.0 muestreo/pie |
| Tasa Alta de Muestreo | 26.3 muestreo/m | 8.0 muestreo/pie |

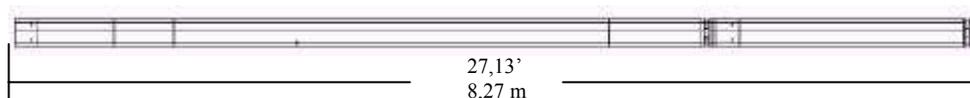


Figura III 51 HDIL

III 13.1.2 ZDL (Z DensiLog):

Es una herramienta del tipo nuclear que se utiliza para la medición de la densidad de la formación, para medir primordialmente la porosidad de la formación. Esta herramienta es sensible a la hematita y barita, formaciones fracturadas, revoques gruesos entre otros. La tabla III 4 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta y la figura III 52 el ZDL.

Tabla III 4 Especificaciones Técnicas del ZDL

| | | |
|--|-------------|------------|
| Temperatura | 177 C | 350.0 F |
| Presión | 137,9 Mpa | 20000 lpc |
| OD | 124 mm | 4,88 plg |
| Longitud | 5,7 m | 18.5 pie |
| Peso | 213.6 kg | 469.9 lbs |
| Min. Tamaño de Hoyo | 152.4 mm | 6 plg |
| Max. Tamaño de Hoyo | 558.8 mm | 22 plg |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 513.7 Mpa | 745000 lpc |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 35380.0 Kg. | 78000 Lbs |

| | | |
|--------------------------------------|---|------------------|
| Máxima Velocidad de Registro | 40 Pie/min. (9.1m/min.) | |
| Velocidad Recomendada para Registrar | 30 Pie/min. (9.1 m/min.) | |
| Profundidad de Investigación | 8 Plg (203.2 mm) Para un hoyo de 8 Plg. Con 20% de Porosidad. | |
| Tolerancia de la Herramienta | Repetitividad Den = +/- 0.015 g/cc, pe = +/- 0.2 B/e (hoyo liso, sin revoque), Precisión Den = +/- 0.025 g/cc (rango de 2-3 g/cc). Caliper = +/- 0.3 plg (7.6 mm) (rango de 6-16 plg) | |
| Tasa Normal de Muestreo | 13.1 muestreo/m | 4.0 muestreo/pie |
| Tasa Baja de Muestreo | 6.6 muestreo/m | 2.0 muestreo/pie |
| Tasa Alta de Muestreo | 26.3 muestreo/m | 8.0 muestreo/pie |



Figura III 52 ZDL

III 13.1.3 CN (Compensated Neutron)

Los registros de neutrón son muy útiles para la identificación de formaciones porosas y su cuantificación, frecuentemente, es posible que también por medio de esta se distinga zonas de gas, haciendo comparaciones con registros de porosidad o estudios de núcleos.

El Neutrón Compensado (CN), es una herramienta que utiliza una fuente y dos detectores. La computadora en superficie calcula la porosidad aparente de la lutita usando el radio de corte de dos detectores. Este instrumento es muy útil para los hoyos invadidos por fluidos.

Su función es determinar la porosidad aún en litologías complejas, localizar gas (con el soporte de otros registros) e identificar litología. Esta herramienta en conjunto con la ZDL es una excelente combinación para el cálculo de porosidades. La tabla III 5 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta y la figura III 53 el CN.

Tabla III 5 Especificaciones Técnicas del CN

| | | |
|--|---|------------------|
| Temperatura | 204 C | 400 F |
| Presión | 137,9 Mpa | 20000 lpc |
| | | |
| OD | 92.2 mm | 3.63 plg |
| Longitud | 2.3 m | 7.6 pie |
| Peso | 68.2 kg | 150lb |
| Mín. Tamaño de Hoyo | 122 mm | 4.8 plg |
| Max. Tamaño de Hoyo | 609.6 mm | 24 plg |
| | | |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 537.8 Mpa | 78000 lpc |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 55388 Mpa | 122000 lpc |
| | | |
| Máxima Velocidad de Registro | 60 Pie/min. (20m/min.) | |
| Velocidad Recomendada para Registrar | 30 Pie/min. (9.1 m/min.) | |
| | | |
| Profundidad de Investigación | 12 plg (304.8 mm) para un hoyo de 7.88 plg con 15% de porosidad. Resolución vertical de 28 plg (711 mm) | |
| Error de medición | Repetitividad +/- 1.5 p.u en 15% con porosidad de limolita | |
| Tasa Normal de Muestreo | 13.1 muestreo/m | 4.0 muestreo/pie |
| Tasa Baja de Muestreo | 6.6 muestreo/m | 2.0 muestreo/pie |
| Tasa Alta de Muestreo | 26.3 muestreo/m | 8.0 muestreo/pie |

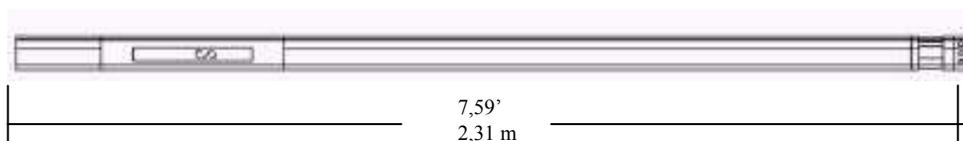


Figura III 53 CN

III 13.1.4 SL (SpectraLog)

Esta herramienta junto con el Gamma Ray (GR), tiene la función de localizar zonas de fracturas, identificar litología, medir espesores de arenas, correlacionar zonas de interés entre pozos y realizar un estimado de la permeabilidad de la formación. Todo esto lo realiza a través de la detección de Potasio, Uranio y Torio que emite la formación, la cual pueden

clasificarlas con gran exactitud según su nivel de energía. La tabla III 6 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta y la figura III 54 la del SL.

Tabla III 6 Especificaciones Técnicas del SL

| | | |
|--|---|------------------|
| Temperatura | 204.4 C | 400 F |
| Presión | 137,9 Mpa | 20000 lpc |
| OD | 92.2 mm | 3.63 plg |
| Longitud | 2.2 m | 7.3 pie |
| Peso | 64.4 kg | 142 lb |
| Min. Tamaño de Hoyo | 120.7 mm | 4.75 plg |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 38555.4 kg | 85000 lbs |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 35380.2 kg | 78000 lbs |
| Máxima Velocidad de Registro | 30 Pie/min. (9.1m/min.) | |
| Velocidad Recomendada para Registrar | 18 Pie/min. (5.5 m/min.) | |
| Profundidad de Investigación | 12 plg (304.8 mm) para un hoyo de 8 plg con 15% de porosidad. | |
| Error de medición | Repetitividad K = +/- 0.26%, Th = +/- 1.78 ppm, U = +/- 0.88 ppm en lutita | |
| Tasa Normal de Muestreo | 13.1 muestreo/m | 4.0 muestreo/pie |
| Tasa Baja de Muestreo | 6.6 muestreo/m | 2.0 muestreo/pie |
| Tasa Alta de Muestreo | 26.3 muestreo/m | 8.0 muestreo/pie |

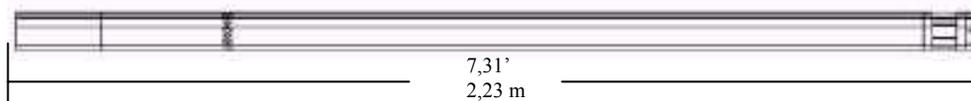


Figura III 54 SL

III 13.1.5 MRIL (Magnetic Resonance Imaging Log)

El Registro de Imagen de Resonancia Magnética, es una herramienta que utiliza el principio de excitación de magnético nuclear que suministra data petrofísica de la formación,

la cual incluye la porosidad total y efectiva, la saturación del agua connata, permeabilidad y distribución del tamaño de poro y grano.

La tabla III 7 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta y la figura III 55 del MRIL.

Tabla III 7 Especificaciones Técnicas del MRIL

| | | |
|--|--|------------------|
| Temperatura | 154.4 c | 310 f |
| Presión | 137.9 Mpa | 20000 LPC |
| | | |
| OD | 152.4 mm | 6 plg |
| Longitud | 11.8 m | 38.7 pie |
| Peso | 521.6 kg | 1150 lbs |
| Min. Tamaño de Hoyo | 190.5 mm | 7.5 plg |
| Max. Tamaño de Hoyo | 330.2 mm | 13 plg |
| | | |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 15875.7 kg | 35000 lbs |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 22679.6 kg | 50000 lbs |
| | | |
| Máxima Velocidad de Registro | 3-30 Pie/min. (1-9.1m/min.) dependiendo de la formación | |
| Velocidad Recomendada para Registrar | 5-15 Pie/min. (1.7 –5 m/min.) en la mayoría de los casos | |
| | | |
| Profundidad de Investigación | 7.4 Plg (188 mm) | |
| Frecuencia de Operación | 750 kHz | |
| Tolerancia de la Herramienta | Repetitividad = 1 p.u., Precisión = +/- 5% de la porosidad medida o 1 p.u. | |
| Tasa Normal de Muestreo | 13.1 muestreo/m | 4.0 muestreo/pie |
| Tasa Baja de Muestreo | 6.6 muestreo/m | 2.0 muestreo/pie |
| Tasa Alta de Muestreo | 26.3 muestreo/m | 8.0 muestreo/pie |

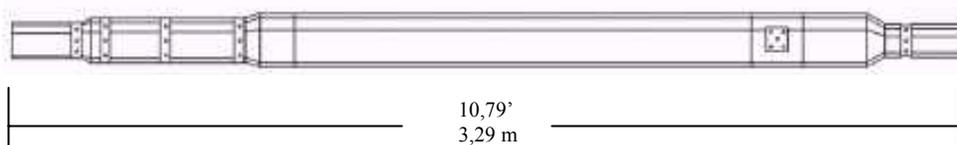


Figura III 55 MRIL

III 13.1.6 RFT (Resistivity Formation Test)

Esta herramienta puede suministrar estimados de capacidad de producción en zonas identificadas en registros a hoyos abiertos. También puede grabar un ilimitado número de pruebas de presión y tomar hasta dos tipos de fluidos en un mismo viaje.

Esta herramienta utiliza un patín para aislar los fluidos de la formación de los del pozo, de esta manera, una pequeña muestra de fluido se le puede realizar una prueba de reconstrucción de presión para determinar la permeabilidad de la formación. Otra de sus principales funciones es detectar gradientes de presión de la formación.

La tabla III 8 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta y la figura III 56 del RFT.

Tabla III 8 Especificaciones Técnicas del RFT

| | | |
|--|-----------------------------|------------|
| Temperatura | 204 C | 400 F |
| Presión | 117.2 Mpa | 17000 psi |
| | | |
| OD | 131.6 mm | 5.18 plg |
| Longitud | 11.8 m | 5.7 m |
| Peso | 233.6 kg | 513.9 lbs |
| Min. Tamaño de Hoyo | 146.1 mm | 5.75 plg |
| Max. Tamaño de Hoyo | 482.6 mm | 19 plg |
| | | |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 19958.1 kg | 44000 lbs |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 58967 kg | 130000 lbs |
| | | |
| Máxima Velocidad de Registro | Estacionaria | |
| Velocidad Recomendada para Registrar | Estacionaria | |
| # Muestra/pie | 2 | |
| | | |
| Tolerancia de la Herramienta | Repetitividad = +/- 0.4 lpc | |

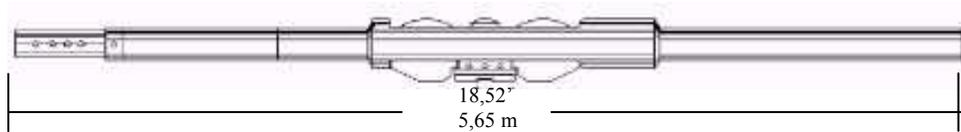


Figura III 56 RFT

III 13.1.7 GR (Gamma Ray):

A través de los rayos gamma se determina la radioactividad natural de la formación y usualmente se correlaciona con la curva de potencial espontáneo (SP).

Esta herramienta puede trabajar de forma análoga y digital, la cual se puede combinar con cualquier instrumento petrofísico de medición, e incluso con los sísmicos. Puede ser corrido en cualquier fluido y en hoyos abiertos o entubados.

Sus funciones principales son: hacer las correlaciones de profundidad con otros registros para el análisis litológica entre pozos; determinar los perfiles estratigráficos, estimar la cantidad de lutitas en los yacimientos y delinear los límites estratigráficos con la ayuda de registros de producción. La tabla III 9 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta.

Tabla III 9 Especificaciones Técnicas del GR

| | | |
|--|-------------|-----------|
| Temperatura | 176.7 C | 350.0 F |
| Presión | 172.4 Mpa | 25000 Lpc |
| | | |
| OD | 95.3 mm | 3.750 Plg |
| Longitud | 2.2 m | 7.3 Pie |
| Peso | 64.4 Kg. | 142.0 Lbs |
| Min. Tamaño de Hoyo | 149.4mm | 5.875 Plg |
| Máx. Tamaño de Hoyo | 609.6mm | 24 Plg |
| | | |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 35380.2 Kg. | 78000 Lbs |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 35380.0 Kg. | 78000 Lbs |
| | | |

| | | |
|--------------------------------------|--|------------------|
| Máxima Velocidad de Registro | 100 Pie/min. (30m/min.) | |
| Velocidad Recomendada para Registrar | 30 Pie/min. (9.1 m/min.) | |
| Profundidad de Investigación | 12 Plg (304.8 mm) por cada 8 Plg. Para un hoyo de 8 Plg. Con 20% de Porosidad. | |
| Tolerancia de la Herramienta | Repetitividad +/- 2.6 p.u. en lutitas. | |
| Tasa Normal de Muestreo | 13.1 muestreo/m | 4.0 muestreo/pie |
| Tasa Baja de Muestreo | 6.6 muestreo/m | 2.0 muestreo/pie |
| Tasa Alta de Muestreo | 26.3 muestreo/m | 8.0 muestreo/pie |

III 13.1.8 MAC (Multipol Array Acoustilog)

Esta herramienta, mide la velocidad de la ondas de compresión y cizallamiento en formaciones suaves, inconsolidadas de baja porosidad y carbón fracturados, mediante ondas monopulares y bipolares.

Por medio de esta herramienta se puede determinar sísmica, propiedades de las rocas en cualquier formación, identificación de esfuerzos en los yacimientos con el fin de maximizar la producción de éste y el pozo. La tabla III 10 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta.

Tabla III 10 Especificaciones Técnicas del MAC

| | | |
|--|-----------|-----------|
| Temperatura | 176.7 C | 350 F |
| Presión | 137,9 Mpa | 20000 lpc |
| OD | 98.4 mm | 3.88 plg |
| Longitud | 11 m | 36 pie |
| Peso | 288.5 kg | 636 lbs |
| Min. Tamaño de Hoyo | 114.3 mm | 4.5 plg |
| Max. Tamaño de Hoyo | 533.4 mm | 21 plg |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 453.6 kg | 1000 lbs |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 5896.7 kg | 13000 lbs |

| | | |
|--------------------------------------|--------------------------|------------------|
| Máxima Velocidad de Registro | 30 Pie/min. (9.1m/min.) | |
| Velocidad Recomendada para Registrar | 28 Pie/min. (7.6 m/min.) | |
| Profundidad de Investigación | Variable | |
| Tasa Normal de Muestreo | 13.1 muestreo/m | 4.0 muestreo/pie |
| Tasa Baja de Muestreo | 6.6 muestreo/m | 2.0 muestreo/pie |
| Tasa Alta de Muestreo | 26.3 muestreo/m | 8.0 muestreo/pie |

III 13.1.9 VSP o Check Shot

Esta herramienta es usada para determinar la propagación de ondas artificiales, generadas por un sismógrafo (ver figura III 57), con el fin de determinar las características físicas de las rocas de la zona cercana al pozo. Consta de varios geófonos los cuales son los receptores de la ondas producidas en superficie, y es capaz de generar imagines en 2 y 3 dimensiones.

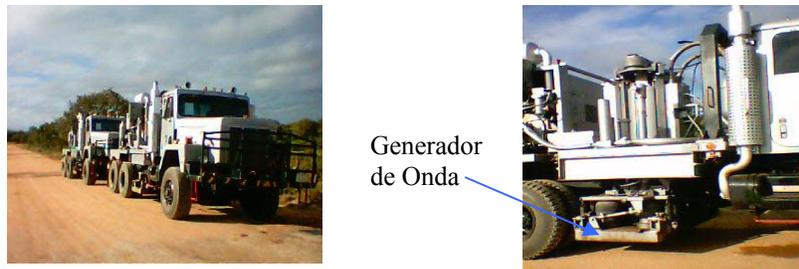


Figura III 57 Vehículos Generadores de Ondas Artificiales

La tabla III 11 muestra las especificaciones técnicas de esta herramienta y la figura III 58 el VSP.

Tabla III 11 Especificaciones Técnicas del VSP

| | | |
|-------------|-----------|-----------|
| Temperatura | 200 C | 392 F |
| Presión | 137,9 Mpa | 20000 lpc |
| OD | 105.4 mm | 4150 plg |

| | | |
|--|--------------|------------|
| Longitud | 1.5 m | 4.8 pie |
| Peso | 67.6 kg | 149 lbs |
| Min. Tamaño de Hoyo | 120.7 mm | 4750 plg |
| Max. Tamaño de Hoyo | 508 mm | 20 plg |
| | | |
| Fuerza de Compresión de la Herramienta | 1379 Mpa | 200000 lpc |
| Fuerza de Tensión de la Herramienta | 124.1 Mpa | 18000 psi |
| | | |
| Máxima Velocidad de Registro | Estacionaria | |
| Velocidad Recomendada para Registrar | Estacionaria | |

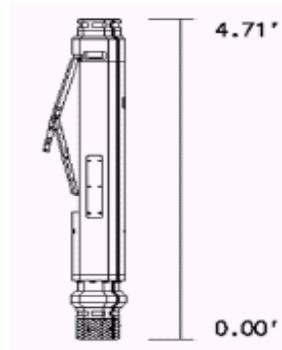


Figura III 58 VSP

III 14 Multi Shot:

Es utilizada para la medición de la dirección y rumbo de la trayectoria del pozo. Esta herramienta elimina la necesidad de utilizar la guaya eléctrica, reduciendo costos significativamente.

Este artefacto, es el líder en tecnología entre los instrumentos de registros en agujeros abiertos. El tamaño reducido y el rendimiento operativo es una de las ventajas de este sistema de tomas múltiples, además provee información de registros definitiva, definiendo precisamente la geometría del pozo antes del casing.

Consta de una batería y un sensor de posicionamiento global, capaz de almacenar gran cantidad de información sobre el rumbo y la trayectoria del pozo, y la cual el operador de la herramienta puede programarla en el sitio, este ensamblaje va colocado en un protector con amortiguación para evitar daños al instrumento mientras es lanzado por dentro de la tubería. Una vez recuperado el aparato, se extrae la información almacenada en su memoria y por medio de un software, se grafica los datos registrados.

La tabla III 12, muestra las especificaciones técnicas de la herramienta:

Tabla III 12 Especificaciones Técnicas del Multishot

| | |
|--|---|
| Precisión del Instrumento | > 3 inclinación |
| <input type="checkbox"/> Inclinación | ± 0,1 grados |
| <input type="checkbox"/> Barril de presión DE | ± 0,5 grados |
| <input type="checkbox"/> Toolface | ± 0,5 grados |
| Características de Operación | |
| Longitud del instrumento | 44" |
| DE del instrumento | 1-3/8" |
| Calificación de presión | 15.000 lpc |
| Temperatura máxima | 150 °C |
| Capacidad de toma | 3000 + |
| Parámetros | Gx, y, z, Bx, y, z, Temperatura Voltage de Baterías |
| Intervalo entre tomas | 10 seg |
| Sensores | |
| Acelerómetro triaxial Trax amortiguador por aceite de silicona y Magnetómetros triaxiales | |
| <input type="checkbox"/> Inclinación | |
| <input type="checkbox"/> Azimuth | |
| <input type="checkbox"/> Toolface | |

III 15 Tubería de revestimiento:

Es aquella tubería que recubre las paredes del pozo con el propósito general de protegerlo. Existen varios tipos de revestidores, los cuales se diferencian dependiendo de la función y profundidad a la cual son asentados, entre estos tenemos:

III 15.1 Conductor:

Se refiere a la primera tubería de revestimiento.

III 15.1.1 Funciones del revestidor conductor:

- ❑ Reduce al mínimo pérdida de circulación a poca profundidad.
- ❑ Conducto por donde el lodo regresa a la superficie al comienzo de la perforación.
- ❑ Minimiza la erosión de sedimentos superficiales debajo del taladro.
- ❑ Protege de la corrosión a las tuberías de revestimiento subsiguientes.
- ❑ Sirve de soporte para el sistema desviador en caso de afluencia inesperada a poca profundidad.

III 15.2 Revestidor de superficie:**III 15.2.1 Funciones del revestidor de superficie:**

- ❑ Soporta el resto de los revestidores.
- ❑ Protege de la corrosión cualquier tramo de tubería de revestimiento subsiguiente.
- ❑ Previene los derrumbes de los sedimentos no consolidados, más debilitados, que se hallan próximos a la superficie.
- ❑ Protege de la contaminación las arenas someras que contienen agua dulce.
- ❑ Proporciona resistencia a las arremetidas para poder perforar a mayor profundidad
- ❑ Sirve de apoyo primario para los impide reventones.

III 15.3 Revestidor intermedio, “liner” de perforación:**III 15.3.1 Funciones del revestidor intermedio:**

- Permite utilizar grandes pesos de lodo sin dañar las formaciones superficiales
- Controla las zonas de sal y lutitas desmoronables de fácil desprendimiento.

III 15.4 Revestidor, “liner” de producción:

III 15.4.1 Funciones del liner de producción:

- Protege el ambiente en caso de falla de la tubería
- Permite cambiar o reparar la tubería de producción
- Aisla la zona productora de las demás formaciones
- Crea un conducto de paso de dimensiones conocidas

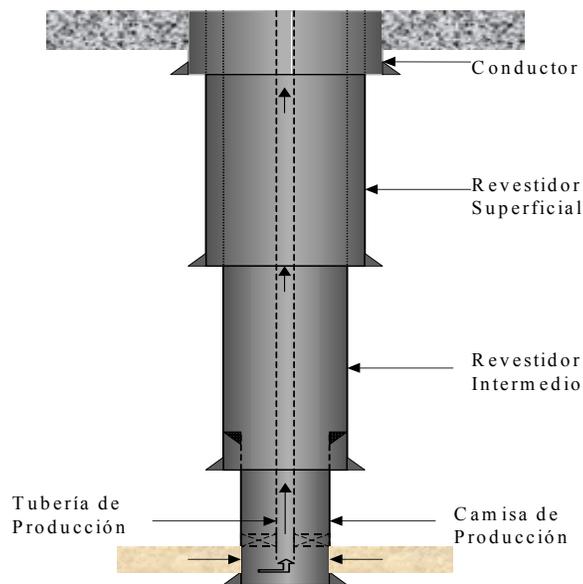


Figura III 59 Tipos de Revestidores

III 15.5 Método de diseño convencional y vida de servicio

El método convencional considera por separado las cargas de estallido, colapso y tensión. Por lo general, no se toma en cuenta la cementación, el pandeo, los cambios de temperatura, los esfuerzos de flexión, ni las variaciones en el área transversal. Este método convencional a menudo se traduce en un diseño demasiado conservador de sartas someras y lo que reviste aún mayor de importancia, en un diseño inadecuado para sartas profundas.

El método de la vida de servicio considera que el estado base de esfuerzo es aquel donde el revestidor se encuentra cementado. Una vez que el cemento ha fraguado, todo cambio posterior se restringe las condiciones del pozo generarán fuerzas y esfuerzos adicionales en la tubería de revestimiento. Estas fuerzas se suman a las condiciones base para construir la carga de servicio. Es posible aplicar múltiples cargas para describir la vida de servicio de una sarta de revestimiento.

III 15.6 Aspectos de materiales y conexiones en los tubulares.

Para efectos de diseño, y en cierta medida para clasificar las tuberías, los tubulares que se utilizan como revestidor y tubería de producción, se identifican según cuatros (4) parámetros, estos son:

- 1) *Diámetro nominal*: Los revestidores están definidos como tuberías cuyo diámetro externo varía entre 4 ½” a 20”. Entre las propiedades que se incluye dentro de los estándares API para las tuberías y sus conexiones están: Resistencia, dimensiones físicas y procedimientos de calidad, así como las máximas cargas que pueden soportar y las ecuaciones para los cálculos de dichas cargas.
- 2) *Peso nominal*: generalmente se trata de peso nominal unitario [lb/pie], éste se usa con la tubería de revestimiento como base para determinar los factores de seguridad de las juntas de tensión y también en la identificación de las órdenes de compra.
- 3) *Diámetro interno mínimo*: es controlado por el diámetro específico “Drift Diameter” no es más que el diámetro interno mínimo de un mandril que debe pasar libremente, sin sufrir obstrucción, con su propio peso por el interior de la tubería. La relación diámetro/peso determina el diámetro de paso del cuerpo de la tubería y las conexiones roscadas y acopladas.
- 4) *Grado*: Establece las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión del producto. Consiste de una letra seguida de un número, el cual designa la mínima

resistencia a la fluencia del acero. La figura III 60 muestra la relación entre Esfuerzo vs. Deformación.

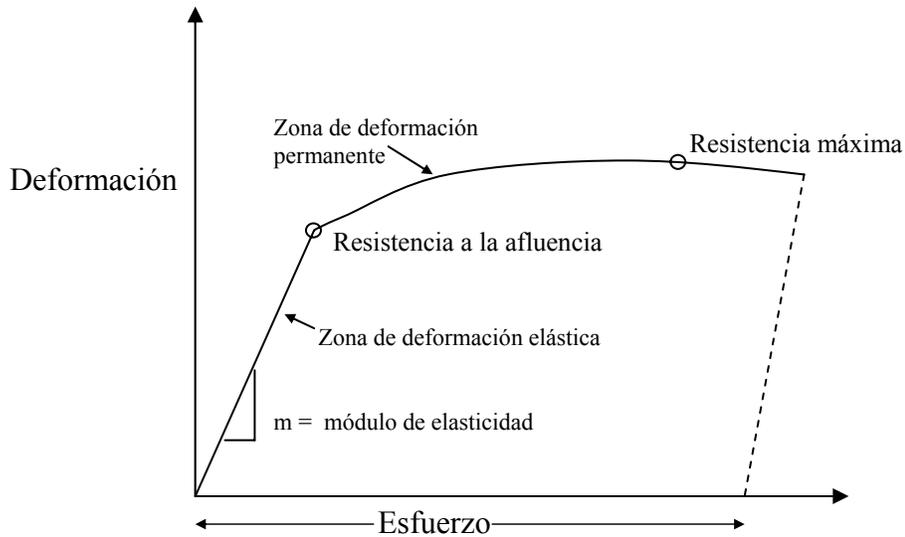


Figura III 60. Esfuerzo vs. Deformación.

Tabla III 13 , Especificaciones de los Requerimientos Mecánicos Exigidos a los tubulares Normalizados por la API

| Grado | Resistencia a la Afluencia | | Resistencia Máxima |
|-------|----------------------------|--------------|--------------------|
| | Mínima [psi] | Máxima [psi] | Mínima [psi] |
| H40 | 40.000 | 80.000 | 60.000 |
| J55 | 55.000 | 80.000 | 75.000 |
| K55 | 55.000 | 80.000 | 95.000 |
| N80 | 80.000 | 110.000 | 100.000 |
| L80 | 80.000 | 95.000 | 95.000 |
| C90 | 90.000 | 105.000 | 100.000 |
| C95 | 95.000 | 110.000 | 105.000 |
| T95 | 95.000 | 110.000 | 105.000 |
| P110 | 110.000 | 140.000 | 125.000 |
| Q125 | 125.000 | 150.000 | 135.000 |

5) *Acabado final* (tipo de rosca): una conexión o junta es un dispositivo mecánico que se utiliza para unir tramos de tubería, equipos de fondo y/o accesorios para formar una

sarta de tubería de características geométricas funcionales específicas. Existen varios tipos de conexiones estas son:

□ Conexiones API: Son juntas que se rigen por especificaciones del dominio público, hay dos tipos:

Redondas:

- IJ – Integral Joint
- NUE - Non upset tubing thread
- EUE – External upset tubing thread
- STC – Short thread connector
- LTC – Long thread connector.

Trapezoidales (antiguamente eran patentadas)

- BTC - Buttress
- XL – Extreme – line

Así pues por ejemplo, la STC es una conexión acoplada, con rosca redonda, usualmente de 8 hilos por pulgadas. No tiene sello ni reborde. Para lograr el sellado se utiliza una grasa con partículas metálicas en suspensión que se introducen entre los hilos.

□ Las conexiones Premium: vienen en gran variedad de formas y en general se clasifican como:

- MTC – Estándar con sello metal-metal (VAM, BDS)
- MIJ - Integral con sello metal-metal (PH-&,IJ4S)
- HW – Especiales para paredes gruesas (HPC,VAM HW)
- LD – Especiales de alto rendimiento y línea reducida (ULT,NJO)

➤ IFJ - Especiales integrales, el diámetro externo suele ser menor a 1% por encima de la tubería (STL,FS-4S).

Un ejemplo de una tubería típica se identifica como:

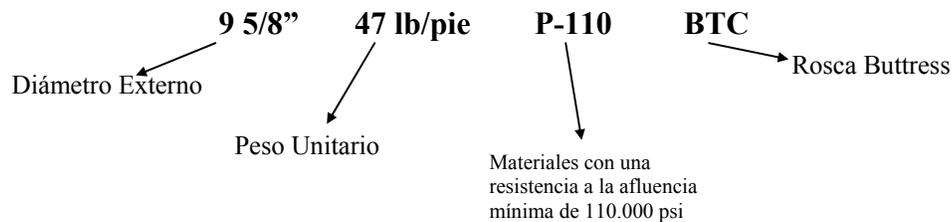


Figura III 61. Identificación de la Tubería

III 15.7 Parámetro de diseño:

En todo pozo se requerirá a partir de un número limitado de premisas y conocer ciertas cosas acerca del pozo antes de proceder formalmente con los pasos de diseño. Los aspectos que se consideren determinarán el resultado del diseño y en última instancia el equipo que finalmente se instalará en el pozo.

A continuación se presenta cada una de las premisas y consideraciones:

- ❑ *Seguridad:* la evaluación del riesgo que pueda correr a la población, el ambiente y la propiedad debe ser parte de todo diseño, debiéndose considerar las diversas fuentes de riesgo, que incluyen equipos y operaciones.
- ❑ *Equipo.*
- ❑ *Operaciones:* toma en cuenta los requerimientos de datos de exploración, desarrollo del campo y todo lo que sea necesario para poner a producir el pozo.
- ❑ *Áreas de conocimientos requeridas:* el diseño del pozo requiere de prácticos conocimientos de diversas áreas de la ingeniería, estas son: ambiental, petróleo, mecánica de materiales y otros.

- *Selección de diámetro:* se hace principalmente en función de que cada revestidor pueda contener al siguiente. El último, es decir, la tubería de producción debe tener suficiente diámetro para conducir el fluido del pozo hasta la superficie. Así pues, se escoge primero la tubería de producción y luego sucesivamente los demás revestidores.

Un segundo criterio de selección es la consideración de dejar suficiente espacio para herramientas o para bajar un revestidor intermedio, debido a algún problema imprevisto. En la figura III 62, contiene los diámetros más usuales de hoyos y revestidores, donde las líneas continuas representan las selecciones más comunes.

- 6) *Diseño de vida de servicio:* consiste en considerar que cada elemento se encuentra bajo un sistema inicial de cargas, llamado caso base. Sobre este sistema se sobreponen las cargas de servicio, es decir, las cargas normales que probablemente le impondrá la operación. Una sarta se considera que está bien diseñada si para cualquier combinación de cargas base y de servicio mantiene los márgenes de seguridad mínimos necesarios.

El caso de carga o condición de servicio queda definido por:

- Un perfil de presión interna
- Un perfil de temperatura

III 15.8 Diseño de la profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento.

Las profundidades a las cuales se asienta la tubería de revestimiento, deben adaptarse a las condiciones geológicas y la función de ésta debe cumplir. En los pozos profundos, generalmente la condición primordial es controlar la acumulación de presiones anormales en la formación y evitar que alcancen y afecten zonas someras más débiles. De modo que la planificación de la localización correcta del revestidor comienza por la identificación de las condiciones geológicas, presiones de la formación y gradientes de fractura. El método

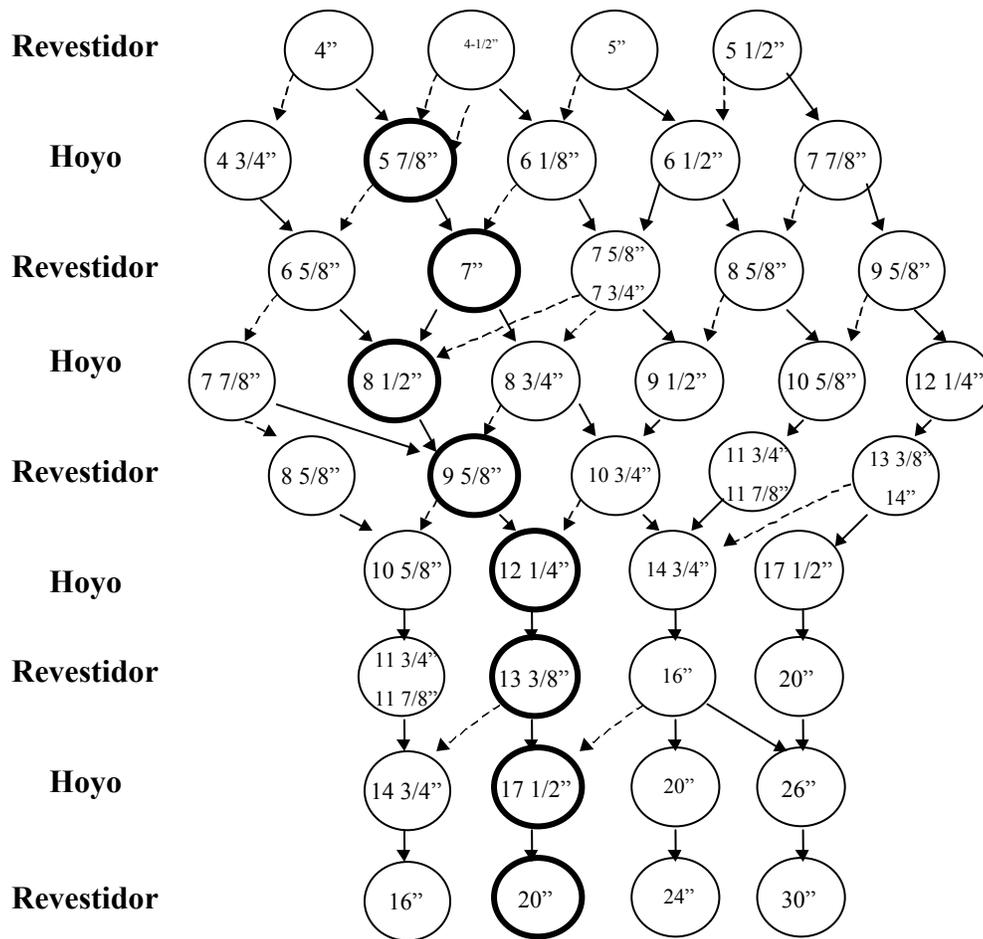


Figura III 62 Secuencia usuales de diámetros de los revestidores y hoyos

convencional de selección de la profundidad de asentamiento de la tubería de revestimiento comienza por la identificación del gradiente de fractura y el gradiente de presión intersticial. Tal como se muestra en la figura III 63, el proceso se inicia en el fondo, proyectando la densidad del lodo a la profundidad total (presión intersticial más sobrebalance) hasta el punto que se intercepta el gradiente de fractura menos un margen de arremetida. Se asienta el revestidor en ese punto y da inicio al proceso otra vez.

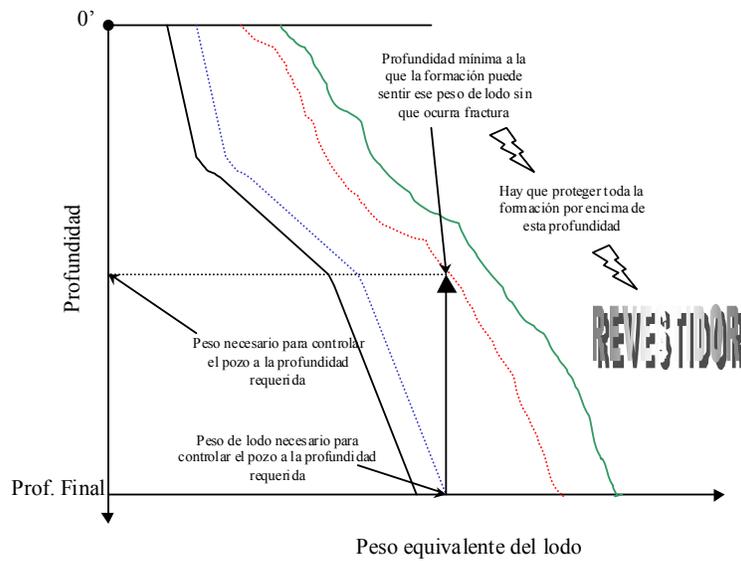


Figura III 63 Gradiente de Presión vs. Fractura

Donde la curva de gradiente de fractura menos el margen de arremetidas (curva roja) es:

- ❑ 0,5 lpg en pozos de desarrollo
- ❑ 1,0 lpg en pozos exploratorios.

Posterior al diseño de estas curvas, se determina las profundidades de asentamientos de los revestidores, de la siguiente manera:

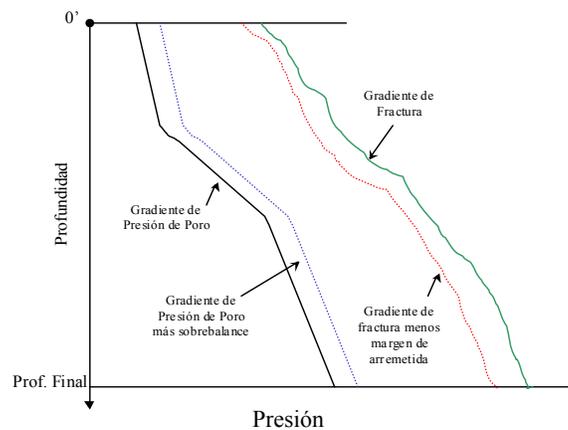


Figura III 64 Profundidad vs. Peso equivalente del lodo

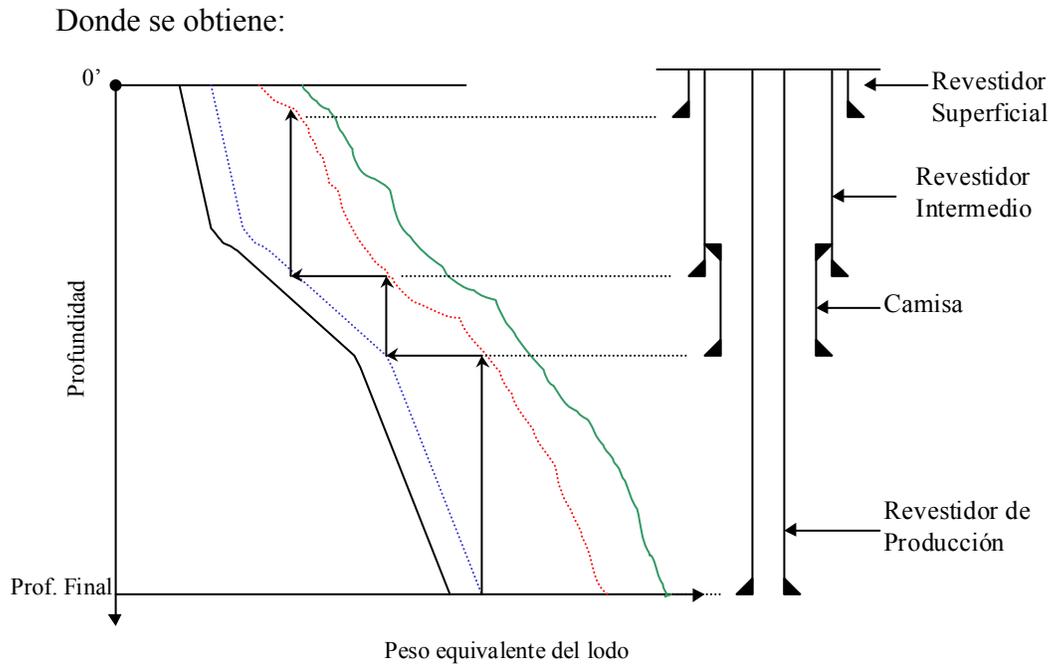


Figura III 65 Determinación de la Profundidad de Asentamiento

III 15.8.1 Condición inicial o caso de carga:

Se denomina caso de carga a aquellas condiciones a las que se supone se verá sometida la tubería a lo largo de su vida de servicio, por ejemplo:

- ❑ Prueba de presión
- ❑ Arremetida de gas
- ❑ Fuga de gas en la tubería de producción.

Los casos de cargas a los cuales están, sometidos los diferentes revestidores se pueden apreciar en la tabla III 14

Tabla III 14 Casos de Carga de los Revestidores

| Tipo de Revestidor | Casos de Carga Sometido |
|-------------------------|--|
| Conductor | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Pruebas de Presión <input type="checkbox"/> 1/3 Vacío |
| Superficie e intermedio | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Pruebas de presión <input type="checkbox"/> 1/3 Vacío <input type="checkbox"/> Arremetida de Gas <input type="checkbox"/> Perforación |
| Producción | <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Vacío Total <input type="checkbox"/> Fuga de la tubería de producción cerca de la superficie con temperatura estática <input type="checkbox"/> Fuga de la tubería de producción cerca de la superficie caliente. <input type="checkbox"/> Tratamiento de fractura del revestidor |

III 15.8.2 Consideraciones de diseño:

Analizados los casos de carga, se deben comparar los resultados con la resistencia del material a:

- Colapso
- Cedencia Interna (estallido)
- Tracción
- Compresión

Se llama colapso a la posibilidad de que la tubería falle por exceso de presión externa, esto se aprecia en la figura III 66

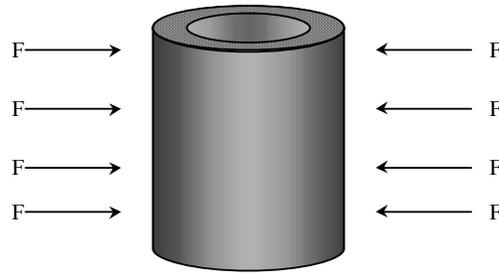


Figura III 66 Representación de la Dirección de las Fuerzas de Colapso

El Factor de diseño de colapso viene dado por la siguiente ecuación:

$$DF_c = \frac{\text{Resistencia al colapso de la tubería}}{\text{Presión de colapso equivalente}} \quad \text{Ecuación III 2}$$

La presión de colapso equivalente se define como:

$$P_e = P_o - \left(1 - \frac{2}{D/t}\right) \cdot P_i \quad \text{Ecuación III 3}$$

Donde:

P_o = Presión Externa [lpc]

P_i = Presión interna [lpc]

D = Diámetro externo [plg]

t = Espesor [plg]

La cedencia interna o estallido, se refiere a la posibilidad de que la tubería falle por exceso de presión interna. En la figura III 67 se observa una representación esquemática de una tubería sometida a presión interna.

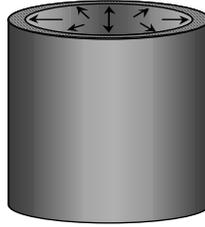


Figura III 67 Representación de la Dirección de las Fuerzas de Estallido

El factor de diseño de estallido viene dado por:

$$DF_b = \frac{\text{Presión interna de fluencia}}{\text{Diferencial de Presión}} \quad \text{Ecuación III 4}$$

La ecuación que se emplea para calcular el valor nominal de la presión interna de estallido es la siguiente:

$$P = 0,875 \cdot \left(\frac{2 \cdot Rp \cdot t}{D} \right) \quad \text{Ecuación III 5}$$

Donde:

P = Presión interna de fluencia del cuerpo de la tubería [lpc]

Rp= Resistencia a la fluencia mínima del cuerpo de la tubería.

t = Espesor de la pared del cuerpo de la tubería [pulg]

D = Diámetro externo del cuerpo de la tubería.

La resistencia a la tracción/compresión, aunque no es un valor definido por la API, es un parámetro de diseño sumamente importante. En general, el valor nominal para revestidores y tuberías de producción se basa en la resistencia a fluencia de tracción del material.

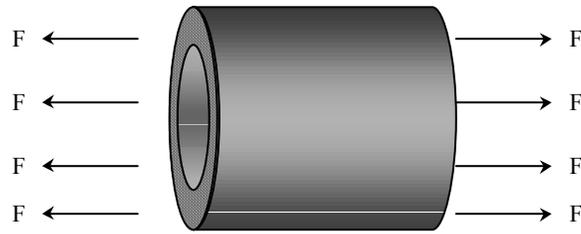


Figura III 68 Efecto de Tensión

Hay que considerar, por otra parte, que frecuentemente la conexión es más resistente que el tubo, por lo que siempre hay que verificar la resistencia de éste.

Los esfuerzos Von Mises, se originan cuando una pieza está sometida a varias cargas simultáneas, la mejor forma de considerarlas es cuando un esfuerzo equivalente y comparando dicho esfuerzo con la resistencia a la fluencia del material. Los esfuerzos simultáneos que actúan en la tubería son:

- ❑ Axiales, de las cargas de tracción, compresión y/o flexión a que está sometida la tubería.
- ❑ Radiales, de las presiones internas y externas
- ❑ Tangenciales, también de las presiones
- ❑ Cortantes, de una posible torsión

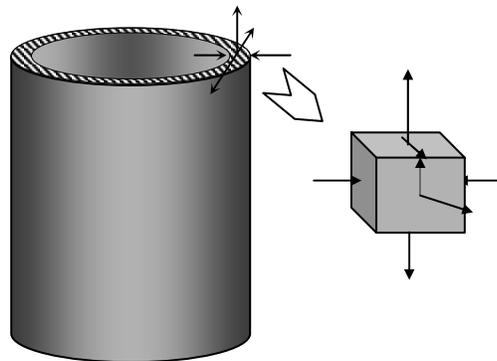


Figura III 69 Esfuerzos simultáneos que actúan en las tuberías

III 15.8.3 Consideraciones generales:

Para el diseño de la tubería por Tensión-Compresión se tiene que tener en cuenta los siguientes factores:

- *Factor de flotabilidad:* suponiendo que se tiene un pozo vertical, se puede calcular un factor de flotabilidad que permita determinar el peso sumergido en la tubería. El factor de flotabilidad siempre es menor a uno, y al multiplicarlo por el peso del aire de la sarta, dará el peso de la sarta de flotación. Este factor viene dado por:

$$BF = 1 - \frac{\rho_1}{\rho_a} \quad \text{Ecuación III 6}$$

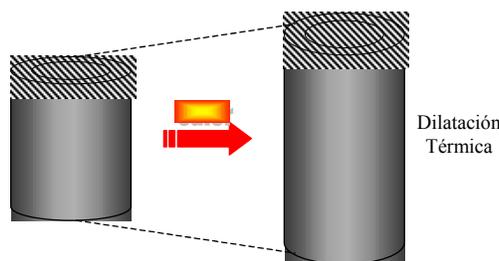
Donde:

BF = Factor de flotación “Bouyancy Factor”

ρ_1 = Densidad de lodo

ρ_a = Densidad del acero (65,4 lpg = 488 lbs/pie³)

- *Efectos térmicos:* Otros de los factores que afectan la cantidad de tensión en la sarta, son los cambios de temperatura. Cualquier cambio de temperatura con respecto al estado de instalación provocaría un cambio de longitud debido a la expansión térmica del material. Como la tubería está fija en sus partes superior e inferior, la expansión térmica se ve impedida y aparece una fuerza sobre el tubular. La fuerza será de compresión negativa, cuando aumente la temperatura y tensión positiva cuando disminuye la temperatura.



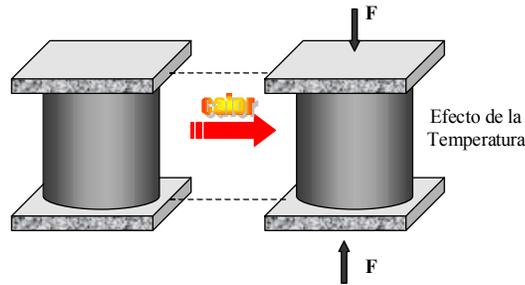


Figura III 70 Efecto de la Temperatura

La fórmula asociada para calcular la fuerza asociada a estos cambios de temperatura se deduce al compensar la posible deformación térmica con una deformación elástica de la misma magnitud y sentido contrario, con lo que queda:

$$F_{temp} = -\sigma \cdot E \cdot A_p \cdot \Delta T \quad \text{Ecuación III 7}$$

Donde:

F_{temp} = Fuerza aplicada por cambios de temperaturas [lbf]

σ = Coeficiente de expansión térmica [$^{\circ}F^{-1}$]

E = Módulo de Elasticidad [psig]

A_p = Área transversal del cuerpo de la tubería [in^2] = $0,758 (D^2 - d^2)$

D = Diámetro externo del cuerpo de la tubería [in]

d = Diámetro interno del cuerpo de la tubería [in]

ΔT = Cambio de temperatura en relación con el estado de instalación [$^{\circ}F$]

- *Efecto de abombamiento:* en la figura III 71 se puede observar, que cuando se presuriza un revestidor por dentro, su diámetro se “abomba” ligeramente. Esto hace que se corte su longitud. Sin embargo como la tubería sigue fija por su parte inferior aparece una fuerza de tracción adicional.

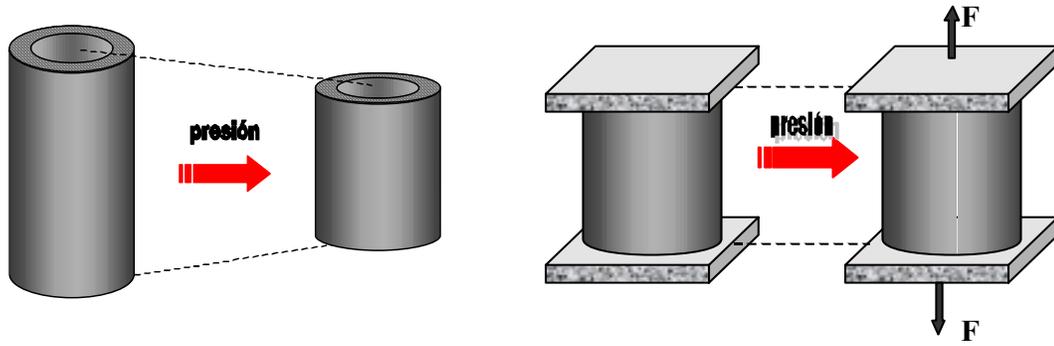


Figura III 71 Efecto del Abombamiento

- *Efecto de la Flexión:* los efectos de flexión debido al pandeo o curvatura del hoyo (patas de perro) generan esfuerzos. La flexión induce esfuerzos de tensión axial en el lado externo. La curvatura de un pozo direccional se expresa generalmente en términos de cambio de ángulo del hoyo por unidad de longitud.

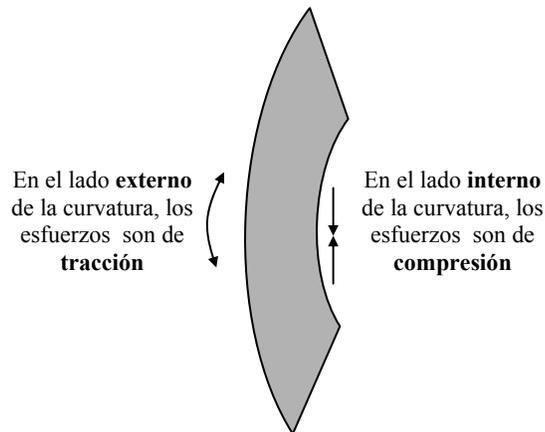


Figura III 72 Efecto de Flexión

CAPITULO IV

EXPERIENCIA EN CAMPO



CPV-10

El Departamento de Perforación y Subsuelo de PDVSA, está dividido en cuatro secciones, la primera es perforación, el cual se encarga desde la verificación del diseño inicial del pozo, hasta su completa construcción. La división de servicio de pozos (cabilleros), encargada de reparaciones menores como cambio de bombas de cavidad progresiva, electrosumergible, insertable, limpieza de liners, hoyos, etc. La sección de Rehabilitación y Reacondicionamiento (RA/RC), tiene la función de cambiar por completo las terminaciones en los pozos, reparar casing, cementar arenas y cañonear otros horizontes para continuar la producción de los pozos, etc., y por último la división Subsuelo, cuyo objetivo es hacer trabajos donde no se requieren cabrias en sitio, principalmente con unidades de tubería continua para el abandono de pozos.

Las primeras semanas fueron utilizadas para conocer el manejo y aplicación de los softwares empleados por el Departamento de Perforación y Subsuelo de PDVSA, para la construcción de pozos.

Estos paquetes fueron el PREDICT[®], utilizado para determinar las curvas de presión de poros y fractura de las formaciones, el cual utiliza como entrada de dato principal un registro sísmico del pozo.

El CASING SEAT[®], es empleado para el diseño de los puntos de asentamiento de los revestidores, el cual por medio de gráficas, se calculan las zonas que se desean aislar, ocasionado a los cambios de presión de la formación.

El software STRESS CHECK[®], determina los grados de los casing y el peso de los mismos, que soportan los esfuerzos y presiones a las cuales el casing va a estar sometido mientras se baja al hueco y se cementa.

WELL PLAN[®], es un paquete que posee varios módulos, donde cada uno tiene una función específica, entre ellos se encuentra el de torque y arrastre de sarta, el cual simula los

esfuerzos que va a estar sometido el ensamblaje de fondo, y muestra su desempeño bajo ciertas condiciones operacionales. Existe un módulo para determinar la hidráulica adecuada que debe aplicarse en superficie, es decir, presión de bombas, emboladas por minuto y caudal de lodo, para obtener un buen desempeño de limpieza y extracción de ripios del hueco. Una sección diseñada para la cementación de revestidores, el cual simula esta actividad con las densidades y cantidades de lechadas a utilizar

El COMPASS[®], es empleado para realizar la trayectoria del pozo, determinando sus patas de perro, y realizando un gráfico en tres dimensiones sobre el recorrido del mismo. Además determina las posibilidades de colisión con pozos adyacentes.

El WELLCAT[®] se utiliza para seleccionar el diseño de completación a utilizar en el pozo, y las profundidades a las cuales va a estar colocado.

El programa DIMS for window, es utilizado para registrar las operaciones detalladas tanto de los pozos perforados como los que se están perforando, de las actividades de rehabilitación y reacondicionamiento y en los que se realiza algún tipo de servicio.

Finalmente a través del MAEP[®], que es encargado de realizar el análisis económico para determinar la rentabilidad del proyecto.

El Departamento de Visualización, Conceptualización y Definición (VCD) en conjunto con la ingeniería de yacimientos, se encarga de dar la propuesta general del proyecto, en el cual planifica las arenas a explotar, los diámetros de los hoyos a perforar y sus profundidades, trayectoria del pozo, tipos de revestidores, profundidades de asentamiento, hidráulica, ensamblaje de fondo, tipos de captura de información, programa de cemento y lodo, factibilidad económica de la propuesta, entre otros, por medio de los simuladores antes nombrados.

Seguidamente este diseño pasa a manos del departamento de perforación, el cual revisa el planteamiento de la VCD, verificando su factibilidad, por medio de la existencia de los contratos necesarios con las empresas de servicios y presupuesto disponible, para luego crear el programa detallado de la perforación, con los cambios necesarios que amerite la proposición, además planifica los tiempos y costos específicos del proyecto.

Una vez dado el visto bueno al proyecto, se realizan las permisologías correspondientes, avalado por el Departamento de Seguridad, Higiene y Ambiente (SHA) para que el Ministerio de Energía y Minas dé su aprobación.

El departamento de Ingeniería y Construcción realiza la locación con la ayuda de topógrafos y maquinaria pesada, para que esta sea lo más horizontal posible, ya que aquí es donde se erige el taladro, el cual no puede colocarse en un desnivel por motivos de seguridad al personal y al ambiente. El Departamento de Perforación especifica las dimensiones que debe tener la locación.

La perforación del pozo comienza con la mudanza del equipo a la locación a través de vehículos de carga pesada, el cual dura aproximadamente tres o cuatro días dependiendo de la distancia a recorrer, y solo puede realizarse con la luz del día por cuestión de seguridad.

El taladro, está compuesto por cinco sistemas, que son el de levantamiento, potencia, circulación, impide reventones y rotación.

Los equipos a ser izados, se levantan a través del malacate, el cual se controla por medio de la consola del perforador que posee un freno y un acelerador para subir o detener la tubería de perforación cuando esta se baja hacia el hoyo. Este malacate tiene enrollado en su tambor una guaya, que pasa por el sistema de poleas entre el bloque corona (que se encuentra en la parte superior de la cabria), el bloque viajero, hasta llegar a un punto muerto agarrado por medio de una garrapata, en donde se determina la tensión de la guaya y por ende el peso

que está levantando el sistema. Esta guaya se corre y se corta según las toneladas millas que tenga acumulada, con el fin de evitar que colapse debido a la fatiga por el uso, los pasos para realizar una corrida y corte de guaya se muestra en el anexo A.

La consola del perforador, está compuesta por un conjunto de manómetros e indicadores, que marcan la presión de bombas, peso sobre la mecha, peso de la sarta, revoluciones por minuto de la sarta y torque de la misma. Actualmente, todas estas mediciones son mostradas en una pantalla digital, donde se puede observar con exactitud también la profundidad del hoyo, posición de la mecha, emboladas por minuto de las bombas, volumen de fluido retornado por el anular, tasa de penetración, corte de gas en el lodo, entre otros.

El bloque viajero, posee un gancho que sujeta al top drive, quien es el encargado de darle torque y rotación a la sarta, pasar el fluido de circulación por dentro de la tubería, suspender el ensamblaje de fondo, levantar y bajar los revestidores desde la rampa hacia el hoyo, etc.

El lodo de perforación tiene entre sus funciones llevar los ripios desde el fondo del hoyo hasta superficie, controlar la presión de las formaciones y enfriar la barrena, este fluido debe estar acondicionado para mantener las partículas en suspensión cuando no está en movimiento, crear un revoque impermeable que minimice la contaminación de este hacia la formación, y cuando se realiza toma de núcleos, debe poseer la menor concentración de sólidos posibles, cualidad que poseen los lodos viscoelásticos o poliméricos, además de ofrecer buena conductividad en la aplicación de corridas de registros eléctricos.

Para acondicionar el hoyo se bombean píldoras viscosas, las cuales son volúmenes de aproximadamente 30 bbl, que aseguran el acarreo eficiente de los ripios desde el fondo del hoyo, y en caso de pérdidas de circulación, se bombean píldoras puenteantes, compuestas con una alta concentración de carbonato de calcio para que taponen la fractura y reactivar la circulación del pozo.

El pozo se manifiesta por medio de arremetidas, que se pueden convertir en reventones si estas no se controla adecuadamente, esto ocurre debido a que la presión de la formación es mayor al peso de la columna hidrostática del lodo, y la operación que se realiza es parar las bombas, cerrar los ranos de las válvulas impiderreventones por medio del acumulador o koomey, registrar la presión en el anular y calcular la densidad que debe tener el lodo para matar el pozo, es decir, para controlar la presión de la formación, aumentar el peso del lodo en los tanques de píldora, abrir la válvula del HCR para desahogar el pozo hacia el múltiple estrangulador y bombear la píldora por dentro de la tubería, donde el fluido al llegar al fondo, se observa automáticamente un aumento en el manómetro de las bombas.

El fluido de perforación cuando retorna por el anular, pasa al niple campana, de éste a las zarandas vibradoras, o sheckers como se conoce en el argot petrolero, de aquí al desgasificador, luego al desarenador, y por último, a través del deslimador o centrifuga, si el fluido lo requiere. Los ripios que se extraen en cada etapa, son transferidos a un tanque o gallera por medio de un tornillo transportador, donde se les añade y revuelve con aserrín y otros productos con el fin de tratarlos antes de esparcirlos en el land farmer.

La función de los revestidores, es aislar zonas con diferentes gradientes de presión, además de evitar el derrumbe de las paredes del hoyo en formaciones poco consolidadas y servir de apoyo a los impiderreventones. El casing lleva en la parte inferior una zapata, el cual es una junta con un extremo convexo, teniendo un orificio mucho menor al diámetro interno del resto de la tubería. Esta forma convexa es para guiar la extremidad de la sarta por el hoyo y minimizar los choques de esta con las paredes del pozo

El cuello flotador, es un sistema que permite el paso de fluido en una sola dirección, del lado interno del revestidor hacia el anular, con el propósito de contener la presión ejercida de las columnas de las lechadas de relleno y cola cuando se realiza la cementación. Este sistema de flotación, está fabricado de un material especial, que una vez fraguado el cemento, permite ser triturado por la mecha de perforación del próximo hoyo.

Para realizar la corrida y cementación de los revestidores, se mide y enumera primeramente cada tubular, se realiza el pype tally, el cual es una lista donde se selecciona los tubulares que van a ser introducidos al hoyo, se calibran los revestidores, por medio de un conejo y se van subiendo de uno en uno con ayuda del winche desde la corredera hasta el piso del taladro, para ser sujetos con los elevadores del top drive y ajustados con una llave hidráulica especial al introducirlos en el hoyo.

Una vez bajados todos los revestidores seleccionados, la compañía de cementación hace una reunión de seguridad, indicando los volúmenes de cemento y lavadores químicos a utilizar, coloca el cabezal de cementación con todas sus líneas de alta presión, las prueba con 5000 lpc por un espacio de 5 min para verificar las conexiones, y empieza a bombear los lavadores químicos, cuya función es eliminar el revoque producido por el lodo de perforación y acondicionar el hoyo para la buena adherencia del cemento, le sigue el espaciador, con el propósito de disminuir la contaminación del cemento con el agua de los lavadores; se abre la manilla inferior del cabezal y se suelta el tapón inferior o tapón rojo (por su color), se bombea la lechada de relleno, seguida por la de cola, la cual es de mayor densidad, siempre verificando que el peso sea igual al programado. Se suelta el tapón superior o negro, que es más rígido que el inferior, y se desplaza éste con agua fresca, hasta verificar un aumento en la presión de las bombas del camión, indicativo que el tapón llegó al cuello flotador, se desahoga la presión para verificar que no exista retorno por las líneas, comprobando que el sistema de flotación haya funcionado eficientemente.

El ingeniero encargado de lodos, chequea constantemente las zarandas mientras se cementa, agregando fenolftaleína al fluido espaciador, porque cuando éste comienza a hacer aureolas rosadas al contacto con el líquido, es indicativo que el volumen espaciador viene contaminado con la lechada de relleno, por ende, ésta se encuentra muy cerca de la superficie. Da la alerta para cambiar la dirección de descarga hacia el seller, ya que no se desea en ningún momento que el cemento toque los equipos de control de sólidos.

La logística de los vacuums debe estar engranada con las operaciones de cementación, porque cuando la lechada de relleno comienza a salir por el seller, estos deben de

absorber el cemento y llevárselos fuera de la locación a sitios especiales para su descarga. Al cemento que sale por el anular le agregan azúcar para que retarde su tiempo de fraguado, y no se endurezca dentro de los tanques del vacuum.

Mientras la compañía de cementación desviste sus equipos, el personal de la cuadrilla, tiene la función de dismantelar las válvulas impiderreventones, para luego colgar y tensionar el casing, se espera por la compañía encargada de realizar el corte del tubular a la medida correspondiente, para colocar el cabezal, una vez realizado esto, se prueba con presión para verificar que la sección haya sido instalada adecuadamente.

La sarta o ensamblaje de fondo, está compuesta según las exigencias que se tengan para perforar la formación. Cuando se perfora el hoyo superficial, se hace con una sarta sencilla, es decir, que no posee kmonel ni martillo, solamente la mecha con tubería pesada para darle peso sobre esta, y preferiblemente con estabilizadores para mantener la verticalidad del hoyo. Ya perforada esta etapa, se coloca un ensamblaje un poco más complejo, el cual está previsto de un martillo que puede ser mecánico o hidráulico y se utiliza para desatascar la tubería por impacto si las circunstancias lo requieren; estabilizadores colocados en puntos estratégicos; motores de fondo, MWD y LWD si la trayectoria del pozo es inclinada, estos dos últimos para determinar la ubicación e inclinación precisa del hoyo; portamechas y tuberías extrapesadas para ejercer peso sobre la mecha; tubería de perforación y por supuesto la mecha o barrena

Las primeras juntas se conectan por medio de las llaves de tubo y las mecánicas del taladro (mecha, cross over, estabilizadores, portamechas). Los portamechas se elevan por medio de acoplamiento llamados en el argot petrolero “botellas”, ya que estos no poseen cuellos por donde sujetarlos. La tubería pesada o heavy wate, se enroscan por medio de una llave hidráulica, haciendo las conexiones más fácil y rápidas, verificando que tanto el pin como la caja de las tuberías a enroscar estén previamente engrasadas.

La función que tienen las cuñas de perforación, es sostener la sarta que se encuentra en el hoyo mientras se realiza la próxima conexión, evitando que se caiga al pozo y se convierta en un pescado. Están divididas en tres cuerpos o elementos, y su tamaño depende del diámetro del ensamblaje de fondo a sostener, y se debe tener la precaución de no dejar caer la sarta cuando están las cuñas metidas en el buje maestro, ya que pueden desgarrar la tubería de perforación y crear un punto de fatiga en la misma que conlleve a que esta se parta. Para los portamechas o barras, que es tubería que no posee cuello, se utilizan cuñas de diente corto compuesta por varios elementos, dependiendo del diámetro de la tubería, y los cuales son mucho más delgado que los utilizados para sujetar la tubería de perforación, debido a la reducción de espacio entre el cuerpo del tubo y el buje, además se le coloca un collarín como medida de seguridad si la tubería llega a deslizarse, existe una junta que la sostenga. Así mismo, también existen cuñas para los revestidores, las cuales son del mismo tipo para sostener las barras pero con dientes largos.

La mecha, es uno de los implementos más pequeños en tamaño en un taladro, pero es la primordial para el éxito de la perforación, ya que de su buen diseño y desempeño depende que la eficiencia en la tasa de penetración se incremente o disminuya.

Dependiendo de la formación a perforar, se pide al proveedor la barrena, utilizando para ello un código IADC de 3 dígitos, en los cuales se especifica el tipo y longitud de los dientes, su dureza y el sistema de rodamientos o cojinetes. Luego, cada vez que la barrena cumple con la perforación de un intervalo, se le evalúa por medio de otro código IADC de 8 dígitos, en los cuales se examina físicamente la superficie de la mecha.

Los ampliadores o escariadores, son herramientas utilizadas para ensanchar formaciones o abrir ventanas en los casing para realizar side track y/o brazos para convertir un pozo sencillo en multilateral.

Los escariadores, pueden ser de hojillas o conos, según para lo que haya sido programado, abriendo sus brazos a través de la presión ejercida por el fluido de perforación.

La toma de núcleos es un proceso lento, ya que busca recuperar la muestra del fondo del hoyo lo más íntegra posible, para no afectar las propiedades petrofísicas de la roca, por ello se perfora con mucha precaución en el peso aplicado a la mecha corta núcleos, llamada corona.

La herramienta para tomar núcleos es un ensamblaje cuyo tamaño depende de los pies de muestra a tomar, siendo este de 30 pie o 60 pie, y se acciona de manera hidráulica, lanzando una esfera para que accione un mecanismo que desvía el fluido al espacio entre la manga (lugar donde se atrapa al núcleo) y el tubular protector, evitando que el lodo lave e invada la muestra. Una vez recuperada la cantidad programada o al notarse su impedimento en el avance de la sarta, se desconecta la tubería en superficie y se deja caer otra esfera ésta de mayor diámetro que la anterior, la cual activa los cortadores. Se levanta la sarta y al llegar a la mesa rotaria, se saca la manga del tubular, bajándola de la planchada por medio de un sistema de rodamiento para evitar que se golpee y maltrate al núcleo. Seguidamente es medida y cortada cada 3 pie y almacenada en hielo seco para su traslado al laboratorio.

Los registros eléctricos, tienen la función principal de determinar las propiedades litológicas, geológicas y petrofísicas de las formaciones, además de calcular las saturaciones y tipos de fluidos presentes en las arenas.

La corrida de registros eléctricos, se realiza mediante un vehículo especial, equipado con computadoras y generadores de frecuencias, que se transmite a la herramienta mediante una guaya que permite el paso de información. El principio básico de todas las herramientas de registros, es enviar una onda a la formación por medio de unos emisores, y capturarla con unos receptores, en la cual dependiendo del tiempo de viaje, ángulo de inclinación, densidad de llegada, etc., provee cierta información, que es enviada por el mismo cable hacia las

computadoras del vehículo, donde ellas lo registran, convierten, analizan y grafican, con el fin de visualizar la exploración realizada.

La mayoría de las herramientas de registros, son radioactivas, pero con muy bajas concentraciones, por esto, todo el personal que tiene contacto con directo con ellas, lleva un indicador de radioactividad, el cual mide la cantidad de exposición a la que ha estado la persona.

El tiempo de estas corridas, depende de la profundidad a muestrear y el tipo de herramienta a correr, en algunos casos puede llevar hasta semanas enteras, haciéndolo un trabajo muy tedioso y agotador, pero ello no opaca lo interesante e impresionante de su funcionamiento en campo.

El multishot, es una herramienta sumamente sencilla de manejar que utiliza un principio muy básico de medición, apoyándose en la gravedad y el norte magnético de la tierra.

Esta herramienta determina la dirección y trayectoria de un pozo, por medio de un procesador interno que registra su ubicación geográfica, la cual es tomada y grabada en su memoria dependiendo de los tiempos programados por su operador, y en donde él solo toma en cuenta los instantes en que la herramienta estuvo estática.

Al momento de llegar con la mecha a la profundidad desde el cual se quiere comenzar a determinar la trayectoria del pozo, se desconecta la sarta en superficie y se deja caer la herramienta por dentro de la tubería, esperando que llegue esta al kmonel, aguardando un tiempo prudencial. La sarta empieza a sacarse fuera del hoyo, el operador del multishot, registra los tiempos en donde estuvo el ensamblaje con las cuñas puestas, es decir, cuando la herramienta permaneció estática y no hubo incertidumbre en la medida tomada. Una vez recuperada la herramienta en superficie, la conecta a una computadora con un software especial, donde manualmente descarta los tiempos cuando la tubería estaba en movimiento, grafica los puntos efectivos y así determina el desplazamiento y dirección del pozo.

El empaque con grava se realiza en formaciones muy poco consolidadas, el cual por efecto de la producción de crudo, arrastra granos del horizonte productor hacia el pozo, que son indeseables ya que erosionan todos los equipos en superficie.

El empaque con grava, consiste en utilizar liners ranurados con aberturas mucho menor a la grava utilizada, la cual impide el paso de finos al hoyo productor y por consiguiente a la superficie. Esta grava se diseña en función del tamaño promedio del grano de la formación, existiendo de varios tamaños, 12/20, 16/30 y 20/40 entre otros. Se calcula la cantidad de sacos a bombear según el volumen que exista entre las paredes de la formación y los tubulares ranurados, siempre tomando en cuenta un exceso de grava, debido al volumen que se incrusta en la formación.

Esta operación se realiza mediante el bombeo de grava mezclada con agua salada hacia el pozo, la cual pasa por dentro de la tubería hasta la empacadura que posee una cruz de flujo, cuya función es desviar la mezcla al espacio entre la formación y el liner ranurado, quedando la grava en el anular y reversando el fluido limpio por dentro de unas tuberías lavadoras colocadas en el interior de los tubulares, hasta la empacadura y de aquí hacia la superficie por medio del anular.

El punto final de esta operación es cuando la presión en las bombas de los vehículos en superficie aumentan significativamente, desahogando las líneas, y volviendo a bombear grava hasta un nuevo indicio de aumento de presión. Se levanta la sarta, y se verifica que exista tensión en la misma, indicativo que el empaque ha sido efectivo, en caso de no mostrarse tensión, se vuelve a bombear grava hasta alcanzar la presión de empaque nuevamente. Luego se desplaza con fluido limpio a través del anular con el propósito de reversar la grava existente dentro de la tubería.

Esta herramienta de cruce, posee un sistema llamado setting tool, el cual está

provisto de una rosca invertida, es decir, afloja en sentido de las agujas del reloj, donde al tensionar la sarta y girarla a la derecha, se libera. Se sube la sarta para liberar las cuñas del setting tool y se vuelve a bajar aplicando peso para asentar la empaadura, se ejerce presión por el anular para verificar los sellos y se saca el ensamblaje. En el hoyo queda, la tubería ranurada y la lisa, colgada del casing por medio de la empaadura.

La mudanza del taladro, se realiza de manera sincronizada, ya que simultáneamente se va desensamblando las bombas de lodos, se baja la cabria, se recoge los equipos de control de sólidos, se cargan todos los tanques de fluido en vehículos de carga pesada, y por último se muda los trailers con el sistema de potencia.

El área de preparación y tanques activos de lodos, control de sólidos y la cabria, están situados en remolques, lo cual hace rápida la mudanza de estos hacia otras locaciones.

CAPITULO V

DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA



CPV-10

V 1 Descripción general:

El área mayor de Socororo se encuentra ubicada geológicamente en el flanco sudoeste de la Cuenca Oriental de Venezuela y geográficamente está localizada en las cercanías de la población de Pariaguán, Estado Anzoátegui, figura V 1.

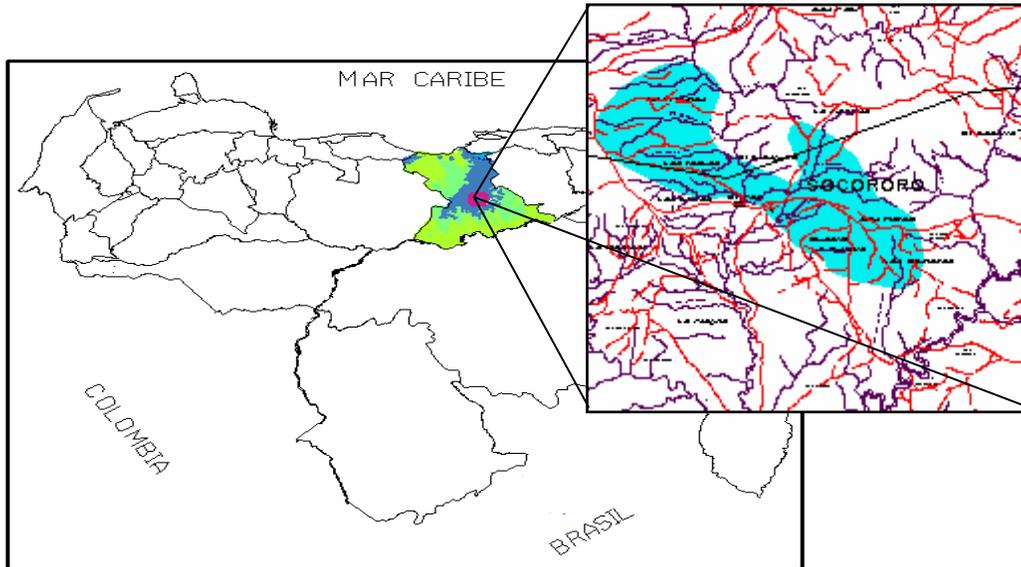


Figura V 1 Ubicación Geográfica del Área Mayor de Socororo

El Área Mayor de Socororo está constituida por los Campos Socororo, Caricari y Cachicamo, abarcando un área de alrededor de 270 Km² de superficie y está limitada al este por el Campo Budare, al Sur por los Campos de Petrozuata, al Este por el Campo Yopales y al Noreste por el Campo Caracoles. El área se encuentra dividida en tres campos como se muestra a continuación en la figura V 2.

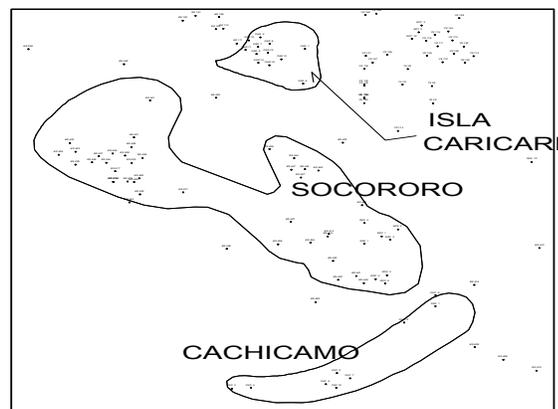


Figura V 2 Campos que Componen el Área Mayor de Socororo

El primer sistema tiene rumbo NO-ES, paralelo al rumbo de las capas y en general las fallas buzcan hacia el sur, tienen un salto de falla que varía entre 25' y 100'. Mientras que el segundo tiene rumbo NE-SO y las fallas no tienen una sola dirección de buzamiento, buzcan indistintamente hacia el este y hacia el oeste, aquí se encuentra el elemento estructural más importante del área: la Falla principal de Cachicamo, la cual posee una magnitud de salto que varía entre 70' y 180', en las otras fallas del sistema el salto varía entre 20' y 70'. Las principales formaciones más productoras del Área Mayor de Socororo se sedimentaron durante la época del Mioceno inferior y medio correspondiente al Neógeno de la era Terciaria (Formación Merecure superior y Oficina Inferior). Dadas las características de la zona, los yacimientos son lenticulares de poco espesor y se estiman que el área posee un total de 103 yacimientos de petróleo y 77 yacimientos de gas.

La profundidad promedio de los pozos es 3.850' y la °API promedio del hidrocarburo del área es 16°. La porosidad promedio es 28% y la saturación de agua se encuentra en el 9% y el 50%.

V 1.2 Ubicación geográfica del pozo ES-451

El pozo ES-451, pionero en el convenio PetroUCV, se encuentra al Sur-Oeste del Campo Socororo, ubicado en la parcela ANZO-8-16-16, con coordenadas de superficie N: 969.919,99 m y E: 325.200,02 m, a ± 547 m., al oeste y 93,52 m., al norte del pozo SOC-03 y ± 188 m al oeste y 256m al norte del pozo SOC-04, sobre el yacimiento SOC-3, quien limita al norte con un contacto agua-petróleo aproximadamente a los -3675 pie; al sur con un límite estructural de una falla normal rumbo noreste-suroeste, y al este y oeste con una falla normal de rumbo noroeste-sureste.

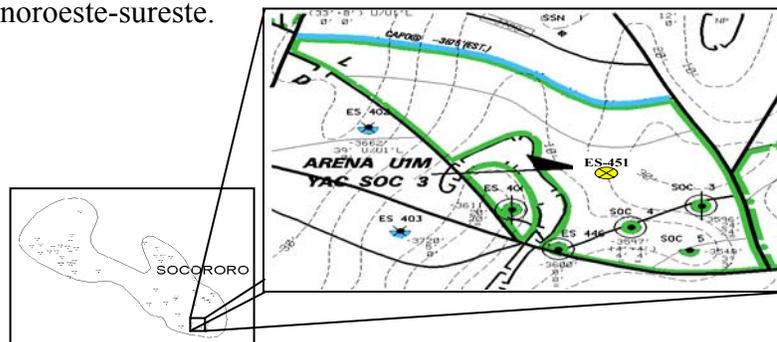


Figura V 3 Ubicación Geográfica del Pozo ES-451

V 2 Distribución de pozos del Área Mayor de Socororo

El Área Mayor de Socororo posee un total de 94 pozos perforados, de los cuales 56 están inactivos, 35 están abandonados o secos, 2 en producción y 1 esperando por su estimulación para producir, su distribución se muestra a continuación:

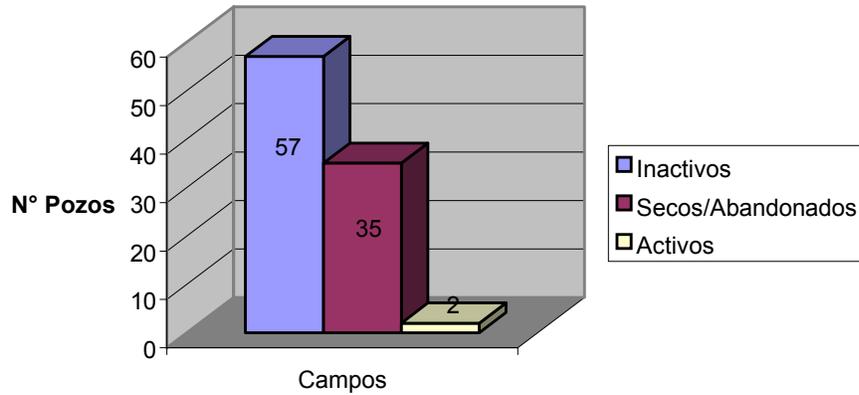


Figura V 4 Pozos del Área Mayor de Socororo

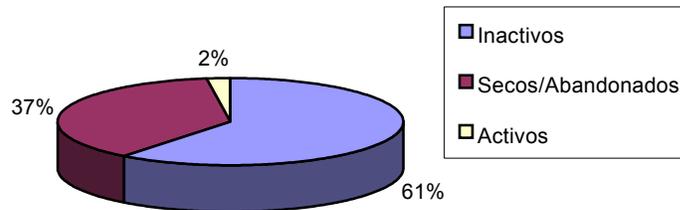


Figura V 5 Distribución Porcentual de Pozos en el Area Mayor de Socororo

V 2.1 Pozos inactivos

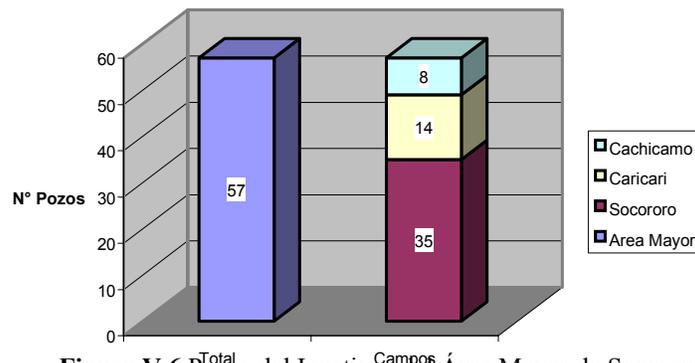


Figura V 6 Pozos del Inactivos del Área Mayor de Socororo

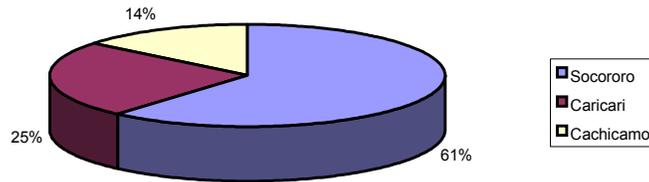


Figura V 7 Distribución Porcentual de Pozos Inactivos en el Area Mayor de Socororo

V 2.2 Pozos secos/abandonados

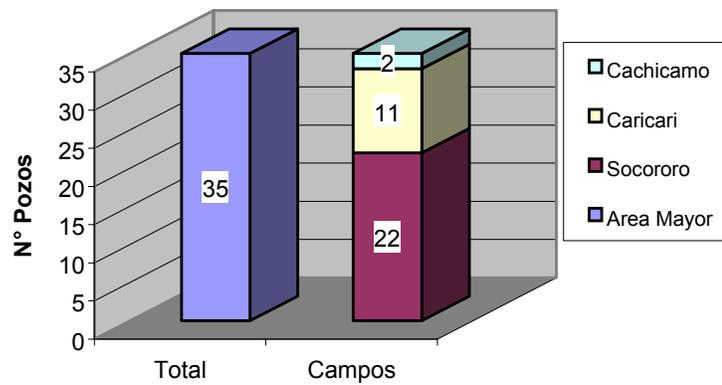


Figura V 8 Pozos Secos/Abandonos del Área Mayor de Socororo

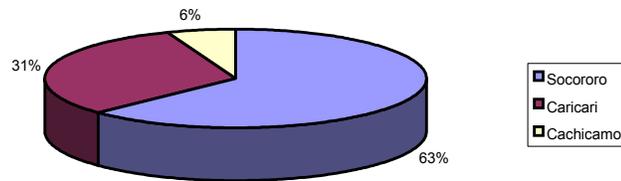


Figura V 9 Distribución Porcentual de Pozos Secos/Abandonados del Area Mayor de Socororo

V 2.3 Pozos activos

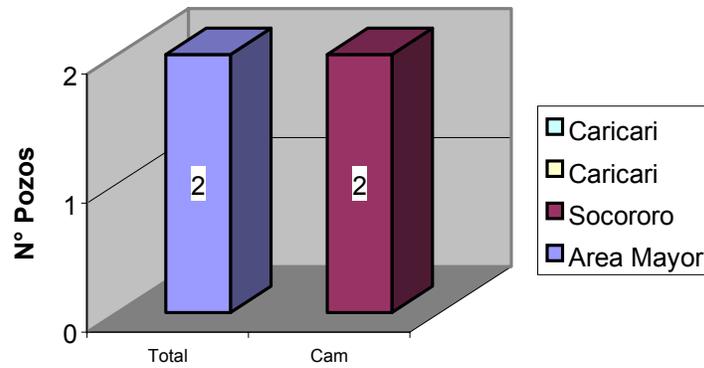


Figura V 10 Pozos Activos del Área Mayor de Socororo

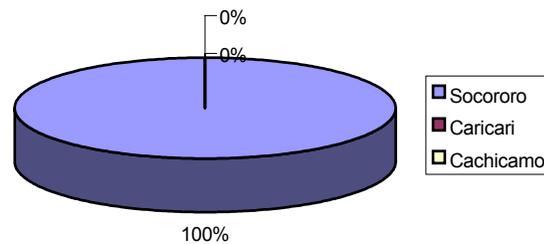


Figura V 11 Distribución Porcentual de Pozos Activos en el Area Mayor de Socororo

El POES del área es de 418 MMBNP y el Gas Original En Sitio (GOES) es de 278 MMMPCN, se estiman unas reservas recuperables de petróleo de 61 MMBN y 228 MMMPCN de gas, pero tomando en consideración la producción acumulada de 10 MMBN de petróleo y 21 MMMPCN de gas hasta la fecha. Las cuales se encuentran distribuidas de acuerdo a los campos existentes de la siguiente manera:

Tabla V 1 Distribución de Reservas

| | Socororo | Caricari | Cachicamo | Total |
|--|----------|----------|-----------|-------|
| POES (MMBN) | 314 | 60 | 44 | 418 |
| Reservas de Petróleo | 37 | 8 | 6 | 51 |
| Reservas de Gas Asociado en Solución (MMMPCN) | 60 | 13 | 14 | 87 |
| Reservas de Gas no Asociado (MMMPCN) | 77 | 39 | 4 | 120 |

V 3 Mecanismo de producción.

Los Factores que influyen en el comportamiento de los yacimientos y por lo tanto en el mecanismo de producción predominante lo constituyen las características geológicas, propiedades de roca y fluido, mecanismos de flujo de fluidos en el medio poroso y las facilidades de producción asociadas. Para el Área Mayor de Socororo se establecieron los siguientes factores:

- Estructuralmente los yacimientos son de poco buzamiento (menor a 10 grados)
- En muy pocos casos la RGP inicial puede considerarse representativa (problemas mecánicos en los pozos y pobres o ninguna medición del gas).
- Más del 50% de la producción del área proviene de yacimientos conformados por zona de petróleo asociada a capa de gas (yacimientos saturados).
- Se presentan algunos casos de yacimientos ligeramente subsaturados.
- Existen yacimientos con acuífero asociado de magnitud mucho mayor a la zona de petróleo.

Sobre la base de estas características, podemos establecer en cuanto a los índices de mecanismos de producción presentes en los yacimientos del Área Mayor de Socororo lo siguiente:

V 3.1 Expansión de la roca y fluidos:

No es un mecanismo de producción importante debido al bajo grado de subsaturación de los yacimientos.

V 3.2 Gas en solución:

Mecanismo de producción importante en el área, debido al número de yacimientos saturados.

V 3.3 Capa de gas:

Mecanismo de relativa importancia en el área, pues un 28% de los yacimientos en el área tiene capa de gas artificial.

V 3.4 Drenaje gravitacional:

Se considera poco importante, debido a que el buzamiento estructural del área está en el rango de 2 a 3°.

V 4 Descripción geológica:

V 4.1 Estructura:

El Área Mayor de Socororo, es una estructura monoclinal fallado de rumbo NO y buzamiento de 2-3° hacia el norte, con dos sistemas de fallas predominantes, más o menos perpendiculares entre sí. El primer sistema de fallas tiene rumbo NO-SE paralelo al rumbo de las capas buzando hacia el sur, con un salto de falla variable entre 25' y 100'. El segundo sistema de fallas es normal con rumbos variables: EO, NE y NO y con saltos entre 20' y 180'; en este sistema se encuentra la falla principal de Cachicamo, la cual se considera el elemento estructural más importante del área.

El sistema de fallas normales paralelo al rumbo de las capas, constituye la barrera buzamiento arriba para los hidrocarburos en su proceso migratorio (área del pozo ES-401 y ES-417). En general existen tanto trampas del tipo estructural como mixtas, tal es el caso de las arenas B3, D2L y F0 del campo Caricari, las cuales entrapan gas de manera estructural; mientras que el campo Socororo y Cahicamo poseen en su mayoría trampas estructurales-estratigráficas.

V 4.2 Estratigrafía:

La columna estratigráfica del Área Mayor de Socororo, está constituida por las formaciones Mesa, Las Piedras, Freites, Oficina, Merecure, Grupo Temblador y Carrizal. Siendo las formaciones Oficina y Merecure las principales unidades productoras de

hidrocarburos del área. Ambas formaciones son rocas recipientes, y la formación Querecual es la generadora de hidrocarburos, es decir, la roca madre.

En la siguiente tabla se muestra de forma explícita la litología de la zona a perforar:

Tabla V 2 Formaciones del Área Mayor de Socororo

| Formación | Profundidad (BNM) | Espesor (Pies) | Era y Grupo | Período | Época |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|---|--------------------|--|
| Mesa – Las Piedras | | 300 | Cuaternaria (Neozoico) Terciaria (Cenozoico) | Neógeno | Plioceno – Pleistoceno |
| Freites | 300 | 640 | Terciaria (Cenozoico) | Neógeno | Mioceno – Superior |
| Oficina | 940 | 2730 | Terciaria (Cenozoico) | Paleógeno | Mioceno Inferior Medio – Post-Oligoceno |
| Merecure | 3670 | 760 | Terciaria (Cenozoico) | Oligoceno Superior | Oligoceno Superior – Mioceno Inferior |

V 4.2.1 Formación Mesa-Las Piedras:

La era Cuaternaria está constituido por cuerpos clásticos que se encuentran aflorando de forma dispersa en el área de la Faja Petrolífera del Orinoco y está representado en su mayoría por la Formación Mesa.

La Terciaria ó Cenozoico, si se esquematiza de forma general, se ajusta bien al modelo de ambientes predominantes continentales a salobres, fluvio – deltaicos, con grandes extensiones pantanosas y recurrencia de cortas invasiones marinas someras hacia el oeste y sobre la plataforma, representada por la secuencia Merecure-Oficina-Freites.

El período comprendido entre el Oligoceno superior y el Mioceno Inferior, continúa con el desarrollo de la cuenca oriental, ello trae como consecuencia cambios sedimentarios

importantes que conducen a la presencia de depósitos de la Formación Merecure con ambientes probablemente de aguas dulces a salobres. Esta área constituye el comienzo de la transgresión del terciario medio, que continúa interrumpiéndose, durante el mioceno inferior y medio.

Durante el lapso geológico, se sedimenta sobre la unidad de transgresión basal, denominada Formación Merecure; la unidad litológica denominada Formación Oficina, de gran contenido comercial por su contenido de petróleo.

Los ambientes sedimentarios de la Formación Oficina se considera como Mioceno Inferior y Medio, principalmente por la presencia del fósil en la parte superior llamado *Globorotalia fobsi* del género *Globgeniropsis sp*, actualmente considerado como indicativo del período Post-Oligocenos.

Sobre la Formación Oficina se depositaron las lutitas, pertenecientes al intervalo Inferior de la Formación Freites; aquí desaparecen los lignitos de la Formación Oficina, para dar paso a una litología compuesta por arenas glauconíticas, con fauna abundante, que reflejan ambientes marinos de aguas someras. En la parte media de la formación, aparece menor abundancia de faunas marinas; indicativo de ambiente moderadamente profundos, mientras que en el intervalo superior la fauna es escasa propia de un ambiente salobre.

La sedimentación de la Formación Freites exhibe un carácter regresivo entre su base y el tope, en el cual se aprecia características más monótonas; debido a que tienden a desaparecer las arenas correspondientes a la parte superior e inferior. Está considerada como Mioceno Superior.

Suprayaciendo la Formación Freites se encuentra una nueva unidad sedimentaria denominada Formación las Piedras, en ella no se han encontrado faunas diagnósticas de edad correlacionable, por lo cual generalmente se le ha sido asignada la edad del Mioceno Superior y/o Plioceno.

V 4.2.2 Formación Freites:

La litología está compuesta en el área en su mayoría por arcillitas verdes a gris verdosas; divididas en tres intervalos, basándose en la presencia de areniscas, cerca del tope y de la base de formación; en contraste con la parte media y mayor de la unidad, esencialmente lutítica. El intervalo superior consta de unos $\pm 330'$ de espesor, además de las lutitas gris verdosas típicas incluye areniscas verde amarillentas de grano medio a grueso, glauconíticas, calcáreas o sideritas y muy fosilíferas. En toda formación se presenta coquecaciones calcáreas-feruginosas amarillentas en lutitas.

V 4.2.3 Formación Oficina

La litología esta compuesta en términos generales de lutitas y arenas en una secuencia alternantes de lutitas grises, gris claro y marrón, interlaminadas e interestratificada con arenisca y limolitas de colores claros y grano fino grueso, con accesorios o componentes menores con capas de lignitos y lutitas ligníticas, arcillitas verdes y gris claro con esférulas de sideritas, arenisca sideríticos – glauconíticas, calizas delgadas y por pequeñas capas de limolitas grises, beige, ocre y con meteorización roja.

Pese a la lenticularidad de las arenas individuales, los grupos de arena persisten y son correlacionables con grandes distancias sobre la base de su expresión en los registros eléctricos, hacia el eje de la cuenca las arenas desaparecen con el progresivo desarrollo de las lutitas, pero se multiplican alrededor de la periferia de la cuenca, en la secuencia se intercalan lignitos de amplia extensión, especialmente en el área Mayor de Oficina.

En el Área Mayor de Socororo, esta formación se encuentra constituida estratigráficamente por una secuencia alternada de lentes de arena, limolitas y lutitas. Las arenas por lo general con espesores variables entre $3'$ y $18'$. Están presentes en la secuencia sedimentaria lignitos fácilmente identificables en los perfiles eléctricos y de densidad, con buena extensión lateral la cual permite utilizarlos como horizontes guías para las correlaciones. El espesor de la Formación Oficina en el Área Mayor de Socororo varía entre $2300'$ y $3400'$ como consecuencia del adelgazamiento de la secuencia en dirección sur-

sureste. La Formación Oficina es productora de hidrocarburos en toda su extensión, gasífera en la parte superior (arenas A – arenas J2) y de líquidos en la parte inferior (arena J3 – arena U1).

V 4.2.4 Formación Merecure

La litología en términos generales en esta área se caracteriza principalmente por la abundancia de areniscas de grano fino a grueso y espesores en capas masivas mal estratificada, con estratificación cruzada común y colores gris claro a oscuro. La continuidad de las capas de areniscas está interrumpida por láminas y capas delgadas de lutitas negras, duras, carbonosas y por intervalos de arcillitas blanca grisáceo y limolitas grises.

Las areniscas forman casi el 50% de la unidad y una característica notable es el crecimiento secundario de sílice sobre los granos de cuarzo. En la Formación Merecure se encuentran escasos foraminíferos arenáceos y abundantes restos de plantas que sugieren un ambiente de sedimentación en aguas dulces a salobre.

En el Área Mayor de Socororo, esta formación está constituida estratigráficamente por una secuencia de cuerpos arenosos generalmente masivos (en ocasiones con espesores mayores de 100' en su parte media e inferior) interestratificado con lutitas y limolitas delgadas por lo general no mayores de 10', aunque en algunas existen intervalos lutíticos que alcanzan los 40'. La continuidad lateral de las arenas no es buena, como consecuencia de la natural lenticularidad de las mismas y de los frecuentes cambios de facies que se observan a través de toda el área. El espesor de la Formación Merecure está por el orden de los 500', la presencia de hidrocarburos se ha detectado en la mayor parte de la secuencia (arenas U2 – U9), sin embargo, la principal arena productora ha sido la arena U2.

V 5 Sedimentación:

Regionalmente las Formaciones Oficina y Merecure, se sedimentaron en ambientes progresivamente – transgresivos sobre el flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela. La sedimentación en la parte meridional del área, tanto en la Formación Merecure como en

Oficina, sugiere ambientes de llanura deltaicas, basándose en este tipo de ambiente en la cuenca, se asume que el Área Mayor de Socororo es de sedimentación Fluvial Deltaica.

En toda el área, se observa lenticularidad y desaparición lateral de arena de barras, canales, etc. propio de la sedimentación de ambientes de planicie deltaica y desaparición sistemática de cuerpos de arena hacia el noreste, esta desaparición de arenas se va haciendo más severa a medida que se asciende en la columna estratigráfica.

| EDAD | | FORMACION | LITOLOGIA |
|---------------------------------|----------|-------------|---|
| Reciente | | Aluvión | Depósitos Aluviales |
| Pleistoceno | | Mesa | Arenisca Conglomeradas y Areniscas Ferruginosas |
| Plioceno | | Las Piedras | Areniscas, Limolitas, Lutitas y Carbón |
| M I O C E N O | Superior | | |
| | Medio | Freites | Lutitas Marinas con intercalaciones de Arenisca de Grano Fino |
| | Inferior | Oficina | Areniscas con Intercalaciones de Lutitas y Carbón |
| Oligoceno | | Merecure | Areniscas con Intercalaciones de Lutitas |
| Pre-Cambrico | | Basamento | Complejo Ígneo Metamórfico |

Figura V 12 Geología del Área Mayor de Socororo

CAPITULO VI

METODOLOGÍA



VI 1. Diseño inicial:

Para realizar la perforación de un pozo, los primeros pasos se ejecutan casi un año antes de su ejecución, el cual es el programa del pozo, y en el que se hace de manera general el alcance y objetivos del pozo a perforar, así como el presupuesto aproximado para ese proyecto. Para la construcción del pozo ES-451, se programó inicialmente, alrededor de 3 modelos, donde el primero fue horizontal o tipo “J”, el segundo un diseño igual que el primero pero con la adición de un hoyo piloto, y el tercero y definitivo fue un pozo vertical.

Esta variación en los diseños se debió, al factor económico, ya que se tenía presupuestado cierta cantidad de dinero para todos los pozos a perforar en el campo, y se debieron de distribuir de manera equilibrada, según la complejidad de la zona a perforar y la producción estimada para cada arena, además no se tenía la información geológica suficiente para realizar esta propuesta. Cabe destacar, que un pozo horizontal o tipo “J” es muy costoso, y no se acoplaba a la realidad de la empresa que recién iniciaba operaciones y su presupuesto era limitado, por lo tanto, realizar la primera propuesta que se tenía pensada, aparte de todas las capturas de información planeadas, eliminaba el poder financiar la perforación de otros pozos, por lo que se decidió construirlo vertical. Aunque se tiene propuesto para un futuro cercano, cuando los pozos abandonados se reactiven y los nuevos perforados empiecen a producir dividendos a la corporación, realizar un estudio de la factibilidad de las arenas con el fin de determinar si son aptas para poder introducir en ellas un pozo horizontal, es decir, si tienen suficiente espesor (mayor a 15’ —recomendado— para poder geonavergar en ellas), buena porosidad, permeabilidad y alto potencial de producción. Además se proyectó realizar pozos multilaterales como culminación de la fase de perforación planeada para obtener el máximo factor de recobro posible.

El diseño de la construcción del pozo, inicialmente lo realizó el Departamento de Visualización, Conceptualización y Desarrollo (V.C.D.), que está compuesto por un grupo de personas con varios años de experiencia en el área de perforación y todo lo que ella implica, y la cual se encargó de realizar el planteamiento original, revisando y ajustando el diseño para la

localización propuesta, determinando detalladamente por medio de Software que utiliza la empresa en los diseños de pozos. Seguidamente, ésta se transfirió a manos del personal de Planificación del Departamento de Perforación en San Tomé, donde se revisó el planteamiento de la VCD y detallando los diseños para la zona, se verificó los contratos existentes con las compañías de servicio y el presupuesto para el mismo, realizando el procedimiento general para cada etapa y la logística de la construcción.

Los paquetes utilizados para realizar el diseño fueron el PREDICT[®], para curvas de presión de poros y gradientes de fractura; CASING SEAT[®], en puntos de asentamiento de revestidores; STRESS CHECK[®], para el diseño de los revestidores; WELL PLAN[®] para el diseño de ensamblaje de fondo y su desempeño bajo diferentes condiciones de operación, además fue utilizado en el estudio de torque y arrastre de sartas, hidráulica de sartas y cementación de revestidores; WELLCAT[®] para el diseño de completación y MAEP[®] para el modelo de análisis económico.

A continuación se muestran los pasos del diseño VCD y sus resultados para la localización EPJ, las respectivas modificaciones de éste con el programa de perforación y lo sucedido en las operaciones realizadas en el campo.

El programa del pozo se basó en un objetivo, alcance, métrica del yacimiento, ingeniería básica, recomendaciones e ingeniería de detalles; todo ellos con sus anexos respectivos donde se muestra de forma gráfica los resultados arrojados por los paquetes de planificación.

VI 2. Objetivo:

En este proyecto de la VCD, el objetivo consistió en mostrar los resultados obtenidos de la integración del nivel de definición del yacimiento SOC-3 y la complejidad existente en la construcción de la localización E-PJ.

VI 3. Alcance:

Por su parte, el alcance del programa, fue recopilar la información básica relacionada con la vida productiva del campo y el yacimiento, además el análisis de las recomendaciones funcionales y la elaboración del plan de acción y recomendaciones que se debió tener en cuenta en la realización de la ingeniería de detalle. Este trabajo se centralizó en la definición y análisis de la factibilidad técnico económica de la localización E-PJ que correspondió al plan de negocios del año 2002 del Campo Socororo en el Distrito San Tomé.

VI 4. Métrica del yacimiento:

La métrica de yacimiento, es la factibilidad técnica de la propuesta, estuvo compuesta de cuatro fases, las cuales fueron reunir toda la información, los estudios dinámicos y estáticos, y el plan de explotación que se le habían hecho al yacimiento hasta la fecha, es decir, caracterizar el yacimiento, para darle una ponderación según su importancia y complejidad (del 1 al 5), luego se hizo una sumatoria de todos estos resultados y se le dividió entre la suma total de todos los estudios que abarcaría una métrica completa, este resultado, se multiplicó por cien (100) ya que se demuestra en porcentaje, y este producto indicó cuan probable fue tener éxito en la zona.

VI 5 Ingeniería básica:

Abarcó la planificación detallada de todos los procesos que intervienen en la perforación de un pozo, implicando el sistema de lodos, hidráulica, mechas, revestidores, sistema de completación, sarta, toma de registros, toma de núcleos, etc., además incluyó el procedimiento operacional detallado paso a paso de cada etapa o fase a perforar.

La Ingeniería básica se estructuró en tres secciones: Los objetivos y características principales, la recopilación y análisis de información estadística y la más extensa que es el diseño básico.

VI 5.1 Los Objetivos y características principales:

En esta sección se consolidó la información suministrada por el convenio PetroUCV, donde abarcó de manera general los siguientes puntos:

□ Objetivo y tipo de pozo

El pozo diseñado fue vertical, clasificado como Desarrollo (A-0), Localización EPJ, parcela ANZO-8-1616, Campo Socororo, Municipio Miranda, Distrito San Tomé, Estado Anzoátegui, Venezuela; explotando las arenas U1M y P2 de los yacimientos SOC 3 y SOC 1.

□ Profundidad y Tope del Yacimiento Objetivo:

La profundidad vertical verdadera (TVD), fue igual a la profundidad medida (MD) ya que es un pozo vertical, y se encuentra ubicada a 3600 pbnm y 3100 pbnm y, 4369 pbnr y 3869 pbmr respectivamente.

□ Elevación de la Mesa Rotaria, coordenadas de superficie y de fondo del pozo:

La mesa rotaria tuvo una cota de 769' sobre el nivel del mar, y 14' sobre la superficie. Sus coordenadas de superficie y de fondo fueron N 969.920 m y E 325.200 m

□ Topes Formacionales

Los topes Formacionales estimados, fueron los siguientes:

Tabla VI 1 Topes Formacionales Estimados

| Formación | Profundidad (BNM) | Espesor (Pies) |
|--------------------|------------------------------|---------------------------|
| Mesa – Las Piedras | Superficie | 300 |
| Freites | 300 | 640 |
| Oficina | 940 | 2730 |
| Merecure | 3670 | 760 |

□ Mapas Isópaco Estructurales

- ❑ Columna Estratigráfica
- ❑ Secciones Estructurales
- ❑ Temperatura de los pozos Vecinos
- ❑ Información de perfiles de los pozos vecinos.

VI 5.2 Recopilación y análisis de la información estadística:

Considerando los requerimientos funcionales, los especialistas, generaron un análisis de la información de pozos vecinos utilizando información de carpeta de pozo, esta indagación se resumió en cuatro puntos:

- ❑ Tipo y densidad del fluido de perforación utilizado.
- ❑ Tipo de mecha utilizada
- ❑ Sarta de perforación por fases.
- ❑ Puntos de asentamiento, diámetro y tipo de revestidores.

VI 5.3 Diseño básico:

Este diseño fue elaborado siguiendo la metodología preestablecida por la Gerencia de VCD, constando de lo siguiente:

- ❑ Análisis de curvas de presión de poro y gradiente de fractura.
- ❑ Punto de asentamiento de revestidores
- ❑ Diseño de revestidores
- ❑ Diseño de ensamblajes de fondo.
- ❑ Programa de lodo de perforación
- ❑ Programa de cementación de revestidores
- ❑ Torque y arrastre de sartas.
- ❑ Hidráulica de sartas.
- ❑ Cementación de revestidores
- ❑ Programa de captura de información.
- ❑ Diseño de completación

- ❑ Identificación de equipos y herramientas
- ❑ Opciones tecnológicas
- ❑ Estimación de productividad
- ❑ Estimado de tiempo y Costo Clase II
- ❑ Métrica del pozo
- ❑ Análisis de riesgos
- ❑ Análisis de factibilidad económica
- ❑ Estimación de base de conocimientos
- ❑ Análisis general de operación, mantenimiento y construcción de pozos
- ❑ Esquema preliminar de modelo de negocio y contratación
- ❑ Revisión y diseño de la localización

VI 5.3.1 Curvas de presión de poro y gradiente de fractura:

Esta fase abarcó el procedimiento de los registros sísmico y de formación del pozo ES-402, los cuales fueron analizados utilizando la aplicación de Ingeniería PREDICT® y permitieron determinar el tren de presión de poro y gradiente de fractura mediante los criterios de cálculos desarrollados por EATON®. A continuación se muestra un gráfico ilustrativo con las curvas obtenidas.

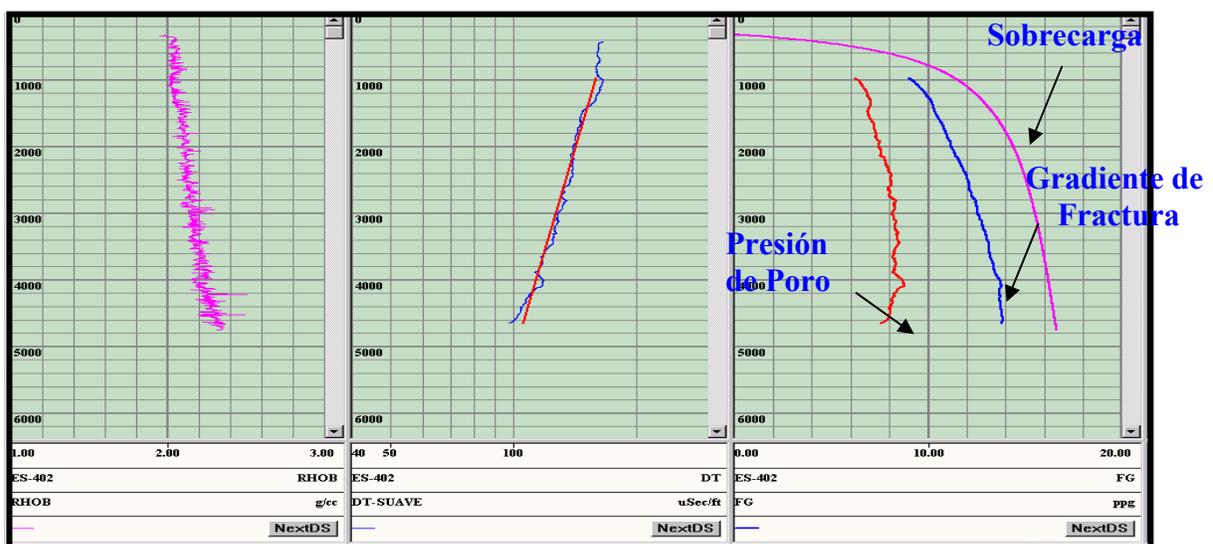


Figura VI 1 Curvas de Presión de Poros y Gradientes de Fractura

Por los resultados arrojados por este simulador, se determinó que el gradiente de poros, el cual indica la presión por pie mínima que debe tener el fluido de circulación para evitar que el pozo tenga una arremetida y luego un posible reventón, debió ser superior a 0,416 lpc/pie, y el gradiente de fractura, que determina la presión por pie máxima que debe tener el fluido para evitar una pérdida de circulación, debió ser inferior a 0,65 lpc/pie. Por lo tanto el gradiente del fluido de perforación, debió siempre estar entre estos parámetros, con un margen de diferencia de 0,03 lpc/pie de ambas curvas, por medidas de seguridad.

Comparaciones entre el programa VCD (Visualización, Conceptualización y Definición), el Programa del Pozo y las Operaciones Realizadas en el Taladro, de los tópicos restantes del Diseño Original.

VI 6 PUNTOS DE ASENTAMIENTO DE REVESTIDORES

VI 6.1 DISEÑO VCD

Para la definición de los puntos de asentamiento se empleó la aplicación de ingeniería CASING SEAT[®]. Se utilizó el tren de presión de poro y gradiente de fractura para el área, la trayectoria del pozo, topes formacionales e información de pozos vecinos. Las consideraciones de diseño tomadas en cuenta fueron:

- Margen de sobre balance 0.5 lpg.
- Limite para pega diferencial 1500 - 2000 lpc.
- Tolerancia a arremetida 0.5 lpg.

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

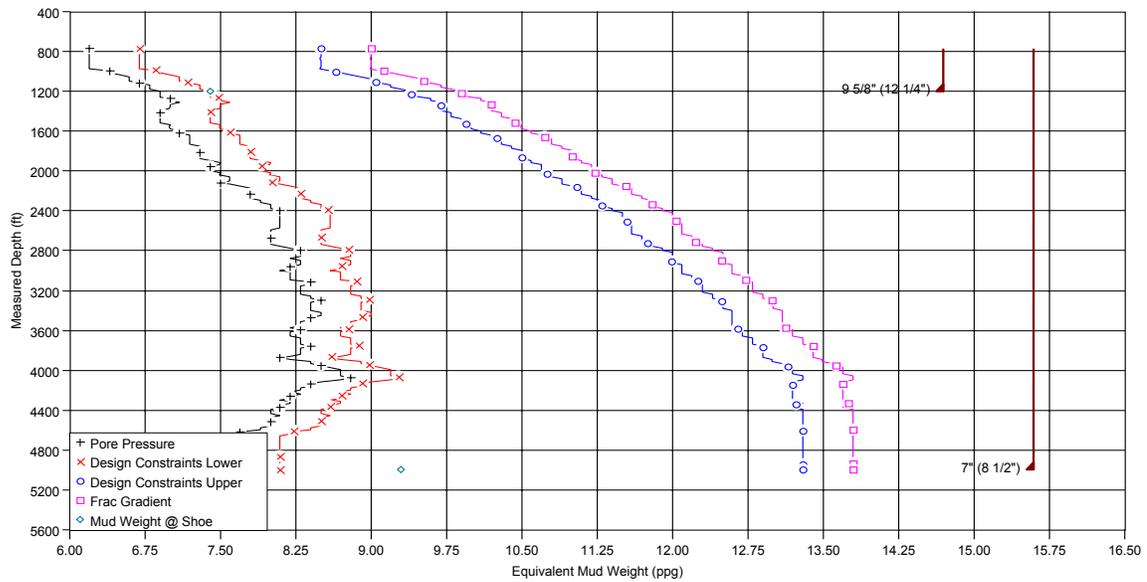


Figura VI 2 Esquema de Revestidores

Tabla VI 2 Esquema de Revestidores

| Casing Size (plg) | Hole Size (plg) | Measured Depths (ft) | | | Mud at Shoe (ppg) | Reason |
|-------------------|-----------------|----------------------|------|------|-------------------|-------------------|
| | | Hanger | Shoe | TOC | | |
| 9 5/8" | 12,25 | 770 | 1200 | 864 | 7,4 | User Defined Seat |
| 7" | 8,75 | 770 | 5000 | 1637 | 9,3 | Casing To Target |

Determinados los puntos de asentamiento y diámetro de los revestidores, se realizó el diseño de los mismos utilizando la aplicación STRESS CHECK[®]. Se definieron las cargas actuantes en cada sección de tubular y se manejaron los factores de diseño establecidos por PDVSA.

Tabla VI 3. Valores mínimos de los Factores de Diseño, según PDVSA, para Revestidores y Tubería de Producción.

| | Colapso | Cedencia Interna | Tensión | Compresión | VME |
|-----------------------|---------|------------------|---------|------------|------|
| Conductor | 1,0 | -- | -- | -- | -- |
| Superficie | 1,0 | 1,1 | 1,6 | 1,3 | 1,25 |
| Protección | 1,0 | 1,1 | 1,6 | 1,3 | 1,25 |
| Producción | 1,1 | 1,1 | 1,6 | 1,3 | 1,25 |
| Tubería de Producción | 1,1 | 1,1 | 1,6 | 1,3 | 1,25 |

En resumen, las consideraciones de cargas actuantes por hoyos son:

VI 6.1.1 Revestidor de superficie 9-5/8”:

- Estallido:
- Perfil de influjo de gas.
- Presión de prueba.
- Gradientes de fluido con presión de poro.
- Colapso:
- Evacuación total/parcial.
- Gradientes de fluido con presión de poro.
- Axial:
- Velocidad promedio de corrida.
- Fuerza de sobre tensión.
- Carga estática antes de la cementación.

VI 6.1.2 Revestidor intermedio 7”:

- *Estallido:*
 - Desplazamiento por gas.
 - Perfil de influjo de gas.
 - Presión de prueba.
 - Presión de prueba del cemento líquido.
 - Fuga en la tubería de producción.
 - Inyección por debajo del revestidor.
 - Gradientes de fluido con presión de poro.
- *Colapso:*
 - Evacuación total/parcial.
 - Cementación.
 - Cargas de producción por evacuación total.

- Cargas de producción sobre y debajo de la empaadura.
- Gradientes de fluido con presión de poro.
- *Axial:*
 - Velocidad promedio de corrida.
 - Fuerza de sobre tensión.
 - Carga estática antes de la cementación.
 - Prueba de presión para el cemento líquido.

A continuación se muestran los resultados.

Tabla VI 4 Diseño de Revestidores

| String | OD/Weight/Grade | Connection | MD Interval (ft) | Drift Dia. (in) | Minimum Safety Factor (Abs) | | | |
|-------------------|----------------------------|------------|------------------|-----------------|-----------------------------|----------|-------|----------|
| | | | | | Burst | Collapse | Axial | Triaxial |
| Surface Casing | 9 5/8", 43.50 lbm/ft, N-80 | BTC, N-80 | 0-1200 | 8.625 A | 2,97 | 6,87 | 6,08 | 3,66 |
| | | | | | | | | |
| Production Casing | 7", 23.00 lbm/ft, N-80 | BTC, N-80 | 0-5000 | 6.250 A | 2,4 | 1,59 | 2,43 | 2,43 |
| | | | | | | | | |

VI 6.1.3 Esquema de revestidores de la VCD

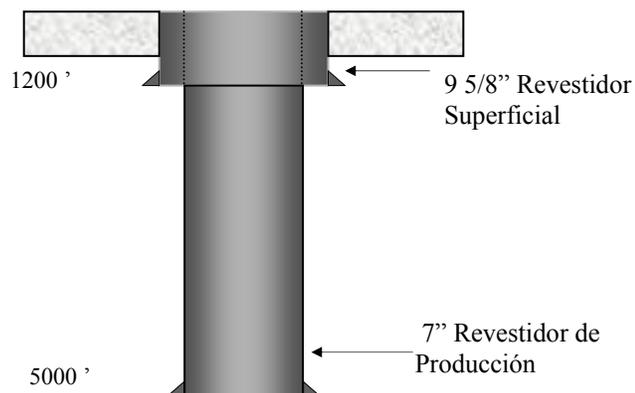


Figura VI 3 Diseño de Revestidores

VI 6.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

Luego de varias revisiones al programa original del VCD, se le hicieron algunas correcciones al diseño de los revestidores, y se determinó que el último punto de asentamiento variaría, debido a que la arena UIUM, del yacimiento SOC-3, a explotar se encontraba aproximadamente a 4369 pie, y se diseñó producirlo a través de una completación abierta con liner ranurado y empacado el hoyo con grava; para realizar esta operación se programó ampliar la última etapa, que comprende el intervalo desde 4300' hasta 4430' con un diámetro igual a 16". La zapata del segundo revestidor, se colocó a 4300' de profundidad.

Se diseñó utilizar 130' de liner ranurado con 0.015" de abertura en las ranuras y 1,5" de longitud interna cada una, con un porcentaje de área abierta del 3%, y 150 pie de tubería lisa utilizadas para colocar el colgador para empacar con grava de 23 lb/pie en el revestidor de 7".

VI 6.2.1 Revestidor de superficie:

- **Diámetro:** 9 5/8"

Tabla VI 5 Propiedades Revestidor de Superficie 9-5/8"

| Profundidad | | Descripción | | | | Peso del Revestidor | | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|-------|-------|---------------------|------------|--------------|
| Desde (pies) | Hasta (pies) | Longitud (pies) | Peso Lbs/pie | Grado | Rosca | Sección Lbs | Acum. Lbs. | Flotando Lbs |
| 1200 | 0 | 1200 | 54,5 | J-55 | BTC | 35425 | 35425 | 30658 |

| Colapso | | | | | Estallido | | | Tensión | | |
|--------------|----------------|---------------|-------------|---------------|--------------|-------------|---------------|----------------------|---------------|---------------------|
| Resis. (lpc) | Fracc. Resist. | Utiliza (lpc) | Carga (lpc) | Factor Diseño | Resist (lpc) | Carga (lpc) | Factor Diseño | Resistencia Lbsx1000 | Factor Diseño | Tens. Máx Permisble |
| 1130 | 1 | 1130 | 291 | 3,9 | 2730 | 400 | 6,83 | 768 | 25 | 560031 |

VI 6.2.2 Revestidor intermedio:

- **Diámetro:** 7"

Tabla VI 6 Propiedades Revestidor Intermedio 7"

| Profundidad | | Descripción | | | | Peso del Revestidor | | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|-------|-------|---------------------|------------|--------------|
| Desde (pies) | Hasta (pies) | Longitud (pies) | Peso Lbs/pie | Grado | Rosca | Sección Lbs | Acum. Lbs. | Flotando Lbs |
| 4300 | 0 | 4300 | 43,5 | N-80 | BTC | 136155 | 136155 | 116377 |

| Colapso | | | | | Estallido | | | Tensión | | |
|--------------|----------------|---------------|-------------|---------------|--------------|-------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| Resis. (lpc) | Fracc. Resist. | Utiliza (lpc) | Carga (lpc) | Factor Diseño | Resist (lpc) | Carga (lpc) | Factor Diseño | Resistencia Lbsx1000 | Factor Diseño | Tens. Máx Permisible |
| 3810 | 1 | 3810 | 3451 | 2,2 | 6695 | 1352 | 5,0 | 904,5 | 6,2 | 696154 |

Luego de todas las modificaciones necesarias, el diseño de los revestidores y liners del pozo ES-451 quedó pautado de la siguiente manera:

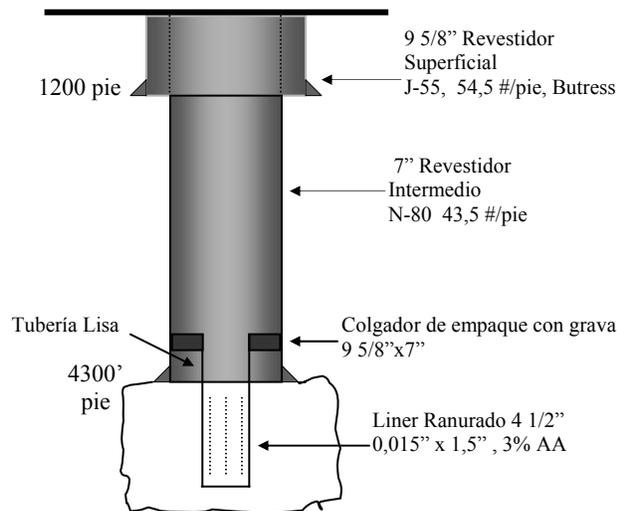


Figura VI 4 Diseño Final de Revestidores y Liner Ranurado

Por lo observado en el reporte del diseño de revestidores anexado en el programa del pozo ES-451, ocurrió un error en la transferencia de data, debido a que estos tubulares, con las propiedades físicas y los diámetros especificados, no se fabrican, ya que los tubulares de 9-5/8" para J-55 tienen un peso máximo de 40 lb/pie y para 7" en N-80, 39 lb/pie.

VI 6.3 OPERACIONES DE CAMPO

VI 6.3.1 Revestidor de superficie 9 5/8”:

La perforación del hoyo de 12 ¼”, se terminó de realizar cuando alcanzó la profundidad de 1210 pie, diez pies de diferencia con respecto al planificado, con los siguientes parámetros:

Tabla VI 7 Parámetros Iniciales de Perforación

| Sarta | | Bombas | | |
|-----------|---------|--------|------|---------------|
| PSM (Mlb) | RPM | EPM | GPM | Presión (lpc) |
| 5 – 12 | 110/120 | 110 | 353’ | 409 |

Se circuló una píldora viscosa y acondicionó el lodo por un espacio de una hora, hasta que retornó limpio el fluido. Se sacó la sarta de perforación fuera del hoyo, se limpió la mecha y se volvió a bajar, para repasar el hoyo con el fin de que este estuviese lo más calibrado posible; se circuló y acondicionó el lodo, para evitar posibles obstrucciones del casing.

Antes de comenzar a bajar este tubular, la empresa encargada de suministrar el servicio de llave hidráulica para conectar los revestidores se encontró en la locación y vistió su equipo en la planchada. El torque que se le aplicó a esta tubería fue de 7.500 lbs-f, las cuales son las óptimas según lo recomendado por los fabricantes de los tubulares. La siguiente tabla muestra los torques óptimos según el diámetro del revestidor.

Tabla VI 8 Torque Óptimo para Revestidores

| Diámetro [plg] | Torque Optimo [lbs-f] |
|----------------|-----------------------|
| 13 3/8 | 9.000 |
| 9 5/8 | 7.500 |
| 7” | 4.500 |
| 4 ½ | 3.600 |

Los casing, horas antes de empezar a bajarlos al hoyo, se colocaron ordenados según su número y medidos hasta con dos décimas de pulgadas, en los burros o estantes de tubería movidos por el montacargas de la compañía, esta lista donde se colocaron las dimensiones de los tubulares o juntas se denomina en el léxico petrolero “Pipe Tally”, ver figura VI 5 y VI 6.



Figura VI 5 Traslado de Revestidores



Figura VI 6 Patio de Revestidores

Luego se calibró la tubería para verificar que no hubiera restricción alguna en su interior, además de verificar su diámetro interno. El calibrador o “conejo” se muestra en la figura VI 7. Seguidamente se les quitó el guarda rosca, que era un protector plástico y cumplió la función de prevenir que la rosca del casing, mientras el tubular se trasladaba o manejaba en el sitio, sufriera daños, y se le desenroscó justo antes de ser el tubo trasladado a la rampa de tubería o rampa de gato como se le conoce en el argot de las cuadrillas de perforación.



Figura VI 7 Conejo



Guarda Rosca

Figura VI 8 Guarda Rosca

El Ingeniero que se encargó de la operaciones del pozo ES-451, horas antes de empezar a bajar el revestidor, tuvo la información de las longitudes de los tubulares, y observó la profundidad a la cual se perforó, tomó la decisión de bajar los casings del stock o inventario

del patio que mejor convenían para llegar a la distancia adecuada y que quedara cierta cantidad de pies por encima de la mesa rotatoria para que sea manejable la sarta en superficie para añadirle el cabezal de cementación.

Esta información de las mediciones de los tubulares, el ingeniero encargado, verificó que fuesen correctas, para evitar posibles errores operacionales que pongan en riesgo el pozo. Toda esta data se transcribió al software DIMSFW[®], y se decidió que tubulares se introducían al hoyo y cuales se descartaban, tomando en cuenta la medida de la zapata flotadora, el cuello flotador y el bolsillo que se debe dejar, que es el espacio existente entre el fondo del hoyo y la punta de la zapata.

La información que se introduce al paquete DIMS For Windows, constó del historial de los tubulares, es decir, el tamaño de la junta, fabricante o proveedor, peso por pie, tipo de rosca, grado, rango, corrección de la rosca y capacidad de desplazamiento tanto de los revestidores como de la zapata flotadora y el cuello flotador.

Toda esta información se carga en corridas “Off” y “Run” (ver figura VI 9). La primera consta de la lista o “pype tally” de todos los revestidores que se encuentran en inventario en el patio del taladro y el segundo los tubulares definitivos que se van a introducir al hoyo con la zapata y el cuello flotador previamente enumerados. Además también se le añade información si existió imprevistos a la hora de la corrida, etc.

La metodología al momento de bajar la tubería fue colocar primero la zapata flotadora, seguido por el casing marcado con el número “1”, luego el cuello flotador, y seguido por el resto de los tubulares de manera numerada, es decir, “2”, “3”, etc, hasta el último planificado por el ingeniero encargado del pozo

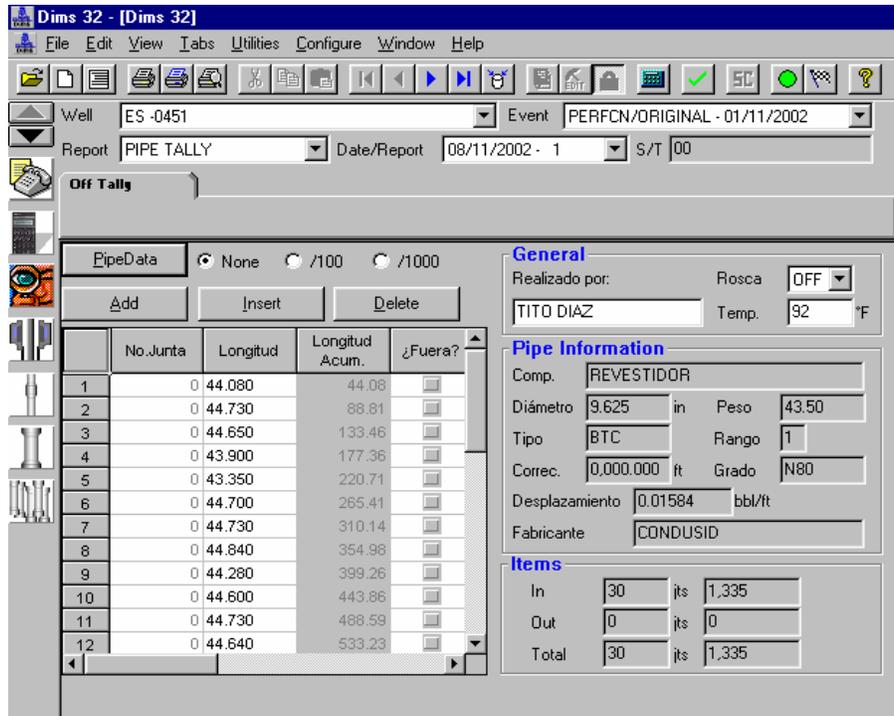


Figura VI 9 Ventana del DIMS para Pype Tally de Revestidores

Para este hoyo, se utilizó una zapata flotadora de 47 lb/pie P-110, de una longitud de 1,650 pie y un cuello flotador de 1,160 pie de longitud del tipo N-80, 43,5 lb/pie, además se utilizaron 27 de los 30 revestidores en el inventario, de especificaciones N-80, 43,5 lb/pie, (especificaciones del pipe tally del revestidor de superficie en el apéndice A-1), tal como el programa original lo indicaba, ver tabla VI 9

Tabla VI 9 Distribución de las Juntas Revestidor 9-5/8”

| Desde (pies) | Hasta (pies) | Long. (pies) | Juntas | Torque (pie-lb) | Descripción |
|-----------------|-----------------|-----------------|--------|--------------------|----------------------------------|
| 0 | 1158 | 1158 | 26 | 8000 | 9 5/8”, 43.5 lbs/pie, N-80, BTTS |
| 1158 | 1159 | 1.16 | 01 | 8000 | Cuello Flotador |
| 1159 | 1203 | 44.08 | 01 | 8000 | 9-5/8”, 43.5 lbs/pie, N-80, BTTS |
| 1203 | 1205 | 1.65 | 01 | 8000 | Zapata Flotadora |

La zapata flotadora se situó a 1205' de profundidad con respecto a la mesa rotaria, quedando 5' de bolsillo y el cuello flotador a 1159'.

Además se utilizaron 9 centralizadores flexibles en las siguientes juntas: 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 y 24, cuya función es mantener el revestidor lo más simétrico posible a las paredes del hoyo, para evitar una cementación no homogénea, la formación de canales detrás del revestidor u otros efectos que ocasionen una mala cementación, debido a que la tubería se pandea en el hoyo ocasionado por su propio peso o tiende a recostarse de un lado de las paredes de la cañería

Los centralizadores de este tipo son menos efectivos que los rígidos en pozos altamente inclinados, pero al tratarse de un pozo vertical la diferencia en su eficiencia es muy pequeña, además hay una reducción de costos porque los flexibles son más económicos que los rígidos.

Los centralizadores rígidos se utilizan en su mayoría en la parte más baja del revestidor, debido a que allí se encuentra el cemento de cola la cual necesita que la tubería se halle con mayor estabilidad y centralizada en el hoyo. Cuando se utiliza más de un centralizador por revestidor, por lo general siempre son dos, se coloca un Stop Collar entre ellos y en el medio del tubular, cuya función es mantenerlos separados y evitar que ambos queden en la parte superior o inferior del casing, poseen un mecanismo de tornillo prisionero que se ajusta con llave tipo acodada que garantiza un completo agarre al revestidor.

Aunque la zapata, el cuello y los centralizadores los suplió la empresa encargada del servicio de cementación, se colocaron como parte de la sarta de revestidores ya que se introduce al hueco perforado como un todo, de hecho la persona encargada del diseño de las dos juntas (zapata y cuello) es el ingeniero de cementación, así como de planificar cuales son los tubulares en los que se van a colocar los centralizadores.



Figura VI 10 Centralizadores Flexibles

El promedio de bajada del revestidor fue de 10 pie/min y su esquema quedó de la siguiente manera:

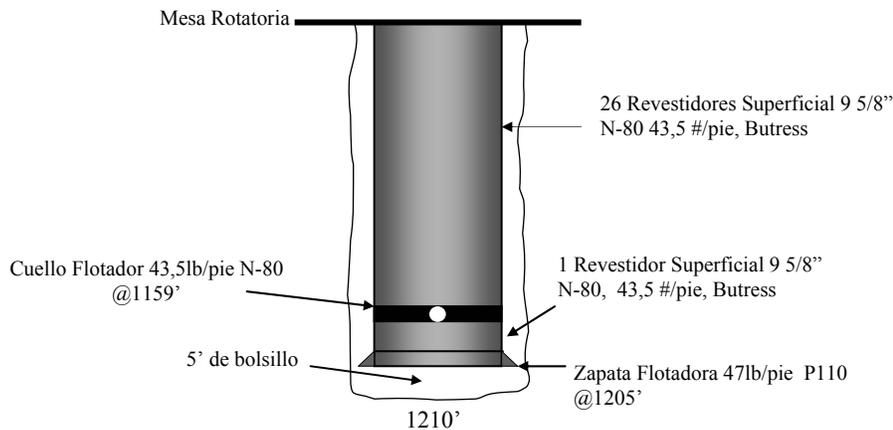


Figura VI 11 Esquema del revestidor superficial 9 5/8"

VI 6.3.2 Revestidor intermedio 7":

Este casing, fue corrido con la misma metodología que su predecesor, es decir, se le midió sus longitudes, se cargó su información al DIMFW[®], etc.

El hoyo intermedio se terminó de perforar a la profundidad de 4340', 40' por debajo de lo planteado en el programa de perforación, esto debido a que se estaba buscando una capa lutítica que por registros de pozos cercanos en la zona, se esperaba a una profundidad aproximada a los 4300'. La finalidad de terminar la perforación en esta lutita, fue la necesidad de una roca dura e impermeable en donde colocar la zapata del revestidor, para que la cementación del mismo sea segura.

Para este hoyo, se utilizó una zapata flotadora de 23 lb/pie N-80, de una longitud de 1,630' y un cuello flotador de 0,900' de longitud del tipo N-80, 23 lb/pie, además se utilizaron 97 casing de los 100 en el patio, de especificaciones N-80, 23 lb/pie, (especificaciones del “pipe tally” del revestidor intermedio en el apéndice A-2), tal como el programa original lo indicaba.

Tabla VI 10 Distribución de las Juntas para el Revestidor 7”

| Desde (pies) | Hasta (pies) | Long. (pies) | Juntas | Torque (pie-lb) | Descripción |
|--------------|--------------|--------------|--------|-----------------|----------------------------|
| 0 | 4281 | 4281 | 96 | 4500 | 7”, 23 lbs/pie, N-80, BTTS |
| 4281 | 4282 | 0,9 | 01 | 4500 | Cuello Flotador |
| 4282 | 4326 | 44,72 | 01 | 4500 | 7”, 23 lbs/pie, N-80, BTTS |
| 4326 | 4328 | 1,63 | 01 | 4500 | Zapata Flotadora |

La zapata flotadora se situó a 4328' de profundidad con respecto a la mesa rotaria, quedando 12' de bolsillo teórico, pero debido a problemas cuando se perforaba este hoyo, se estimó que existían solamente 5' de diferencia entre el fondo del caño y la zapata por el relleno que se hizo ocasionado a los ripios que decantaron. El cuello flotador a 4281' y una longitud libre de tubería por encima de la mesa de 2,4'. Además se utilizaron un total de 28 centralizadores flexibles. Pasos para la corrida del revestidor anexo B-1

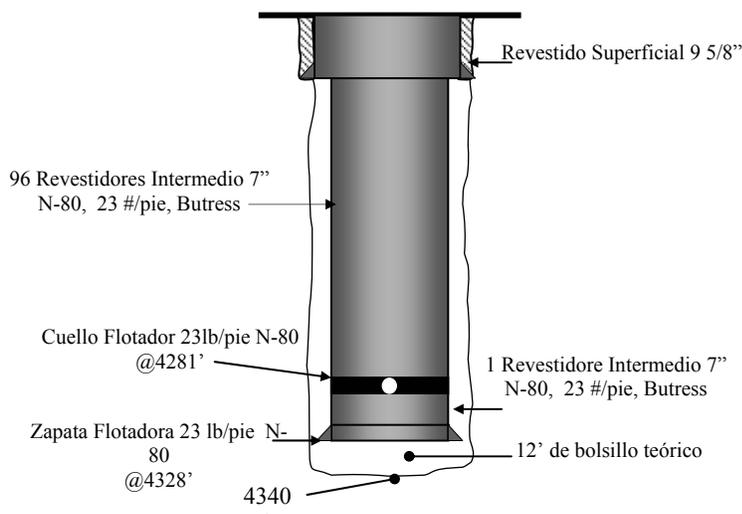


Figura VI 12 Esquema del Revestidor Intermedio 7”

VI 6.3.3 Comparaciones entre los revestidores programados y los reales:

Se analizó y se comparó los diseños de revestidores programados, tanto para el superficial como el intermedio, con respecto a los tubulares reales que se debieron utilizar, por medio de los parámetros de estallido, colapso, tensión y fuerzas biaxiales a la profundidad programada de 1200 pie, y la densidad del fluido a utilizar, así como también el gradiente de fractura de la formación.

Esto se realizó debido a que se observó un sobrediseño en los tubulares escogidos inicialmente, lo cual se tradujo en un posible aumento de costos.

Los cálculos para este diseño se muestran en el anexo B-2, y los resultados con sus análisis a continuación:

VI 6.3.3.1 Diseño de estallido y colapso para el revestidor de superficie:

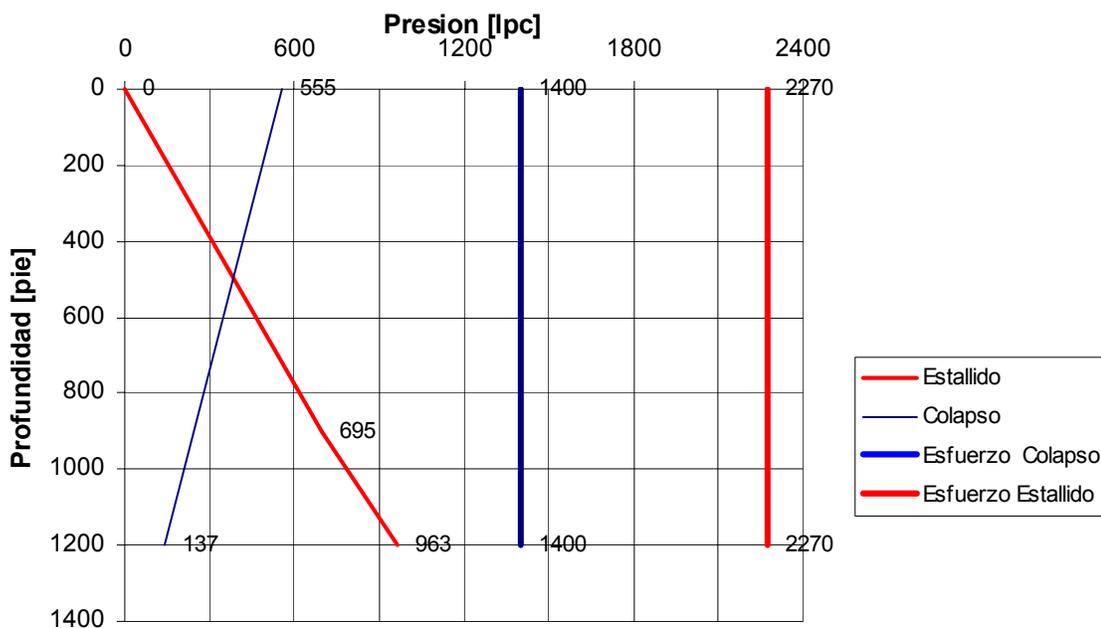


Figura VI 13 Estallido y Colapso para Revestidor 9-5/8"

Para las presiones de la formación, el casing que cumple con sus requerimientos, es del modelo H-40 de 32,3 lb/pie.

VI 6.3.3.2 Diseño de tensión para el revestidor de superficie:

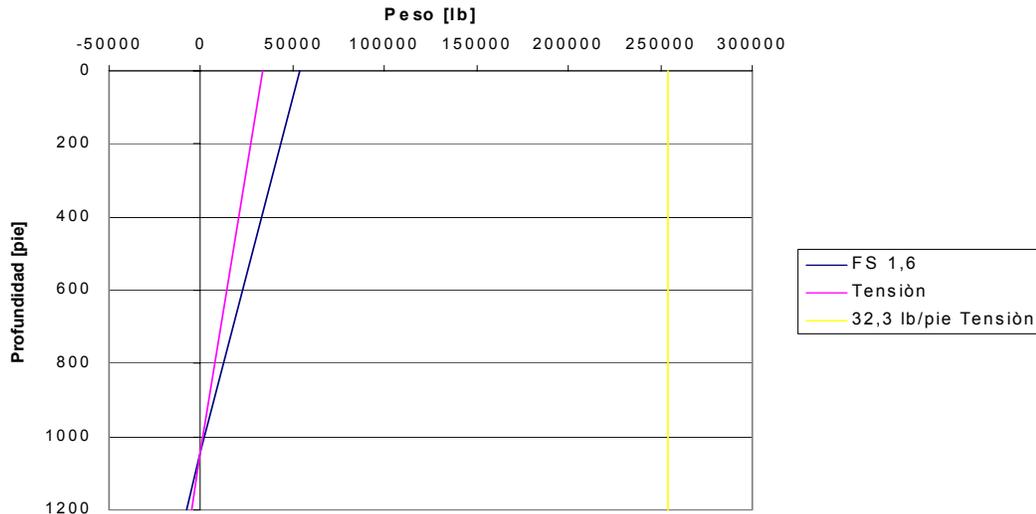


Figura VI 14 Tensión para Revestidor 9-5/8”

El modelo antes mencionado (H-40 de 32,3 lb/pie), se cumplió con las tensiones aplicadas al tubular

VI 6.3.3.3 Diseño de esfuerzo biaxial para el revestidor de superficie:

Una vez evaluado el tubular por medio de las presiones de estallido, colapso y tensión, se observó si no existía la posibilidad de fallar por los esfuerzos biaxiales a los cuales se somete el revestidor, sobre todo cuando se realiza el proceso de cementación, ya que es aquí donde los esfuerzos biaxiales del casing son críticos y son los utilizados para recalcular las presiones que originan el colapso y el estallido, y verificar si el diseño utilizado fue el correcto o debió ser sometido a cambios.

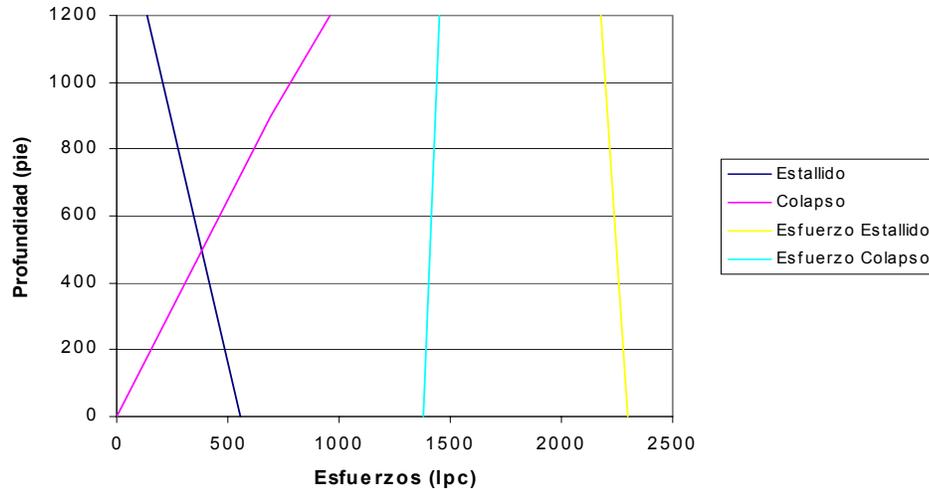


Figura VI 15 Colapso y Estallido recalculados por los Esfuerzos Biaxiales para Revestidor 9-5/8”

El tubular H-40 de 32,3 lb/pie, cumplió con todos los parámetros de diseño, indicando que no fallaría, si este hubiese sido el modelo utilizado para el hoyo superficial del pozo ES-451, en lugar del N-80 43,5 lb/pie.

Se realizó un cuadro comparativo entre ambos tubulares, y se demostró que los programados fueron sobrediseñados, dado que superan en gran proporción todos los parámetros para el diseño del casing.

Tabla VI 11 Tubulares Recomendados y Utilizados en 9-5/8”

| | Tipo | Peso | Colapso [lpc] | Estallido [lpc] | Tensión [Mlb] |
|------------------|------|------|---------------|-----------------|---------------|
| Utilizado | N-80 | 43,5 | 3810 | 6330 | 1005 |
| Calculado | H-40 | 32,3 | 1400 | 2270 | 254 |

VI 6.3.3.4 Diseño de colapso y estallido para el revestidor intermedio:

Dada las presiones ejercidas por los fluidos presentes en el hoyo, se determinó programar 3 distintos tipos de revestidores, todos clase J-55 pero variando su peso a medida que va aumentando la profundidad, con el fin de que soporte los esfuerzos que iba a ser sometido.

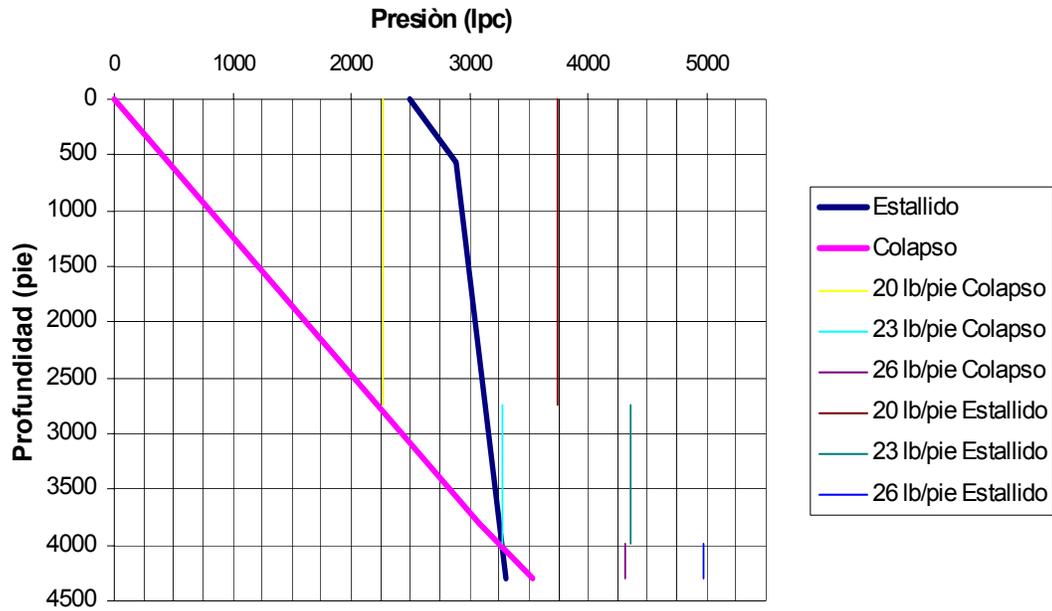


Figura VI 16 Colapso y Estallido para Revestidor 7”

Originalmente, los tres tubulares, quedaron determinados de la siguiente manera:

Tabla VI 12 Tubulares compatibles para Colapso y Estallido

| Tipo | Grado [lb/pie] | Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] |
|------|----------------|-------------|-------------|-----------------|
| J-55 | 20 | 0 | 2750 | 2750 |
| J-55 | 23 | 2750 | 3980 | 1230 |
| J-55 | 26 | 3980 | 4300 | 320 |

VI 6.3.3.5 Diseño de tensión para el revestidor intermedio:

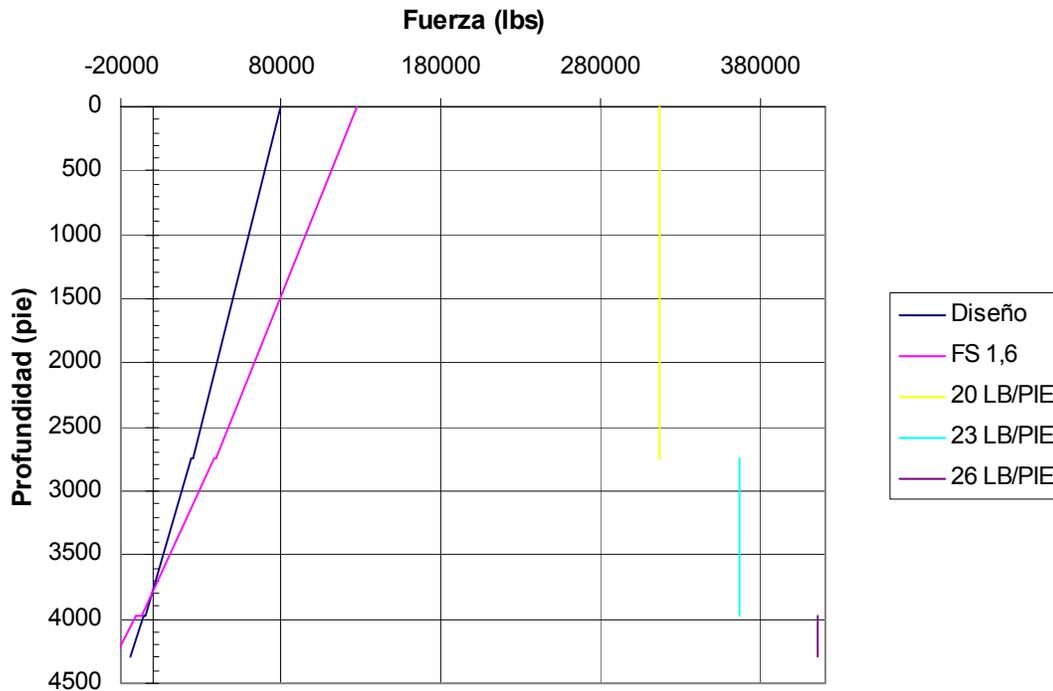


Figura VI 17 Tensión para Revestidor 7”

Por la figura VI 9, se demostró que los tubulares seleccionados para colapso y estallido, cumplen ampliamente con las exigencias de tensión de la tubería.

VI 6.3.3.6 Diseño de esfuerzos biaxiales para el revestidor intermedio:

La gráfica de los esfuerzos biaxiales para el revestidor intermedio quedó de la siguiente forma:

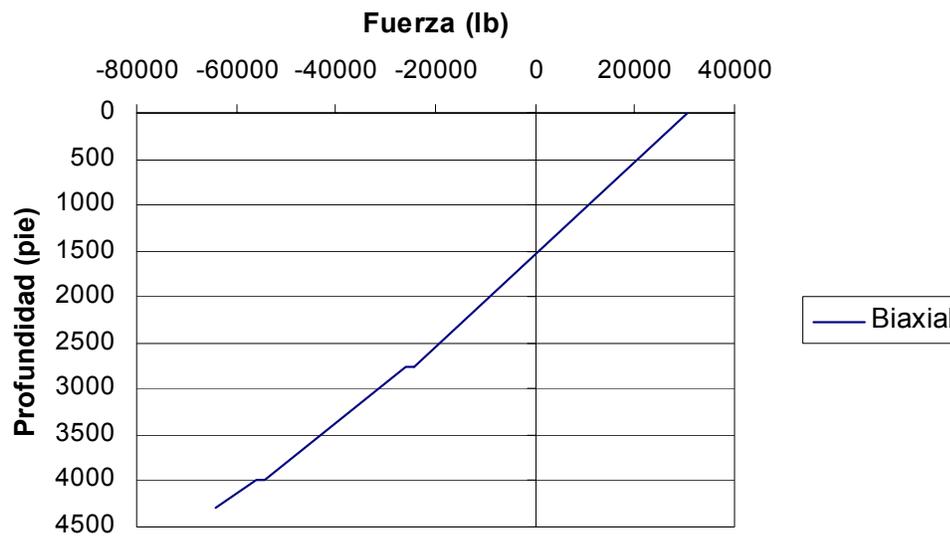


Figura VI 18 Esfuerzo Biaxiales para Revestidor 7”

Por medio de los esfuerzos biaxiales se recalculó las presiones de estallido y colapso, quedando de la siguiente manera:

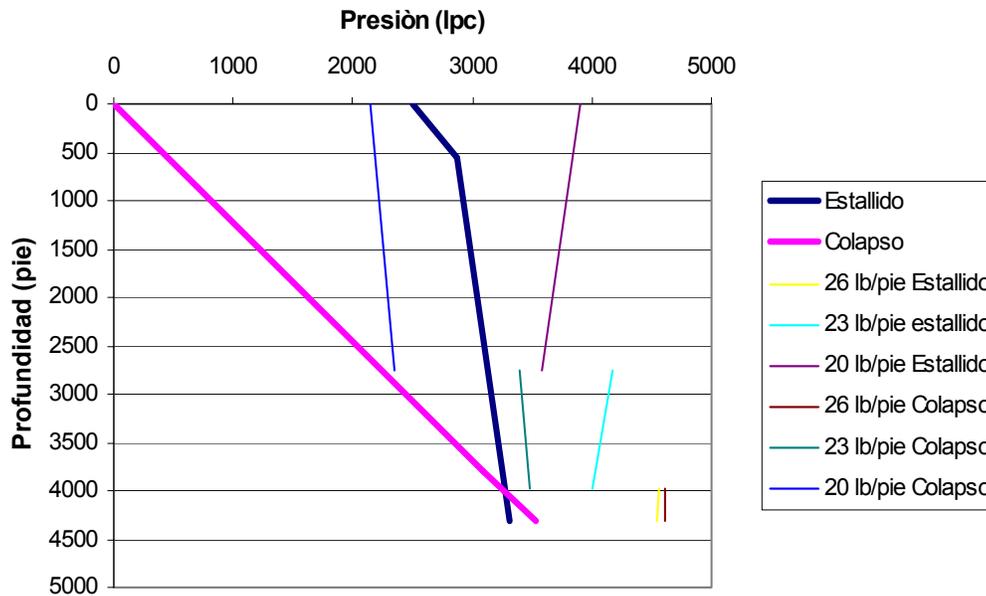


Figura VI 19 Colapso y Estallido recalculados por los Esfuerzos Biaxiales para Revestidor 7”

Por lo tanto, para la profundidad de asentamiento del casing intermedio, a 4300 pie, el diseño de los tubulares que debieron de ser planificados, los cuales soportaban los esfuerzos diseñados, debió ser:

Tabla VI 13 Tubulares Recomendados y Utilizados en 7”

| | Tipo | Grado [lb/pie] | Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | Colapso [lpc] | Estallido [lpc] | Tensión [Mlb] |
|-----------|------|----------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| Utilizado | N-80 | 23 | 0 | 4300 | 4300 | 3830 | 6340 | 532 |
| Calculado | J-55 | 20 | 0 | 2750 | 2750 | 2270 | 3740 | 316 |
| | | 23 | 2750 | 3980 | 1230 | 3270 | 4360 | 366 |
| | | 26 | 3980 | 4300 | 320 | 4320 | 4980 | 415 |

Al igual que en el revestidor de superficie, se sobrediseñó los revestidores, ya que con tubulares de menor grado se pudo haber realizado exitosamente también esta operación.

Estas sobreestimaciones en los diseños, se realizan debido a que se utiliza lo existente en el inventario de la compañía, ya que los tubulares se piden con un año de anticipación para las construcciones de todos los pozos programados para el año siguiente de la zona oriental del país, por lo tanto al momento de ordenar la fabricación de los revestidores, se estandariza para un mismo grado en diferentes pesos, dado que sale más rentable a la industria.

VI 6.3.4 Diseño de liner ranurado 4 ½”:

La última fase concluyó a la profundidad de 4438’, la cual se hizo perforando un hoyo original de 6 1/8” y luego ampliándolo a 13”; debido a problemas mecánicos de los ampliadores, hubo una sección en la cual se ensanchó a 11”, pero esto se detalla más adelante en la sección de mechas (VI . 8.3.4)

Este diseño no se realizó por la VCD, debido a que la terminación fue cambiada por la ingeniería de detalle, y el diámetro de este hoyo fue 3” menor a lo planificado en el programa de perforación, debido a que los ampliadores de este tamaño no estaban en contrato vigente.

Para este hoyo, se utilizó 1 punta de lápiz como guía (ver figura VI 20), 3 liner ranurados de 0.015” de abertura en las ranuras y 1,5” de longitud interna cada una, como lo propuesto por la ingeniería de detalle, con un porcentaje de área abierta del 3%, 2 tubos lisos, 1 obturador mecánico Graver Pack -TIET(ver figura VI 21) y 7 tubos lavadores de 1,6”, por dentro del liner hasta la herramienta de cruce, con el fin de reversar el fluido a través de éste hacia el anular.

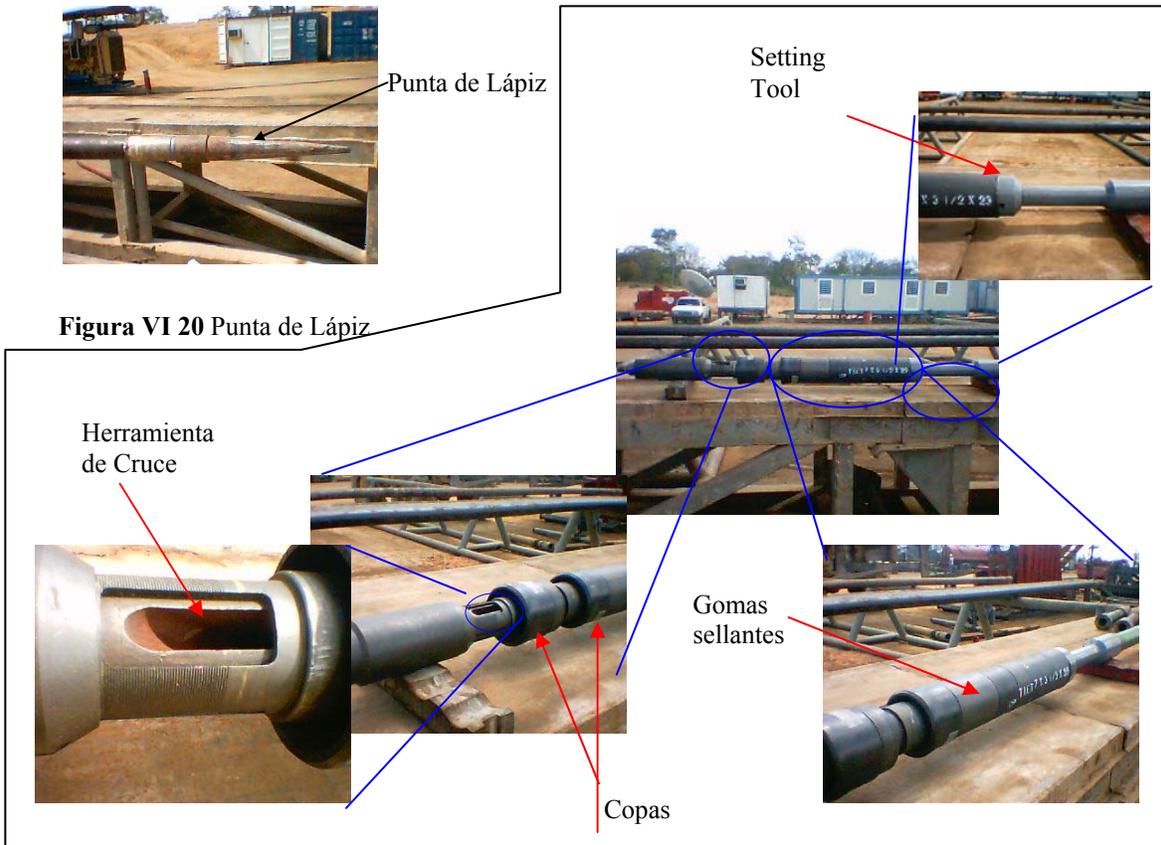


Figura VI 20 Punta de Lápiz

Figura VI 21 Empacadura Graver Pack-TIET

Esta empacadura, constó de unas gomas sellantes con el fin de aislar la zona de grava del resto del anular, dos copas que evitaron que la grava al ser bombeada con el fluido, se desplazara por encima del colgador, un orificio de cruce, por el cual salía el fluido con grava desde la tubería hacia el espacio entre los liners y la formación, y un setting tool que poseía una rosca invertida, es decir, que se aflojaba en sentido de las agujas del reloj, permitiendo sacar la sarta y dejar el ensamblaje de la empacadura con los liners en el hoyo.

El obturador, fue colgado a una profundidad de 4224 pie, y la punta del lápiz estuvo situada a 4437 pie, existiendo 2 pie de bolsillo. En total, hubo 124 pie de tubería ranurada y 83 pie de tubería lisa, quedando 26 pie de liner por dentro del revestidor intermedio de 7", ver especificaciones en el apéndice A-3.

Debido que la longitud de revestidores era muy pequeña, y además el esquema del pozo era vertical con el hoyo de producción ampliado, no se necesitó colocar centralizadores en los liners. En el anexo C se encuentra el procedimiento operacional del empaque con grava.

El esquema del liner ranurado quedó de la siguiente forma:

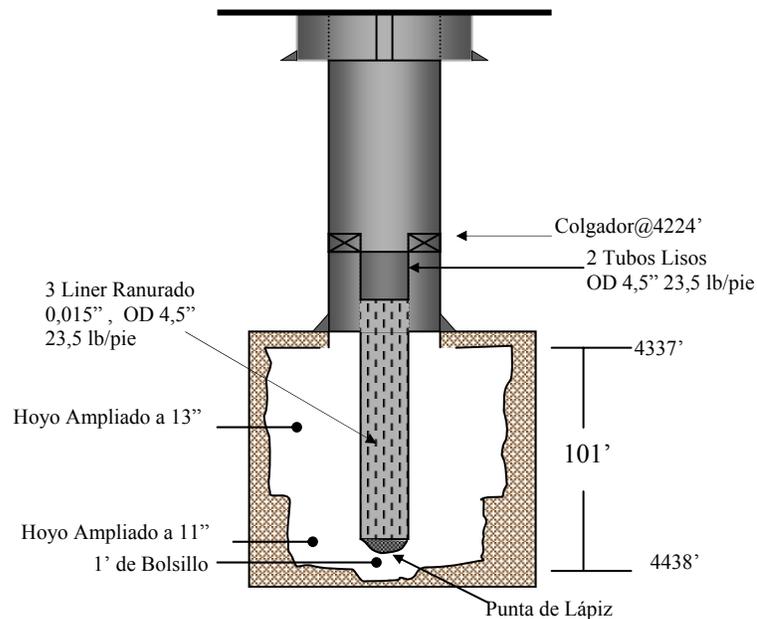


Figura VI 22 Diseño del Liner Ranurado

VI 7 DISEÑO DE ENSAMBLAJE DE FONDO

VI 7.1 DISEÑO VCD

Definidos los revestidores y los diámetros de hoyos a perforar, se realizó una revisión de los ensamblajes de fondo utilizados en la construcción de los pozos vecinos. Esta información se evaluó en la aplicación de ingeniería Well Plan con la finalidad de definir su desempeño bajo las diferentes condiciones de operación.

VI 7.1.1 Hoyo de superficie 12 ¼":

La perforación del primer hoyo, se programó utilizar aproximadamente 944,8' de heavy weight o tubería pesada, que fueron aproximadamente treinta (30) tubulares, con un promedio de 32 pie/tubo, para ello se utilizó tubería de 5" de diámetro externo 49,7 lb/pie;

150' o cinco (5) tubos de Drill Collar o lastrabarreras, para darle verticalidad al hoyo mientras se le perforaba, del tipo 90,8 lb/pie con un diámetro externo de 6,5"; Un (1) sub, cuya finalidad es ser conector de tuberías de diámetros externos distintos, con un peso de 129,2 lb/pie; tres (3) "Drill Collar" de 8" de diámetro externo de 178,9 lb/pie, separados entre ellos por dos estabilizadores.

A continuación se muestran los ensamblajes de fondo recomendados para la perforación de los hoyos de superficie y producción, tabla VI 14.

Tabla VI 14 Distribución de las Juntas

| Descripción | longitud (Ft) | Profundidad (Ft) | O.D (in) | I.D (in) | Peso (Lbs/ft) | Observaciones |
|--------------|---------------|------------------|----------|----------|---------------|-------------------------------|
| Heavy Weight | 944.8 | 944.8 | 5.0 | 3.0 | 49.7 | HW Grant Prideco, 5 in, 49.70 |
| Drill Collar | 150.0 | 1094.8 | 6.5 | 2.8 | 90.8 | DC 6 1/2 in, 2 13/16 in, |
| Sub | 3.5 | 1098.3 | 7.4 | 2.8 | 129.2 | XO 7 1/2, 7 1/2 x2 13/16 in |
| Drill Collar | 30.0 | 1128.3 | 8.0 | 2.8 | 148.4 | DC 8 in, 2 13/16 in, |
| Stabilizer | 3.5 | 1131.8 | 9.0 | 3.8 | 178.9 | IBS 17 1/2" FG, 9 x3 3/4 in |
| Drill Collar | 30.0 | 1161.8 | 8.0 | 2.8 | 148.4 | DC 8 in, 2 13/16 in, |
| Stabilizer | 3.5 | 1165.3 | 9.0 | 3.8 | 178.9 | IBS 17 1/2" FG, 9 x3 3/4 in |
| Drill Collar | 30.0 | 1195.3 | 8.0 | 2.8 | 148.4 | DC 8 in, 2 13/16 in, |
| Sub | 3.0 | 1198.3 | 7.9 | 2.8 | 149.9 | XO 8, 8 x2 13/16 in |
| Bit | 1.7 | 1200.0 | 12.3 | | 49.0 | |

VI 7.1.2 Hoyo intermedio 8 ½”:

Tabla VI 15 Distribución de las Juntas

| Descripción | longitud (Ft) | Profundidad (Ft) | O.D (in) | I.D (in) | Peso (Lbs/ft) | Observaciones |
|--------------|---------------|------------------|----------|----------|---------------|------------------------------------|
| Drill Pipe | 2926.0 | 2926.0 | 5.0 | 4.3 | 22.6 | DP 5 in, 19.50 ppf, S, NC50(XH), 1 |
| Heavy Weight | 1800.0 | 4726.0 | 5.0 | 3.0 | 49.7 | HW Grant Prideco, 5 in, 49.70 ppf |
| Drill Collar | 200.0 | 4926.0 | 6.8 | 2.8 | 100.6 | DC 6 3/4 in, 2 13/16 in, |
| Stabilizer | 5.0 | 4931.0 | 6.0 | 2.8 | 75.1 | IBS 8 1/2" FG, 6 x2 13/16 in |
| Drill Collar | 30.0 | 4961.0 | 6.5 | 2.8 | 90.8 | DC 6 1/2 in, 2 13/16 in, |
| Stabilizer | 5.0 | 4966.0 | 6.0 | 2.8 | 75.1 | IBS 8 1/2" FG, 6 x2 13/16 in |
| Drill Collar | 30.0 | 4996.0 | 6.8 | 2.8 | 100.6 | DC 6 3/4 in, 2 13/16 in, |
| Sub | 3.0 | 4999.0 | 6.0 | 2.8 | 75.1 | BS 6, 6 x2 13/16 in |
| Bit | 1.0 | 5000.0 | 8.5 | | 40.0 | |

VI 7.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

VI 7.2.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:

Se programó utilizar un total de 44 juntas para la perforación del primer hoyo del pozo. Esta sarta o BHA (Bore Hole Assembly) por sus siglas en inglés, constó su diseño de una mecha tricónica de 12 ¼”, debido a que la zona a perforar se debía hacer por “paleo” debido a la presencia de arcilla.

Se diseñó el uso de dos estabilizadores cerca de la mecha para tratar de perforar el hoyo con el menor desvío posible con respecto a la vertical, sustentado con el uso de 7 “drill collar” o portamechas, para darle peso adecuado a la barrena.

Tabla VI 16 Sarta Diseñada para el Hoyo de 12 ¼”

| Descripción | OD [plg] | ID [plg] | Nº Juntas |
|---------------|----------|----------|-----------|
| Mecha | 12 ¼ | | 1 |
| Bit Sub | 8 | 2 13/16 | 1 |
| Drill Collar | 8 | 2 13/16 | 1 |
| Estabilizador | 9 | 2 13/16 | 1 |
| Drill Collar | 8 | 2 13/16 | 1 |
| Estabilizador | 9 | 2 13/16 | 1 |
| Drill Collar | 8 | 2 13/16 | 1 |
| Sub | 7 ¼ | 2 ¼ | 1 |
| Drill Collar | 5 | 2 13/16 | 5 |
| Hevy Wate | 5 | 3 | 31 |

VI 7.2.2 Hoyo intermedio 8 ½” y original 6-1/8”:

Para estos hoyos se programó utilizar una sarta lisa, es decir, sin estabilizadores, con un drill collar para darle rectitud y peso a la mecha, además de un ensamblaje de 20 hevy wate con 1 martillo intercalado a los 15 tubulares, cuya función es desatascar la sarta cuando se trabe y la cantidad necesaria de tubería de perforación para poder llegar a la profundidad programada.

Tabla VI 17 Sarta Diseñada para el Hoyo de 8 ½”

| Descripción | OD [plg] | Nº Juntas |
|--------------|-------------|-----------|
| Mecha | 8 ½ - 6-1/8 | 1 |
| Bit Sub | 6 | 1 |
| Drill Collar | 6 7/8 | 1 |
| Hevy Wate | 5 | 15 |
| Martillo | 6 ¾ | 1 |
| Hevy Wate | 5 | 5 |
| Drill Pipe | 4 ½ | 60 + |

VI 7.3 OPERACIONES DE CAMPO

VI 7.3.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:

Se armó una sarta compuesta por 1 mecha tricónica, 1 “bit-sub”, 2 “drill collar”, 1 “cross over”, 4 “drill collar” y 34 “heavy weight”, con el fin de mantener la verticalidad del hoyo y teniendo una longitud total de 1210,37 pie (ver apéndice B para especificaciones de BHA).

Haciendo una comparación entre la sarta usada y la diseñada, se pudo observar que la primera no utilizó los estabilizadores recomendados en el diseño así como 2 lastrabarras menos pero se usaron 3 “heavy weight” más que lo programado para poder llegar a la profundidad requerida.

Tabla VI 18 Sarta utilizada para el hoyo de 12 ¼”

| Descripción | OD [plg] | ID [plg] | Nº Juntas |
|--------------|----------|----------|-----------|
| Mecha | 12 ¼ | | 1 |
| Bit Sub | 8 | 2 13/16 | 1 |
| Drill Collar | 8 | 2 13/16 | 2 |
| Cross Over | 7 ¾ | 2 13/16 | 1 |
| Drill Collar | 7 ¼ | 2 13/16 | 4 |
| Hevy Wate | 5 | 3 | 34 |

VI 7.3.2 Hoyo intermedio 8 ½ ”:

Para la realización de este hoyo se armaron 2 tipos de ensamblaje en tres bajadas de tubería hacia el hoyo.

El primero, constó de una sarta estabilizada con 1 mecha tricónica, 1 bit-sub, 1 “Non-Mag Drill Collar” (monel), 2 estabilizadores, 5 “Drill Collar”, 34 “heavy weight”, 1 “Dailey Hydraulic” (martillo), armados según la siguiente tabla:

Tabla VI 19 Ensamblaje utilizado en el hoyo de 8 ½”

| Descripción | OD [plg] | ID [plg] | Nº Juntas |
|---------------|----------|----------|-----------|
| Mecha | 8 ½ | | 1 |
| Bit Sub | 8 | 2 13/16 | 1 |
| Monel | 6 ¾ | 3 ¼ | 1 |
| Estabilizador | 6 ¼ | 2 ¼ | 1 |
| Drill Collar | 6 ¼ | 2 13/16 | 1 |
| Estabilizador | 6 ¼ | 2 13/16 | 1 |
| Drill Collar | 7 ¼ | 2 13/16 | 4 |
| Heavy Weight | 5 | 3 | 6 |
| Martillo | 6 ½ | 2 ¾ | 1 |
| Heavy Weight | 5 | 3 | 28 |

Este ensamblaje fue utilizado hasta los 3777 pie perforados, debido a pega de tubería y arrastre de la misma, ocasionado por una reducción del hoyo al parecer por falta de peso en el lodo. Se decidió sacar la sarta realizando back reaming para sacar los estabilizadores los cuales se presumían que se encontraban embolados y hacían que al bajar y sacar la sarta para liberarla, achicaba el pozo. Por lo tanto se determinó usar una sarta lisa para repasar la zona con problemas y circular el pozo hasta dejarlo óptimo para la próxima fase.

El segundo ensamblaje estuvo compuesto por 1 mecha tricónica, 1 “Bit Sub”, 1 monel, 5 “Drill Collar”, 1 martillo y 34 “heavy weight”, es decir, una sarta lisa por los motivos anteriormente expuestos. Solventado el problema por pega de la tubería, se decidió sacarla e introducir el ensamblaje anteriormente diseñado, es decir, con los estabilizadores colocados para evitar que se desvíe de la vertical.

VI 7.3.3 Hoyo original 6-1/8” y ampliado a 13”:

En ambas ocasiones se utilizó el mismo ensamblaje para llegar al fondo del hoyo. Su configuración fue sencilla, compuesta por una sarta lisa y lastrabarrena con tubería extra pesada.

Tabla VI 20 Ensamblaje utilizado en el hoyo de 6-1/8”

| Descripción | OD [plg] | ID [plg] | Nº Juntas |
|------------------------|----------|----------|-----------|
| Mecha | 6-1/8 | | 1 |
| Bit Sub | 4-3/4 | 2-1/4 | 1 |
| Lastrabarrena | 4-3/4 | 2-1/4 | 3 |
| Heavy Weight | 3-1/2 | 2-1/4 | 13 |
| Tubería de Perforación | 3-1/2 | 2-1/4 | 128+ |

VI 8 DISEÑO DE MECHAS

VI 8.1 DISEÑO VCD

En el programa VCD no se incluye este diseño, debido a que ellos solo abarcan la ingeniería básica y el programa de las mechas pertenece al departamento de ingeniería de detalles, es decir, los encargados de realizar el programa de perforación.

VI 8.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

En este programa, se realizó el diseño de las tres barrenas y el ampliador que se planeaba utilizar, es decir, el hoyo superficial, el intermedio, el original y el ampliado, los detalles se describen a continuación:

VI 8.2.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:

Se programó para esta etapa una mecha tricónica con las siguientes características de la barrena y bombas:

Tabla VI 21 Características de la Mecha 12 ¼”

| Características de la Barrena 12 ¼” | |
|--|-----------|
| Intervalo (Pies) | 0 – 1200 |
| Longitud (Pies) | 1200 |
| Tipo | XSC1 |
| Marca | SECURITY |
| Chorros/TFA | 4 X 15/32 |
| PSM (Mlbs) | 10-15 |
| RPM | 100-120 |
| EPM | 120 |
| GPM | 456 |
| Van (Pie/min) | 46 |
| Vcrit (Pie/min) | 199 |
| GPMcrit | 1967 |
| H.S.I (Hp/in²) | 0,77 |
| E.C.D (Lpg) | 8,66 |
| Presión (Lpc) | 838 |

Tabla VI 22 Características de las Bombas

| Características de las Bombas | |
|--------------------------------------|--------------------|
| Marca | Cont.-Emsco/F-1000 |
| Máx.Lpc: | 2632 |
| Camisas: | 6-1/4x10 |
| Capac. Vol. (bl/stk): | 3,8 |
| Eficiencia | 95% |

Este tipo de barrena y sus propiedades se diseñaron tomando como referencia las zonas cercanas al campo Socororo, en las cuales la hidráulica de las mismas ha funcionado con éxito. Las características de las bombas son las mismas para el resto de los hoyos, ya que estas no sufren cambios en las diferentes etapas de la perforación.

VI 8.2.2 Hoyo intermedio 8 ½”:

Para este hoyo también se diseñó el uso de una mecha tricónica con las siguientes características:

Tabla VI 23 Características de la Mecha 8 ½”

| Características de la Barrena 8 ½” | |
|---|---------------------|
| Intervalo (Pies) | 1200 – 4430 |
| Longitud (Pies) | 3230 |
| Tipo | MX-C1 |
| Marca | HUGUES |
| Chorros/TFA | 3x16 - 1x15 / 0,716 |
| PSM (Mlbs) | 5-20 |
| RPM | 200 |
| EPM | 170 |
| GPM | 646 |
| Van (Pie/min) | 184 |
| Vcrit (Pie/min) | 376 |
| GPMcrit | 1320 |
| H.S.I (Hp/in²) | 1,88 |
| E.C.D (Lpg) | 9,84 |
| Presión (Lpc) | 2.235 |

VI 8.2.3 Hoyo original 6 1/8” :

Se diseñó realizar un hoyo de 6 1/8” en la tercera fase, con el fin de poder obtener las muestras de pared a través de este y luego poderlo ampliar a 16”.

En el programa no se presentaron las especificaciones técnicas de la mecha a utilizar en esta fase.

VI 8.2.4 Hoyo ampliado 16”:

Para esta última etapa, se diseñó ampliar el hoyo de 6 1/8” hasta 16”, con el fin de hacer una terminación a hueco abierto con empaque con grava.

VI 8.3 OPERACIONES DE CAMPO

VI 8.3.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:

En este hoyo se utilizó la mecha tricónica serial No 5015547, del tipo MX-C1 en lugar de la XS-C1, era básicamente el mismo modelo pero de distintas compañías de servicio, con código IADC 1-1-7, es decir, con dientes de acero largos, para formación suave, con protección en los hombros y cojinetes sellados. Perforó desde 0 pie hasta 1210 pie, atravesando las Formaciones Mesa, las Piedras y Freites.

Esta mecha tenía tres boquillas de 16/32” y una de 15/32” a diferencia de la programada que era 4 boquillas de 15/32”, para obtener una mejor hidráulica, es decir, mayor galonaje para conseguir una limpieza más efectiva en el hoyo, ya que esta primera fase estaba compuesta por arcilla, la cual se hacía engorrosa su extracción.

Los parámetros de peso sobre la mecha, estuvieron en el rango programado (5-12 Mlbs), así como las revoluciones por minuto (RPM=110). Las presiones de la bomba estuvieron por debajo de la máxima presión disponible por estas (400 lpc) y el galonaje de bombeo estuvo 100 gal/min por debajo del establecido (350gal/min), es decir, las bombas no se forzaron al perforar esta fase, ya que se planificó utilizar 120 emb/min y estas estuvieron alrededor de 92 emb/min.

La rata de penetración de esta mecha fue de 121 pie/hora, con un total de 10 horas perforando, y al terminar la etapa, a la mecha se le hizo su revisión IADC, sin presentar ningún tipo de desgaste, ver tabla VI 24 y apéndice C para mayor detalle de las características de las mechas utilizadas en campo.

Tabla VI 24 Revisión IADC, para la Mecha 12 ¼”

| I | O | D | L | B | G | O | RP |
|---|---|----|---|---|---|----|----|
| 0 | 0 | NO | A | E | I | NO | TD |

VI 8.3.2 Hoyo intermedio 8 ½”:

Para perforar esta sección, perteneciente a la Formación Oficina, se utilizaron dos mechas tricónicas, en tres viajes hacia el hoyo, donde en el primero y tercero se empleó una mecha del tipo MX-C1, serial N° 506726, código IADC 1-1-7, es decir, con dientes de acero largos, para formación suave, con protección en los hombros y cojinetes sellados, al igual que la mecha anterior. Tenía 3 boquillas de 16/32”, a diferencia de las 4 boquillas programadas, 3 de 16/32” y 1 de 15/32”, esto fue por la necesidad de obtener una menor caída de presión en la barrena para ayudar a esta a perforar por impacto.

La broca intermedia, modelo M710DP, sin serial, se introdujo al hoyo sin boquillas, porque lo que se deseaba era repararlo, debido a problemas de torque y arrastre registrado en la sarta al tratar de sacarla del pozo, por lo que se quería obtener el máximo caudal posible para limpiar y reacondicionar el hoyo. A los 3730 pie, encontró relleno (47 pie en total), se perforó y se realizó un fondo arriba desde los 3777 pie, siendo el único trabajo que desempeñó la mecha perforando, motivo por el cual no se le realizó revisión IADC al sacarla del hoyo.

En el primer viaje de la barrena MX-C1, se perforó 2552 pie en un tiempo de 54 horas con los siguientes parámetros:

Tabla VI 25 Parámetros de Perforación desde 1210’-3777’

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | T [hr] | ROP [pie/hr] | PSM [Mlbs] | RPM | GPM | EPM | P _{bomba} [lpc] |
|----------------|----------------|--------------------|-----------|-----------------|---------------|-----|-----|-----|-----------------------------|
| 1210 | 1450 | 240 | 3 | 80 | 8-10 | 100 | 459 | 141 | 940 |
| 1450 | 2711 | 1261 | 24 | 52.5 | 15-20 | 90 | 456 | 142 | 1513 |
| 2711 | 3698 | 987 | 24 | 41,1 | 18-20 | 90 | 472 | 147 | 1789 |
| 3698 | 3777 | 79 | 3 | 26.3 | 18-20 | 90 | 472 | 147 | 1789 |

Se sacó la sarta del hoyo, se evaluó la mecha siguiendo las directrices del código IADC, sin presentar desgaste alguno, ver tabla VI 26

Tabla VI 26 Primera Revisión IADC, para la Mecha 8 ½”

| I | O | D | L | B | G | O | RP |
|---|---|----|---|---|---|----|----|
| 0 | 0 | NO | A | E | I | NO | TD |

La segunda bajada de esta mecha, se inició con un repaso desde los 3777 pie hasta los 3895 pie, que fue el intervalo donde se realizó la toma de núcleos.

Se perforó desde 3895 pie hasta 4340 pie con los siguientes parámetros en un tiempo de 23,5 h.

Tabla VI 27 Parámetros de Perforación desde 3895’ - 4340’

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | T [hr] | ROP [pie/hr] | PSM [Mlbs] | RPM | GPM | EPM |
|-------------|-------------|-----------------|--------|--------------|------------|-----|-----|-----|
| 3895 | 4340 | 445 | 23,5 | 19 | 10-20 | 90 | 452 | 140 |

Esta broca fue revisada por el código IADC, obteniendo los parámetros descritos en la tabla VI 28.

Tabla VI 28 Segunda Revisión IADC, para la Mecha 8 ½”

| I | O | D | L | B | G | O | RP |
|---|---|----|---|---|---|----|-----|
| 0 | 1 | WT | A | E | I | NO | BHA |

Se le hizo un estudio de costo por pie a esta mecha, debido a la poca efectividad al perforar el hoyo intermedio, los resultados se muestran a continuación:

$$\frac{Costo}{pie} = \frac{B + R(T + t)}{F} \qquad \text{Ecuación VI 1}$$

Donde:

B = Costo de la mecha [\$]

R = Costo por hora del taladro [\$/hr]

T = Tiempo de perforación acumulado [hr]

t = Tiempo de viaje de la tubería [hr]

F = Profundidad perforada acumulada [pie]

La mecha costó 7315 \$. El costo por hora de taladro vino dado por la suma del costo presupuestado del alquiler de taladro, lodo de perforación, control de sólidos, tratamiento de efluentes, alquiler de la sarta, transporte y personal, promediada por las horas programadas inicialmente de perforación, estos valores vienen dado en la tabla VI 29

Tabla VI 29 Presupuesto de los Equipos Básicos para la construcción del pozo ES-451 para 20 días.

| Descripción de Perforación | Costo [Bs] |
|------------------------------------|--------------------|
| Alquiler de equipo de perforación | 185.908.730 |
| Servicios Contratados | 292.304.748 |
| Servicios Fluido de perforación | 82.282.188 |
| Control de sólidos | 95.830.390 |
| Tratamiento de efluentes | 39.545.921 |
| Alquiler de equipos de perforación | 12.206.075 |
| Transporte | 14.152.181 |
| Personal | 39.401.250 |
| Total = | 761.631.483 |

A una tasa de cambio de 1330 Bs/\$ para la fecha (Noviembre del 2002), y 480 hr programadas para la construcción del pozo (20 días), el costo promedio de perforación por hora fue de:

$$R = \frac{761.631.483Bs}{1330Bs/\$ \cdot 480hr}$$

$$R = 1193 \text{ \$/hr}$$

El tiempo de viaje promedio metiendo tubería fue de 1000 pie/hr.

$$T_{\text{viaje}} = \text{Profundidad Acumulada en cada intervalo} / 1000 \text{ pie/hora}$$

Tabla VI 30 Tiempos de Viaje Promedios

| Profundidad de Viaje [pie] | T_{viaje} promedio [hr] |
|---------------------------------------|--|
| 1450 | 1,45 |
| 2711 | 2,711 |
| 3698 | 3,698 |
| 3777 | 3,777 |

Los intervalos perforados, tiempos de uso para la primera bajada de la mecha MX-C1 y sus respectivos costos por pie calculados por la ecuación VI 1 se muestran en la tabla VI 31.

Cálculo tipo:

$$\frac{\text{Costo}}{\text{pie}} = \frac{7315\$ + 1193\$ / \text{hr} \cdot (3\text{hr} + 1,45\text{hr})}{240 \text{ pie}}$$

$$\frac{\text{Costo}}{\text{Pie}} = 70,2\$ / \text{pie}$$

Tabla VI 30 Costo por Pie de la Primera Corrida de la Mecha MX-C1

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | Acumulado [pie] | T [hr] | T _{acumulada} [hr] | Costo/Pie [\$/pie] |
|-------------|-------------|-----------------|-----------------|--------|-----------------------------|--------------------|
| 1210 | 1450 | 240 | 240 | 3 | 3 | 52,60 |
| 1450 | 2711 | 1261 | 1501 | 24 | 27 | 28,49 |
| 2711 | 3698 | 987 | 2488 | 24 | 51 | 29,17 |
| 3698 | 3777 | 79 | 2567 | 2,5 | 53,5 | 29,47 |

Se graficó los Costos por Pie con respecto a las profundidades acumuladas y tiempos acumulados, para determinar el lapso y la profundidad donde debió cambiarse la barrena. Figuras VI 23 y VI 24

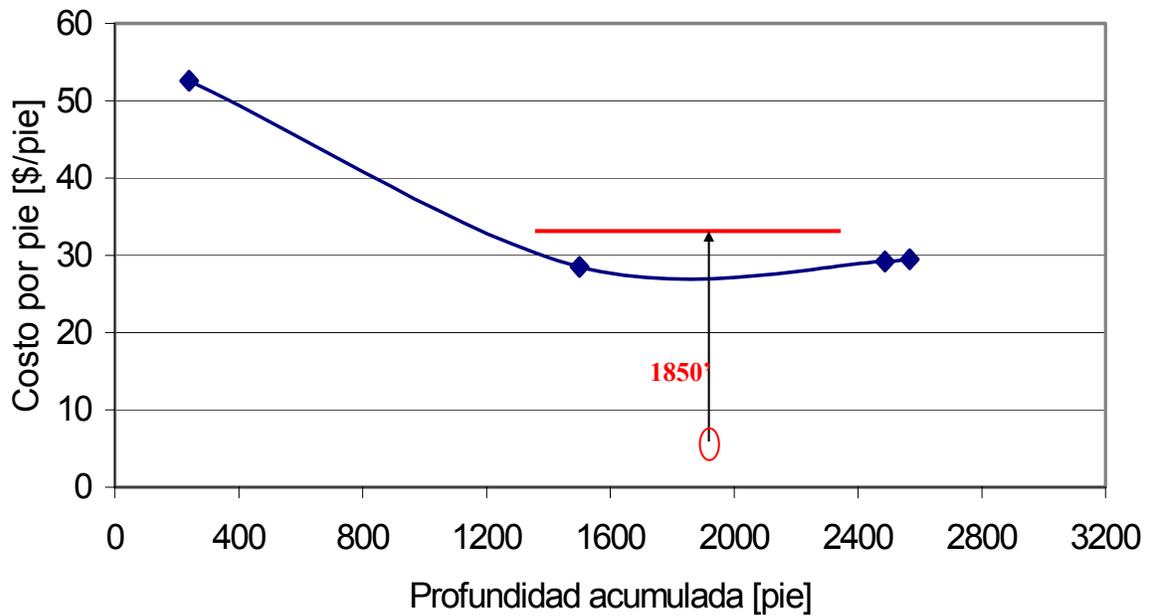


Figura VI 23 Profundidad Acumulado & Costo por Pie

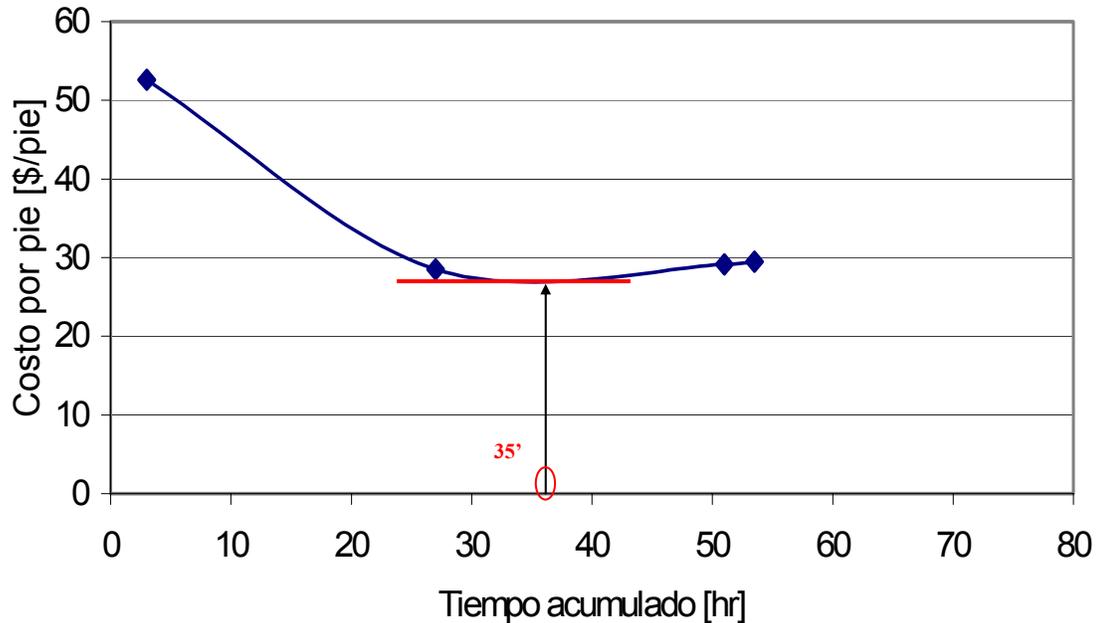


Figura VI 24 Tiempo Acumulado & Costo por Pie

Por los gráficos, se concluyó, que la mecha debió ser reemplazada a las 35 hrs de operación o 1850 pie perforados, es decir, a la profundidad de 3010 pie, ya que a partir de ahí, la barrena dejó de ser rentable.

Se debe de mencionar que al momento de realizar el diseño de esta mecha se tomó como referencia las áreas vecinas al campo, de las cuales sí poseían información actualizada de la geología de la zona, a diferencia del Área Mayor de Socororo, donde la data es un poco deficiente.

VI 8.3.3 Hoyo original 6 1/8”:

Este hoyo, se realizó con la función de servir como guía al escariador de 13” para ampliar el orificio, para luego realizar el empaque con grava. La mecha utilizada en esta sección fue del tipo ST-X1, código IADC 1-1-7, de diámetro 6-1/8”, y perforó 99 pie, desde 4340 hasta 4439 pie, perteneciente a la Formación Oficina.

En esta etapa, los primeros 60 pie fueron perforados en 2,5 horas con los siguientes parámetros:

Tabla VI 32 Parámetros de Perforación desde 4340' – 4400

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | T [hr] | ROP [pie/hr] | PSM [Mlbs] | RPM | EPM | P _{bomba} [lpc] |
|----------------|----------------|--------------------|-----------|-----------------|---------------|-----|-----|-----------------------------|
| 4340 | 4400 | 60 | 2,5 | 24 | 10-15 | 90 | 104 | 1336 |

Los últimos 39 pie se completaron en un tiempo de 6,5 hr, este cambio abrupto fue ocasionado a la toma de muestras de canal, porque a cada cierta cantidad de pies perforados, circulaban y esperaban un retorno arriba para recoger y evaluar las muestras. Para mayor detalle de las muestras de canal, refiérase a la sección VI 14.3.5.

Al llegar a la profundidad total del pozo (4430 pie) se sacó la mecha y se evaluó por el código IADC, presentando muy poco desgaste en los dientes de los conos, ver tabla VI 33.

Tabla VI 33 Revisión IADC, para la Mecha 6 1/8"

| I | O | D | L | B | G | O | RP |
|---|---|----|---|---|---|----|----|
| 1 | 1 | WT | A | E | I | NO | TD |

VI 8.3.4 Hoyo ampliado 13”:

En la última fase, se utilizó un ampliador de 13” en lugar del de 16” programado por la ingeniería de detalle, debido a que no se poseía convenio para esta herramienta.

Al ampliar este hoyo se presentaron muchos problemas con los escariadores, ya que se utilizaron tres en total además de una fresadora. Este trabajo estuvo pautado originalmente para un tiempo de 10 hr y duró aproximadamente una semana.

El primer ampliador utilizado, fue uno de hojilla sencilla (figura VI 25); comenzó su labor a los 4337 pie (9 pie por debajo de la zapata de 7”) y ensanchó 31 pie en 13 horas, y fue sacado debido a que presento zapateo y no tuvo más avance.

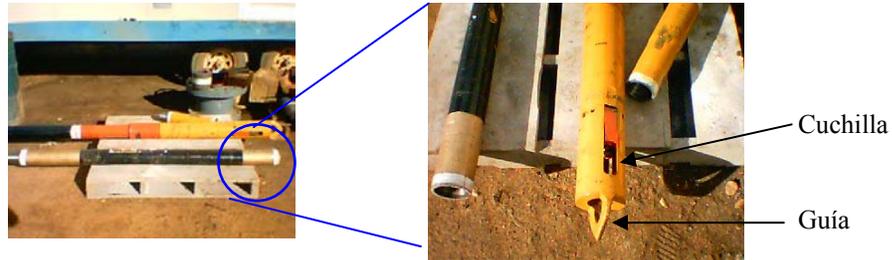


Figura VI 25 Ampliador Sencillo de Cuchillas

Los parámetros mostrados en la tabla VI 34 fueron los utilizados por este para la perforación:

Tabla VI 34 Parámetros de Perforación desde 4437’ – 4345’

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | T [hr] | ROP [pie/hr] | PSM [Mlbs] | RPM | GPM | EPM | P _{bomba} [lpc] |
|-------------|-------------|-----------------|--------|--------------|------------|-----|-----|-----|--------------------------|
| 4337 | 4345 | 8 | 2,5 | 3,2 | 3 | 120 | 248 | 77 | 1279 |
| 4345 | 4368 | 23 | 10,5 | 2,2 | 2-3 | 101 | 238 | 74 | 1142 |

Al sacar este ampliador del hoyo, se observó que dos de sus brazos se habían partido, además la guía se había roto y doblado, como lo muestran las figuras VI 26 y VI 27.



Figura VI 26 Guía Partida

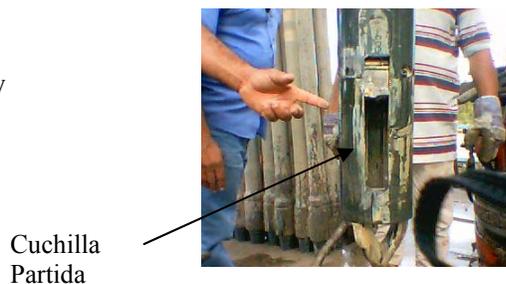


Figura VI 27 Cuchilla Partida

Esta baja rata de ampliación y el colapso de este ampliador, se debió a que no era el indicado para este tipo de trabajo, ya que él fue diseñado para abrir ventana en los revestidores y su efectividad en ampliación de formaciones no era muy efectiva.

Luego, se conectó y bajó el ampliador N° 2, el cual era de doble hojilla, separados a 2 pies las superiores de las inferiores, donde las primeras tenían un diámetro de 13” y las últimas 11”, ver figura VI 28.



Figura VI 28 Ampliador Doble de Cuchillas

Se repasó la ampliación anteriormente hecha, desde los 4337 pie hasta los 4368 pie, en 12 horas, indicativo que el primer escariador introducido no trabajó eficientemente. Los parámetros utilizados fueron los siguientes:

Tabla VI 35 Parámetros de Perforación desde 4437’ – 4368’

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | T [hr] | ROP [pie/hr] | PSM [Mlbs] | RPM | GPM | EPM | P _{bomba} [lpc] |
|-------------|-------------|-----------------|--------|--------------|------------|-----|-----|-----|--------------------------|
| 4337 | 4344 | 7 | 7,5 | 0,93 | 1-2 | 50 | 306 | 95 | 1402 |
| 4344 | 4368 | 24 | 9,5 | 2,5 | 2-3 | 80 | 302 | 94 | 1389 |

Se continuó ampliando desde 4368 pie hasta 4385 pie en un tiempo de 11,5 hr con los parámetros mostrados en la tabla VI 36

Tabla VI 36 Parámetros de Perforación desde 4368' – 4385'

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | T [hr] | ROP [pie/hr] | PSM [Mlbs] | RPM | GPM | EPM | P _{bomba} [lpc] |
|----------------|----------------|--------------------|-----------|-----------------|---------------|-----|-----|-----|-----------------------------|
| 4368 | 4385 | 17 | 11,5 | 1,5 | 2-3 | 80 | 352 | 94 | 1389 |

Desde 4385 pie hasta 4398 pie se ensanchó el hoyo en un tiempo de 10 horas, obteniéndose una rata de penetración de 1,3 pie/hr, se levantó la herramienta hasta 4340 pie por observar zapateo nuevamente en la sarta y luego se bajó de nuevo, consiguiendo 2 pie de relleno, por lo que se decidió sacar el escariador, chequeándolo en superficie y sin mostrar ningún tipo de problemas mecánicos.

Se introdujo una fresadora (“round nose mill”) de 6-1/8” con canasta de ripios, por medio de la tubería (ver figura VI 29), y se repasó desde 4396 pie hasta el fondo (4439 pie), ya que se suponía que las hojillas dejadas por el ampliador anterior, era quienes evitaban el avance de la herramienta, y por medio de esta fresadora, se quería triturar las hojillas y sacar su biruta con ayuda de la canasta.

**Figura VI 29** Fresadora

Se bajó el ampliador doble hojilla anterior, se repasó la sección ampliada en 0,5 horas, y se ensanchó el hoyo solamente 4 pie en 2 horas, ya que no hubo más avance por la herramienta. Se decidió cambiar los parámetros en superficie pero sin éxito, los cuales fueron aumentar la presión de bombas y triplicar el peso sobre la mecha.

Se continuó ampliando hasta los 4411 pie en 8 horas, con una tasa de penetración de 1,4 pie/hr, y desde los 4111 pie hasta los 4418 pie en 11 hr. Las nuevas condiciones en superficie fueron las siguientes, tabla VI 37:

Tabla VI 37 Parámetros de Perforación desde 4396' – 4400'

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | T [hr] | ROP [pie/hr] | PSM [Mlbs] | RPM | GPM | P _{bomba} [lpc] |
|-------------|-------------|-----------------|--------|--------------|------------|-----|-----|--------------------------|
| 4396 | 4400 | 4 | 2 | 2 | 4-8 | 80 | 300 | 1880 |
| 4400 | 4411 | 11 | 8 | 1,4 | 4-8 | 80 | 300 | 1880 |
| 4411 | 4418 | 7 | 15 | 0,47 | 4-8 | 80 | 300 | 1880 |

Debido al ineficiente avance con este ampliador, se decidió sacarlo y meter uno de conos convencional (figura VI 30), ampliando los 21 pie restantes para llegar a la profundidad total, en un lapso de 4,5 hr.

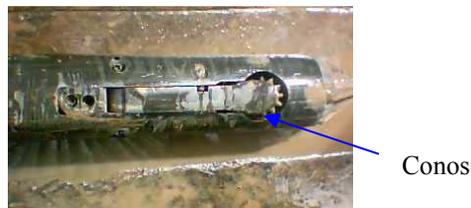


Figura VI 30 Ampliador de Conos Convencional

Este último ampliador no operó eficientemente, ya que estaba diseñado para abrir sus brazos una longitud de 13" pero solamente se extendieron 11". Debido a que ya se había perdido demasiado tiempo en la ampliación de este hoyo, y además la diferencia de diámetros solo eran 2", se decidió bajar esta herramienta y continuar la ampliación hasta el final.

Los parámetros en superficie para este escariador fueron los siguientes:

Tabla VI 38 Parámetros de Perforación desde 4418' – 4439'

| Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] | T [hr] | ROP [pie/hr] | PSM [Mlbs] | RPM | GPM | P _{bomba} [lpc] |
|-------------|-------------|-----------------|--------|--------------|------------|-----|-----|--------------------------|
| 4418 | 4439 | 21 | 4,5 | 4,6 | 4-8 | 80 | 201 | 1944 |

El esquema del hoyo ampliado quedo de la siguiente forma:

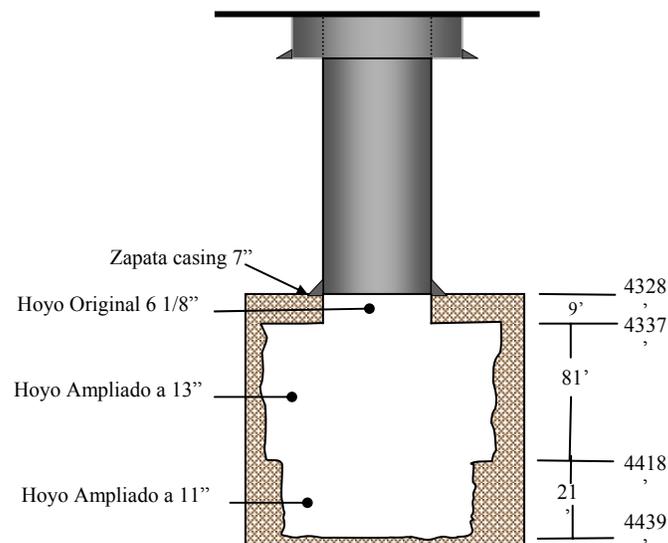


Figura VI 31 Esquema del Hoyo Ampliado a 13''

Al hacerse una comparación entre los escariadores utilizados, se observó a simple vista que el último utilizado (convencional de conos), fue el más efectivo, si se comparan las ratas de penetración entre los tres, ya que está diseñado exclusivamente para ampliar formaciones; en cambio los dos primeros empleados son programados principalmente para abrir ventanas en revestidores.

VI 9 PROGRAMA DE LODO DE PERFORACIÓN

VI 9.1 DISEÑO VCD

Revisados los sumarios de pozos vecinos, el fluido de perforación utilizado para la perforación de las diferentes fases de un pozo, garantizando la integridad del hoyo, limpieza y

resguardo de los equipos y/o accesorios que conforman el ensamblaje de fondo presenta las siguientes propiedades:

VI 9.1.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:

La perforación del hoyo superficial, comprendido entre la superficie y 1.200 pies, se programó utilizar un fluido de perforación a base de agua “agua-gel”. Este fluido resulta de la mezcla de un compuesto mineral de procedencia natural (Bentonita Wyoming) con agua. Este intervalo está constituido en su parte superior por arcillas altamente solubles, con intercalaciones de arenas de granos finos a medios.

El sistema a ser utilizado constó de: 12.5 LPB Bentonita + 0.4 LPB NaOH

Las propiedades requeridas para la perforación de este hoyo se especifican a continuación.

Tabla VI 39 Propiedades para el hoyo de 12 ¼”

| Propiedad | Unidad de Medida | Rango Requerido |
|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Densidad | Libras/galon (Lpg) | 8.6 – 8.9 |
| Viscosidad | Seg/qt de galón | 45 – 50 |
| Viscosidad Plástica | Centipoise cps | 6 – 8 |
| Punto de Cedencia | Lbs/100 pie ² | 8 – 12 |
| Filtrado API | Cc/30 min | 15 – 10 |
| Revoque | N/32 plg | < 2 |
| P.H | | 9.5 – 10 |
| Geles | Lbs/100 pie ² | 2/8 – 3/12 |
| MBT | Lbs/bbl | 20-25 |

VI 9.1.2 Hoyo intermedio 8 ½”:

La perforación del hoyo intermedio - producción, el cual estuvo comprendido entre el revestidor de 9 5/8” y la profundidad final atravesando las Formaciones de Oficina y Merecure se realizará con un fluido Base Agua polimérico - inhibido, debido principalmente a la toma de núcleo y con la finalidad de minimizar el daño a la zona productora.

El sistema constó de: 1.2 Lpb Goma Xantica Clarificada + 3 Lpb Almidón Modificado + 4 lpb de acetato de potasio + 0.75 Lpb KOH + 12 Lpb CaCO₃

Las propiedades requeridas para la perforación de este hoyo se especifican a continuación.

Tabla VI 40 Propiedades para el hoyo de 8 ½”

| Propiedad | Unidad de Medida | Rango Requerido |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------|
| Densidad | Libras/galón (Lpg) | 8.4 – 8.6 |
| Viscosidad Embudo | Seg/qt de galón | 40 – 55 |
| Viscosidad Plástica | Centipoise cps | 7 – 9 |
| Punto de Cedencia | Lbs/100 pie ² | 15 – 20 |
| Geles | Lbs/100 pie ² | 12/13 – 14/16 |
| PH | | 9.0 – 9.5 |
| Filtrado A.P.I. (cc/30 min) | Cc/30 min | <10 |
| % SBG | % v/v | < 3 |
| MBT | Lbs/Bbls | < 12 |
| n _s | | 0.35 - 0.5 |
| K _s | (Dynes/cm ²) | 5 – 8 |

VI 9.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

VI 9.2.1 Hoyo de superficie 12 ¼ ”:

VI 9.2.1.1 Tipo de lodo:

Fluido de perforación a base de agua “Agua Gel” compuesto por

Tabla VI 41 Componentes del lodo para el hoyo de 12 ¼”

| Componente | Concentración |
|-------------------|----------------------|
| Bentonita | 12 lpb |
| KOH | 0.4 lpb |

VI 9.2.1.2 Propiedades:

Tabla VI 42 Propiedades para el hoyo de 12 ¼”

| Propiedad | Parámetros |
|------------------|-------------------------|
| Densidad | 8.6 – 8.9 lpg |
| Viscosidad | 40 – 50 Seg/qt de galón |
| MBT | 15 – 20 lbs/bbl |

VI 9.2.1.3 Recomendaciones:

- 1) Realizar pruebas hidrostática para asegurar que no existen fugas en los tanques y líneas. Realizar pruebas de cloruros y dureza total que será usada para mezclar.
- 2) Mezclar Bentonita Wyoming en un rango de concentración de 12 lbs/bbl. Dejar prehidratando la misma, un mínimo de seis (6) horas antes de iniciar las labores de perforación, con la finalidad de obtener al máximo rendimiento e hinchamiento de este material en el agua.
- 3) Transferir al tanque de reserva un volumen de bentonita prehidratada que garantice un fluido completamente homogéneo, durante la perforación del hoyo, así como para suplir la demanda de fluido mientras se profundiza en el hoyo.
- 4) Llevar estricto control de funcionamiento de los equipos de control de sólidos, mediante el monitoreo de densidad del lodo, tanto en la entrada como en la salida del

pozo, la temperatura, el porcentaje de sólidos en la retorta y el MBT. Realizar las recomendaciones respectivas.

Los equipos de control de sólidos utilizados para esta etapa:

- Tres (3) Zarandas primarias:

700 GPM máximo, malla de 84 mesh.

- Un (1) tres en uno:

550 GPM máximo, mallas de 210 mesh

(Operar continuamente con una presión de 38-42 lpc.)

VI 9.2.3 Hoyo intermedio 8 ½”:

VI 9.2.2.1 Tipo de lodo:

Fluido de completación semi-disperso (lignosulfonato) con inhibidor de arcilla, compuesto por : Bentonita, Lignito, PAC-R, lignosulfonato, Detergente, KHO, Gasoil y Barita.

VI 9.2.2.2 Propiedades:

Tabla VI 43 Propiedades para el hoyo de 8 ½”

| Propiedad | Parámetros |
|---------------------|--------------------------------------|
| Densidad | 9.0 – 9.5 lpg |
| Viscosidad | 40 – 50 Seg/qt de galón |
| Viscosidad Plástica | 8 – 15 cps |
| Punto de Cedencia | 8 – 12 lbs/100 pie ² |
| Filtrado API | 7 – 5 cc/30min |
| PH | 9.0 - 10 |
| Geles | 3/10 – 5/12 lbs/100 pie ² |
| % SBG | < 6 |
| MBT | 15 – 25 lbs/bbl |

VI 9.2.2.3 Recomendaciones:

- 1) Bombear píldoras viscosas, 30 bbl, cada 300 pies o cuando el equipo de trabajo lo decida, para garantizar una mejor limpieza del hoyo.
- 2) Mantener un estricto control del filtrado (menor a 7cc/30min) del fluido de perforación, a partir de los 1.000 pies.
- 3) Realizar tratamiento al fluido de perforación con detergentes (25%-30% de pureza de materia activa) cuya función primaria debe ser evitar la adherencia de la arcilla al acero, en una concentración de 1 lbs/bbl, desde el inicio de la perforación, con la finalidad de prevenir el embolamiento de la mecha con arcilla y taponeamiento de la línea de flujo.
- 4) En esta fase se utilizarán centrifugas (alta y baja), para la limpieza de lodo, eliminando al máximo el contenido de partículas coloidales.
- 5) Dispersar el lodo cuando se observe aumento en las propiedades reológicas debido a la incorporación de arcillas. La diferencia de viscosidad de embudo (entrada y salida) no debe exceder los 15 seg/qto).
- 6) Llevar registros estadísticos diariamente relacionados con los volúmenes de lodos procesados, nuevos, preparado, perdido (ECS, superficie, viaje, formación, desplazamiento, evaporación y cualquier otro concepto, especificando su naturaleza).

Los equipos de control de sólidos utilizados para esta etapa:

- Tres (3) Zarandas primarias:
 - 700 GPM máximo, malla de 84 mesh.
- Un (1) tres en uno:
 - 550 GPM máximo, mallas de 210 mesh
 - (Operar continuamente con una presión de 38-42 lpc.)
- Una centrifuga de Alta
 - GPM: 70 – 50.

VI 9.2.3 Hoyo original 9-5/8”, ampliado 16”:

VI 9.2.3.1 Tipo de lodo:

Fluido de perforación Base Agua Drill in (Viscoelástico) con inhibidor de arcilla, compuesto por: Goma Xántica Clarificada, Almidón Modificado, KOH.

VI 9.2.3.2 Propiedades:**Tabla VI 44** Propiedades para el hoyo de 16"

| Propiedad | Parámetros |
|---------------------|-------------------------------------|
| Densidad | 8.4 – 8.5 lpg |
| Viscosidad | 40 – 60 Seg/qt de galón |
| Viscosidad Plástica | 6 – 10 cps |
| Punto de Cedencia | 20 – 282 lbs/100 pie ² |
| Filtrado API | < 5 cc/30min |
| PH | 9.0 - 9.5 |
| Geles | 4/8 – 8/10 lbs/100 pie ² |
| MBT | < 2.5 lbs/bbl |

VI 9.3 OPERACIONES DE CAMPO**VI 9.3.1 Hoyo de superficie 12 ¼ ”:**

Para esta etapa desde los 0 pie hasta los 1200 pie, se utilizó 650 bbl de fluido agua gel, manteniéndose las propiedades del mismo según el programa de fluidos de perforación. Encontrándose la densidad del mismo en el rango de 8,5 a 8,9 lb/gal, la formulación del fluido estuvo dada por 15.88 lpb de bentonita y 0.50 lpb de soda cáustica.

Se utilizó el fluido agua gel en este primer hoyo para preservar los acuíferos de la zona y no invadirlos con productos químicos que puedan contaminarlos, ya que este lodo resulta de la mezcla de un compuesto mineral de procedencia natural (Bentonita Wyoming) con agua.

El volumen total de lodo circulante fue de 535 bbl, de los cuales 173 bbl se encontraban en el hoyo haciendo un total de 362 bbl en los tanques de lodo activo, 500 bbls en los tanques de reserva y 60 bbl en el tanque de píldora, ver figura VI 32



Figura VI 32 Zona de tanques de lodos del CPV-10

Las mediciones de las propiedades para el fluido de circulación se hicieron cada 8 horas, empezando a las 8:00 pm, a las 4:00 am y a las 12:00 pm, entregando los reportes correspondientes al supervisor del taladro, para mayor detalle refiérase al apéndice D-1.

Durante la perforación de esta etapa, no se presentó ningún inconveniente con el lodo, manteniéndose las propiedades del fluido estable.

Para esta fase se utilizó como equipo de control de sólidos 2 zarandas vibratorias con doble mallado de 84X84 Mesh, 1 tres en uno con malla de 250X250 Mesh, 1 centrifuga, 1 desarenador donde entraba el lodo a una densidad de 9,2 y la densidad en la descarga fue de 9,0 lb/gal y por último 1 centrifuga donde el fluido entraba a 9,0 lb/gal y tenía 8,9 lb/gal a la salida. Detalles de los equipos y horas de operación en el apéndice D-2, ver figura VI 33.



Figura VI 33 Sistema de Control de Sólidos del CPV-10

VI 9.3.2 Hoyo intermedio 8 ½” :

El primer fluido a utilizar en esta fase, fue agua fresca con la finalidad de perforar el cuello flotador y el cemento entre este y la zapata (1159 pie a 1210 pie), sin presentarse ningún problema en su uso.

El siguiente lodo a utilizarse fue el lignosulfonato, aplicándose desde la profundidad de 1210 pie hasta 3777 pie, debido a que a partir de este punto se programó empezar a tomar los núcleos, utilizando las propiedades recomendadas por el programa de perforación.

Al llegar a la profundidad de 3777 pie se intentó sacar la sarta para luego empezar a realizar la toma de núcleos como se tenía programado, pero se obtuvo arrastre del ensamblaje a la profundidad de 3282 pie, por lo que se decidió bajarlo de nuevo para aumentar el peso del lodo porque se suponía que el hoyo se estaba cerrando, lo que hacía que la tubería se atascara; a esta conclusión se llegó luego de observar las muestras de canal que se obtenían del hoyo las cuales eran ovaladas, indicio que las paredes del pozo no se mantenían por falta de peso en el lodo y por lo tanto su diámetro se disminuía. Ver figura VI 34



Figura VI 34 Muestras de Canal del Pozo ES-451

Tabla VI 45 Propiedades del fluido de perforación entre los 1202' y 3777'

| | | 09/11/02 | | 10/11/02 | | | 11/11/02 | | | 12/11/02 | | | 13/12/02 | | | 14/11/02 | | | 15/11/02 | |
|------------------|----------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------|----------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|-------------|-------------|-------------|----------|----------|
| | Hora: | 12 | 20 | 04 | 12 | 20 | 04 | 12 | 20 | 04 | 12 | 20 | 04 | 12 | 20 | 04 | 12 | 20 | 12 | 20 |
| Profundidad | Pies | 1202 | 1202 | 1680 | 2002 | 2600 | 2850 | 3200 | 3520 | 3765 | 3765 | 3765 | 3765 | 3765 | 3765 | 3765 | 3765 | 3765 | 3765 | 3765 |
| Propiedad | Uni. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso del Lodo | Lb/gal | 8,8 | 8,8 | 9,0 | 9,4 | 9,6 | 9,6 | 9,6 | 9,6 | 9,6 | 9,8 | 10,3 | 10,4 | 10,7 | 10,6 | 10,6 | 10,6 | 10,7 | 10,7 | 10,7 |
| Visc. Emb. | S/ct | 38 | 38 | 40 | 43 | 45 | 44 | 46 | 45 | 45 | 46 | 48 | 47 | 48 | 48 | 46 | 46 | 47 | 47 | 47 |
| Temp. Reolo. | °F | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| L600/L300 | | 23/15 | 23/15 | 28/18 | 29/19 | 35/23 | 37/24 | 38/25 | 34/22 | 34/22 | 36/23 | 38/25 | 36/23 | 38/25 | 38/25 | 26/23 | 38/25 | 38/25 | 56/43 | 56/43 |
| L200/L100 | | 12/10 | 12/9 | 13/11 | 13/10 | 15/11 | 16/13 | 17/14 | 16/12 | 16/13 | 16/14 | 18/16 | 18/13 | 20/16 | 18/13 | 18/13 | 20/15 | 20/15 | 40/31 | 40/31 |
| L6/L3 | | 7/5 | 6/4 | 7/5 | 6/5 | 6/5 | 6/5 | 6/5 | 5/4 | 6/5 | 6/5 | 7/7 | 6/5 | 7/5 | 6/5 | 5/4 | 6/4 | 6/5 | 11/9 | 11/9 |
| PV | CP | 8 | 8 | 10 | 10 | 12 | 13 | 13 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| YP | Lb/100p ² | 7 | 7 | 8 | 9 | 11 | 11 | 12 | 10 | 10 | 10 | 12 | 10 | 12 | 12 | 10 | 12 | 12 | 30 | 30 |
| 10s/10m/30m Gel | Lb/100p ² | 4/6/7 | 4/6/7 | 3/8/10 | 3/8/11 | 4/9/12 | 4/9/13 | 5/10/13 | 4/9/12 | 4/13/17 | 4/12/18 | 5/12/18 | 4/13/17 | 5/12/18 | 5/11/18 | 4/13/17 | 5/13/18 | 5/12/18 | 14/19/25 | 14/19/25 |
| Pérdida Filtra | Cc/30min | 5 | 5 | 5 | 5,2 | 5,4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4,8 | 4,8 | 5,2 | 4,8 | 5 | 5,2 | 5,2 | 4,9 | 7 | 7 |
| Espesor Revo. | /32p/g | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | PEL | PEL |
| Sólidos | %Vol | 3 | 3 | 4 | 7 | 8 | 8 | 10 | 9 | 9 | 9 | 10 | 12 | 12 | 10 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 |
| Aceite/Agua | %Vol | /97 | /97 | /96 | /93 | /92 | 1/91 | 1/89 | 1/90 | /91 | 1/90 | 1/89 | /88 | /88 | 1/89 | Trz/88 | Trz/88 | Trz/88 | Trz/87 | Trz/87 |
| Arena | %Vol | TRZ | TRZ | 0,25 | 0,25 | 0,5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | - | 0,25 | 0,25 | 0,25 | - | - |
| MBT | Lb/bbl | 5 | 5 | 7,5 | 10 | 20 | 25 | 25 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | - | 30 | 30 | 30 | 5 | 5 |
| PH | | 10 | 10,5 | 10,5 | 10,4 | 10,2 | 10,3 | 10,4 | 10,5 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,8 | 10,5 | 10,5 | 9,6 | 9,6 |
| Alcalinidad | | 0,3 | 0,35 | 0,45 | 0,65 | 0,55 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,3 | 0,3 |
| Pf/Mf | | 0,25/ 0,45 | 0,3/ 0,45 | 0,3/ 0,95 | 0,45/ 0,95 | 0,4/1 | 0,4/1 | 0,45/ 0,9 | 0,45/1 | 0,4/ 0,95 | 0,4/ 0,95 | 0,4/ 0,95 | 0,45/ 0,9 | 0,45/ 0,9 | 0,4/1 | 0,4/ 0,9 | 0,4/ 0,9 | 0,4/ 0,9 | 0,2/0,35 | 0,2/0,35 |
| Cloruros | Mg/l | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 280 | 280 |
| Dureza de Ca | Mg/l | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |

Se realizó “back reaming” para tratar de liberar la sarta, pero sin éxito, esta operación estimuló a la formación y se observó al pozo fluyendo con las bombas apagadas, es decir, había indicios de una arremetida, por lo que se decidió incrementar el peso del lodo de 9 lpg a 10,1 lpg. y bajar la sarta nuevamente para acondicionar el hoyo.

Se continuó intentar sacar la tubería, y el pozo comenzó a manifestarse nuevamente, por lo que se decidió cerrarlo y observar su presión en superficie e incrementando su peso nuevamente 0,2 lpg más que el anterior. Se homogeneizó el sistema llevando la sarta de nuevo al fondo y monitoreando el pozo por un espacio de 15 min el cual resultó estático.

Al tratar nuevamente de extraer la sarta del fondo del hoyo, entre los 2775 pie y 2691 pie, se registró alto torque y arrastre donde hubo una pérdida de circulación de 80 bbl e indicio de otra arremetida, por lo que se bajó la sarta hasta 3777 pie para acondicionar el fluido y se elevó la densidad del lodo a 10,4 lpg.

Se volvió a intentar sacar el ensamblaje de fondo con precaución, marcando una tensión de 95000 lbs a 2519 pie, y sin haber retorno de fluido. Se pararon las bombas y se observó aporte de fluido del pozo. Se añadió más carbonato de calcio para incrementar el peso de lodo nuevamente y llevarlo a 10,7 lpg, acondicionándolo a esta profundidad y bombeando 1 píldora antipérdida de 30 bbl de carbonato de calcio

Al llegar a 1780 pie, hubo otra pérdida de circulación, esta vez de 79 bbl de fluido, por lo que se decidió bombear nuevamente otra píldora antipérdida para servir como sello.

Se intentó sacar la tubería realizando “back reaming” a cada pareja, desde los 1780 pie, pero se observó arrastre en la sarta, produciéndose una nueva pérdida de circulación, esta vez de 60 bbl, por lo que se decidió bombear nuevamente otra píldora antipérdida, se circuló el fluido, acondicionándolo a 10,6 lpg y se sacó la sarta hasta la superficie.

Se cambió el diseño del ensamblaje de fondo, y se bajó nuevamente hasta el fondo, encontrándose relleno (47 pie), se bajó el peso del lodo a 10,4 lpg y se observó gas fluyendo, por lo que se aumentó el lodo hasta 10,7+lpg, es decir, entre 10,7 lpg y 10,8 lpg, para controlar la presión de fondo.

Se realizaron los cálculos para determinar la presión ejercida en el fondo por la columna de fluido, por medio de la ecuación III 1.

$$P_{\text{columna lodo}} = 0,052 \cdot 10,7\text{lpg} \cdot 3777 \text{ pie}$$

$$P_{\text{columna lodo}} = \mathbf{2102 \text{ lpc}}$$

El gradiente de presión promedio calculado, por medio de las muestras de pared tomadas, fue de 0,3598 lpc/pie, ver detalles en la sección VI 14.3.4.1

Por lo tanto, a esta profundidad (3777 pie) la presión de la formación era:

$$P_{\text{formación}} = 0,3598 \text{ lpc/pie} \cdot 3777 \text{ pie}$$

$$P_{\text{formación}} = \mathbf{1359 \text{ lpc}}$$

Esto indica que se estaba perforando con una presión de sobre balance de:

$$P_{\text{sobre balance}} = 2102 \text{ lpc} - 1359 \text{ lpc}$$

$$P_{\text{sobre balance}} = \mathbf{743 \text{ lpc}}$$

Es decir, alrededor de 700 lpc por encima de lo recomendado para perforar en sobre balance.

El gradiente de presión para este fluido fue:

$$\text{Gradiente}_{\text{fluido}} = 0,052 \bullet 10,7 \text{ lpc/pie}$$

$$\text{Gradiente}_{\text{fluido}} = \mathbf{0,5564 \text{ lpc/pie}}$$

Este gradiente de presión es superior al de fractura de la formación teórico, se presume que es por ello las pérdidas de circulación que sucedieron en esta etapa.

Se desplazó el fluido lignosulfonato por uno viscoelástico (polimérico) con densidad de 10,7 lpg, debido a que por tener baja concentración de sólidos, era ideal para la toma de núcleos programada, así como buena conductividad para la toma de registros eléctricos, las cuales se realizaron sin ningún contratiempo.

Una vez terminada la toma de núcleos, se bajó de nuevo una sarta estabilizada, para reparar el intervalo a la cual se le realizó la captura y se continuó perforando hasta la profundidad total (4340 pie).

Al tratar de sacar la tubería del hoyo, se reportó alto arrastre a los 3130 pie por lo que se trabajó la tubería con “back reaming” y se circuló hasta retornos limpios.

La cantidad de productos químicos utilizados para perforar este hoyo se muestra a continuación:

Tabla VI 46 Cantidad y Productos utilizados en el hoyo 8 1/2”

| Producto | Función | Cantidad [lbs] |
|--|----------------|----------------|
| Bentonita | Viscosificante | 7.500 |
| Biopolímero de goma xántica clarificada | Viscosificante | 2.575 |
| Celulosa polianiónica de baja viscosidad | Viscosificante | 1.925 |
| Sulfato de bario | Densificante | 97.000 |
| Carbonato de calcio v micronizado (Dolomítico) | Densificante | 116.000 |

| | | |
|---|----------------------------|--------|
| Carbonato de calcio v (Calcita) | Densificante | 5.940 |
| Polisacarido modificado (Almidón) | Controlador de filtrado | 3.510 |
| Lignosulfonato libre de cromo | Dispersante | 4.000 |
| Lignito | Controlador de filtrado | 5.500 |
| Soda Caústica | Controlador de alcalinidad | 2.035 |
| Hidróxido de potasio | Controlador de alcalinidad | 2.200 |
| Acetato de potasio | Inhibidor de arcillas | 11.715 |
| Bactericida | Inhibidor de arcillas | 11.841 |
| Surfactante activo aniónico (Detergente) | Estabilizador de arcillas | 1.374 |
| Antiespumante de base diferente a hidrocarburos | Embolamientos | 726 |
| Ppglicol de alto peso molecular | Inhibidor de arcillas | 7.616 |
| Fibra celulósica, fina-media-grueso | Pérdida de circulación | 925 |

Los equipos utilizados como control de sólidos en esta sección fueron los mismos que en el hoyo anterior, por un espacio de 380 horas cada uno, donde las mallas de las zarandas fueron cambiadas para esta fase a 140 X 140. Detalles de los equipos y horas de operación para esta sección, ver apéndice D-3.

VI 9.3.3 Hoyo original 6-1/8", ampliado 13":

Para perforar desde 4337 pie hasta 4438 pie, tanto el hoyo original de 6-1/8" como el ampliado a 13", se utilizó el mismo fluido polimérico de la última etapa del hoyo de 8-1/2", con la excepción que fue su densidad disminuida a 8,6 lpg como lo recomendaba el programa de perforación, manteniendo las propiedades del lodo relativamente estables durante todo el proceso.

Tabla VI 47 Propiedades promedias utilizadas en los hoyos 6-1/8" y 13"

| Propiedad | Unidad | Medición |
|---------------|--------|----------|
| Peso del Lodo | Lb/gal | 8,6 |
| Visc. Emb. | S/ct | 45 |

| | | |
|-----------------|----------------------|-----------|
| Temp. Reolo. | °F | 120 |
| L600/L300 | | 43/34 |
| L200/L100 | | 29/24 |
| L6/L3 | | 10/9 |
| PV | CP | 9 |
| YP | Lb/100p ² | 25 |
| 10s/10m/30m Gel | Lb/100p ² | 9/14/20 |
| Pérdida Filtra | Cc/30min | 4 |
| Espesor Revo. | /32plg | 1 |
| Sólidos | %Vol | 2 |
| Aceite/Agua | %Vol | TRZ/98 |
| Arena | %Vol | TRZ |
| MBT | Lb/bbl | 5 |
| PH | | 9,6 |
| Alcalinidad | | 0,45 |
| Pf/Mf | | 0,35/0,60 |
| Cloruros | Mg/l | 280 |
| Dureza de Ca | Mg/l | 80 |

La cantidad de aditivos utilizados para esta etapa fueron los siguientes:

Tabla VI 48 Cantidad y Productos utilizados en el hoyo 8 1/2”

| Producto | Función | Cantidad [lbs] |
|--|----------------------------|----------------|
| Biopolímero de goma xántica clarificada | Viscosificante | 230 |
| Celulosa polianiónica de baja viscosidad | Viscosificante | 550 |
| Sulfato de bario | Densificante | 1.300 |
| Carbonato de calcio v micronizado (Dolomítico) | Densificante | 5.500 |
| Polisacarido modificado (Almidón) | Controlador de filtrado | 1.905 |
| Soda Caústica | Controlador de alcalinidad | 605 |
| Hidróxido de potasio | Controlador de alcalinidad | 330 |

| | | |
|---|-----------------------|-----|
| Acetato de potasio | Inhibidor de arcillas | 55 |
| Bactericida | Inhibidor de arcillas | 714 |
| Antiespumante de base diferente a hidrocarburos | Embolamientos | 210 |

Durante esta etapa se perforó con total normalidad sin existir ningún tipo de pega de tubería o pérdidas de circulación y utilizando los mismos equipos de control de sólidos con igual tamaño de mallas como en la fase anterior.

VI 10 PROGRAMA DE CEMENTACIÓN

VI 10.1 DISEÑO VCD

VI 10.1.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:

Las especificaciones de los diferentes fluidos a utilizar para la cementación del revestidor de superficie son:

VI 10.1.1.1 Lechada de llenado convencional :

- *Altura:* 900 pie
- *Aditivos:* Cemento Clase “B” + 2% Bentonita Prehidratada 0.2% D Air-1
- *Propiedades:*

Tabla VI 49 Propiedades para la Lechada Convencional

| | |
|--|------------------|
| Volumen (bbls)/(scs): | 56bbls / 187 scs |
| Densidad (lpg): | 13.5 |
| Rendimiento (pc/scs): | 1.68 |
| Requerimiento de Agua (gal/scs): | 8.92 |
| Perdida de Filtrado(cc/30min.) | NC |
| Agua Libre (%): | NC |
| Tiempo de Espesamiento(hrs:min): | 4:08 |
| Viscosidad Plástica (cps) @ 100 - 110 °F: | 23.9 |
| Punto Cedente(lbs/100 pie ²) @ 100 -110°F: | 50.6 |

VI 10.1.1.2 Lechada de cola:

- *Altura:* 300 pie
- *Aditivos:* Cemento Clase “B” + 1.5 % acelerador
- *Propiedades:*

Tabla VI 50 Propiedades para la Lechada de Cola

| | |
|--|------------------|
| Volumen (bbls)/(scs): | 19 bbls / 90 scs |
| Densidad (lpg): | 15.6 |
| Rendimiento (pc/scs): | 1.18 |
| Requerimiento de Agua (gal/scs): | 5.23 |
| Perdida de Filtrado(cc/30min.) | |
| Agua Libre (%): | N/C |
| Tiempo de Espesamiento(hrs:min): | 2:15 |
| Viscosidad Plástica (cps) @ 100 – 110 °F: | 27.7 |
| Punto Cedente(lbs/100 pie ²) @ 100 – 110 °F: | 17.2 |

VI 10.1.1.3 Lodo de desplazamiento:

- *Tipo de lodo:* Agua Gel
- *Propiedades:*

Tabla VI 51 Propiedades para el lodo de desplazamiento

| Densidad (lpg) | Viscosidad de embudo | Viscosidad plástica (cps) | Punto Cedente (Lbs/100 Pie ²) | API. Filtr. (ml/30min) |
|----------------|----------------------|---------------------------|--|------------------------|
| 8.9 | 45 | 9 | 6 | 12 |

Como “Espaciador” se diseñó 40 Bbl de Agua Fresca

VI 10.1.2 Hoyo intermedio 8½”:

Las especificaciones de los diferentes fluidos planificados para la cementación del revestidor intermedio son:

VI 10.1.2.1 Lechada de llenado convencional:

- *Altura:* 4500 Pies
- *Aditivos:* Cemento “B” + 45% sílica + 10% silicalite + 0.35 controlador de filtrado/ agua libre + 0.1% de sustentador de sólidos + 0.1% antiespumante + agua fresca.
- *Propiedades:*

Tabla VI 52 Propiedades para la Lechada Convencional

| | |
|--|--------------------|
| Volumen (bbls)/(scs): | 102 bbls / 263 scs |
| Densidad (lpg): | 14.2 |
| Rendimiento (pc/scs): | 2.19 |
| Requerimiento de Agua (gal/scs): | 10,4 |
| Perdida de Filtrado(cc/30min.) | 63 |
| Agua Libre (%): | 0 |
| Tiempo de Espesamiento(hrs:min): | 3:40 |
| Viscosidad Plástica (cps) @ 106 °F: | 90.45 |
| Punto Cedente(lbs/100 pie ²) @ 106 °F: | 6.57 |

VI 10.1.2.2 Lechada de cola:

- *Altura:* 500 Pies
- *Aditivos:* Cemento “B” nacional + 45% sílica + 0,5% de controlador de filtrado + 0,35% dispersante + 0,2% control de agua libre + 0,005 GPS antiespumante + agua fresca.
- *Propiedades:*

Tabla VI 53 Propiedades para la Lechada de Cola

| | |
|---|-----------------|
| Volumen (bbls)/(scs): | 15 bbls / 52scs |
| Densidad (lpg): | 15.6 |
| Rendimiento (pc/scs): | 1.66 |
| Requerimiento de Agua (gal/scs): | 6.91 |
| Perdida de Filtrado(cc/30min.) | 50 |
| Agua Libre (%): | 0 |
| Tiempo de Espesamiento(hrs:min): | 2:50 |
| Viscosidad Plástica (cps) @ 106 °F: | 135 |
| Punto Cedente(lbs/100 pie ²) @ 1806 °F: | 28 |

VI 10.1.2.3 Lodo de desplazamiento:

□ *Tipo de fluido:* Agua.

□ *Propiedades:*

Tabla VI 54 Propiedades para la Lechada de desplazamiento

| Densidad (lpg) | Viscosidad de embudo (cps) | Viscosidad plástica (cps) | Punto Cedente (Lbs/100 Pie ²) | API. Filtr. (ml/30min) |
|-------------------|-------------------------------|------------------------------|---|---------------------------|
| 8.33 | - | - | - | - |

VI 10.1.2.4 Espaciadores:

Como sistema “Espaciador” se utilizarán 60 bbls de lavador químico @ 8.6 lpg, 40 bbls de lavador químico @ 9.0 lpg , y 40 bbls de espaciador base agua @ 10 lpg .

VI 10.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN**VI 10.2.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:****VI 10.2.1.1 Lechada de llenado convencional:**

Para cementar esta fase, se programó la misma cantidad y tipo de aditivos que el programa VCD, es decir, Cemento Clase “B” + 2% Bentonita Prehidratada 0.2% D Air-1.

La cantidad de volumen de relleno a utilizar calculada en esta etapa según el programa de perforación fue incorrecta, ya que se diseñó duplicar aproximadamente la cantidad de cemento.

Determinando la altura que abarcaría esta cantidad de lodo por medio de la fórmula de volúmenes:

$$V = \frac{[DE^2 - DI^2]}{1029} \cdot L \quad \text{Ecuación VI 2}$$

Donde:

V= Volumen [Bbl]

DE= Diámetro externo [plg]

DI= Diámetro Interno [plg]

L= Longitud [pie]

Despejando L se obtiene:

$$L = 1029 \cdot \left(\frac{V}{DE^2 - DI^2} \right) \quad \text{Ecuación VI 3}$$

Restándole al volumen programado (100 bbl) 5 bbl de retorno por seguridad, la altura será según los siguientes parámetros:

Tabla VI 55 Parámetros para la Lechada de Relleno del Hoyo de Superficie

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Diámetro del Hoyo [plg] | 12,25 |
| Diámetro externo tubería [plg] | 9,625 |
| Volumen de lechada de relleno [bbl] | 95 |

Por medio de la ecuación VI 3

$$L = 1029 \cdot \left(\frac{95}{12,25^2 - 9,625DI^2} \right)$$

$$L = 1702 \text{ pie}$$

Este resultado demuestra que existió un sobrediseño de cemento de relleno, debido a que la zapata se encuentra a 1200' y cabe resaltar que la altura que ocupa la lechada de cola no se ha tomado en cuenta todavía.

VI 10.2.1.2 Lechada de cola:

Esta no se vio alterada ni en sus propiedades, ni en el tipo y cantidad de aditivos, pero si al igual que en la lechada de relleno, hubo un sobrediseño en su volumen total, debido a que se programó prácticamente duplicar la cantidad del mismo.

Para calcular la altura que este volumen alcanzaría, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros teóricos:

Tabla VI 56 Parámetros para la Lechada de Cola del Hoyo de Superficie

| | |
|------------------------------------|-------|
| Diámetro del hoyo [plg] | 12,25 |
| Diámetro externo del tubular [plg] | 9,625 |
| Diámetro interno del tubular [plg] | 8.755 |

| | |
|--------------------------------|------|
| Cuello Flotador – Zapata [pie] | 40 |
| Zapata [pie] | 1200 |
| Bolsillo [pie] | 10 |

Sustrayéndole al volumen programado el volumen que existente entre el cuello y la zapata, así como el del bolsillo:

$$V_{\text{total}} = \text{Volumen programado} - \text{Volumen entre el cuello flotador y la zapata} - \text{Volumen del bolsillo}$$

Por medio de la fórmula VI 2:

$$V_{\text{total}} = 44 \text{ bbl} - \frac{[8,755''^2]}{1029} \cdot 40' - \frac{[12,25''^2]}{1029} \cdot 10'$$

$$V_{\text{total}} = 44 \text{ bbl} - 2,98 \text{ bbl} - 1,46 \text{ bbl}$$

$$V_{\text{total}} = \mathbf{39,6 \text{ bbl}}$$

Por lo tanto la altura que alcanzará estos 39,6 bbl, será:

Por medio de la ecuación VI 3:

$$L = 1029 \cdot \left(\frac{39,7}{12,25^2 - 9,625^2} \right)$$

$$L = \mathbf{710 \text{ pie}}$$

Sumando ambas alturas:

$$L_{\text{total}} = L_{\text{relleno}} + L_{\text{cola}}$$

$$L_{\text{total}} = 710 \text{ pie} + 1702 \text{ pie}$$

$$L_{\text{total}} = \mathbf{2412 \text{ pie}}$$

Existió un error en estos cálculos, ya que la zapata estaba a 1200' es decir' a la mitad de la profundidad que se programó.

VI 10.2.1.3 Espaciadores:

Se decidió también programar 40 bbls del mismo.

VI 10.2.1.4 Tasas de bombeo:

Esta sección no la abarca la Ingeniería Básica de la VCD pero si la Ingeniería en Detalle (Programa de Perforación), y esta planificó bombear los 40 bbls de espaciador a una tasa de 6 bbl/min., seguido de la lechada de llenado a 5 bbls/min. y por último la de cola a 5 bbls/min.

Toda esta lechada, se diseñó desplazarla con 97 bbls de agua fresca, pero si se toma en cuenta el volumen interno de la tubería más la cantidad de las líneas de cementación (1 bbl aproximadamente), el cual es el necesario para desplazar los tapones de cementación, da como resultado.

Tabla VI 57 Parámetros para desplazar los tapones de cementación

| | |
|---------------------------------------|-------|
| Diámetro interno del tubular [pulg] | 8,755 |
| Profundidad del Cuello Flotador [pie] | 1160 |

$$V_{\text{desplazar}} = \text{Volumen interno de tubular @ 1160'} + \text{Volumen de líneas}$$

Por medio de la ecuación VI 2

$$V_{\text{desplazar}} = \frac{[8,755''^2]}{1029} \cdot 1160' + 1 \text{ bbl}$$

$$V_{\text{desplazar}} = 87,41 \text{ bbl}$$

Este resultado demuestra que se necesitaban 10 bbl menos que el programado para asentar el tapón superior de cementación.

VI 10.2.1 Hoyo intermedio 8 ½”:

VI 10.2.1.1 Lechada de llenado convencional:

La cantidad de sílica, el silicalite y el tipo de cemento no sufrieron modificaciones, pero se duplicó la cantidad de sustentador de sólidos, el controlador de filtrado con el fin de mantener de manera más estable los sólidos en el sistema y evitar la pérdida de la fase continua hacia la formación.

La cantidad de cemento para esta lechada, aumentó considerablemente según el diseño de perforación, ya que ascendió de 102 bbl/263 scs a 206 bbls/530 scs, es decir, se duplicó la cantidad, pero si se hacen los cálculos de capacidades de tuberías, se demuestra que estos valores estuvieron errados:

Determinando la altura que abarcaría esta cantidad de lodo por medio de la fórmula VI 3 y restándole al volumen programado 5 bbl de retorno por seguridad y el volumen entre el casing de 9 5/8” y 7”, tomando los siguientes parámetros teóricos:

Tabla VI 58 Parámetros para la Lechada de Relleno del Hoyo Intermedio

| | |
|--|-------|
| Diámetro del hoyo [plg] | 8,5 |
| Diámetro externo del tubular intermedio [plg] | 7 |
| Diámetro interno del tubular intermedio [plg] | 6,366 |
| Cuello Flotador – Zapata [pie] | 40 |
| Zapata del tubular intermedio [pie] | 4300 |
| Bolsillo [pie] | 10 |
| Longitud Lechada de relleno [pie] | 3800 |
| Diámetro interno del tubular de superficie [plg] | 8,755 |
| Zapata del tubular de superficie [pie] | 1200 |

$$V_{\text{total}} = \text{Volumen programado} - \\ \text{Volumen entre el casing intermedio y superficial} - \\ \text{Volumen de seguridad}$$

Por medio de la fórmula VI 2:

$$V = 206 \text{ bbl} - \frac{[8,755^2 - 7^2]}{1029} \cdot 1200' - 1 \text{ bbl}$$

$$V_{\text{relleno}} = 206 \text{ bbl} - 32,24 \text{ bbl} - 1 \text{ bbl}$$

$$V_{\text{relleno}} = \mathbf{164 \text{ bbl}}$$

Por lo tanto la profundidad que esta lechada alcanzaría a partir de la zapata del hoyo de superficie sería:

Por la ecuación VI 3

$$L = 1029 \cdot \left(\frac{169}{8,5^2 - 7^2} \right)$$

$$L = 7480 \text{ pie}$$

Este resultado al igual que los anteriores, demuestra que existió un incongruencia entre la cantidad de lechada programada y la real, debido a que la zapata del revestidor intermedio se programó colocarla a 4300' y cabe resaltar que la altura que ocupa la lechada de cola no se ha tomado en cuenta todavía.

VI 10.2.1.2 Lechada de cola:

Esta no se vio alterada ni en sus propiedades, ni en el tipo y cantidad de aditivos, pero si al igual que en la lechada de relleno, hubo un sobrediseño en su volumen total, debido a que se programó prácticamente duplicar la cantidad del mismo.

Estos cálculos se determinaron tomando en cuenta los siguientes parámetros teóricos:

Tabla VI 59 Parámetros para la Lechada de Cola del Hoyo Intermedio

| | |
|------------------------------------|-------|
| Diámetro del hoyo [plg] | 8,5 |
| Diámetro externo del tubular [plg] | 7 |
| Diámetro interno del tubular [plg] | 6,366 |
| Cuello Flotador – Zapata [pie] | 40 |
| Zapata [pie] | 4300 |
| Bolsillo [pie] | 10 |

Sustrayéndole al volumen programado el volumen que existente entre el cuello y la zapata, así como el del bolsillo:

$$V_{\text{total}} = \text{Volumen programado} - \text{Volumen entre el cuello flotador y la zapata} - \text{Volumen del bolsillo}$$

Por medio de la fórmula VI 2:

$$V_{\text{total}} = 34 \text{ bbl} - \frac{[6,366''^2]}{1029} \cdot 40' - \frac{[8,5''^2]}{1029} \cdot 10'$$

$$V_{\text{total}} = 34 \text{ bbl} - 1,57 \text{ bbl} - 0,7 \text{ bbl}$$

$$\mathbf{V_{\text{total}} = 31,72 \text{ bbl}}$$

Por lo tanto la altura que alcanzará estos 31,72 bbl, será:

Por medio de la ecuación VI 3:

$$L = 1029 \cdot \left(\frac{31,72}{8,5^2 - 7^2} \right)$$

$$\mathbf{L = 1404 \text{ pie}}$$

Sumando ambas alturas:

$$L_{\text{total}} = L_{\text{relleno}} + L_{\text{cola}}$$

$$L_{\text{total}} = 7480 \text{ pie} + 1404 \text{ pie}$$

$$\mathbf{L_{\text{total}} = 8884 \text{ pie}}$$

Existió un error en estos cálculos, ya que la zapata estaba a 4300', o sea a un poco más que la mitad de la altura programada.

VI 10.2.1.3 Espaciadores:

Se decidió también programar 40 bbls del mismo.

VI 10.2.1.4 Tasas de bombeo:

Se planificó bombear los 40 bbls de espaciador a una tasa de 6 bbl/min., seguido de la lechada de llenado a 5 bbls/min. y por último la de cola a 5 bbls/min.

Toda esta lechada, desplazada por 289 bbls de lodo lignosulfonato, comprendida en dos etapas, los primeros 279 bbls a 8 bbl/min y los otros 10 bbl a 2 bbls/min, hasta notar el aumento de presión en los manómetros de las bombas, pero si se toma en cuenta el volumen interno de la tubería más la cantidad en las líneas de cemento, el cual es el necesario para desplazar los tapones de cementación, da como resultado.

Tabla VI 60 Parámetros para desplazar los tapones de Cementación

| | |
|---------------------------------------|-------|
| Diámetro interno del tubular [plg] | 6,366 |
| Profundidad del Cuello Flotador [pie] | 4260 |

$$V_{\text{desplazar}} = \text{Volumen interno de tubular @ 4260'}$$

Por medio de la ecuación VI 2

$$V_{\text{desplazar}} = \frac{[6,366^2]}{1029} \cdot 4260'$$

$$V_{\text{desplazar}} = 168 \text{ bbl}$$

Este resultado demuestra que se necesitaba un poco menos de la mitad del volumen programado para asentar el tapón superior de cementación.

VI 10.3 OPERACIONES DE CAMPO

VI 10.3.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:

Para esta primera fase, se utilizó 80 bbl de espaciador en lugar de los 40 bbl programados, esto con el fin de evitar que el cemento se contaminara con el lodo y eliminar y la mayor cantidad de revoque y poner en óptimas condiciones el hoyo para obtener una mejor adherencia del cemento a la formación y al revestidor.

Se utilizó para la lechada de relleno la cantidad y tipo de aditivos, manteniendo las propiedades recomendadas por la VCD, es decir, cemento clase “B” con un 2% de extendedor y 0,2% de antiespumante.

La lechada de cola se preparó también con la cantidad y tipo de aditivos programados por la VCD, es decir, cemento clase “B” con 1,5% de acelerador.

Se bombeó un total de 100 bbl de lechada de relleno (336 scs) con un rendimiento de 1,68 pie³/scs y densidad igual a 13,6 lb/gal, la cual se desplazó con 24 bbl (112 scs) de lechada de cola de densidad igual al 15,6 lb/gal, todo esto desplazado con 89 bbl de agua fresca, es decir, similar a la cantidad calculada en la sección VI 10.2.1.4.

Toda esta lechada se bombeó a una razón de 5 bbl/min., con un tiempo de espesamiento de 4,1 hr para la de relleno y 2,05 para la de cola, alcanzando alturas de 1005 pie para la de relleno y 205 pie para la de cola. Ver figura VI 35.

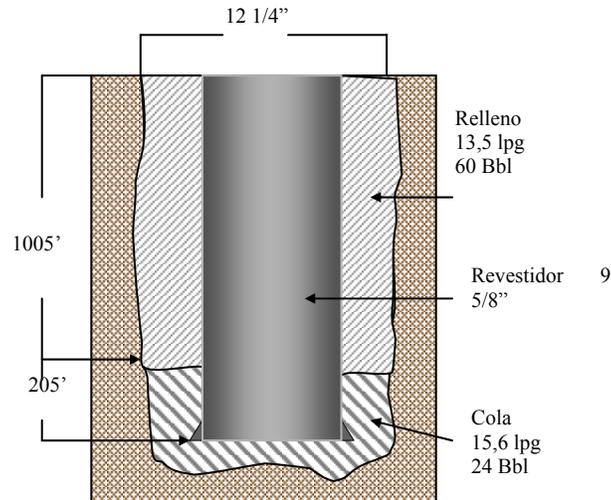


Figura VI 35 Diseño de la cementación para el Hoyo de Superficie

El tapón superior se asentó a 1500 lpc, manteniendo la presión aproximadamente por 5 min (ver apéndice E-1), desahogando luego con el fin de verificar si existió retorno, el cual es indicativo si el sistema de flotación funcionó, el resultado fue que solamente regresaron 0,75 bbl de fluido desplazante, es decir, el cuello flotador cumplió su función y por el seller retornaron 40 bbl de lechada de relleno, es decir, se garantizó que el cemento cubrió todo el revestidor.

VI 10.3.2 Hoyo intermedio 8 ½”:

Como espaciadores se utilizaron un total de 60 bbl, compuesto por tres tipos en la misma proporción, el primero, un lavador químico con el fin de eliminar el revoque, el segundo conformado por agua con silicato, para mejorar la adherencia del cemento tanto al revestidor como a la formación y por último el espaciador en sí, el cual tiene la función de evitar que el cemento se contamine con el agua.

Si se hace una comparación de estos volúmenes con los recomendados por la VCD, se observan que son mucho menores, esto se debe a la experiencia en campo, la cual se ha estandarizado colocar como mínimo una longitud entre la primera lechada y el lodo de perforación 1000 pie, es decir, la distancia que deben tener los espaciadores, lo cual garantiza

que el cemento no se contamine, por lo tanto si se hacen los cálculos por medio de la ecuación VI 2, se comprueba que este espaciamiento se cumple, permitiendo un ahorro en la operación.

Tomando los siguientes valores teóricos:

Tabla VI 61 Parámetros para el Cálculo de los Espaciadores

| | |
|------------------------------------|------|
| Diámetro del hoyo [plg] | 8,5 |
| Diámetro externo del tubular [plg] | 7 |
| Zapata [pie] | 4300 |

$$L_{\text{Total}} = L_{\text{lavquimico}} + L_{\text{aguaSilicato}} + L_{\text{espaciador}}$$

$$L_{\text{Total}} = 1029 \cdot \left(\frac{20}{8,5^2 - 7^2} \right) * 3$$

$$L_{\text{Total}} = \mathbf{2655 \text{ pie}}$$

Lo cual demuestra que con la cantidad bombeada a la formación, cumplió con el espaciado mínimo entre el lodo de perforación y la lechada de relleno, además se garantizó que la formación estuviese en condiciones adecuadas para la adherencia del cemento tanto a esta como a la tubería.

Para el diseño de la lechada de relleno de esta etapa, se utilizaron los mismos aditivos propuestos por la VCD, pero en proporciones distintas, debido a simulaciones hechas por la compañía de servicio, donde se optimizó el proceso.

Se utilizó la siguiente composición: Cemento clase “B”, con 45% de Silica Fluor + 0,4% acelerador + 0,9% Antimigratorio + 0,8% Dispersante + 0,65% de Control de Filtrado y

0,01 gal/scs Antiespumante, obteniéndose una densidad igual a la recomendada de 14,2 lb/gal., y un rendimiento de 2,08 pie³/scs.

Esta lechada fue preparada con un tiempo de espesamiento de 2,3 hr y quedó localizada a una profundidad de 3828 pie, es decir, 500 pie de la zapata, bombeándose 63 bbl de esta lechada (175 scs) a una razón de 4 bbl/min., durante 16 min.

El cemento de cola también fue reformado en la cantidad de aditivos, para ella se usó: Cemento Clase “B” + 45% Silica Fluor + 0,1 % Acelerador + 0,7 % Antimigratorio + 0,85% Dispersante + 0,3% Controlador de filtrado + 0,01 gal/scs Antiespumante., para obtener una mejor cementación.

Se bombearon 17 bbl (60 scs) con 1,68 pie³/scs, de densidad igual a 15,6 lb/gal como lo programado por la VCD, alcanzando una altura de 500 pie y manteniendo la tasa de bombeo a 4 bbl/min por 4 min.

El tapón superior se asentó a 1600 lbs., manteniendo la presión por 5 min, pero hubo retorno por las líneas de cementación, indicativo que el cuello flotador falló, por lo que se mantuvo la presión por un tiempo prudencial hasta que el cemento fraguara, para desahogar la presión nuevamente, retornando en esta ocasión 0,25 bbl aproximadamente.

Para asentar este tapón, se utilizó 164 bbl de agua fresca, es decir, 22 bbl más que lo calculado por el volumen de la tubería, esto se debió a un error en el diámetro interno tomado por la compañía de servicio, ya que los cálculos se realizaron para un tubular grado J-55 de 43,5 lb/pie y el utilizado en la operación fue del tipo N-80 de 23,5 lb/pie, además la profundidad del cuello era 4300 pie, a diferencia de la real que estaba a 4281 pie. Ver apéndice E-2

El Top Job se realizó debido a que la lechada de relleno no retornó a superficie, sino que se quedó a 40 pie de esta, presumiendo que fue ocasionado por el lavado que se le hizo al hoyo cuando trató de controlarse, ocurriendo la heterogeneidad en su diámetro.

Por lo tanto se decidió bombear por el anular, por medio de una tubería de 0,5 plg., 5 bbl de agua fresca, seguido de cemento de cola hasta que retornara a superficie, la cual la cantidad que cumplió esta medida fue de 6 bbl, a razón de 1 gal/min., con una presión de circulación de 400 lpc, para que no estallara la tubería.

Una vez terminada esta operación, la compañía de servicios desvistió su equipo del taladro. Quedando el diseño de la cementación del hoyo intermedio de la siguiente manera:

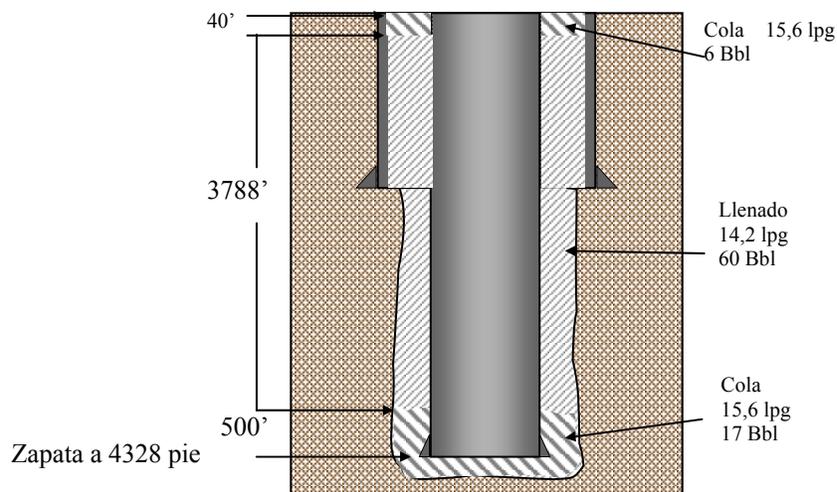


Figura VI 36 Diseño de la cementación para el Hoyo Intermedio

VI 11 TORQUE Y ARRASTRE DE SARTAS

VI 11.1 DISEÑO VCD

Utilizando la información definida para los ensamblajes de fondo, los revestidores, los diámetros de hoyos a perforar y los fluidos a utilizar durante la perforación, se realizó la evaluación de torque y arrastre de las sartas de tubería y revestidores presentes en el diseño del

pozo. Para ello se empleó el módulo de torque y arrastre de la aplicación de ingeniería Well Plan[®].

A continuación se muestran los resultados obtenidos para la perforación del hoyo de producción y para la corrida del revestidor de 7". Para la perforación del hoyo de producción, se observa que los esfuerzos resultantes son menores al esfuerzo límite de diseño para las sartas propuestas con lo cual se garantiza la ejecución del trabajo bajo las consideraciones de carga establecidas. En lo que respecta a la corrida del revestidor, la tensión efectiva se encontró enmarcada entre el límite de tensión y aquellos para buckling sinusoidal y helicoidal, validando el diseño del tubular.

VI 11.1.2 Perforación del hoyo intermedio 7":

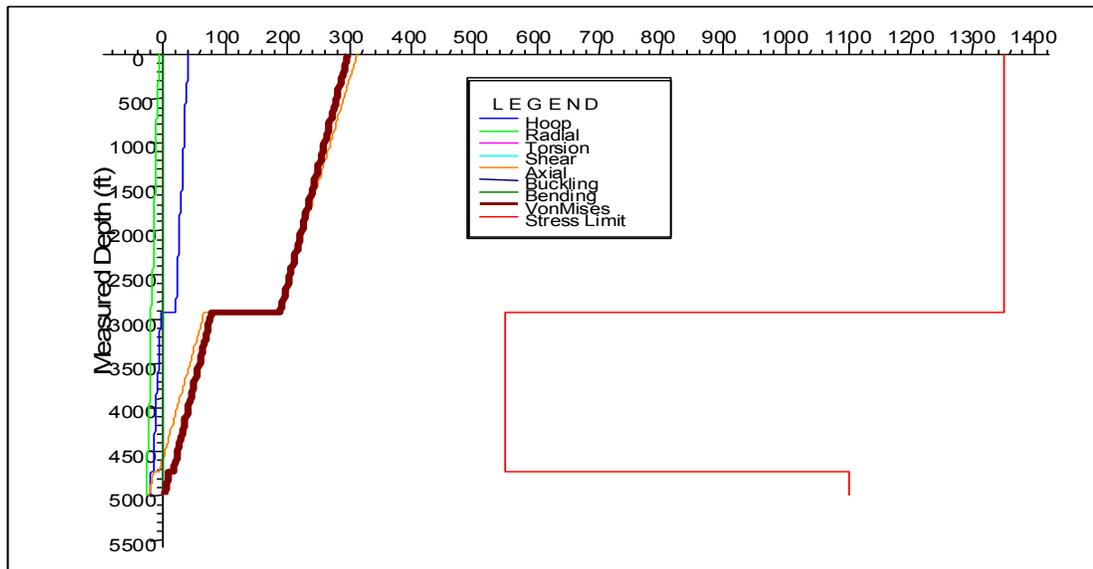


Figura VI 37 Diseño de Torque y Arrastre para el Hoyo Intermedio

VI 11.1.3 Corrida del revestidor intermedio 7”:

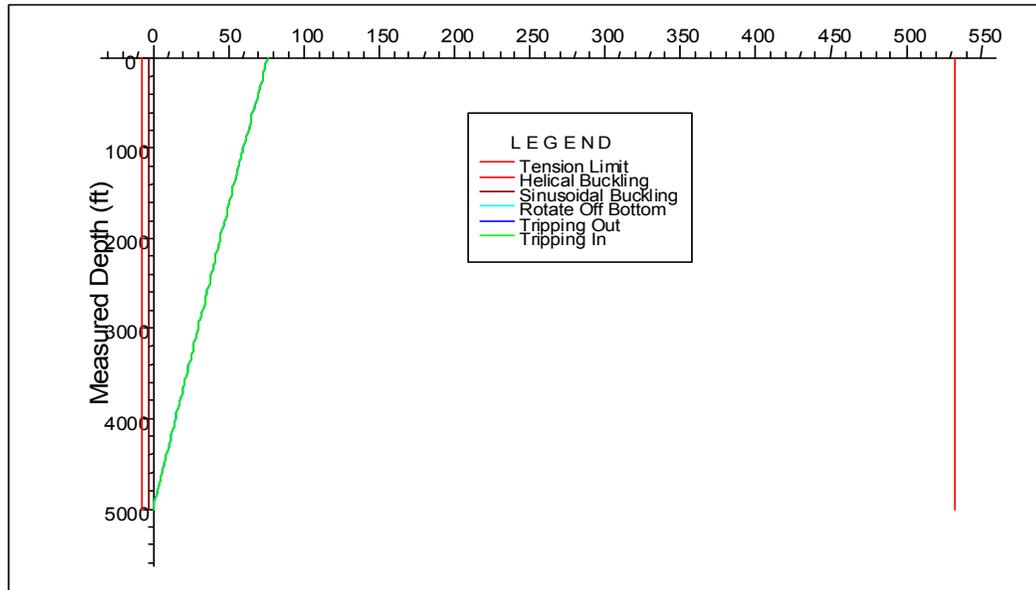


Figura VI 38 Corrida del Revestidor Intermedio

VI 11.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

El diseño de torque y arrastre para las sartas no se realizó en el programa de perforación aunque si se revisó los valores arrojados por el simulador.

VI 11.3 OPERACIONES DE CAMPO

En esta fase no se realizó el diseño de torque y arrastre para las sartas, debido a que no se ejecutó ningún tipo de simulación.

VI 12 HIDRÁULICA DE SARTAS

VI 12.1 DISEÑO VCD

De la misma forma bajo la cual se manejó el análisis de torque y arrastre, utilizando la información definida para los ensamblajes de fondo, los revestidores, los diámetros de hoyos a perforar y los fluidos a utilizar durante la perforación, se realizó la evaluación de los requerimientos de limpieza de los hoyos para las diferentes fases de perforación. En este caso, se empleó el módulo de hidráulica de la aplicación de ingeniería Well Plan.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para la corrida de hidráulica del hoyo intermedio:

The screenshot shows a software interface for hydraulic calculations. It is divided into three main sections:

- Pump Rate:** Pump Rate: 500.0 gpm; Maximum Pump Pressure: 2000.0 psi.
- Options:**
 - Use Roughness: Pipe 0.0000 in, Annulus 0.0000 in.
 - Include Tool Joint Pressure Losses:
 - Include Mud Temperature Effects:
 - Use String Editor Nozzles: (with a 'Nozzles...' button).
- Quick Look:**
 - Stand Pipe Pressure: 2110.3 psi
 - Bit Pressure Loss: 776.5 psi
 - Bit Impact Force: 755.4 lbf
 - Bit Hydraulic Power: 226.5 hp
 - Percent Power at Bit: 36.80 %
 - HSI: 4.0 hp/in²
 - Impact Force: 755.4 lbf
 - Velocity: 297.6 ft/s

Figura VI 39 Corrida de Hidráulica del Hoyo Intermedio

Los resultados muestran que el porcentaje de potencia hidráulica o pérdida de presión que es atribuida a la mecha es de 36.8% para una tasa de bombeo de 500 gpm. De igual forma, la potencia hidráulica por pulgada cuadrada (HSI) es de 4.0 hp / in².

VI 12.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

La ingeniería de detalle, realizó los cálculos para cada etapa, según las capacidades de la bomba, el diámetro del hoyo y las tuberías, con el fin de recomendar las emboladas, presión y caudal de las bombas, que se debieron seguir en campo para obtener una limpieza adecuada del hoyo. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla VI 62 Hidráulica del Hoyo de Superficie

| EPM | GPM | V _{an} (Pie/min) | V _{crit} (Pie/min) | GPM _{crit} | H.S.I (Hp/in ²) | E.C.D (Lpg) | Presión (Lpc) |
|-----|-----|------------------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------|------------------|
| 120 | 456 | 46 | 199 | 1967 | 0,77 | 8,66 | 838 |

Tabla VI 63 Hidráulica del Hoyo Intermedio

| EPM | GPM | V_{an} (Pie/min) | V_{crit} (Pie/min) | GPM_{crit} | H.S.I (Hp/in²) | E.C.D (Lpg) | Presión (Lpc) |
|------------|------------|---|---|---------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|
| 170 | 646 | 184 | 376 | 1320 | 1,88 | 9,84 | 2.235 |

Tabla VI 64 Hidráulica del Hoyo Original 6 1/8" y Ampliado a 16"

| EPM | GPM | V_{an} (Pie/min) | V_{crit} (Pie/min) | GPM_{crit} | H.S.I (Hp/in²) | E.C.D (Lpg) | Presión (Lpc) |
|------------|------------|---|---|---------------------------|--|------------------------------|--------------------------------|
| 140 | 532 | 489 | 520 | 566 | 1,66 | 9,47 | 2098 |

VI 12.3 OPERACIONES DE CAMPO

VI 12.3.1 Hoyo de superficie 12 ¼”:

Para el hoyo de superficie, las emboladas por minuto se mantuvieron en el promedio recomendado, pero se utilizó una presión de bombas mucho menor a la programada (408 lpc), con una tasa de 100 gpm menor a la diseñada (353 gpm).

VI 12.3.2 Hoyo intermedio 8 ½”:

En esta sección, los parámetros de las bombas en superficie no se mantuvieron constantes debido a todos los problemas por pérdidas de circulación, pero en un principio, se empezó a perforar con menor cantidad de emboladas en la bomba (140 epm), que se traducían en la disminución de caudal hacia el hoyo, 472 gpm, en lugar de 646 gpm, ejerciendo las bombas una presión en superficie alrededor de 1500 lpc, es decir, 700 lpc menos.

Cuando se presentaron los problemas por atascamiento de la sarta, estos parámetros variaron en diferentes oportunidades, pero nunca alcanzaron los valores especificados por el programa de perforación.

VI 12.3.3 Hoyo original 6-1/8”, ampliado 13”:

Para la perforación del hoyo de 6-1/8", no se realizó la planificación de los parámetros hidráulicos, sin embargo, se utilizó una presión de bombas de 1336 lbs, con 104 emboladas por minuto, obteniendo una buena tasa de penetración.

La fase ampliada a 13", debido a la deficiencia de los escariadores, los parámetros de hidráulica debieron de ser cambiados en dos ocasiones para experimentar mayor tasa de penetración, pero siempre se mantuvieron muy por debajo de los valores programados por la ingeniería de detalle

VI 13 CEMENTACIÓN DE REVESTIDORES

VI 13.1 DISEÑO VCD

En la simulación de las operaciones de cementación de los revestidores de superficie e intermedio, se utilizó la información generada de las aplicaciones de ingeniería. Para ello se empleó el módulo Cementación de la aplicación de ingeniería Well Plan[®].

VI 13.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

Este programa no corrió el simulador Well Plan[®] para la cementación de revestidores, pero si verificó los valores arrojado por este para corroborar si el diseño empleado soportaba las presiones hidrostáticas de las lechadas.

VI 13.3 OPERACIONES DE CAMPO

En esta fase no se realizó la simulación de la cementación de revestidores, ya que en campo no se ejecuta ningún software de simulación.

VI 14 PROGRAMA DE CAPTURA DE INFORMACIÓN

VI 14.1 DISEÑO VCD

Los programa de perfiles y de toma de muestras definido para las diferentes fases de construcción del pozo fue:

VI 14.1.1 Programa de registros eléctricos:

Se programó medir un total de ocho registros por medio de guaya eléctrica, para el hoyo intermedio, compuestos por las siguientes herramientas, véase tabla VI 65.

Tabla VI 65 Registros Programados para el Pozo ES-451

| SERVICIO | Profundidad (pie) | |
|--|----------------------|-------|
| | Desde | Hasta |
| Inducción Dual Latero Log- Gamma Ray | 1200 | 5000 |
| Densidad/Neutrón – Gamma Ray | 1200 | 5000 |
| Sónico Dipolar – Gamma ray | 1200 | 5000 |
| Potencial Espontáneo – Caliper – Gamma ray | 1200 | 5000 |
| CMR (Resonancia Magnética Nuclear) – Gamma Ray (Zonas con Núcleos) | 725 | |
| RFT (Medidor de Presión de Formación y Muestra de Fluidos) – Gamma Ray Espectral | 12 Puntos | |
| Dipmeter (Zona con Núcleos) | 725 | |
| Check Shot (Sísmica) | 1200 | 5000 |

VI 14.1.2 Toma de núcleos:

Se programó inicialmente, realizar 3 tomas de núcleos a la formación, comprendida en las arenas P1, P2, R4L, TU y U2M, con un total de 300', con el fin de obtener información reciente y confiable de las propiedades tanto de la formación como del fluido de la misma, por medio de los estudios de laboratorio.

Los intervalos diseñados por la VCD se muestran a continuación en la tabla VI 66

Tabla VI 66 Intervalos Planificados para la Toma de Núcleos

| Desde (pie) | Hasta (pie) | Espesor (pie) | Arena |
|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| 3795 | 3855 | 60 | P1 – P2 |
| 4090 | 4120 | 30 | R4L |
| 4280 | 4490 | 210 | TU – U2M |

VI 14.1.3 Muestras para análisis PVT:

Se programó realizarla en los núcleos tomados a las siguientes profundidades, las cuales corresponden a las arenas que se muestran en la tabla VI 67

Tabla VI 67 Profundidad y Arena de las muestras PVT

| Profundidad [pie] | Arena |
|------------------------------|--------------|
| 3815 | P2 |
| 4100 | R4L |
| 4340 | U1U |

VI 14.1.4 Muestra de pared y presión:

Se programó tomar 12 puntos por la herramienta RFT (Resistivity Formation Test) y fueron asignados a distintas profundidades, en las cuales por medio de correlaciones estratigráficas, se encontraban en las arenas como lo muestra la tabla VI 68.

Tabla VI 68 Profundidades Programadas para la Muestras de Toma de Pared

| Profundidad [pie] | Arena |
|------------------------------|--------------|
| 3510 | M1 |
| 3660 | N1 |
| 3815 | P2 |
| 4100 | R4L |
| 4282 | TU |
| 4340 | U1U |
| 4400 | U1M |
| 4420 | U1L |
| 4435 | U2U |
| 4462 | U2M |
| 4500 | U3 |
| 4602 | U4 |
| 4683 | U5 |
| 4790 | U8U |

14.1.5 Toma de muestras de canal:

Esta captura de información, no fue programada por la VCD, ya que esto se planificó a último momento, por petición de los geólogos del convenio, para ir correlacionando en sitio la geología del pozo.

14.1.6 Multishot:

Esta herramienta medición de desviación, no se programó en esta sección.

VI 14.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN**VI 14.2.1 Toma de registros eléctricos:**

Debido al cambio en la profundidad total del pozo, de 5000 pie a 4430 pie, las longitudes de toma de registros fueron también modificadas, pero cumpliendo el objetivo de correr el registro en la totalidad del hoyo.

Los registros programados fueron iguales a los diseñados por el VCD, con la modificaciones en la corrida del RFT, la cual solo se iba a realizar en 10 puntos y en la disminución del recorrido de las herramientas de resonancia magnética y Dipmeter, de 725 pie a 665 pie.

La toma de registros programada por la ingeniería de detalle quedó como se muestra en la tabla VI 69.

Tabla VI 69 Registros Programados para el Pozo ES-451

| SERVICIO | Profundidad (pie) | |
|--|----------------------|-------|
| | Desde | Hasta |
| Inducción Dual Latero Log- Gamma Ray | 1200 | 4430 |
| Densidad/Neutrón – Gamma Ray | 1200 | 4430 |
| Sónico Dipolar – Gamma ray | 1200 | 4430 |
| Potencial Espontáneo – Caliper – Gamma ray | 1200 | 4430 |
| CMR (Resonancia Magnética Nuclear) – Gamma Ray (Zonas con Núcleos) | 665 | |
| RFT (Medidor de Presión de Formación y Muestra de Fluidos) – Gamma Ray Espectral | 10 Puntos | |
| Dipmeter (Zona con Núcleos) | 665 | |
| Check Shot (Sísmica) | 1200 | 4430 |

VI 14.2.2 Toma de núcleo:

Inicialmente se propuso realizar lo diseñado por la VCD, pero luego de discusiones con los especialistas en la materia, se decidió disminuirlo 90 pie, es decir, solamente realizar 210 pie de corte, comprendido en dos intervalos, en las cuales se esperó encontrar las siguientes arenas del yacimiento SOC-03.

Tabla VI 70 Intervalos Planificados para la Toma de Núcleos

| Desde (pie) | Hasta (pie) | Espesor (pie) | Arena |
|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| 3795 | 3855 | 60 | U1U |
| 4280 | 4430 | 50 | U1M |

VI 14.2.3 Muestras para análisis PVT:

Se programó realizarla en los núcleos tomados en las profundidades y arenas descritas en la sección VI 14.1.2

VI 14.2.4 Muestra de pared y presión:

Las profundidades a las cuales iban a hacerse las pruebas a través del RFT, no se reportaron, pero si sufrieron alteraciones, debido a que estaban siendo discutidas y analizadas por los geólogos e ingenieros de yacimientos del proyecto.

VI 14.2.5 Muestras de canal:

La toma, estudio y análisis de muestras de ripios, se programó a último momento, ya que se necesitaba obtener un registro geológico detallado del pozo con el fin de ir correlacionándolo con pozos vecinos.

Esta toma de muestras de canal, se diseñó empezarla a ejecutar al iniciar la perforación del hoyo intermedio y finalizarla con la última etapa, es decir, el hoyo original de 6 1/8".

VI 14.2.6 Multishot:

Se diseñó realizar un registro de desviación del pozo, para registrar la verticalidad y rumbo del mismo, hasta la perforación del hoyo intermedio.

VI 14.3 OPERACIONES DE CAMPO

VI 14.3.1 Toma de registros eléctricos:

Los registros petrofísicos se tomaron a partir de 1200 pie, lugar donde se encontraba la zapata del hoyo superficial, hasta la profundidad total perforada, es decir, 4439 pie, pero comprendida en dos etapas: la primera, el hoyo intermedio de 8 ½”, y la segunda el hoyo original de 6 1/8” el cual fue luego ampliado a 13”. A continuación se muestra una síntesis de lo ocurrido en cada etapa:

VI 14.3.1.1 Hoyo intermedio 8 ½”:

Se bajaron 6 ensamblajes eléctricos en lugar de los 8 diseñadas en los programas anteriores, pero en sí sólo se eliminó un registro, el Dipmeter, ya que el potencial espontáneo y el caliper se corrieron en un solo ensamblaje con la primera herramienta.

La tabla VI 71, muestra la secuencia de las herramientas utilizadas para esta fase, el tiempo de duración aproximado de la corrida y la velocidad de a la cual fueron registradas.

Tabla VI 71 Registros Realizados para el Pozo ES-451, Hoyo 8 ½”

| SERVICIO | T _{duración} (hrs) | V _{viaje} (pie/min) | Profundidad (pie) | |
|---|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|-------|
| | | | Desde | Hasta |
| Inducción Dual Latero Log- Gamma Ray – SP – Caliper | 9 | 30 | 1200 | 4340 |
| Densidad/Neutrón – Gamma Ray (espectral) | 3,5 | 30 | 1200 | 4340 |
| Sónico Dipolar – Gamma ray | 12,5 | 10 | 1200 | 4340 |
| CMR (Resonancia Magnética Nuclear) – Gamma Ray (Zonas con Núcleos) (MRIL) | 6 | - | 1930 | 4340 |
| RFT (Medidor de Presión de Formación y Muestra de Fluidos) – Gamma Ray Espectral | 5 | 30 | 16 Puntos | |
| VSP (Sísmica) | 11 | - | 1200 | 4340 |
| | | | 119 niveles | |

El intervalo a registrar por el CMR fue de 940 pie, 275 pie más que el programado.

En el registro del MRIL o CMR, se observó que existe una arena con hidrocarburo de aproximadamente 70 pie entre los 3630 pie y 3700 pie, de los cuales 30 pie se observaron que poseían gas (3644'-3676), con una alta permeabilidad, por lo que se supuso que las manifestaciones de gas, cuando hubo la pérdida de fluido, provinieron de este intervalo, además se observó dos arenas de hidrocarburos que se encuentran entre los 3750 pie y 3780 pie aproximadamente, por las cuales se presumió que fue por donde la pérdida del fluido de perforación ocurrió.

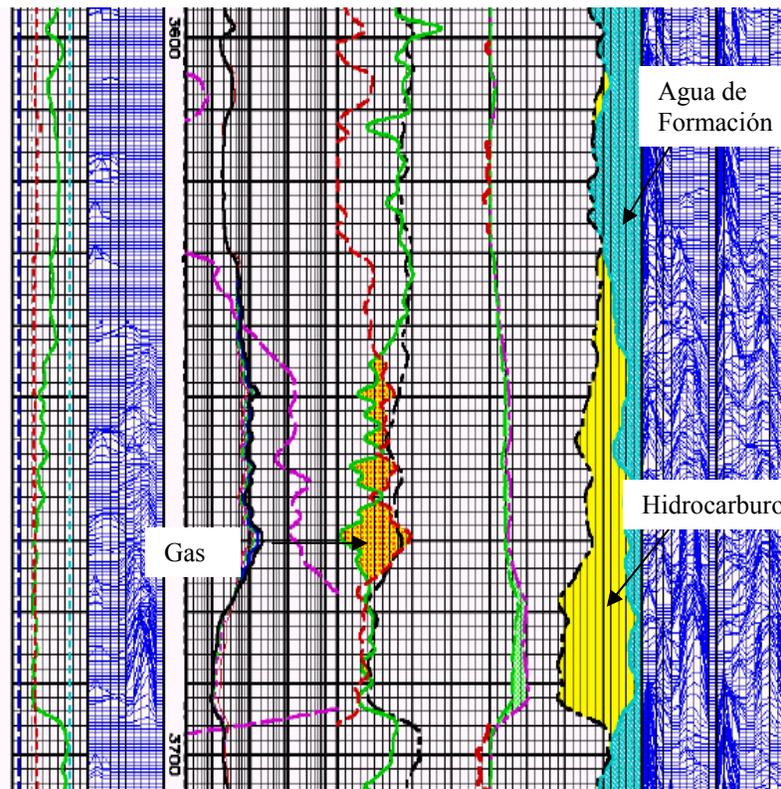


Figura VI 40 Registro MRIL entre 3600' y 3700', Arena N-1-2

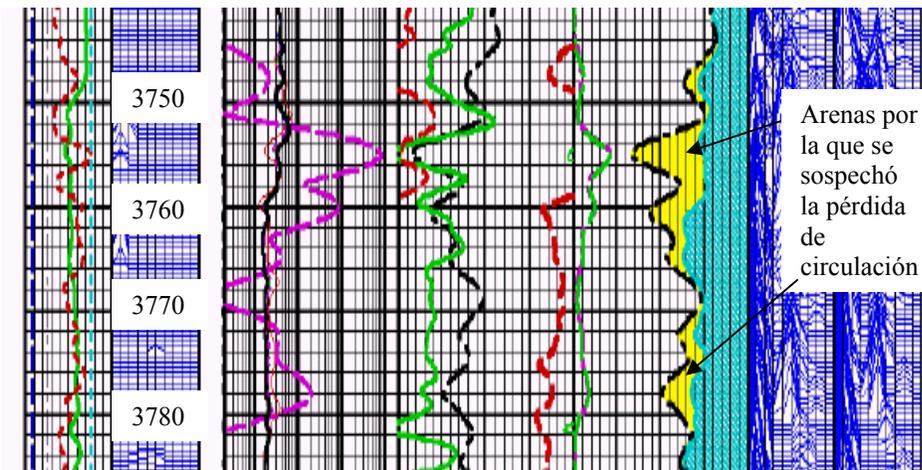


Figura VI 41 Registro MRIL entre 3750' y 3780'

Para la corrida de registros de esta primera fase, no hubo ningún tipo de inconveniente. La única operación a resaltar fue que se realizó un acondicionamiento del lodo en el hoyo antes de bajar la cuarta herramienta, lo que incluyó armar y bajar el ensamblaje de perforación hasta el fondo del hoyo, debido a que el fluido de perforación presentaba altos geles estáticos ocasionado por el tiempo prolongado que estuvo el mismo sin circular (aproximadamente 28 horas), y esto se manifestaba al momento de subir la herramienta originando altas tensiones en la guaya.

El lodo utilizado con los que se corrió para estos registros eléctricos fue un fluido viscoelástico, debido a las buenas propiedades que tiene como conductor eléctrico.

VI 14.3.1.2 Hoyo original 6 1/8":

En esta tercera fase, se corrió el registro eléctrico justo después de perforar el hoyo de 6 1/8" y antes de ampliarlo a 13", desde la profundidad de 4439 pie, base de la arena UL1, hasta la zapata del revestidor de 7" (4340 pie)

Se corrieron 4 ensamblajes eléctricos con las herramientas petrofísicas, compuesta de la siguiente manera:

Tabla VI 72 Registros Realizados para el Pozo ES-451, Hoyo 6-1/8”

| SERVICIO | Profundidad (pie) | |
|--|-------------------|-------|
| | Desde | Hasta |
| Inducción Dual Latero Log- Gamma Ray- SP- Caliper | 4340 | 4439 |
| Densidad/Neutrón – Gamma Ray (saturación) | 4340 | 4439 |
| Sónico Dipolar – Gamma ray | 4340 | 4439 |
| RFT (Medidor de Presión de Formación y Muestra de Fluidos) – Gamma Ray Espectral | 2 Puntos | |

La herramienta CMR y VSP no se realizaron debido a la información recabada en el hoyo anterior, la cual fue suficiente para los propósitos geológicos de la zona y mejorar las correlaciones estratigráficas de la zona que se han hecho hasta la fecha.

En la corrida del registro de saturación, la arena U1M (4398’-4420’), presentó pequeñas cantidades de gas y con excelente permeabilidad.

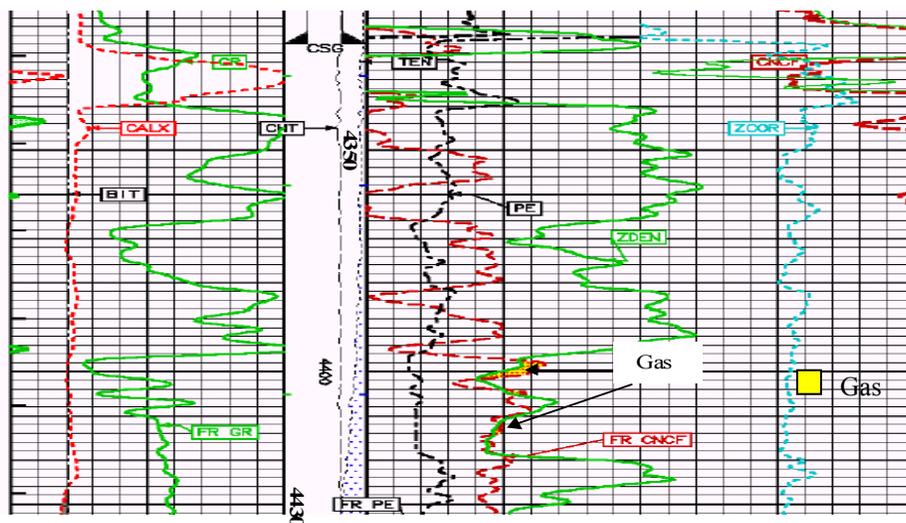


Figura VI 42 Corrida del CN en el hoyo de 6-1/8”

El tiempo de ejecución para estas herramientas fue de 12 hr aproximadamente, y no existió ningún tipo de inconveniente mientras se corrieron, utilizando fluido de perforación del tipo polimérico o viscoelástico.

VI 14.3.2 Programa de toma de núcleos:

Esta actividad se inició a la profundidad de 3777 pie y se terminó a 3895 pie, del yacimiento SOC-3, cortándose 118,58 pie en 9,71 hr para una rata de penetración de 12,21 pie/hr y se recobraron 113,08 pie para 95,4% de recuperación.

Para la toma del núcleo se utilizó una herramienta con sistema de doble de retención la cual permitió tomar formaciones consolidadas y no consolidadas. Con un diámetro de la corona igual a 8 ½”.

La manga de los núcleos se cortó en intervalos de 3 pie y se congelo con hielo seco, almacenándolo en cavas para conservar su integridad hasta su traslado al laboratorio donde se le realizó las pruebas programadas. El procedimiento de toma de núcleos se especifica en el anexo D

Los núcleos fueron tomados de la siguiente manera:

VI 14.3.2.1 Núcleo N° 1:

Se tomó desde la profundidad de 3777 pie hasta 3799 pie, con los siguientes parámetros:

Tabla VI 73 Parámetros para la Toma del Núcleo N° 1

| PSM [klbs] | GPM | RPM | P_{fondo} [lpc] | Densida d [lb/gal] |
|-----------------------------|------------|------------|--|-------------------------------------|
| 3-7 | 210 | 50-75 | 400-550 | 10,7 |

Debido a que se obtuvo baja tasa de penetración por el atascamiento en la zapata, se decidió sacar la sarta, y se evaluó la corona con el código IADC. Los valores determinados se muestran en la tabla VI 74.

Tabla VI 74 Revisión IADC, para la Corona

| I | O | D | L | B | G | O | RP |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 0 | 0 | NO | A | X | I | NO | ROP |

Tabla VI 75 Resultado de la Toma del Núcleo N° 1

| Intervalo [pie] | Tiempo [horas] | ROP [pie/hr] | Recuperado [pie] | % Recuperación |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 22 | 6,2 | 3,55 | 21,25 | 95,59 |

La litología encontrada en este intervalo de 22 pie fue en su mayoría 100% lutita, con arena sucia (70% lutita y 30% arena) en 3784 pie.

VI 14.3.2.2 Núcleo N° 2:

Se tomó desde la profundidad de 3799 pie hasta 3831 pie, con los siguientes parámetros:

Tabla VI 76 Parámetros para la Toma del Núcleo N° 2

| PSM [klbs] | GPM | RPM | P_{fondo} [lpc] | Densidad [lb/gal] |
|-----------------------|------------|------------|------------------------------------|------------------------------|
| 5 | 215 | 60 | 450 | 10,7 |

Durante la corrida de este núcleo no se observó problemas en cuanto a los parámetros de perforación, se sacó hasta la superficie la sarta, sin presentar la corona desgaste alguno. Se evaluó la corona con el código IADC. Los valores determinados se muestran en la tabla VI 77

Tabla VI 77 Revisión IADC, para la Corona

| I | O | D | L | B | G | O | RP |
|---|---|----|---|---|---|----|----|
| 0 | 0 | NO | A | X | I | NO | C3 |

Tabla VI 78 Resultado de la Toma del Núcleo N° 2

| Intervalo [pie] | Tiempo [horas] | ROP [pie/hr] | Recuperado [pie] | % Recuperación |
|--------------------|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------|
| 32 | 0,86 | 37,21 | 32 | 100 |

La litología encontrada en este intervalo de 32 pie fue en los primeros 4 pie de lutita, aproximadamente 10 pie de arena, 3 pie de lutita, un lente de carbón de alrededor 1 pie, seguido por arena sucia (60% lutita y 40% arena) hasta 3828 pie, culminando con una lutita de 4 pie aproximadamente.

Mientras se tomaba esta muestra en campo, se podía suponer cuando la corona atravesaba una arena, debido al aumento en la tasa de penetración, de hecho si se compara este parámetro con el del núcleo 1, se puede observar una marcada diferencia.

VI 14.3.2.3 Núcleo N° 3:

Se tomó desde la profundidad de 3831 pie hasta 3863,58 pie, con los siguientes parámetros:

Tabla VI 79 Parámetros para la Toma del Núcleo N° 3

| PSM [klbs] | GPM | RPM | P _{fondo} [lpc] | Densidad [lb/gal] |
|---------------|-----|-------|-----------------------------|----------------------|
| 5 | 210 | 60-72 | 550 | 10,7 |

Después de cortados 32,58 pie, no se pudo avanzar más con el corte, y determinando que la manga del portanúcleos estaba llena. Se sacó ésta a superficie y se evaluó al igual que en las veces anteriores. Los valores determinados se muestran en la tabla VI 80

Tabla VI 80 Revisión IADC, para la Corona

| I | O | D | L | B | G | O | RP |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 0 | 0 | NO | A | X | I | NO | C4 |

Tabla VI 81 Resultado de la Toma del Núcleo N° 3

| Intervalo [pie] | Tiempo [horas] | ROP [pie/hr] | Recuperado [pie] | % Recuperación |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 32,58 | 1,25 | 26,06 | 32,58 | 100 |

La litología encontrada en este intervalo de 32,58 pie fue en los primeros 11 pie de arena, aproximadamente 4 pie de lutita, un lente de arena sucia (30% lutita y 70% arena) de alrededor de 2 pie, 8 pie de lutita y el último pie del portanúcleo en igual cantidad, de arena como lutita.

VI 14.3.2.4 Núcleo N° 4:

Se tomó desde la profundidad de 3863 pie hasta 3895 pie, con los siguientes parámetros:

Tabla VI 82 Parámetros para la Toma del Núcleo N° 3

| PSM [klbs] | GPM | RPM | P_{fondo} [lpc] | Densidad [lb/gal] |
|-----------------------|------------|------------|------------------------------------|------------------------------|
| 3-7 | 212-220 | 60-75 | 450-520 | 10,7 |

No hubo ningún tipo de inconveniente en este último tramo, se sacó la manga a superficie debido a que se llegó a la profundidad requerida, se evaluó la corona según el código IADC. Los valores determinados se muestran en la tabla VI 83.

Tabla VI 83 Revisión IADC, para la Corona

| I | O | D | L | B | G | O | RP |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 0 | 0 | NO | A | X | I | NO | TD |

Tabla VI 84 Resultado de la Toma del Núcleo N° 4

| Intervalo [pie] | Tiempo [horas] | ROP [pie/hr] | Recuperado [pie] | % Recuperación |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 32 | 1,36 | 23,53 | 27,25 | 85,16 |

La litología encontrada en este intervalo de 32 pie fue en su mayoría lutita, con escasas 3 intercalaciones muy pequeñas de arena con pequeñas proporciones de lutitas, presentes a los 3870 pie, 3885 pie y 3891 pie.

VI 14.3.3 Muestras para análisis y PVT:

Estos estudios no se realizaron en campo, sino en laboratorios especiales por medio de las muestras de núcleos tomadas y los fluidos que allí se encontraban.

VI 14.3.4 Muestras de presión:

VI 14.3.4.1 Hoyo intermedio 8 ½”:

Las muestras de presión tomadas por el RFT para esta etapa, superó en cantidad a las planeadas en el programa de perforación, una de las razones fue porque se deseó conocer las presiones en ciertas arenas para verificar si alguna de estas poseían subpresiones o presiones anormales por las cuales se pudo producir la pérdida de circulación, además de las permeabilidades existentes en estas arenas.

Las profundidades y las presiones registradas, con los gradientes calculados se muestran en la tabla VI 85.

Tabla VI 85 Presiones Registradas por el RFT para el hoyo de 8- 1/2"

| Profundidad [pie] | Presión [lpc] | Gradiente [lpc/pie] | Permeabilidad [mDarcy] | Arena |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 2182 | 731 | 0,3350 | 4229 | A11 |
| 2424 | 834 | 0,3441 | 19062 | D3U |
| 2833 | 976 | 0,3445 | 3215 | F8 |
| 2974 | 1027 | 0,3453 | 702 | H-4-5-6 |
| 3000 | 1039 | 0,3463 | 23 | H-4-5-6 |
| 3251 | 1223 | 0,3762 | 5 | J3 |
| 3426 | 1246 | 0,3637 | 3254 | L3 |
| 3650 | 1331 | 0,3647 | 130 | N1-2 |
| 3670 | 1331 | 0,3627 | 12789 | N1-2 |
| 3690 | 1337 | 0,3623 | 1308 | N1-2 |
| 3813 | 1353 | 0,3548 | 5176 | P1 |
| 3836 | 1502 | 0,3916 | 88 | P2 |
| 3892 | 1430 | 0,3674 | 455 | ROU |
| 3903 | 1421 | 0,3618 | 598 | ROM |
| 4111 | 1535 | 0,3734 | 2294 | R4L |

Los gradientes calculados, demostraron que las arenas del yacimiento SOC-3 no se encuentran hidrostáticamente presurizadas, debido a que los gradientes registrados están por debajo del rango de 0,433 lpc/pie a 0,466 lpc/pie, de hecho, el gradiente promedio para estas arenas, fue de 0,3598 lpc/pie, lo que indicó que poseen subpresiones.

VI 14.3.4.2 Hoyo original 6 1/8":

En esta última etapa, se tomó solamente 2 pruebas, las cuales fueron para las arenas objetivo. Las presiones determinadas por la RFT mediante la prueba de restauración de presión fueron las siguientes:

Tabla VI 86 Presiones Registradas por el RFT para el hoyo 6-1/8"

| Profundidad [pie] | Presión [lpc] | Gradiente [lpc/pie] | Permeabilidad [mDarcy] | Arena |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| 4369 | 1433 | 0,3280 | 104 | UIU |
| 4398 | 1635 | 0,3716 | 3749 | UIM |

Al igual que los gradientes calculados en la sección VI 14.2.4.1, se puede observar que estas arenas en este yacimiento también presentaron subpresiones, con cambios de presión por cada pie muy parecidas a las anteriores, además la arena UIM, presentó una buena permeabilidad.

VI 14.3.5 Muestras de canal:

El objetivo de recabar estas muestras fue identificar a través del reconocimiento y evaluación geológica, el modelo lito estratigráfico del subsuelo, mediante la aplicación de procedimiento y procesos seguros durante el manejo de las muestras litológicas de canal en superficie (exactamente en las zarandas) ayudado por los objetivos trazados por la empresa operadora en su plan original de perforación.

Estas muestras de canal se tomaron desde el comienzo de la perforación del hoyo intermedio (1210 pie) y se realizó con una frecuencia de 30 pie y 10 pie hasta la profundidad de 3777 pie, luego se cambió este parámetro a cada 10 pie, 3 pie y 2 pie en la última etapa, de 4340 pie hasta 4439 pie.

En este programa de captura de información se llevó un control, para reconocer, determinar y dar repuestas al registro correlativo de la profundidad de retorno en superficie (medida y vertical), perteneciente al intervalo de la muestra litológica de la formación geológica atravesada durante la perforación.

Las tomas de muestra de canal se hicieron en tiempo real, mediante la aplicación de las fórmulas basadas en la teoría de los volúmenes de los cilindros concéntricos para realizar los cálculos continuos que permitan determinar la profundidad de retorno, el tiempo de retorno y las emboladas de retorno, de acuerdo a la eficiencia, capacidad, caudal, y emboladas por minutos de la bomba, tomando en cuenta los diámetros del equipo de fondo que componen la sarta direccional o vertical y el esquema del diagrama mecánico del pozo.

A cada muestra litológica de canal recuperada en superficie, se le realizó los análisis físicos y químicos, para:

- ❑ Generar registro y medición de porcentaje de litología.
- ❑ Característica física de la roca, a través de un microscopio estereoscopio con aumento de 1.5X en acercamiento y 10X en oculares.
- ❑ Marcadores litológicos
- ❑ Minerales
- ❑ Tamaño y esfericidad del grano
- ❑ Propiedades física, hidratación, solubilidad y dispersión de los componentes de las arcillas y lutitas en el proceso del tamizado, por medio de mallas N° 8 0.236mm, 40 (425 micrones), 80 (180 micrones) y 200 (75 micrones, y recogidas en porta muestras, como se exhibe en la figura VI 83.



Figura VI 43 Tamiz y Toma Muestra

- ❑ Nivel de concentración de carbonato de calcio soluble (CaCO_3).

- ❑ Nivel de concentración de hidrocarburo.

Las muestras capturadas en las zarandas, eran secadas en un horno (figura VI 44) y se almacenaban en sobres debidamente identificados con la profundidad que fueron tomadas, las cuales fueron entregadas al convenio, y a la máxima casa de estudios del país.



Figura VI 44 Horno para Secar las Muestras

Cuando se encontraba arena en los ripios, se le añadía acetona a los mismos y se les exponía a la luz ultra violeta para observar su fluorescencia y determinar si poseían algún tipo de hidrocarburo, y en caso de haberlo, dar un aproximado de su ° API.

El aumento de la frecuencia en tomar las muestras de canal para la última fase (Hoyo de 6 1/8", ampliado a 13"), fue debido porque se presumía, por data de pozos cercanos de la zona, que existe un acuífero de gran tamaño por debajo de la arena U1U,M, por lo tanto no se deseaba penetrarlo, para evitar una conificación temprana del agua.

Además la empresa de servicios de geología, apoyó directamente en el pozo a través de la vivencia con muestra de canal aportada durante la fase de perforación al Geólogo encargado; para que pueda, verificar continuamente a través de un Microscopio la litología en estado físico y complementar esta información suministrada en tiempo real con los registros eléctricos, para obtener información adicional que le permitió mejorar la capacidad de repuesta a los objetivos comunes propuestos; tales como:

- ❑ Puntos de entrada para toma de núcleo.
- ❑ Continuidad litológica del Pozo.

- ❑ Puntos de asentamiento de revestidores.
- ❑ Tope de Las Formaciones geológicas atravesadas.
- ❑ Tope del Yacimiento.
- ❑ Punto de fondo del Pozo.

VI 14.3.5.1 Composición general de la litología observada:

En las arenas, era de color gris claro a blanco, se presentó cuarzo cristalino, grano medio a grueso, subangular a subredondeado, moderadamente escogido, en algunos intervalos presentó un crecimiento en el grano de cuarzo, con notable disminución en otros intervalos hasta alcanzar comportamientos continuos de fino a muy fino muy observables en las mallas mesh (tamiz # 200, de 75 mic.).

La lutita poseía color gris verdosa, se presentó con propiedades física, blanda a moderadamente firme, hidratable y soluble con dispersión de sus componentes, era muy común observar de color beige, micacea y microcarbonosa, fisil, laminar, también con tonalidades verde claro, observa arcillosa, con accesorios como capas de lignitos y lutitas carbonosa de color beige, arcillas verdes y gris claro con esférulas de arcilla de color blanca a beige, esférulas de sideritas, restos de conchas de fósil, pirita.

En la secuencia se intercalaron lignitos en amplia extensión, especialmente en el área basal de Oficina, de color negro mate a brillante, moderadamente duro, en parte quebradizo, con fractura recta a subconcoidal.

La arena observaba en el corte de núcleo de 3777 pie a 3895 pie, presentó propiedades físicas, de color grisáceo a marrón claro, cuarzo cristalino, grano fino a muy fino, angular a subangular, regular a bien escogido, se presentó impregnada con hidrocarburo, con fluorescencia natural orgánica buena de color café – amarillo naranja y la velocidad de reacción estimulada con el reactivo acetona indica corte rápido, con reacción que forma una aureola rápida de color amarillo – blanco lechoso.

La arena observada durante la perforación desde 4360 pie hasta 4437 pie, se presentó con propiedades físicas, de color grisáceo a marrón claro, cuarzo cristalino, grano medio a grueso en parte muy grueso, angular a subangular hacia el tope y subangular a subredondeado hacia la base, regular a bien escogido, se presentó impregnada con hidrocarburo, con fluorescencia natural orgánica buena de color café – amarillo naranja y la velocidad de reacción estimulada con el reactivo acetona indicó corte rápido, con reacción que forma una aureola rápida de color amarillo – blanco lechoso.

En el apéndice H aparece definido la descripción de la litología por intervalo.

VI 14.3.6 Multishot:

Para utilizar esta herramienta de medición de desviación, se bajó previamente una sarta con un monel, para aislar magnéticamente el multishot del resto de la tubería y de esta manera no afectar las mediciones de rumbo y trayectoria.

Esta herramienta se introdujo por dentro de la tubería de perforación cuando la mecha se encontraba en el fondo del hoyo intermedio, dejándola caer libremente, y se programó en superficie para que tomara las mediciones cada 20 seg.

El operador del multishot, anotaba solamente los tiempos en los cuales la tubería se encontraba estática, y esto sucedía cuando se colocaban las cuñas a la sarta para desenroscar y sacar la pareja del hoyo, ya que no poseía ningún tipo de movimiento y las mediciones registradas eran confiables.

Se realizó la medición de la trayectoria y rumbo del hoyo intermedio, hasta la zapata del revestidor superficial, debido a que era la zona de interés.

Hubo problemas de pega de tubería cuando la herramienta estaba introducida en la tubería, por lo que existió un lapso de tiempo, mientras se trataba de sacar la sarta, que no se registraron las coordenadas grabadas por el multishot.

En definitiva, la segunda sección del pozo ES-451, tuvo un desplazamiento total de 18,47 pie con respecto a la rotaria, con coordenadas N 65,54 E (Az = 65,54).

La tabla de las mediciones registradas y los gráficos de rumbo y trayectoria se muestran a continuación (véase tabla VI 87 y figuras VI 45 y VI 46)

Tabla VI 87 Mediciones Registradas en el Pozo ES-451

| MD | INCLI | AZRaw | TVD | N / S | E / W | V S | D L | C D | CBrg |
|---------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| 1202,00 | 0,00 | 0,00 | 1202,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1298,00 | 0,66 | 84,35 | 1298,00 | 0,05 | 0,55 | 0,05 | 0,69 | 0,55 | 84,35 |
| 1360,00 | 0,64 | 97,17 | 1359,99 | 0,05 | 1,25 | 0,05 | 0,24 | 1,25 | 87,87 |
| 1422,00 | 0,57 | 92,79 | 1421,99 | -0,01 | 1,90 | -0,01 | 0,14 | 1,90 | 90,36 |
| 1484,00 | 0,72 | 96,37 | 1483,99 | -0,07 | 2,60 | -0,07 | 0,25 | 2,60 | 91,55 |
| 1546,00 | 0,66 | 100,34 | 1545,98 | -0,02 | 3,33 | -0,18 | 0,12 | 3,34 | 93,05 |
| 1608,00 | 0,69 | 103,15 | 1607,98 | -0,33 | 4,05 | -0,33 | 0,07 | 4,06 | 94,61 |
| 1670,00 | 0,69 | 109,34 | 1669,97 | -0,53 | 4,76 | -0,53 | 0,12 | 4,79 | 96,41 |
| 1732,00 | 0,55 | 119,07 | 1731,97 | -0,80 | 5,38 | -0,80 | 0,28 | 5,44 | 98,50 |
| 1794,00 | 0,52 | 103,44 | 1793,97 | -1,01 | 5,91 | -1,01 | 0,24 | 6,00 | 99,73 |
| 1856,00 | 0,57 | 87,61 | 1855,96 | -1,07 | 6,49 | -1,07 | 0,25 | 6,58 | 99,32 |
| 1918,00 | 0,54 | 85,80 | 1917,96 | 1,03 | 7,09 | -1,03 | 0,06 | 7,17 | 98,27 |
| 1980,00 | 0,46 | 91,51 | 1979,96 | -1,02 | 7,63 | -1,02 | 0,15 | 7,70 | 97,59 |
| 2042,00 | 0,37 | 116,70 | 2041,96 | -1,11 | 8,06 | -1,11 | 0,32 | 8,14 | 97,86 |
| 2104,00 | 0,53 | 101,52 | 2103,96 | -1,26 | 8,52 | -1,26 | 0,32 | 8,61 | 98,41 |
| 2166,00 | 0,26 | 106,04 | 2165,95 | -1,36 | 8,94 | -1,36 | 0,44 | 9,04 | 98,63 |
| 2290,00 | 0,31 | 130,42 | 2227,95 | -1,50 | 9,20 | -1,50 | 0,21 | 9,32 | 99,29 |
| 2228,00 | 0,23 | 148,67 | 2289,95 | -1,72 | 9,39 | -1,72 | 0,19 | 9,55 | 100,37 |
| 2352,00 | 0,18 | 182,35 | 2351,95 | -1,92 | 9,45 | -1,92 | 0,21 | 9,65 | 101,50 |
| 2414,00 | 0,08 | 216,82 | 2413,95 | -2,05 | 9,42 | -2,05 | 0,20 | 9,64 | 102,30 |
| 2476,00 | 0,17 | 213,38 | 2475,95 | -2,17 | 9,35 | -2,17 | 0,15 | 9,59 | 103,05 |

| | | | | | | | | | |
|---------|------|--------|---------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| 2538,00 | 0,18 | 205,32 | 2537,95 | -2,33 | 9,25 | -2,33 | 0,04 | 9,54 | 104,14 |
| 2600,00 | 0,13 | 165,22 | 2599,95 | -2,49 | 9,23 | -2,49 | 0,19 | 9,56 | 105,08 |
| 2662,00 | 0,06 | 285,30 | 2661,95 | -2,55 | 9,22 | -2,55 | 0,27 | 9,56 | 105,45 |
| 2724,00 | 0,18 | 307,96 | 2723,95 | -2,48 | 9,11 | -2,48 | 0,20 | 9,44 | 105,22 |
| 2786,00 | 0,27 | 353,62 | 2785,95 | -2,27 | 9,02 | -2,27 | 0,31 | 9,30 | 104,15 |
| 2848,00 | 0,49 | 334,79 | 2847,95 | -1,89 | 8,89 | -1,89 | 0,40 | 9,08 | 101,99 |
| 2910,00 | 0,63 | 327,17 | 2909,95 | -1,36 | 8,59 | -1,36 | 0,26 | 8,70 | 99,01 |
| 2972,00 | 0,71 | 321,11 | 2971,94 | -0,78 | 8,16 | -0,78 | 0,17 | 8,20 | 95,43 |
| 3034,00 | 0,85 | 321,10 | 3033,94 | -0,12 | 7,63 | -0,12 | 0,23 | 7,63 | 90,90 |
| 3096,00 | 0,66 | 323,70 | 3095,93 | 0,53 | 7,13 | 0,53 | 0,31 | 7,15 | 85,78 |
| 3158,00 | 0,51 | 351,62 | 3157,93 | 1,09 | 6,88 | 1,09 | 0,51 | 6,97 | 81,02 |
| 3220,00 | 0,62 | 1,43 | 3219,92 | 1,70 | 6,85 | 1,70 | 0,24 | 7,06 | 76,10 |
| 3282,00 | 0,52 | 2,61 | 3281,92 | 2,31 | 6,87 | 2,31 | 0,16 | 7,25 | 71,40 |
| 3344,00 | 0,47 | 14,81 | 3343,92 | 2,84 | 6,95 | 2,84 | 0,19 | 7,51 | 67,78 |
| 3406,00 | 0,61 | 33,63 | 3405,92 | 3,36 | 7,20 | 3,36 | 0,36 | 7,94 | 64,97 |
| 3468,00 | 0,42 | 31,38 | 3467,91 | 3,83 | 7,50 | 3,83 | 0,31 | 8,42 | 62,95 |
| 3530,00 | 0,43 | 31,00 | 3529,91 | 4,22 | 7,73 | 4,22 | 0,02 | 8,81 | 61,37 |
| 3592,00 | 0,46 | 14,32 | 3591,91 | 4,66 | 7,92 | 4,66 | 0,21 | 9,19 | 59,50 |
| 3654,00 | 0,94 | 59,35 | 3653,91 | 5,16 | 8,42 | 5,16 | 1,12 | 9,87 | 58,47 |
| 3716,00 | 0,94 | 58,13 | 3715,90 | 5,69 | 9,28 | 5,69 | 0,03 | 10,89 | 58,50 |
| 3778,00 | 0,57 | 77,06 | 3777,89 | 6,03 | 10,02 | 6,03 | 0,71 | 11,69 | 58,96 |
| 3840,00 | 0,90 | 73,66 | 3839,89 | 6,23 | 10,78 | 6,23 | 0,54 | 12,46 | 59,97 |
| 3902,00 | 0,49 | 42,12 | 3901,88 | 6,57 | 11,43 | 6,57 | 0,88 | 13,18 | 60,12 |
| 3964,00 | 0,88 | 73,51 | 3963,88 | 6,90 | 12,06 | 6,90 | 0,85 | 13,90 | 60,24 |
| 4026,00 | 1,02 | 59,04 | 4025,87 | 7,32 | 12,99 | 7,32 | 0,45 | 14,91 | 60,61 |
| 4088,00 | 0,84 | 77,88 | 4087,86 | 7,70 | 13,91 | 7,70 | 0,57 | 15,90 | 61,04 |
| 4150,00 | 0,62 | 78,88 | 4149,86 | 7,86 | 14,69 | 7,86 | 0,36 | 16,66 | 61,85 |
| 4212,00 | 0,64 | 88,79 | 4211,85 | 7,93 | 15,36 | 7,93 | 0,18 | 17,29 | 62,69 |
| 4274,00 | 0,85 | 103,08 | 4273,85 | 7,83 | 16,15 | 7,83 | 0,45 | 17,95 | 64,13 |
| 4320,00 | 0,85 | 108,31 | 4319,84 | 7,65 | 16,81 | 7,65 | 0,17 | 18,47 | 65,54 |

MD = Profundidad Medida; Incli = Angulo de Inclinación; AZRaw = Dirección

TVD = Profundidad Vertical Verdadera; VS = Sección Vertical; DL = Pata e' Perro

CD = Desplazamiento; CBrg = Dirección de Cierre

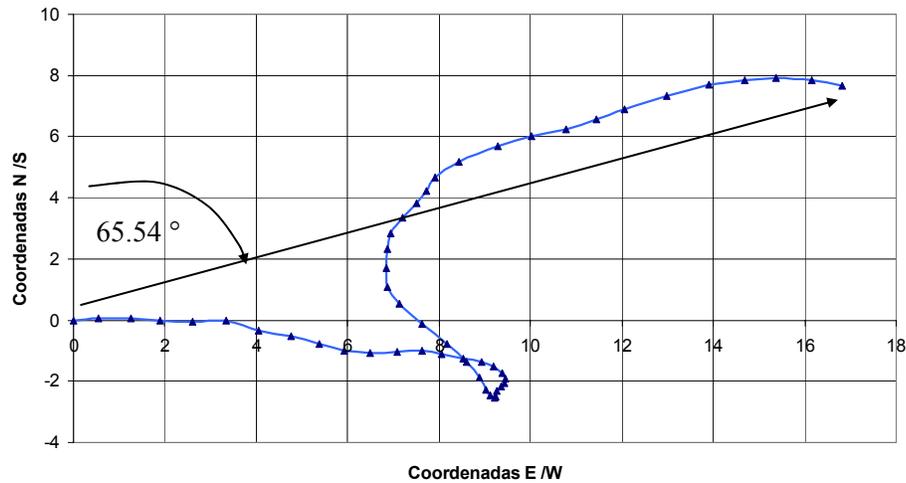


Figura VI 45 Vista de Planta de la Trayectoria del Pozo ES-451

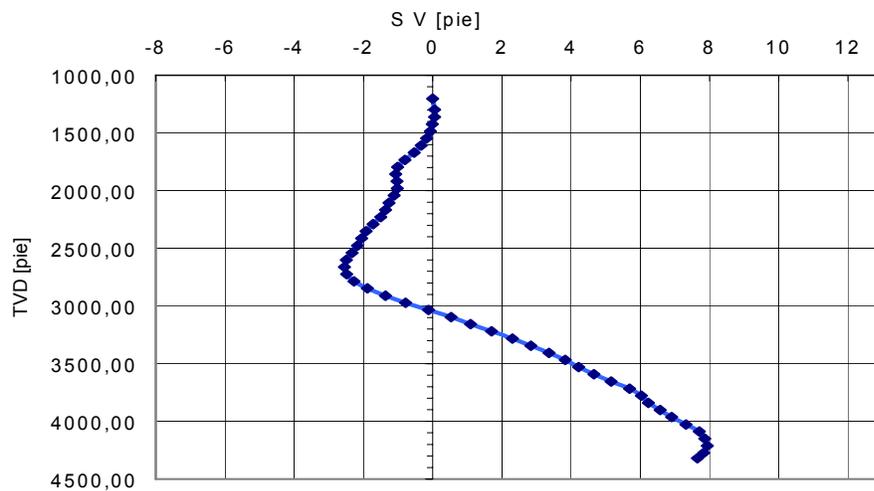


Figura VI 46 Vista de Perfil de la Trayectoria del Pozo ES-451

VI 15 DISEÑO DE COMPLETACION

VI 15.1 DISEÑO VCD

La completación se diseñó en función de la producción esperada para las localizaciones de los pozos verticales del Campo Socororo (380 BPPD) y de la data base generada por la aplicación de ingeniería STRESS CHECK[®]. Utilizando la aplicación WELLCAT[®] se evaluó el Diseño de Completación Sencillo con Bomba de Cavidad Progresiva y Tubería de 2-7/8" 6.5 Lb/Ft J-55 EUE.

La aplicación permitió realizar análisis de sensibilidad, simulando condiciones de trabajo tales como inyección de vapor, fracturamiento hidráulico, producción, cierre de producción y prueba de tubería. Entre la información generada podemos mencionar las Curvas del Limite de Diseño para la Tubería de Completación seleccionada y gráficos de barra de movimiento de la tubería, para este caso en particular no ocurre movimiento en la tubería de producción.

Las condiciones de diseño utilizados para la selección de la Tubería de Completación se muestran a continuación:

- ❑ Producción Esperada (Pozo Vertical): 380 BPPD
- ❑ Gravedad API: 20.5 °
- ❑ Relación Gas Petróleo: 500
- ❑ Presión de Poro: 1.700 lpc.
- ❑ Gradiente de Fractura: 2.800 lpc.
- ❑ Presión para la Inyección de Vapor: 2.200 lpc a 350 °F
- ❑ Presión de Prueba de Tubería de Completación: 4.000 lpc.
- ❑ Profundidad para la colocación de la Bomba: +/- 3.600 pie.

VI 15.1.1 Parámetros de diseño para la tubería de 2-7/8” 6,5 lb/pie J-55 EUE:

VI 15.1.1.1 Cuerpo del tubo:

- ❑ Triaxial: 1.250
- ❑ Estallido: 1.100
- ❑ Colapso: 1.000
- ❑ Axial: 1.300

VI 15.1.1.2 Conexión:

- ❑ Estallido / Fuga: 1.100
- ❑ Tensión: 1.300
- ❑ Compresión: 1.300
- ❑ Temperatura de Superficie: 80 deg. F
- ❑ Gradiente de Temperatura: 1.50 deg. F/100 Pie.

La curva referida al límite de diseño para la tubería de completación, muestra que la tubería seleccionada soporta las condiciones de trabajo simuladas.

VI 15.1.2 Listado de equipos de completación: (vertical)

VI 15.1.2.1 Revestidor de producción:

- Zapata 7" 23 Lb/pie N-80 BTC. @ 5.000 pie.
- Revestidor 7" 23 Lb/pie N-80 BTC, (0 – 5.000 pie.)

VI 15.1.2.2 Equipo de levantamiento:

- Bomba de Cavidad Progresiva (BCP) @ +/- 3.600 pie.
- Tubería 2-7/8" 6.5 Lb/pie J-55 EUE Hasta Superficie.
- Cabezal de Producción: 9-5/8" x 4-1/2" x 3.000 lpc. (Conexión 4 1/2" x 2 7/8")

Diseño de Completación programado por la VCD, ver figura VI 47

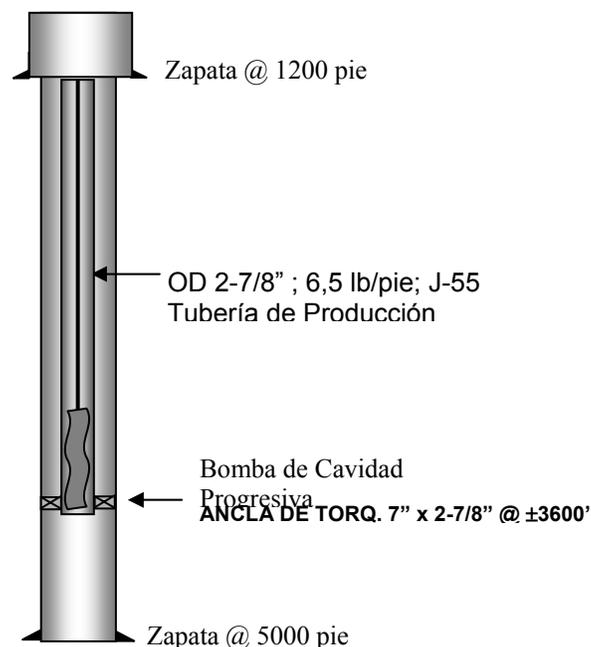


Figura VI 47 Diseño de Completación de la VCD

El diseño de VCD no realizó el programa de empaque con grava en la terminación, ya que esto fue diseñado en último momento, aunque habían estudiado la posibilidad de realizar esta operación pero a hoyo entubado, debido a que se tenía el conocimiento que la mayoría de los pozos que se encuentran inactivos, es debido al arenamiento por ser la zona de formaciones incosolidadas. Ver apéndice F.

VI 15.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

El programa de ingeniería de detalle, no diseñó el mecanismo de levantamiento mecánico a utilizar, sin embargo, una empresa de servicio especializada en el área, se encargó de realizar los cálculos y simulaciones para obtener el sistema de levantamiento artificial más adecuado, los parámetros utilizados para sus análisis fueron los siguientes:

- ❑ Profundidad Promedio de las perforaciones: 4900 pies.
- ❑ Arena: U1.
- ❑ Gravedad: 20° API.
- ❑ Corte de Agua: 0% AyS.
- ❑ T(°F) de Fondo: 150.
- ❑ T(°F) de Superficie: 100.
- ❑ Casing: 7”.
- ❑ Tubing: 3 ½”.
- ❑ RGP: 400 PCN/BN
- ❑ Qfluido: 450 B/D.

Además se utilizaron las siguientes premisas:

- ❑ Separación Natural de Gas a la entrada de Bomba: 40%
- ❑ Separación adicional por uso de Dispositivo Separador: 30%.
- ❑ Total separación a la entrada de bomba: 70%.
- ❑ Sumergencia de Bomba 500 pies (Presión de entrada entre 200 y 100 lpc).

- ❑ Eficiencia Volumétrica de BCP: 90%.
- ❑ Torque de Fricción: 80 lbspie.
- ❑ Carga en presión sobre la bomba < 85%
- ❑ Velocidad Máxima de Operación 250 RPM.

Se analizaron dos escenarios con sartas de tubería de 3 ½” y 4 ½”, ambos con bombas insertables o de cavidad progresiva.

VI 15.2.1 Sistema insertable BCP para tubería de 3 ½”:

La bomba de mayor capacidad para tubería de 3 ½” con disponibilidad inmediata fue el modelo 14.35-500IM, las características de esta bomba son las siguientes:

- ❑ Capacidad de Levantamiento 1400 lpc.
- ❑ Capacidad de desplazamiento: 500 BFPD/500RPM, 1 BFPD/RPM.

Esta bomba tiene anclaje mecánico como se muestra a continuación:

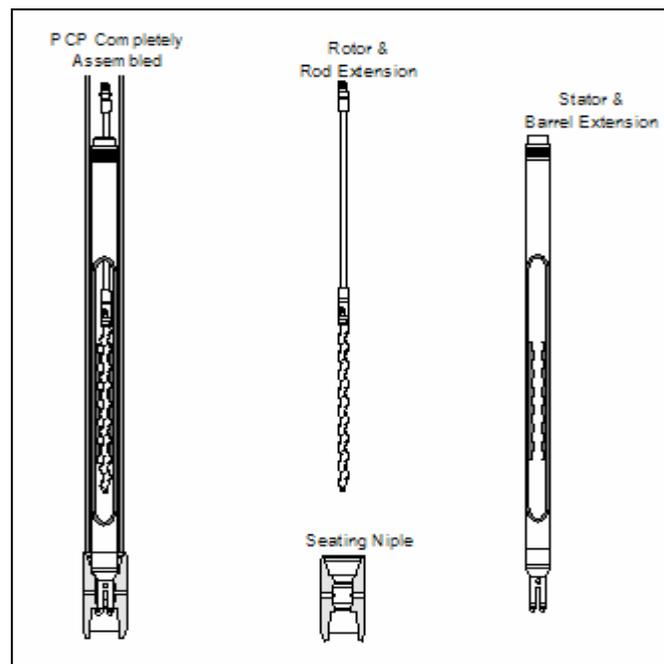


Figura VI 48. Anclaje Mecánico Bomba 14.35-500IM

VI 15.2.2 Sistema insertable BCP para tubería de 4 ½”:

Se presentó una segunda opción con tubería de 4 ½”, para poder albergar una bomba de mayor capacidad y así manejar una mayor producción.

La bomba de mayor capacidad para tubería de 4 ½” con disponibilidad inmediata era modelo 200-5200IM (Sistema Métrico) o 32-1600 IM (Sistema Imperial). Esta bomba pertenece a la última generación de bombas insertables desarrollada. Recirculable, se denomina Arrow Head Rotor Pump. Sus propiedades son:

- Capacidad de Levantamiento 5200 pies (2250 lpc).
- Capacidad de desplazamiento: 200 BFPD/100RPM, 2 BFPD/RPM.

Puede ser recirculada para ser lavada en caso de que se obstruya por arena, gracias a su nuevo diseño: Rotor cabeza de flecha, el cual puede desasentar la bomba al tocar un anillo flotante en el tope del estator.

VI 15.2.3 Resultado de las simulaciones:

Se realizaron varias sensibilidades con variación de la relación gas – petróleo, ya que el dato suministrado por PETROUCV indicaba que puede ser afectada la eficiencia volumétrica de las bombas que se instalen, porque el Gas libre @ entrada de Bomba > 80 - 90%.

Por esto se recomendó el uso de separadores de gas. Dentro de las premisas se indicó que se estima un 40% de separación natural de gas a la entrada de la bomba y un 30% por el uso de separador de gas, para un total de 70% de separación.

Esta empresa de servicio, todavía tiene en estudio, las profundidades a las cuales van a ir colocada la bomba, el separador, y el resto de sus componentes.

Las especificaciones técnicas de la tubería que se diseñó para este pozo, se encuentran en la tabla VI 88.

Tabla IV 88 Especificaciones Técnicas de la Tubería de Producción

□ Diámetro: 2 7/8”

| Profundidad | | Descripción | | | | Peso del Revestidor | | |
|--------------|--------------|-----------------|--------------|-------|-------|---------------------|------------|--------------|
| Desde (pies) | Hasta (pies) | Longitud (pies) | Peso Lbs/pie | Grado | Rosca | Sección Lbs | Acum. Lbs. | Flotando Lbs |
| 4100 | 3050 | 180 | 6.5 | J-55 | BTC | 4140 | 4140 | 3602 |

| Colapso | | | | | Estallido | | | Tensión | | |
|--------------|----------------|---------------|-------------|---------------|--------------|-------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| Resis. (lpc) | Fracc. Resist. | Utiliza (lpc) | Carga (lpc) | Factor Diseño | Resist (lpc) | Carga (lpc) | Factor Diseño | Resistencia Lbsx1000 | Factor Diseño | Tens. Máx Permisible |
| 3830 | 1 | 3830 | 1550 | 2,47 | 6340 | 1347 | 4,7 | 335 | 10,5 | 225761 |

Se programó realizar un empaque con grava a la formación, pero los cálculos de los sacos de grava a bombear, no se describieron en este programa.

VI 15.3 OPERACIONES DE CAMPO

El empaque con grava es la única etapa de la terminación que se realizó, ya que el pozo no se le ha bajado la tubería de producción ni la bomba de cavidad progresiva diseñada. Actualmente, tiene el cabezal de producción instalado y está esperando por el servicio de levantamiento artificial, ver figura VI 49.



Figura VI 49 Cabezal de Producción del Pozo ES-451

El empaque con grava del pozo ES-451, constó inicialmente de calcular el número de sacos de grava que iban a ser bombeados para empacar el hoyo de 13". Esta cuenta se realizó mediante la fórmula VI 3 y con los siguientes parámetros:

Tabla VI 89 Parámetros para el Cálculo del Volumen de la Grava

| | |
|------------------------------|----------|
| Colgador | 4224 pie |
| Comienzo fase ampliada a 13" | 4337 pie |
| Comienzo fase ampliada a 11" | 4418 pie |
| DI Casing 7" | 6,366" |
| Zapata 7" | 4328 pie |
| DE Liner Ranurado | 4 ½" |
| Punta de Lápiz | 4437 pie |

$$V_{\text{tope ampliación 13" - colgador}} = \frac{(6,366)^2 - (4,5)^2}{1029} \cdot (4337 - 4224)$$

$$V_{\text{tope ampliación 13" - colgador}} = \mathbf{2,23 \text{ bbl}}$$

$$V_{\text{ampliación 13"}} = \frac{(13)^2 - (4,5)^2}{1029} \cdot (4418 - 4337)$$

$$V_{\text{ampliación 13"}} = \mathbf{11,71 \text{ bbl}}$$

$$V_{\text{ampliación 11"-punta de lápiz}} = \frac{(11)^2 - (4,5)^2}{1029} \cdot (4437 - 4418)$$

$$V_{\text{ampliación 11"-punta de lápiz}} = \mathbf{1,86 \text{ bbl}}$$

$$V_{\text{bolsillo de 11''}} = \frac{(11)^2}{1029} \bullet (4439 - 4437)$$

$$V_{\text{bolsillo de 11''}} = \mathbf{0,24 \text{ bbl}}$$

$$V_{\text{total grava}} = \mathbf{16,04 \text{ bbl.}}$$

Como 1 saco de grava contenía 1 pie³ de la misma, y 1 pie³ es 0,1781 bbl., por lo tanto el rendimiento es 0,1781 bbl/saco

$$\# \text{ Sacos} = V_{\text{total de Grava}} / \text{Requerimiento grava}$$

$$\# \text{ Sacos} = \frac{16,04 \text{ bbl}}{0,1781 \text{ bbl} / \text{sacs}}$$

$$\mathbf{N^{\circ} \text{ Sacos} = 90,1 \text{ scs} = 91 \text{ Sacos de grava teóricos}}$$

En la operación de campo se utilizaron un total de 110 scs de grava del tipo 16-30, donde quedaron 2 sacos en el anular, 2 fueron reversados a superficie y 106 en la formación, es decir, 15 sacos más de lo programado teóricamente, esto fue ocasionado a que parte de la grava se incrustó en la formación debido a la presión que se ejerció en superficie para que se pueda empaquetar.

Para realizar este empaque con grava, se utilizaron las juntas mostradas en la tabla VI 90

Tabla VI 90 Juntas utilizadas para el Empaque con Grava

| Cantidad | Junta |
|----------|----------------|
| 1 | Punta de Lápiz |
| 3 | Liner 4 ½" |
| 2 | Tubos Lisos |

| | |
|---|--|
| 1 | Herramienta de cruce |
| 1 | Colgador Mecánico de 7"x 4- ½" 23 lb/pie |
| 7 | Tubos lavadores 1,6" |

Luego de bajar el ensamblaje descrito anteriormente, por medio de la tubería de perforación unida a varios heavy weight con la finalidad de darle peso al “setting tool” para desenroscarlo, se colocó el cabezote de empaque y las respectivas líneas de presión al estrangulador (figura VI 50) , y de este a los camiones de bombeo de empaque (ver figura VI 51).



Figura VI 50 Estrangulador y Líneas de presión



Figura VI 51 Vehículo de Empaque con Grava

Después de probar las líneas de presión, se desplazó la grava mezclada con agua salada hasta que el manómetro indicó 1500 lbs, se cerró el anular y se continuó bombeando hasta alcanzar las 2500 lbs, la cual es la presión de empaque, se desahogó y se bombeó nuevamente hasta alcanzar la última presión por dos veces más, se tensionó la sarta para verificar que el empaque fue efectivo; se notó que no existía tensión en la sarta, por lo que se volvió a bombear grava hasta alcanzar la presión de empaque nuevamente, se desahogó y se aplicó la presión de empaque en 2 oportunidades más.

Se volvió a tensionar la sarta cuidadosamente y se observó que el peso de la misma aumentó, por lo que indicó que la operación se realizó satisfactoriamente.

Procedió a bombearse fluido limpio por el anular para reversar la grava remanente en la tubería, hasta que se observó retorno sin grava en el fluido por las zarandas, indicativo que la tubería solamente había salmuera. (ver figura VI 52).

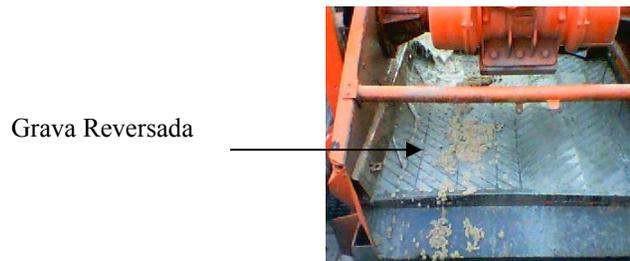


Figura VI 52 Grava Reversada por la zaranda

La sarta fue asentada con 1000 lbs aproximadamente y se giró la tubería hacia la derecha con el fin de liberarla en el setting tool, seguidamente se tensionó la sarta nuevamente para liberar las cuñas de asentamiento de esta junta. Después se le aplicó peso al colgador para que las gomas sellantes se expandieran, y se probaron con 500 lbs de presión en superficie a través del anular para que no fallaran (ver figura VI 53). Se desahogó la presión y se desvistió el equipo.

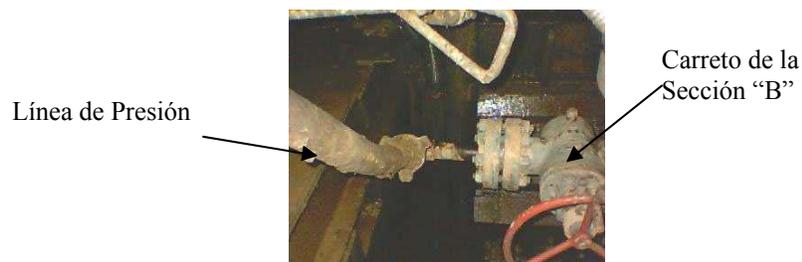


Figura VI 53 Línea de Prueba del Anular

Esta operación tuvo un tiempo efectivo aproximado de 4 horas, ya que se presentaron diversos problemas operacionales con los equipos superficiales de la contratista, los cuales retrasaron la operación en aproximadamente 8 horas.

VI 16 IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

VI 16.1 DISEÑO VCD

Para la construcción de este pozo se requiere un taladro con capacidad de 750 Hp, considerando la capacidad de izamiento del revestidor de 7" y los requerimientos de hidráulica para el hoyo de 8 1/2".

VI 16.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

Se programó utilizar el taladro Corpoven 10 (CPV-10), con todos sus implementos de generadores de energía, bombas de lodo, válvulas impiderreventones, etc., para tal fin, cumpliendo las exigencias de izaje para la profundidad y peso programado por la VCD. Así mismo, se planificó la mudanza de todos los equipos a la locación EPJ.

VI 16.3 OPERACIONES DE CAMPO

El taladro utilizado para la construcción del pozo ES-451, del Campo Socororo, fue el asignado en el programa de perforación, el Corpoven-10, el cual poseía una cabria que tiene una altitud de 118 pie, con una capacidad de levantamiento de 365.000 lbs, y un sistema de Top Drive, es decir, no usaba junta kelly como medio de perforación, y podía perforar hasta una profundidad de 6500 pie con un diámetro de 5" y 8000 pie con uno de 3 1/2", ver figura VI 54.



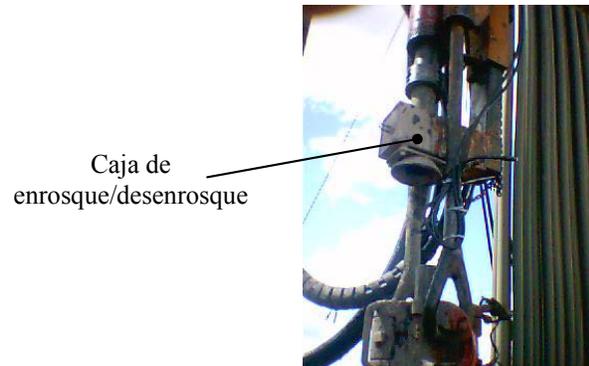
Figura VI 54 Cabria Corpoven – 10

Entre sus características más resaltantes, se encuentran que tenía una subestructura de 18 pie, un bloque corona de 5 poleas, bloque viajero de 150 ton y 45" de diámetro cada polea; mesa rotaria de 17,5"; 1 malacate de dos motores, 2 generadores eléctricos con 2 motores de 275 Kw y 240 Kw, 2 winches, 2 motores eléctricos; 2 bombas de lodos con sus respectivos motores, 3 tanques de lodos con 3 agitadores; válvulas impiderreventones de 13-5/8" con 5000 lpc de trabajo, con conexiones superiores e inferiores, con su carrito de perforación y acumulador; además 250 juntas de tubería de perforación, 40 tuberías extrapesadas y 30 portamechas de distintos diámetros así como sus cuñas, elevadores y brazos de elevadores. Las especificaciones técnicas de estos y el resto de los equipos se encuentran en el apéndice G.

El top drive utilizado en la construcción de este pozo, fue del modelo HCI 1205HP, capaz de levantar hasta 650 ton., colocado en el medio de la cabria por medio de un riel y encargado de hacer girar y darle el torque requerido a la sarta de perforación.

Las características técnicas de este top drive destacan su versatilidad, es decir, era lo suficientemente compacto para adecuarse en la mayoría de las cabrias dobles y triples, tanto en tierra como en costas; poseía un swivel integrado; su instalación era muy rápida y sencilla, en menos de un día y sin realizarle modificaciones a la cabria.

Entre las ventajas que este modelo de top drive ofrecía es que poseía varios mecanismos que hacen que la tubería pueda ser manejada con mucha facilidad, que incluye un elevador tipo Link-Tilt, una caja de enrosque/dosenrosque para hacer conexiones rápidas y eficientes de tubería además de poseer 360° de rotación de la tubería con agarre, donde los diámetros externos de los tubulares pueden encontrarse en el rango desde 3" hasta 8 3/4", véase figura VI 55. En el anexo F se muestra el procedimiento para las conexiones de tubería con top drive.



Caja de
enrosque/desenrosque

Figura VI 55 Caja de enrosque/desenrosque

Tenía un motor independiente de inyección, que era el corazón del top drive, debido a que estaba encargado de bombear el fluido para que el mecanismo de este equipo trabaje y lo cual hacía que no dependiera de la energía suministrada por el mecanismo de potencia del taladro. Figura VI 56.



Figura VI 56 Bomba del Top Drive

Además poseía una doble bola salvadora de lodo para minimizar el derrame del mismo entre conexiones; y el torque y velocidad del top drive podía ser controlado fácilmente desde la consola del operador, figura VI 57.

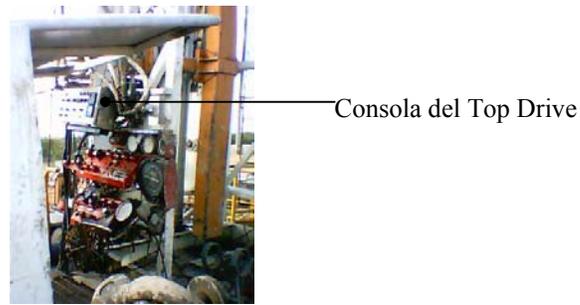


Figura VI 57 Consola del Top Drive

Las especificaciones técnicas de este Top Drive se muestran a continuación: en la tabla VI 91.

Tabla VI 91 Especificaciones Técnicas del Top Drive

| | | |
|---|---------------|-------------|
| <i>HCI con swivel opcional</i> | | |
| Peso Aproximado | 19.300 lb | 8.770 Kg |
| Longitud de Operación | 20 pie | 6.0 m |
| <i>HCI sin swivel</i> | | |
| Peso aproximado | 12.300 lb | 5.590 Kg |
| Longitud de Operación | 14,3 pie | 4,36 m |
| Torque máximo | 54.000 lb-pie | 7.321 daN-m |
| Velocidad máxima | 200 rpm | 200 rpm |
| Quill ID | 3 in | 76 mm |
| Unidad de Poder (Detroit diesel 16V2000) | | |
| Peso | 32.000 lb | 14.545 Kg |
| Largo | 20 pie | 6.1 m |
| Ancho | 5.7 pie | 1.7 m |

Las medidas del top drive están en la figura VI 58

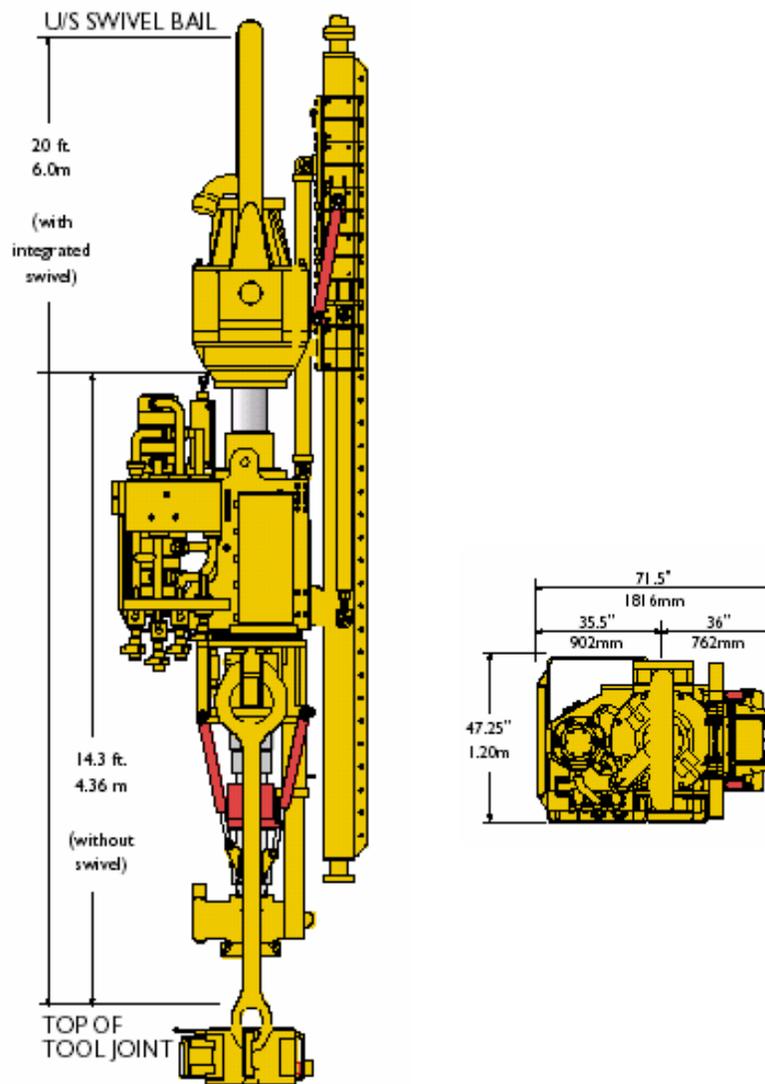


Figura VI 58 Medidas del Top Drive utilizado por el CPV-10

VI 16.3.1 Mudanza:

Para realizar la mudanza del taladro CPV-10 de la locación EPJ hacia la EPK, constó con la logística de vehículos de carga pesada, con el fin de levantar y trasladar los equipos del taladro, tales como tubería, bombas de lodo, top drive, herramientas, etc.



Figura VI 59 Mudanza de Bomba de Lodos



Figura VI 60 Mudanza del Top Drive

El taladro CPV-10 poseía unos rieles internos en el cual el encuelladero bajaba hacia la base del taladro, y esta a su vez se doblaba hacia el remolque por medio de dos gatos hidráulicos que lo sostenían, esperando por la espera del chuto para trasladarlo a la otra locación.

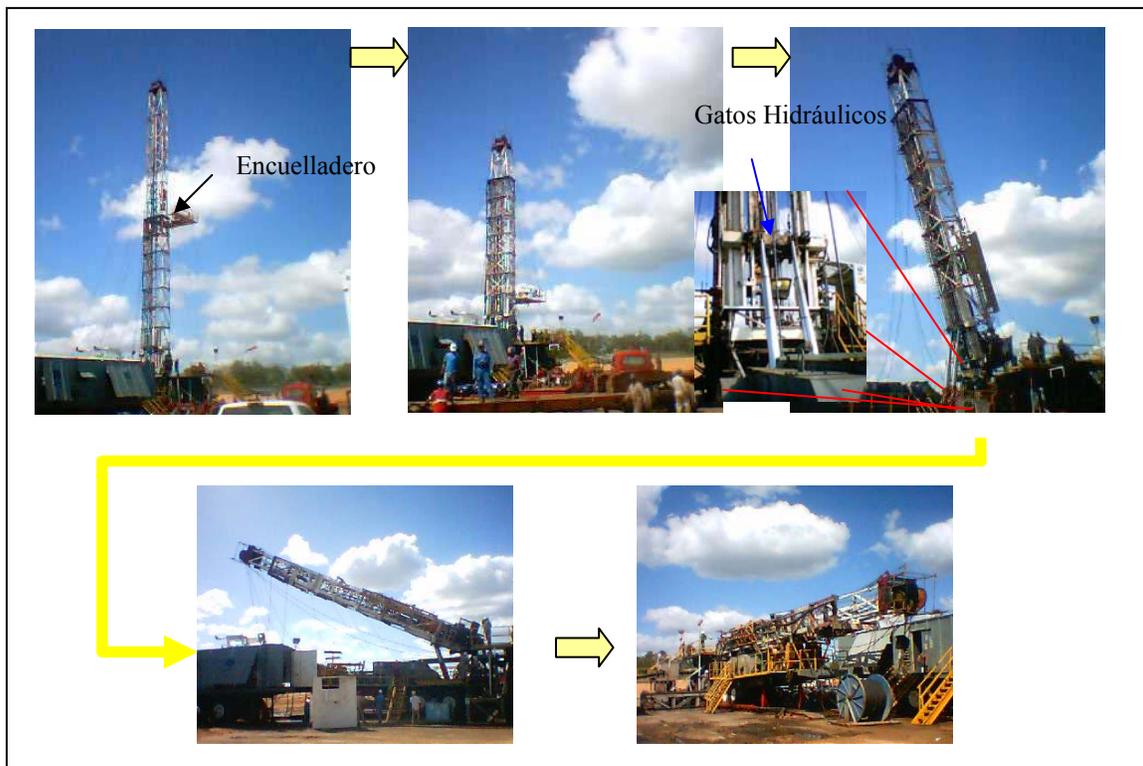


Tabla VI 61 Mudanza la Cabria del CPV-10

Toda esta operación duró aproximadamente tres días, incluyendo el transporte, debido a que tenían que esperar la luz del día para realizar las operaciones, así como el traslado por la carretera nacional.

VI 17 OPCIONES TECNOLOGICAS

VI 17.1 DISEÑO VCD

Evaluar la posibilidad de integrar las facilidades existentes con los sistemas de transmisión de voz y dato en tiempo real manteniendo la sinergia entre operaciones y estudios integrados. Esto permitiría realizar los ajustes del modelo geológico durante la fase de perforación del pozo.

VI 17.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

Se programó utilizar un sistema de telecomunicaciones, para obtener los reportes del pozo cada 8 horas sobre los acontecimientos que sucedían en el mismo.

VI 17.3 OPERACIONES DE CAMPO

La logística en la sección de telecomunicaciones estuvo conformada por un teléfono en el remolque del supervisor de las operaciones por la empresa estatal de petróleos, además de un computador con internet, que tenía instalado el programa DIMSFW[®], y por medio del cual la información de los reportes se transmitía diariamente. Todas las comunicaciones se realizaban por medio de una antena parabólica situada en un remolque (ver figura VI 62).



Figura VI 62 Antena de Telecomunicaciones del Taladro Corpoven-10

VI 18 ESTIMACIÓN DE PRODUCTIVIDAD

VI 18.1 DISEÑO VCD

En este yacimiento, los pozos verticales arrojaron una referencia de producción promedio de 164 BPPD.

VI 18.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

La tasa con la cual se hizo los diseños de completación (BCP), fue de 450 BPD, es decir, triplicó lo estimado por la VCD.

VI 18.3 OPERACIONES DE CAMPO

El pozo se encuentra hasta la fecha sin producción, debido a que no ha sido realizada su completación, por lo tanto se desconoce cuanto será su verdadera tasa de producción, aunque se espera producirlo a un caudal de 370 BNPD.

VI 19 ESTIMADO DE TIEMPO Y COSTO CLASE II

VI 19.1 DISEÑO VCD

El tiempo y costo estimado de construcción y completación de la localización E-PJ se obtuvo utilizando data histórica de los pozos vecinos perforados en el área al igual que los costos asociados a los contratos de taladros y servicios vigentes. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

Tabla VI 92 Resumen de Costos y Tiempos

| LOCALIZACION | PROF. MD (PIES) | PERFORACION | | COMPLETACION | |
|--------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|-----------------|
| | | TIEMPO (DIAS) | COSTO(*) (MMBs) | TIEMPO (DIAS) | COSTO (DIAS) |
| E-PJ | 5000 | 19 | 669,9 | 5 | 124,5 |

* No incluye localización ni facilidades de superficie.

VI 19.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

La ingeniería de detalles, programó la construcción de este pozo en 20 días, esquematizado de la siguiente manera:

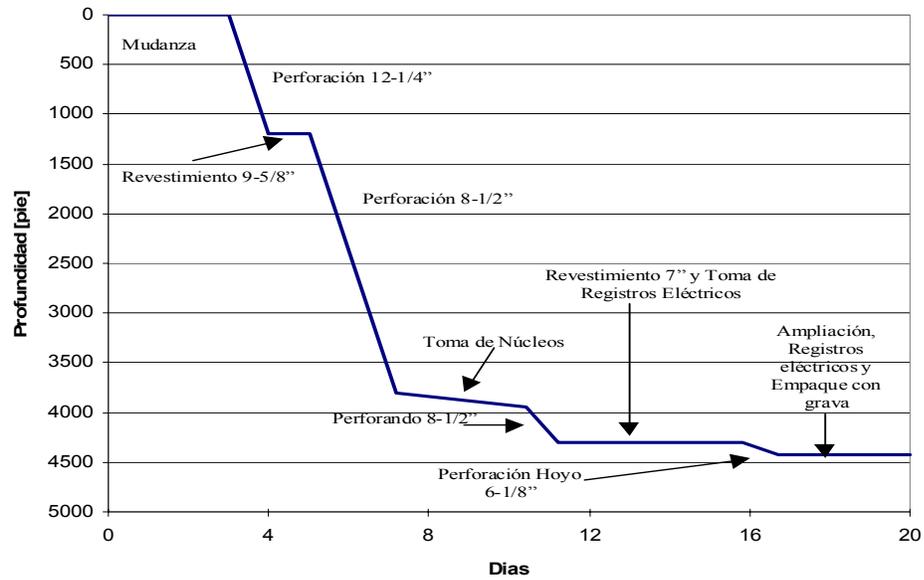


Tabla VI 63 Tiempo Programado para el ES-451

Tabla VI 93 Costos Programados

| Descripción de Actividades | Bs | \$ | Bs eq |
|--|--------------------|----------------|----------------------|
| Mudanza | 55.000.000 | - | 55.000.000 |
| Alquiler de Equipos de Perforación (taladro) | 82.000.000 | 88.531 | 223.649.600 |
| Mechas | 5.600.000 | 19.500 | 36.800.000 |
| Tubulares y accesorios | 83.760.000 | - | 83.760.000 |
| Materiales para Completación | 16.000.000 | 22.000 | 51.200.000 |
| Servicio de fluidos de perforación | 29.524.810 | 145.200 | 261.844.810 |
| Cementación | 13.000.000 | 48.000 | 89.800.000 |
| Registros eléctricos | 72.000.000 | 145.000 | 304.000.000 |
| Registro de Desviación | 300.000 | 2.000 | 3.500.000 |
| Labor | 47.400.000 | - | 47.400.000 |
| Transporte | 17.025.180 | - | 17.025.180 |
| Alquiler de herramientas de perforación | - | - | - |
| Otros servicios contratados | 9.340.000 | 3.340 | 14.684.000 |
| Toma de núcleos | - | - | - |
| Recargo materiales | 2.512.800 | - | 2.512.800 |
| Total | 433.462.790 | 473.571 | 1.191.176.390 |

Se pudo observar que los costos estimados para la construcción del pozo ES-451, aproximadamente duplicaron los costos programados por la VCD, esto fue debido a la

diferencia de la paridad cambiaria para el momento del diseño inicial y el momento del programado

VI 19.3 OPERACIONES DE CAMPO

El pozo se perforó en 31 días, de los cuales 2 días fueron improductivos y 29 productivos, es decir, 11 días más de lo planificado, esto obligado básicamente a los problemas por atascamiento de tubería, control del pozo y ampliación del hoyo final a 13”.

Además el tiempo de traslado para llevar los equipos de perforación a la locación EPJ tardó un poco más de los estimado, debido a que el taladro se encontraba en el Campo Bare, el cual estaba muy distanciado del campo Socororo.

La figura VI 64 muestra el tiempo y las actividades realizadas en el pozo ES-451 y la figura VI 65 una comparación entre lo planeado y lo ejecutado.

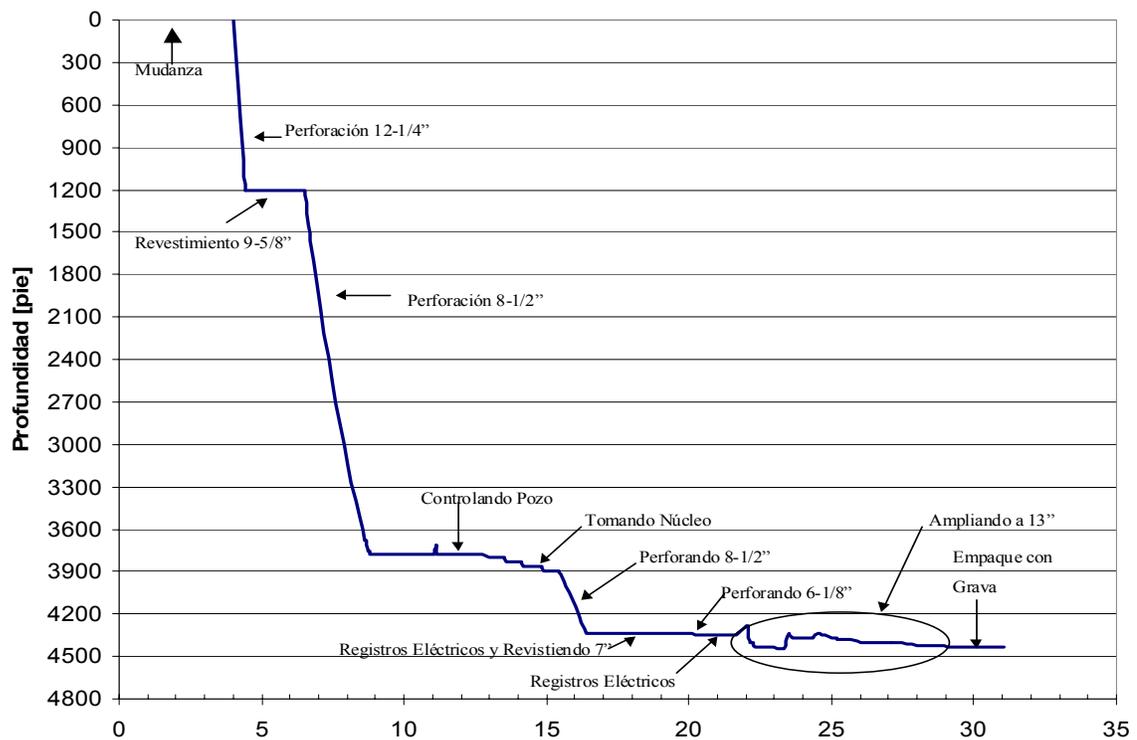


Figura VI 64 Tiempo Real del ES-451

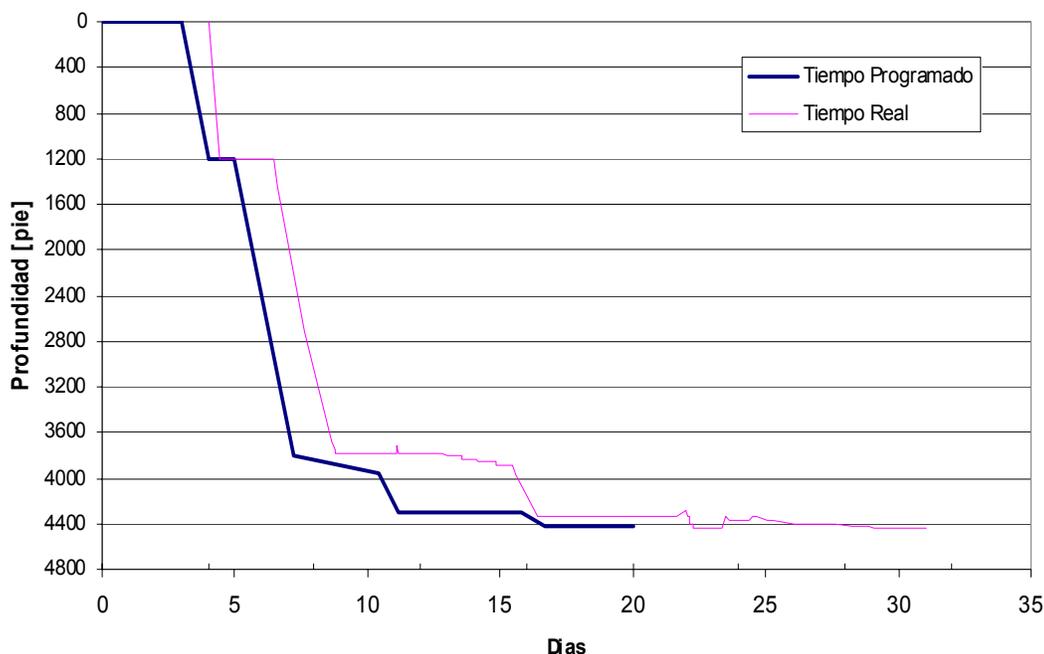


Figura VI 65 Comparación del Tiempo Real y el Programado del ES-451

El costo real del pozo ES-451 fue muy parecido al estimado, solo existió una variación de 46 millones de bolívares, ocasionado principalmente por la cantidad del fluido de perforación utilizada en el control y acondicionamiento del hoyo, además de otras operaciones que no estuvieron contempladas al inicio de la perforación.

Tabla VI 94 Costos Reales

| Descripción de Actividades | Bs | \$ | Bs Equiv |
|---|--------------------|---------------|--------------------|
| | LOCACIÓN | | |
| MUDANZA | 50.266.539 | | 50.266.539 |
| - Unidades de transporte | 50.266.539 | | 50.266.539 |
| ALQUILER DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN (TALADRO) | 141.986.663 | 79.139 | 247.241.817 |
| - Duración (días) | | | |
| - Costo de Tarifa (MMBs./día) | | | |
| MECHAS | 6.531.708 | 17.774 | 30.171.128 |
| - Hoyo Superficial | | | |

| | | | |
|--|-------------------|----------------|--------------------|
| - Hoyo Intermedio 1 | 6.531.708 | 17.774 | 30.171.128 |
| TUBULARES Y ACCESORIOS | 66.794.367 | 5.400 | 73.976.367 |
| - Revestidor Superficial | 12.070.860 | | 12.070.860 |
| - Revestidor Intermedio | 34.600.050 | | 34.600.050 |
| - Tubería de producción | 18.606.900 | | 18.606.900 |
| - Colgador térmico | 1.516.557 | 5.400 | 8.698.557 |
| COMPLETACIÓN | 67.572.155 | 17.786 | 91.227.535 |
| Material para Completación | | | |
| - Equipos de Completación | 60.000.000 | | |
| - Cabezal y Arbol | 7.572.155 | 17.786 | 31.227.535 |
| - Otros ítems (Especifique) | | | |
| SERVICIOS CONTRATADOS | 68.916.194 | 319.804 | 494.255.727 |
| - <i>Fluidos de Perforación</i> | <i>56.942.758</i> | <i>271.680</i> | <i>418.277.278</i> |
| Servicios de Fluidos de Perforación | 32.158.292 | 246.082 | 359.446.940 |
| Productos | | | |
| Asistencia técnica | | | |
| Transporte, Alquiler Trailers | | | |
| Otros | | | |
| Control de Sólidos | | | |
| Alquiler de equipos | | | |
| Instalación y desinstalación | | | |
| Asistencia técnica | | | |
| Transporte | | | |
| Productos (Mallas) | | | |
| Tratamiento de Efluentes | 24.784.466 | 25.598 | 58.830.338 |
| Tratamiento de ripios | 24.784.466 | 25.598 | 58.830.338 |
| Alquiler de equipos | | | |
| Asistencia Técnica | | | |
| Transporte de desechos a las áreas de tratamiento | | | |
| Recuperación de áreas afectadas | | | |
| - <i>Cementación</i> | <i>11.973.436</i> | <i>48.124</i> | <i>75.978.449</i> |
| Revestidor Superficial | 3.393.418 | 12.440 | 19.938.711 |
| Cargos por servicios de cementación | 3.309.418 | 4.525 | 9.327.096 |
| Cargos por productos para cementación | 84.000 | 7.916 | 10.611.615 |
| Lechada de Cola | 84.000 | 960 | 1.360.800 |

| | | | |
|---------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| No. De Barriles | 24 | 24 | 31.944 |
| Costo por barril (MBs/BBLS) | 3.500 | 40 | 56.700 |
| Lechada de Llenado | | 3.000 | 3.990.000 |
| No. De Barriles | 100 | 100 | 133.100 |
| Costo por barril (MBs/BBLS) | | 30 | 39.900 |
| Espaciador | | | |
| No. De Barriles | | | |
| Costo por barril (MBs/BBLS) | | | |
| Lavador | | | |
| No. De Barriles | | | |
| Costo por barril (MBs/BBLS) | | | |
| Accesorios | | 3.956 | 5.260.815 |
| Zapata+tapon desplaz | | 1.942 | 2.583.126 |
| Cuello | | 1.663 | 2.212.056 |
| Centralizadores | | 350 | 465.633 |
| Revestidor Intermedio | 8.580.018 | 35.684 | 56.039.738 |
| Cargos por servicios de cementación | 4.811.718 | 25.963 | 39.342.508 |
| Cargos por productos para cementación | 3.768.300 | 9.721 | 16.697.230 |
| Lechada de Cola | 510.000 | 595 | 1.301.350 |
| No. De Barriles | 17 | 17 | 22.627 |
| Costo por barril (MBs/BBLS) | 30.000 | 35 | 76.550 |
| Lechada de Llenado | 2.173.500 | 1.575 | 4.268.250 |
| No. De Barriles | 63 | 63 | 83.853 |
| Costo por barril (MBs/BBLS) | 34.500 | 25 | 67.750 |
| Espaciador | 1.084.800 | 1.600 | 3.212.800 |
| No. De Barriles | 80 | 80 | 106.480 |
| Costo por barril (MBs/BBLS) | 13.560 | 20 | 40.160 |
| Lavador | | 1.500 | 1.995.000 |
| No. De Barriles | | 60 | 79.800 |
| Costo por barril (MBs/BBLS) | | 25 | 33.250 |
| Accesorios | | 4.451 | 5.919.830 |
| Zapata+tapon desplaz | | 2.050 | 2.726.500 |
| Cuello | | 1.287 | 1.711.710 |
| Centralizadores | | 1.114 | 1.481.620 |
| - Registros Eléctricos | 76.023.740 | 153.676 | 280.412.913 |
| - Labor | 20.406.460 | | 20.406.460 |

| | | | |
|--|--------------------|----------------|----------------------|
| Labor directa | 6.237.698 | | 6.237.698 |
| labor indirecta | 9.775.261 | | 9.775.261 |
| Beneficios a empleados | 4.393.501 | | 4.393.501 |
| - Transporte | 3.432.998 | | 3.432.998 |
| Transporte propio | 840.998 | | 840.998 |
| Pluma | 2.592.000 | | 2.592.000 |
| - Alquiler de herramientas de perforación | 559.132 | 10.397 | 14.386.477 |
| - Otros servicios contratados | 2.279.251 | 2.532 | 5.647.263 |
| Llave hidráulica | 2.279.251 | 2.532 | 5.647.263 |
| Camión Bomba | | | |
| Toma muestras | 9.553.905 | 12.501 | 26.180.235 |
| | | | |
| Total | 444.769.207 | 606.508 | 1.392.038.747 |

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Tasa de Cambio (Bs/\$) | 1330 |
|-------------------------------|-------------|

VI 20 METRICA DEL POZO

Se realizó la medición del nivel de definición del diseño básico de la localización E-PJ obteniéndose un valor del 94.8%.

La métrica del pozo constó de las siguientes fases:

VI 20.1 Fase I: *Recopilación de información:*

- 1) Recopilación y validación datos.
- 2) Levantamientos sísmicos procesados.
- 3) Levantamientos sísmicos interpretados.
- 4) Perfiles de pozos (GR, SP, Resistividad, Acústico, FDC-CNL, Imagen, Sísmico) pozos vecinos.
- 5) Análisis de los núcleos existentes en el área.
- 6) Análisis de muestra de pared y muestra de canal.

- 7) Información operacional de pozos existentes en el proyecto (pozos vecinos para perforación).
- 8) Históricos de producción del yacimiento.
- 9) Históricos de inyección (agua y gas) del yacimiento.
- 10) Histórico de cambios de estados mecánicos y trabajos a pozos vecinos.
- 11) Perfiles a hoyo entubado (fluidos, temperatura, cementación) pozos vecinos.
- 12) Análisis de agua, crudo y gases.
- 13) Estadística de daño formacional, éxito volumétrico y mecánico.
- 14) Histórico de presiones.
- 15) Histórico de muestras de fluidos para PVT.
- 16) Reservas probadas, producción acumulada, factor de recobro.
- 17) Facilidades de superficie existentes.
- 18) Selección y uso de herramientas de informática adecuadas e integradas al proyecto.
- 19) Integración de datos e información.

VI 20.2 Fase II: *Modelo estático:*

VI 20.2.1 Modelo geofísico:

- 1) Amarre sísmica-Pozo
- 2) Generación de sismogramas sintéticos
- 3) Interpretación marcadores principales y objetivos
- 4) Modelo de velocidad
- 5) Mapas isocronos
- 6) Modelo sismo-estratigráfico
- 7) Análisis de atributos
- 8) Mapas de pseudo propiedades
- 9) Análisis de multicomponentes 3D/3C
- 10) Definición de segmentos y planos de fallas

11) Mapas estructurales en tiempo y profundidad

12) Análisis de sísmica 2D/3D

VI 20.2.2 Modelo estructural:

1) Marco regional

2) Revisión modelos previos

3) Mapas de planos de fallas

4) Mapas de tendencias

5) Modelo estructural en profundidad

6) Secciones estructurales L/T

7) Integración con Dipmeters

VI 20.2.3 Modelo estratigráfico / sedimentológico :

1) Identificación de facies y Ambientes Sedimentarios

2) Estratigrafía secuencial/correlación cronoestratigráfica/secciones estratigráficas

3) Definición de unidades de flujo (calidad de roca)

4) Mapas/geometría de cuerpos sedimentarios

VI 20.2.4 Modelo petrofísico:

1) Distribución de fluidos

2) Modelo mineralógico

3) Identificación de petrofacies / electrofacies

4) Integración con producción

5) Geometría de poros

6) Definición de unidades de flujo

7) Cálculo de los parámetros básicos y de corte

8) Calculo de arena neta petrolífera

9) Mapa de isopropiedades (porosidad y permeabilidad)

10) Integración con información de núcleos

VI 20.2.5 Geoestadística:

- 1) Modelo determinístico
- 2) Modelo estocástico de facies
- 3) Modelo estocástico de propiedades petrofísicas
- 4) Grid y escalamiento

VI 20.2.6 Modelo geomecánico:

- 1) Análisis de dirección y magnitud de esfuerzos
- 2) Análisis de información geomecánica
- 3) Modelaje y simulación geomecánica
- 4) Análisis de gradientes de presiones de poro, de fractura, de temperatura, poisson
- 5) Análisis de dirección y densidad de fracturas

VI 20.2.7 Modelo integrado roca-fluido pozo vecino:

- 1) Revisar propiedades de la roca
- 2) Caracterización de agua de formación
- 3) Análisis del origen del fluido del yacimiento
- 4) Análisis geoquímico
- 5) Análisis de curva de permeabilidad relativa, presión capilar G-P, A-P
- 6) Análisis del comportamiento de los fluidos
- 7) H₂S ,CO₂, carbonatos, asfaltos, parafinas
- 8) Mapa de contacto de fluidos
- 9) Gradiente de temperaturas, presiones y fracturas.
- 10) Análisis de fluidos (PVT, pozos vecinos y/o sintético)
- 11) Propiedades de los fluidos (gravedad API, viscosidades)
- 12) Cotejo y predicción de la presión de burbujeo
- 13) Análisis de transientes de presiones
- 14) Presión actual del yacimiento ,corrección al datum.
- 15) Análisis de aislamientos entre yacimientos
- 16) Análisis (caracterización) de acuíferos

- 17) Modelo de compartimentalización
- 18) Análisis de declinación y mecanismos de producción
- 19) Análisis de balance de materiales, masa y energía
- 20) Productividad por unidad de flujo y yacimiento (Curvas de Influjos)
- 21) Integración multidisciplinaria en Modelo 3-D integrado de yacimiento.
- 22) Modelo estático de yacimiento (integración de geociencias)
- 23) Cálculo de POES y reservas por métodos analíticos
- 24) Ubicación de localizaciones en base a la integración de disciplinas

VI 20.3 Fase III: Modelo dinámico:

- 1) Integración y cotejo de modelo de simulación
- 2) Predicción de perfiles de producción en caso base y su economía
- 3) Sensibilidades al caso base y análisis de riesgo
- 4) Modelo de la distribución esperada de fluidos
- 5) Modelo predictivo con más de tres opciones de explotación
- 6) Modelo de sensibilidad a propiedades (transmisibilidades, K , ϕ)
- 7) Predicción de perfiles de producción para todas las opciones de explotación
- 8) Análisis de integración de productividad entre subsuelo y superficie
- 9) Discusión de las arquitecturas de drenajes visualizados y requeridos
- 10) Discusión de los métodos de producción visualizados y requeridos
- 11) Discusión de las facilidades de superficie visualizados y requeridas

VI 20.3.1 Modelo económico y riesgo:

- 1) Modelo de riesgo, valor de la información, etc.
- 2) Modelo económico (rentabilidad, VPN, TIR, EI, EVA, ROCE)
- 3) Análisis del costo de generación de potencial (M\$/BPD) y producción
- 4) Identificación de ganancia o pérdida de PDVSA en cada caso (sensibilidades)
- 5) Inserción del modelo económico del proyecto en el corporativo (plan de negocios).

□ **Esquemas de producción e ingeniería de pozo:**

VI 20.4 Fase IV: Plan de explotación

VI 20.4.1 Sistema de producción:

- 1) Tipo de pozo. (Uso)
- 2) Prognosis de intervalos productores
- 3) Presión de fondo fluyente
- 4) Análisis nodal de producción/inyección
- 5) Declinación de presión de yacimiento
- 6) Comportamiento histórico de producción (yacimiento, pozos)
- 7) Estadísticas de fallas de equipos de completación
- 8) Método de producción
- 9) Estrategias de completación
- 10) Mediciones del daño inducido por el fluido de perforación/completación/rehabilitación
- 11) Fluido de completación mas recomendable
- 12) Trabajos de estimulación química, gravel pack, fracturamiento
- 13) Sensibilidades de producción vs tubería de producción
- 14) Sensibilidades de producción vs tipo de levantamiento
- 15) Análisis de facilidades para el manejo del agua
- 16) Potencial esperado y metodología de cálculo
- 17) Costos de equipos de producción de la completación.
- 18) Benchmarking de producción

VI 20.4.2 Opciones de explotación:

- 1) Radio de drenaje
- 2) Arquitectura de drenaje pozo-yacimiento
- 3) Opciones para contactar mayor volumen de hidrocarburos

- 4) Requerimientos deseado de monitoreo en el fondo (temp. presión)
- 5) Opciones de frecuencia de medición requerida
- 6) Introducción de data en sistema integrado de producción
- 7) Introducción de nuevas ideas / herramientas (tecnologías)

VI 20.4.3 Análisis de operación y mantenimiento:

- 1) Predicción de los sistemas de operación del pozo
- 2) Predicción de la ventana operacional para prevenir efectos no deseados
- 3) Predicción de los potenciales cambios de requerimientos funcionales
- 4) Re-conceptualización del pozo
- 5) Predicción de la rutina de mantenimiento preventivo
- 6) Predicción de las intervenciones debido a requerimientos mecánicos
- 7) Inversión de capital en completación original para máxima estimulación
- 8) Identificar análisis de tiempo perdido y tiempo no productivo
- 9) Identificar derrames serios

VI 20.4.4. Ingeniería básica de construcción de pozos:

- 1) Nivel de conocimiento de los requerimientos funcionales
- 2) Diseño básico de la arquitectura del pozo

VI 20.4.4.1 Mundanza:

- Ruta óptima de movilización

VI 20.4.4.2 Hoyo de superficie:

- Diseño de trayectoria
- Diseño de hoyos
- Diseño de sartas, equipos de fondo y mechas.
- Diseño de fluidos
- Estabilidad de hoyo
- Diseño de revestidores
- Diseño de cementación

- ❑ Diseño del proceso tratamiento de efluentes líquidos y sólidos

VI 20.4.4.3 Hoyo intermedio:

- ❑ Diseño de trayectoria
- ❑ Diseño de hoyos
- ❑ Diseño de sartas, equipos de fondo y mechas.
- ❑ Diseño de fluidos
- ❑ Estabilidad de hoyo
- ❑ Diseño de revestidores
- ❑ Diseño de cementación
- ❑ Diseño del proceso tratamiento de efluentes líquidos y sólidos
- ❑ Diseño de registros y toma núcleos

VI 20.4.4.4 Hoyo de producción:

- ❑ Diseño de trayectoria
- ❑ Diseño de hoyos
- ❑ Diseño de sartas, equipos de fondo y mechas.
- ❑ Diseño de fluidos
- ❑ Estabilidad de hoyo
- ❑ Diseño de revestidores
- ❑ Diseño de cementación
- ❑ Diseño del proceso tratamiento de efluentes líquidos y sólidos
- ❑ Diseño de registros y toma núcleos

VI 20.4.4.5 Completación:

- ❑ Diseño de la completación
- ❑ Disponibilidad de equipos y tubulares
- ❑ Diseño de cañoneo
- ❑ Diseño de estimulación
- ❑ Diseño de control de arena

VI 20.4.4.6 Infraestructura y administrativos:

- ❑ Especificaciones de taladro.
- ❑ Selección básica de equipos de superficie: cabezal y equipos conexos
- ❑ Utilización de equipos no convencionales (coiled tubing, snubbing, unid. bajo balance)
- ❑ Análisis del entorno geográfico y político de la localización-fundación
- ❑ Revisión y diseño de localización-fundación (inicio construcción, hincados)
- ❑ Tramitación de permisología y aprobaciones
- ❑ Estrategia de contratación y pre-selección de empresas
- ❑ Estimación de tiempo y costo Clase II
- ❑ Plan de seguridad , ambiente y salud
- ❑ Análisis económico
- ❑ Diagramas de araña y tornado de construcción

VI 20.4.5 Ingeniería básica de mantenimiento de pozos:

- ❑ Nivel de conocimiento de los requerimientos funcionales
- ❑ Diseño básico de la reparación propuesta

VI 20.4.5.1 Mudanza:

- ❑ Ruta óptima de movilización

VI 20.4.5.2 Desinstalación:

- ❑ Métodos de control de pozo
- ❑ Estado mecánico actualizado del pozo
- ❑ Recuperación de completación
- ❑ Limpieza y calibración del revestimiento

VI 20.4.5.3 Habilitar:

- ❑ Trabajo de cementación
- ❑ Trabajo de estimulación
- ❑ Trabajo de cañoneo

- ❑ Trabajo de control de Arena
- ❑ Aislamiento de zonas con tapones mecánicos

VI 20.4.5.4 Instalación:

- ❑ Diseño de completación
- ❑ Disponibilidad de equipos y tubulares

VI 20.4.5.5 Infraestructura y administrativos

- ❑ Especificaciones de taladro.
- ❑ Selección Básica de equipos de superficie: cabezal y equipos conexos
- ❑ Utilización de equipos no convencionales (coiled tubing, snubbing, unid. bajo balance)
- ❑ Análisis del entorno geográfico y político de la localización-fundación
- ❑ Estado actual de la localización-plataforma-fundación del pozo
- ❑ Tramitación de permisología y aprobaciones
- ❑ Estrategia de contratación y pre-selección de empresas
- ❑ Estimación de tiempo y Costo Clase II
- ❑ Plan de seguridad, ambiente y salud
- ❑ Análisis económico
- ❑ Diagramas de araña y tornado de construcción

El programa del pozo y las operaciones en el mismo no realizaron esta etapa, debido a que esta sección pertenece netamente a la planificación original, ya que a partir de aquí se determina la factibilidad de la construcción del pozo

VI 21 ANALISIS DE RIESGOS

VI 21.1 DISEÑO VCD

En relación con los resultados obtenidos de la métrica de pozo se pudo inferir que la probabilidad de alcanzar el éxito mecánico en la construcción del pozo es alta. Aunado a esto, se tienen como soporte los pozos perforados en el área con la misma configuración mecánica.

VI 21.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

El programa recomendó las operaciones y equipos a utilizar para alcanzar el éxito en la construcción del pozo.

VI 21.3 OPERACIONES DE CAMPO

A pesar de las vicisitudes operacionales presentadas mientras se construyó el pozo, debido a la data deficiente del campo, se cumplió con casi todos los objetivos mecánicos propuestos, restando solamente la completación y puesta en producción del pozo.

VI 22 ANALISIS DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA

VI 22.1 DISEÑO VCD

En esta fase se determinó, mediante la aplicación del modelo de análisis económico (MAEP) los parámetros de eficiencia de la inversión TIR y VPN. El escenario económico considerado fue Supervivencia del más apto año base 2001- Moneda 2001. 725 BS/ \$. 13/03/2001 (SPMA 2001).

La información base utilizada para la evaluación fue:

- 1.- Producción promedio por pozo: 380 BPD
- 2.- Gravedad API promedio: 20.5
- 3.- Porcentaje de declinación: 23%
- 4.- Costo de producción: 2093 Bs./Bl

Tabla VI 95 Resumen de Evaluación Económica

| LOCALIZACION | COSTO PLAN(*) (MMBs) | VPN PLAN (MMBs) | TIEMPO DE PAGO | % TIR |
|--------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-------|
| E-PJ | 794,4 | 99,25 | 5,8 | 13,5 |

(*)Incluye Costos de Perforación y Completación.

VI 22.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

La ingeniería de detalle no realizó el estudio de la factibilidad económica del pozo, ya que se dedica exclusivamente a la parte operacional y costos de los trabajos, pero no a su rentabilidad.

VI 22.3 OPERACIONES DE CAMPO

Las operaciones de campo no toma en cuenta la rentabilidad del proyecto, sin embargo se hizo un análisis de factibilidad económica de la construcción del pozo ES-451, con costos reales y las tasas de producción esperadas.

Este estudio se realizó con la tasa de cambio para mayo del 2003, siendo la misma 1600 Bs /\$, y con ayuda de un software de evaluación económica perteneciente a la Universidad Central de Venezuela, a través del cual se plantearon diferentes escenarios económicos, variando la tasa de producción y el precio del crudo, determinando de esta forma las Tasa Internas de Retorno (TIR) y los Valores Presentes Netos (VPN) que se obtendrían.

Los parámetros para cotejar la factibilidad económica fueron los siguientes:

Tabla VI 96 Parámetros Teóricos para Realizar la Factibilidad Económica del Pozo ES-451

| | |
|---|-------------------|
| Tasa de Producción | 370 – 150 bbl/día |
| Precio del crudo | 14 - 18 \$/bbl |
| °API del crudo | 20 |
| Tasa de cambio | 1600 Bs/\$ |
| Líneas de flujo, plantas, estaciones, etc | 50.000.000 |
| Costo Unitario de Producción* | 3258 Bs/bbl |

| | |
|---|---------------|
| Impuesto sobre la renta | 50% |
| Vida Útil del Proyecto | 10 años |
| Costo de la Construcción del Pozo | 1.237.000.000 |
| Costo de la Localización | 90.000.000 |
| Costo del sistema de levantamiento artificial | 60.000.000 |

*Tomado del Campo Yopales Norte

Además para cada simulación, se le planteó una rehabilitación cada cierto tiempo, con el fin de obtener una mejoría en la tasa de producción.

Tabla VI 97 Resultados del Cotejo de Factibilidad Económica

| Q [bbl/día] | Precio del Crudo [\$/bbl] | VPN | TIR [%] |
|------------------------------|--|------------|----------------|
| 370 | 14 | 740,15 | 35,21 |
| | 15 | 849,56 | 38,86 |
| | 16 | 958,98 | 42,51 |
| | 17 | 1068,39 | 46,15 |
| | 18 | 1177,81 | 49,81 |

Rehabilitación programada a los 6 años de producción

| | | | |
|------------|----|---------|-------|
| 340 | 14 | 634,10 | 32,07 |
| | 15 | 733,92 | 35,46 |
| | 16 | 833,75 | 38,85 |
| | 17 | 933,57 | 42,23 |
| | 18 | 1033,39 | 45,61 |

Rehabilitación programada al año 5 y 9 de producción

| | | | |
|------------|----|--------|-------|
| 300 | 14 | 501,18 | 27,54 |
| | 15 | 589,26 | 30,54 |
| | 16 | 677,34 | 33,54 |
| | 17 | 765,42 | 36,53 |
| | 18 | 853,50 | 39,52 |

Rehabilitación programada al año 5 y 9 de producción.

| | | | |
|------------|----|--------|-------|
| 250 | 14 | 335,03 | 21,83 |
| | 15 | 408,43 | 24,36 |
| | 16 | 481,83 | 26,87 |
| | 17 | 555,23 | 29,38 |
| | 18 | 628,63 | 31,88 |

Rehabilitación programada al año 5 y 9 de producción.

| | | | |
|------------|----|--------|-------|
| 200 | 14 | 168,88 | 16,03 |
| | 15 | 227,60 | 18,09 |
| | 16 | 286,32 | 20,14 |
| | 17 | 345,04 | 22,17 |
| | 18 | 403,76 | 24,20 |

Rehabilitación programada al año 5 y 9 de producción.

| | | | |
|------------|----|--------|-------|
| 150 | 14 | 6,27 | 10,2 |
| | 15 | 51,14 | 11,79 |
| | 16 | 96 | 13,34 |
| | 17 | 140,86 | 14,88 |
| | 18 | 185,72 | 16,41 |

Rehabilitación programada al año 5 y 9 de producción.

| | | | |
|------------|----|--------|-------|
| 130 | 14 | -63,73 | 7,67 |
| | 15 | -25,56 | 9,07 |
| | 16 | 12,61 | 10,46 |
| | 17 | 50,78 | 11,83 |
| | 18 | 88,94 | 13,20 |

Rehabilitación programada al año 5 y 9 de producción.

Se graficó la relación entre los costos del crudo versus el VPN y el TIR, para las distintas tasas iniciales de producción:

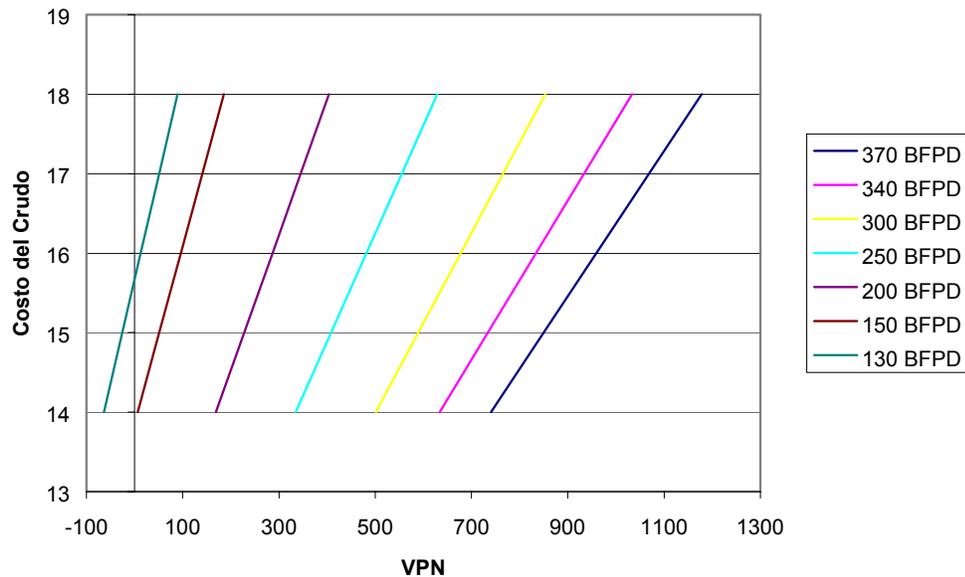


Figura VI 66 Relación entre VPN y Costo del Crudo para las distintas Tasas de Producción

La figura VI 66 demostró que a medida que la tasa de producción disminuye y el precio del crudo declina, los Valores Presentes Netos, se hacen cada vez más reducidos, hasta alcanzar un punto en el cual no se recupera la inversión del pozo. Por el gráfico, se pudo observar que el pozo comienza a ser rentable con una tasa de producción mínima de 130 bbl/día a 15,6 \$/barril de crudo aproximadamente.

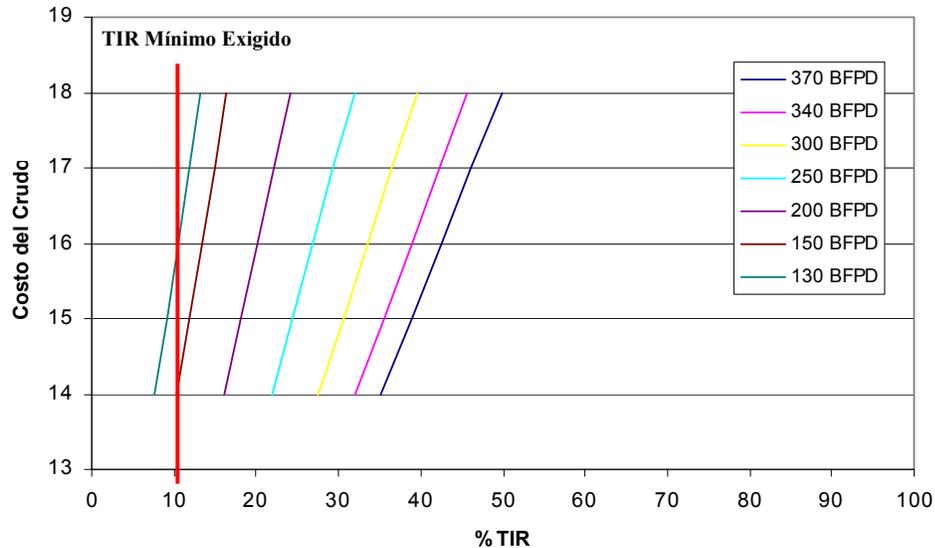


Figura VI 67 Relación entre % TIR Y EL Precio del Crudo para las distintas Tasas de Producción

Se verificó a través de la gráfica, la disminución del TIR a medida que la tasa de producción inicial declina y el precio del hidrocarburo disminuye. Demostrando que la inversión se recuperaba si se obtiene una tasa inicial de 130 bbl/día con un precio de crudo de 16 \$/bbl, o de 150 bbl/día a 14 \$/bbl, ya que el TIR mínimo exigido por PDVSA para la ejecución de proyectos era 10 %.

VI 23 ESTIMACION DE BASE DE CONOCIMIENTOS

VI 23.1 DISEÑO VCD

Para el desarrollo del proyecto se requirió personal técnico con un elevado nivel de experticia en la construcción y reacondicionamiento de. La experiencia mínima debió ser de tres (03) años.

Tabla VI 98 Experiencia Mínima del Personal

| Pericias claves | Experiencia (años) |
|------------------------|---------------------------|
| Planificación | > 3 |
| Diseño | > 3 |
| Trayectoria | > 3 |
| Completación | > 3 |
| Fluidos | > 3 |
| Cementación | > 3 |
| Geomecánica | > 3 |

VI 23.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

El personal que se involucró en la construcción del pozo ES-451, poseía una amplia experiencia en el área de perforación, con trayectorias de más de 5 años cada una, tal cual como lo indicaba el programa VCD.

VI 23.3 OPERACIONES DE CAMPO

Todo el equipo que realizó las operaciones de campo del pozo ES-451, es decir, ingenieros de campo, supervisores, mecánicos, personal de las cuadrillas, personal de empresas contratistas, etc., tenían extensa experiencia en el área de perforación, ya que venían trabajando como equipo, desde hace varios años con el taladro CPV-10.

VI 24 ANALISIS GENERAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

VI 24.1 DISEÑO VCD

La rutina de intervención de pozo para el diseño de completación establecido (Bombas de Cavidad Progresiva) tiene un promedio de seis (06) a ocho (08) meses por reemplazo de equipos. No se contemplaron trabajos de fracturas ni de estimulación.

VI 24.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

El programa de perforación no tomó en cuenta este parámetro, ya que después de perforado y completado el pozo, su función terminó, y es decisión de los departamentos de producción, yacimientos y RA/RC (Rehabilitación y Reacondicionamiento), determinar el momento de realizar un servicio al pozo.

VI 24.3 OPERACIONES DE CAMPO

Esta sección tampoco se inmiscuyó en las operaciones de campo, ya que su labor terminó al mudarse el taladro a la otra locación, en esta ocasión a la EPK en el mismo campo Socororo, donde se comenzó a perforar el pozo ES-452 con el fin de continuar el desarrollo del campo de PetroUCV.

VI 25 ESQUEMA PRELIMINAR DE MODELO DE NEGOCIO Y CONTRATACION

VI 25.1 DISEÑO VCD

En cuanto a la estrategia de contratación, se programaron utilizar los contratos de taladro y servicios vigentes del año 2001.

VI 25.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

Se utilizó los contratos de taladro y servicios vigentes del año 2002.

VI 25.3 OPERACIONES DE CAMPO

Las operaciones de campo no toman este punto en cuenta, debido a que no se realiza ninguna contratación desde la locación.

VI 26 REVISIÓN Y DISEÑO DE LA LOCALIZACIÓN

VI 26.1 DISEÑO VCD

El inicio de la construcción de la localización se previó cuarenta y cinco (45) días antes de iniciar la mudanza del taladro. La distribución de la misma es de 90 m de largo por 45 m de ancho, con un área de disposición de ripios (Land Farmer) de 90 m de largo por 10 m

de ancho. A la fecha, la localización se encontró hincada y poseía el levantamiento topográfico respectivo.

VI 26.2 PROGRAMA DE PERFORACIÓN

Se programó construir la localización EPJ con 90 m de largo y 60 m de ancho, a diferencia de los 45 m planificado por la VCD, con el fin de no tener limitación de espacio y trabajar cómodamente en el sitio. Así mismo, se diseñó un land farmer de 90 m de largo por 10 m de ancho con un espesor de 30 cm, según el volumen de rípios esperados en superficie.

VI 26.3 OPERACIONES DE CAMPO

La Localización la realizó el Departamento de Ingeniería y Construcción, con las medidas planteadas por la ingeniería de detalle, es decir, 90 m x 60 m. La figura VI 66, muestra el diagrama de la localización EPJ con la ubicación de los equipos de perforación, así como los remolques del personal encargado de las operaciones.

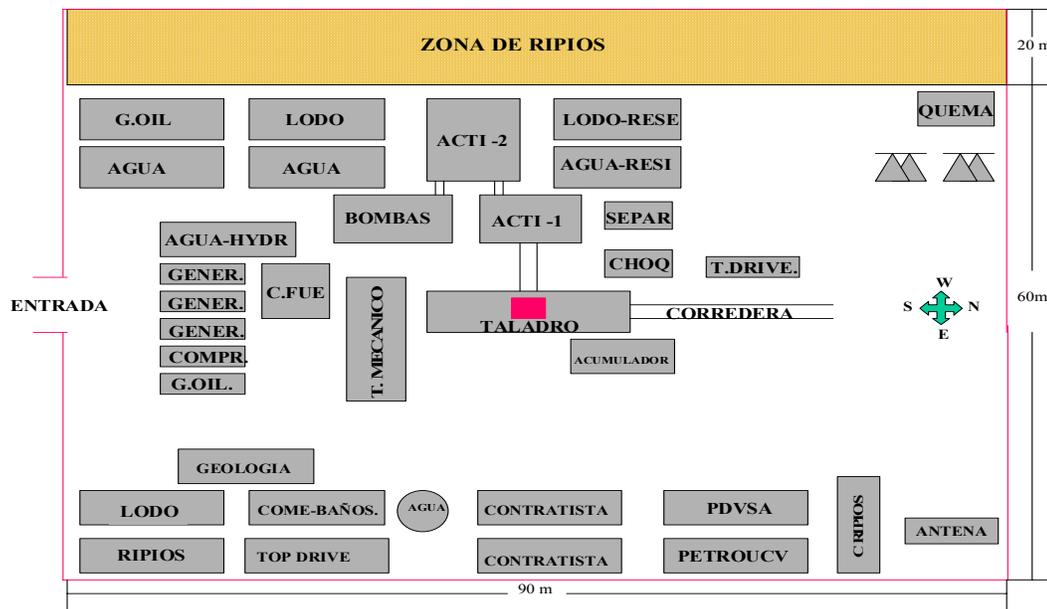


Figura VI 68 Diagrama del pozo ES-451

La locación, poseía un land farmer de 90 m por 20 m, con un espesor de 40 cm aproximadamente, cuyo fin era esparcir los ripios que salían del pozo, previamente tratados con aserrín, para minimizar el impacto hacia el medio ambiente por efecto de la contaminación del fluido de perforación..



Figura VI 69 Land Farmer del pozo ES-451

ANÁLISIS DE RESULTADOS



- El gradiente de poros calculado por el software EATON[®], fue de 0,416 lpc/pie y el de fractura de 0,65 lpc/pie, es decir que si el peso del lodo era menor a 8 lpg ocurría una arremetida, y si era mayor a 12,5 lpg existía una pérdida de circulación.
- El principal requerimiento para simular en el programa EATON[®], es un registro sísmico, pero como no se tenía esta información de ningún pozo del campo, se cotejó con la información de un campo vecino con el fin de tener una noción de las presiones en el área, por lo tanto, estos gradientes pueden ser sometidos a discusión.
- Los dos revestidores utilizados fueron de 9-5/8" y 7" respectivamente, colocados a 1200 pie el de superficie, y a 4328 pie el intermedio, con las especificaciones técnicas tal cual como lo indicó VCD.
- Los revestidores corridos tanto en el hoyo de superficie como en el intermedio, fueron sobrediseñados, dado que se utilizaron N-80 de 43,5 lb/pie para el primer hoyo y N-80 de 23 lb/pie para el intermedio, en lugar de H-40 de 32,5 lb/pie para superficie, y J-55 de 20 lb/pie hasta 2750 pie, de 23 lb/pie desde 2750 pie hasta 3980, y de 26 lb/pie desde 3980 pie hasta 4300 pie, lo cual disminuiría los costos de la construcción del pozo.
- La abertura de las ranuras del liner colocado en la última etapa del pozo ES-451, fue de 0,015", con 3 % de área abierta y 1,5" de longitud interna. Este diseño se realizó porque se tomó como referencia el tamaño promedio de grano de los campos vecinos, dado que no se poseía información confiable de la medida promedio de los finos del Campo Socororo.
- La empacadura se colgó a 4424 pie, la punta de lápiz se colocó a 4437 pie, con 124 pie de tubería ranurada y 83 pie de tubería lisa, quedando 26 pie de liner ranurado por dentro del casing de 7".
- El primer ensamblaje de la sarta estuvo compuesto por una mecha tricónica de 12-1/4", 1 bit sub, 2 drill collar, 1 cross over, 4 drill collar y 34 heavy wate, sin los estabilizadores recomendados por el programa, debido a que la empresa suplidora de esta junta no lo había llevado a la localización.
- La segunda sarta, fue para el hoyo de 8 1/2", y estaba compuesta por 1 mecha, 1 bit sub, 1 monel, 2 estabilizadores, 5 drill collar, 1 martillo, 34 heavy weight y el resto en tubería de perforación, donde por problemas de atascamiento, se sacó y se introdujo el mismo diseño

pero sin los estabilizadores, para evitar la estimulación del pozo por achique o suabeo al tratarlo de controlar.

- Para la perforación del hoyo de 6 1/8" se utilizó una sarta sencilla, compuesta por una barrena, 1 bit sub, 3 lastrabarreras, 13 heavy wate y 128 tuberías de perforación.

- La mecha utilizada para el primer hoyo fue tricónica, modelo MX-C1, código IADC 1-1-7, perforando 1200 pie durante 10 horas, se examinó y no presentó desgaste alguno.

- Para perforar el segundo hoyo de 8 1/2", se utilizó una mecha con código IADC igual a la fase anterior, y perforó hasta 4340 pie, seccionada en dos partes, la primera desde 1200 pie hasta 3777 pie en 52 horas y la segunda desde 3777 pie hasta 4340 pie en 23,5 horas, evaluando la barrena en ambas ocasiones por el código IADC, sin presentar desgaste alguno en la primera revisión y con una pequeña disminución en los dientes de la hilera interna de los conos. Se le realizó un estudio de costo por pie a la mecha, indicando que esta dejó de ser efectiva a los 1850 pie perforados, es decir, a las 35 horas de operación.

- La tercera mecha utilizada, de 6-1/8", también código IADC 1-1-7, perforó desde 4340 pie hasta 4400 pie en 2,5 horas, y los últimos 39 pie para llegar a la profundidad total de 4439 pie en 6,5 horas, debido a la toma de muestras de canal, porque se estaba buscando una capa lutítica la cual se suponía que por debajo de ella se encontraba un acuífero de fondo y por lo tanto se perforó con precaución para no punzarla y tener una producción de agua indeseada. Esta barrena presentó poco desgaste en los dientes internos y externos de los conos.

- Los escariadores utilizados para la ampliación fueron de 13" en lugar de 16" como estaba inicialmente planificado, debido a que las empresas de servicio de la zona no lo poseían. Se tuvo muchos problemas con estas herramientas, ya que las dos primeras de las tres utilizadas no eran las adecuadas para la ampliación de formaciones, sino para abrir ventanas en los revestidores porque los brazos eran de cuchillas en lugar de conos.

- El primer ampliador utilizado falló, ya que se le partieron las cuchillas en el hoyo, el segundo se sacó del hoyo por su bajo rendimiento y el tercero, el cual era de conos, realizó un buen trabajo, aunque no amplió al diámetro deseado de 13" sino a 11", debido a una falla mecánica en la abertura de sus brazos..

□ El hoyo de superficie, se perforó sin ningún tipo de problemas con fluido base agua tipo bentonita wyoming, con densidades variables entre 8,6 lpg y 8,9 lpg.

□ Para el segundo hoyo, se utilizaron dos tipos de fluido de perforación, ambos base agua, el primero un lignosulfonato desde 1200 pie hasta 3777 pie y el segundo un polimérico o viscoelástico desde 3777 pie hasta 4340 pie, este cambio se debió a que se empezó a tomar núcleos y este fluido por poseer baja concentración de sólidos, minimiza los daños por invasión a la muestra.

□ La densidad del lodo lignosulfonato, fue aumentándose progresivamente desde 8,8 lpg hasta 10,7 lpg, el cual fue el peso necesario para contener las arremetidas por gas que provenían del pozo, además con esta densidad se evitaba que las paredes del pozo se cerraran y quedara la tubería atascada.

□ En total, la formación tomó 219 bbl de fluido lignosulfonato en 3 pérdidas de circulación, al tratar de sacar la sarta por back reaming.

□ Al aumentar la densidad del fluido de perforación a 10,7 lpg, y a través del gradiente de presión promedio calculado por la herramienta RFT, se determinó el diferencial de presión entre la formación y la columna hidrostática del lodo, existiendo alrededor de 740 lpc de sobrebalance teórico, es decir, casi 700 lpc más de lo recomendado.

□ El lodo viscoelástico para tomar los núcleos, se mantuvo con la misma densidad de 10,7 lpg con el fin de seguir controlando la formación, sin existir ningún contratiempo.

□ El equipo de control de sólidos estaba compuesto por tres zarandas vibratorias, una centrífuga, 1 desarenador y 1 desgasificador.

□ Se utilizó los parámetros diseñados por VCD para la cementación, dado que las cantidades de fluido a utilizar para esta operación no se acoplaban a la realidad.

□ El revestidor de superficie utilizó 80 bbl de espaciador, 100 bbl (336 scs) de lechada de relleno, densidad igual a 13,6 lpg, compuesta por cemento clase “B”, 2% de extendedor y 0,2% de antiespumante; y 24 bbl (112 scs) de lechada de cola, densidad 15,6 lpg compuesta por cemento clase “B” con 1,5% de acelerador. Todo esto desplazado con 89 bbl de agua fresca.

□ En la cementación del segundo hoyo, se utilizó 60 bbl de espaciador, 63 bbl de lechada de relleno (175 scs) requerimiento 2,08 pie³/scs, quedando a una profundidad de 3828 pie y sin obtener retorno del mismo a superficie, posiblemente ocasionado a que el hoyo no era tan homogéneo como se estimaba, sino que tenía cavernas, producto de las píldoras antipérdida y viscosas que se bombearon para poder controlar el pozo. Para solventar este problema se realizó un “top job”.

□ Se utilizó 17 bbl de lechada de cola (60 scs), con rendimiento 1,68 pie³/scs, densidad de 15,6 lpg, alcanzando una altura de 500 pie por encima de la zapata. Además con este mismo cemento se realizó el top job, el cual alcanzó una altura de 40 pie.

□ Todo este cemento se desplazó con 164 bbl de agua fresca, 22 más que el planteado por la empresa de servicio, debido a que utilizó para sus cálculos un revestidor J-55 de 43,5 lb/pie y el introducido en el hoyo fue N-80 de 23 lb/pie.

□ Se corrió en el hoyo intermedio 6 ensamblajes de registros eléctricos por guaya, donde los compuestos por Induction Dual Laterolog, Gamma Ray, SP, Caliper, Densidad/Neutrón y sónico registraron 3140 pie, es decir desde la zapata hasta la profundidad total del pozo, el CMR o MRIL desde 1930 pie hasta 4340 pie, el RFT tomó 16 puntos de presión y el VSP 119 niveles, ambos entre los 1200 pie y 4340pie.

□ Las muestras de pared tomadas por el registro RFT, registraron gradientes similares en todas las arenas, los cuales oscilan entre 0,33 lpc/pie y 0,39 lpc/pie, con permeabilidades muy variables.

□ Se realizó 4 tomas de núcleos de las 5 programadas, cortándose 118,58 pie, entre 3777 pie y 3895 pie del yacimiento SOC-3, a una tasa de penetración de 12,21 pie/hr, recobrando un 95,4%. Estas muestras fueron seccionadas cada 3 pie y almacenadas en hielo seco.

□ La corona no presentó desgaste alguno en las 4 tomas que se realizó, además se mantuvo en promedio los mismos parámetros de peso sobre la mecha (5 Mlbs), GPM (215), RPM (60) y presión de fondo entre 450-550 lpc.

□ Las toma de muestras de canal se realizaron en tiempo real, capturándolas cada 30 pie hasta 3777 pie y después se varió la frecuencia de captura a cada 10 pie, 5 pie y 3 pie.

□ La mineralogía observada en las arenas era de color gris claro a blanco, con granos medio a grueso, subangular; en las lutitas se presentó de manera blanda, gris verdosa, hidratable, soluble, fisil y laminar.

□ Por medio de esta unidad de Mud Logging, se pudo observar varias arenas con algún porcentaje de lutita, a los 2040 pie, 2180 pie, 2300 pie, 2990 pie, 3650 pie-3740 pie, 3810 pie, 3845 pie y a partir de 4100 pie grandes bloques de arenas un poco sucias, con algunos lentes lutíticos, presentando una sección de arenisca de 30 pie de espesor, y el cual presentó fluorescencia, indicativo de impregnación de hidrocarburo.

□ La herramienta multishot, registró un desplazamiento del pozo con respecto a la mesa rotatoria de 18,47 pie y con un rumbo de 65,54° azimut, es decir, N 65,4 E.

□ El diseño dispuesto para la completación del pozo, fue con un bombeo de cavidad progresiva junto a un empaque con grava, donde el estimado de producción es 370 BFPD, es decir, 100 bbl menos a la capacidad de las bombas diseñadas.

□ Se diseñó 91 scs de grava para realizar el empaque, pero se utilizaron 110 scs, permaneciendo 2 sacos en el anular y reversando otros dos, esta diferencia de 15 scs, es debido a que parte de la grava se incrustó en la formación, ocasionado a la presión ejercida en superficie por las bombas de los vehículos para realizar el empaque.

□ El taladro Corpoven 10, utilizado para perforar el pozo pionero en la recuperación del Area mayor de Socororo, es de 750 hp, con capacidad de levantar hasta 365000 lbs, con una altitud de 118 pie, capaz de perforar 6500 pie con tubería de 5" y 8000 pie con 3 ½". Posee un sistema de levantamiento con Top Drive, el cual disminuye los tiempos de perforación, ya que tarda menos tiempo en realizar las conexiones, además de poder perforar por parejas de tuberías en lugar de una en una como se hacía tradicionalmente.

□ Las medidas de la locación, fueron de 90 m de largo, por 60 m de ancho, con una zona para esparcir los ripios de 20 m.

□ El estimado de producción inicial por VCD para este pozo, fue de 164 BFPD, debido a que se planificaba completarlo inicialmente a hoyo entubado. La ingeniería de detalle estimó 450 BFPD, pero la última consideración fue de 370 bbl/día.

□ Para construir el pozo ES-451, se necesitó 11 días más de lo planificado, es decir, 31 días, de los cuales 2 fueron improductivos y 29 productivos, debido a todos los problemas operacionales ocurridos para controlar el pozo, acondicionarlo, desatascar la tubería de perforación y ampliar el hoyo de 6-1/8” a 13”.

□ El costo para la construcción de este pozo programado por VCD, fue de 669,9 MMBs, un año después la ingeniería de detalle realizó un estimado con todos los cambios efectuados al proyecto, siendo este de 1191 MMBs, es decir, casi duplicó lo considerado inicialmente. El costo real del pozo fue de 1392 MMBs, el cual incluyó la localización y el sistema de levantamiento artificial.

□ La métrica del pozo fue de 94,8%, el cual supera el 75% exigido por PDVSA para aprobar un proyecto, ya que se tenía afianzada toda la información dinámica y estática del pozo.

□ Analizando varios escenarios a partir de la tasa máxima esperada (370 BFPD) y variando el precio del crudo entre 14 \$/bbl y 18 \$/bbl, se obtienen VPN positivos y TIR superiores al 35%, así mismo se realizó para diferentes tasas de producción (370, 340, 300, 250, 200, 150 y 130 BFPD), donde por encima de 130 BFPD y 16 \$/bbl el precio del crudo, la inversión es recuperada, ya que el TIR es 10,46% y su VPN 88,94.

CONCLUSIONES



CPV-10

□ La metodología VCD permite engranar las responsabilidades de todos los involucrados en el proyecto, de tal forma, no existan cruces en la competencia de cada uno, es decir, se coordinan las actividades de planificación y diseño bajo una misma convicción. Además permite definir si la realización del pozo es técnicamente factible y económicamente rentable en las fases de menor inversión.

□ El cambio en la profundidad de asentamiento del casing intermedio, fue debido a que la arena objetivo se encontraba entre los 4340 pie y 4430 pie.

□ El diseño de completación del pozo, de empaque con grava abierto por hoyo entubado empacado, fue para obtener una mayor producción de crudo.

□ El verdadero tamaño promedio del grano para la zona, se determinará a través de los núcleos tomados en el pozo ES-451, y por medio de estos resultados se diseñará la abertura óptima de los liners para evitar el arenamiento prematuro de los pozos, siendo esta la principal causa en la disminución de la producción del campo.

□ La zona óptima para colocar la zapata del revestidor es una zona lutítica, ya que es una roca dura e impermeable, disminuyendo la probabilidad de una pérdida de circulación por fracturamiento a la formación.

□ El diámetro del liner ranurado fue de 4,5” debido a que la completación se hizo a hoyo abierto, si hubiese sido a hoyo entubado, el diámetro utilizado debió ser 3,5”.

□ El atascamiento de la sarta en el hoyo 8- 1/2”, fue ocasionado por falta de peso en el fluido de perforación, ya que este se estaba cerrando y trancaba la sarta, a este resultado se llegó luego de examinar los ripios del pozo, los cuales eran alargados y finos, indicativo del derrumbamiento de las paredes del pozo.

□ El exceso de tiempo para la ampliación del último hoyo a 13”, se debió a que la dureza de la formación fue mayor a la que se esperaba, ya que se presumía que era no consolidada y resultó ser medianamente consolidada, aunado a esto una mala selección en los dos primeros ampliadores utilizados.

□ El fluido viscoelástico o polimérico, es el utilizado para realizar la toma de núcleos y corrida de registros eléctricos, por su baja concentración de sólidos y excelentes propiedades conductivas.

□ El hielo seco ayuda a conservar las propiedades petrofísicas del núcleo durante su traslado desde taladro hacia el sitio donde se almacena.

□ Los gradientes de presión registrados en las muestras de pared, determinaron que las arenas del yacimiento SOC-3 varían entre 0,33 lpc/pie y 0,39 lpc/pie, es decir, poseen subpresiones porque se encuentran por debajo del gradiente de presión del agua.

□ La última fase perforada, existe aproximadamente 50 pie de arena con pequeñas intercalaciones de lutitas, presentando fluorescencia bajo la luz ultravioleta, indicativo que poseen hidrocarburos.

□ Los ripios que salen del hoyo mientras se perfora, se tratan con aserrín y esparcidos en el “land farmer”, con el fin de minimizar la contaminación al ambiente por efecto del fluido de perforación.

□ El traslado de los equipos en la mudanza debe realizarse exclusivamente en la luz del día, para evitar la probabilidad de accidentes.

□ El pozo ES-451 se construyó con 11 días más de lo planificado, debido a que la formación presentó mayor dureza a la esperada, unido a todos los problemas operacionales presentados.

□ La diferencia de costos entre el programado inicialmente por la VCD y el planificado por la ingeniería de detalle, se debe a la devaluación que tuvo la moneda nacional frente al dólar en el año que se esperó para materializar la propuesta, así mismo, el costo real, varió un poco porque tiene incluido el gasto en la locación, sistema de levantamiento y otros imprevistos de último momento.

□ La inversión se recuperará produciendo el pozo con una tasa inicial mínima de 130 BFPD y a un precio en el mercado de 16 \$/bbl, lo cual generará una Tasa Interna de Retorno superior al exigido por PDVSA (15%) y un Valor Presente Neto positivo.

RECOMENDACIONES



- Por medio de las capturas de información realizadas al pozo ES-451, y conjuntamente con las próximas a realizarse en los nuevos pozos, diseñar la factibilidad técnico-operacional de la perforación de pozos horizontales y/o multilaterales con el fin de obtener un mayor recobro del crudo en el Area Mayor de Socororo.
- Simular por medio del software EATON[®], los verdaderos gradientes de presión para la zona, utilizando el registro sónico corrido en el pozo ES-451.
- Realizar el estudio de revestidores con los gradientes de presión reales del campo para evitar el sobrediseño de los tubulares, y en caso de no encontrarse en inventario los requeridos, utilizar casing del grado más próximo por encima del diseñado, con el objetivo de disminuir costos al convenio.
- Si se va a realizar en un futuro inyección de vapor a estos pozos, verificar que el cemento contenga 15% de Sílica Fluor y estabilizantes de temperatura.
- Efectuar un análisis en los próximos pozos a perforar, en los cuales exista la factibilidad de realizar toma de núcleos con el objetivo de observar la variación del tamaño del grano en el campo Socororo, para diseñar las aberturas óptimas en los liners ranurados, ya que por estudios previos de la zona, se conoce que su granulometría es muy variable entre pozo y pozo.
- Llevar en campo el estudio de costo por pie de la mecha, para que sea reemplazada al momento de volverse improductiva.
- Realizar un estudio de las características de las mechas óptimas a utilizar en el campo Socororo, para perforar las formaciones con mayor efectividad, pero mientras este análisis se ejecuta, se recomienda utilizar una barrena para el hoyo intermedio código IADC 1-3-7, es decir, “1” que es diente largo para evitar el embolamiento por la arcilla, “3” para formaciones no tan blandas y “7” que es con rodamientos sellados y protección en los hombros, y comparar su efectividad con una barrena IADC 1-1-7
- Realizar una investigación referente a las presiones de las arenas que se encuentran por encima de 3777 pie, referenciado en el ES-451, para determinar si existen presiones anormales, para evitar pérdidas de circulación en pozos futuros, adyacentes a la locación.

□ Analizar si con la tasa estimada de 370 BFPD, se obtiene un desprendimiento prematuro de los granos de la formación, el cual se traduce en un mayor número de servicios al pozo por concepto de limpieza.

BIBLIOGRAFÍA



CPV-10

1. AGUILAR Víctor y DIAZ Gabriel **“Aplicación de la Metodología VCD (Visualización, Conceptualización y Definición) en la elaboración del programa de perforación del proyecto SLE-2-01 del Distrito Lagunillas de la División Occidente de la Unidad de Negocio de Producción de PDVSA EPM”**, Trabajo Especial de Grado. UCV, Escuela de Ingeniería de Petróleo, 2002.
2. Baker Atlas **“Ultima Tecnología en Registros Eléctricos”**, CD-ROM.
3. BARBERII, Efrain E. **“El Pozo Ilustrado”**. Fondo Editorial del Centro Internacional de Educación y Desarrollo (FONCIED). Primera edición en CD-ROM. Caracas, 1998.
4. DIAZ Cristian y DIAZ Yoslery **“Diagnóstico del Problema de Producción de Arena y Desarrollo de una Metodología para la Selección del Método más adecuado para su control en el Area Mayor de Socororo”**. Trabajo Especial de Grado, UCV, Escuela de Ingeniería de Petróleo, 2002.
5. **“Componentes y Sistema de un Taladro de Perforación”**, Centro de Formación y Adiestramiento de Petróleos de Venezuela y sus Empresas Filiales.
6. PDVSA, Exploración y Producción, Gerencia de Perforación. **“Sistema DIMS FOR WINDOWS (DFW)”**. Manual del Usuario. Septiembre, 1998.
7. PDVSA. **“Sistema de Información de Perforación y Rehabilitación, DIMS 32”**. Manual General DIMS FOR WIMDOWS. Enero, 2001.
8. **“Perforación Avanzada de Pozos Direccionales”**. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED) 1998.
9. **“Tecnología Aplicada de Lodos”** IMCO Services.
10. http://webori.ori.pdvsa.com/web_perf_v2/index.htm
11. www.bakeratlas.com
12. www.bjservices.com
13. www.cat.com/industry_solutions/shared/oil_n_gas/pdf/LECW2462.pdf

14. www.gyrodata.com
15. www.halliburton.com
16. www.hugheschris.com
17. www.iadc.org
18. www.jwco.com
19. www.kcadeutg.com/Fleet%20Info/Rigs/T55.pdf
20. www.marhyd.com/akerweb/ama11.nsf/fsetMainFrame?OpenFrameset
21. www.pdvsa/lexico.com
22. www.redadair.com/thriller.html
23. www.slb.com
24. www.tietca.com
25. www.weatherford.com

GLOSARIO DE TÉRMINOS



CPV-10

Achique: Efecto tipo pistón hacia la formación, el cual induce a pérdidas de circulación para luego posibles arremetidas.

Amplificador: Herramienta utilizada para ensanchar el hoyo original, la cual posee unos brazos que se abren por efecto de la presión del fluido de perforación.

API: American Petroleum Institute, Sociedad Americana de Petróleo, organización sin fines de lucro, que sirve para coordinar y promover el interés de la industria petrolera en su relación con gobierno y otros.

Arcillas: Minerales muy pequeños con una micro estructura en capas y una gran área de superficie.

Area: División geográfica de mayor escala, donde se realizan las operaciones de exploración o producción.

Arenas Sucias: Horizontes que poseen arenas con algún porcentaje de arcilla o lutitas

Back Reaming: Método utilizado para desatascar la sarta de perforación, consiste en subir y bajar el ensamblaje de fondo, rotándolo y circulando lodo simultáneamente.

Baker Lock: Pegamento líquido que se le coloca a la rosca de la zapata y cuello flotador.

Barrena: Mecha de perforación, también llamada broca.

Bentonita: Aditivo utilizado para dar viscosidad al fluido de perforación.

Bit Sub: Junta de doble caja utilizada para conectar la mecha con el resto de la sarta.

BMR: Bajo la Mesa Rotaria

Bolsillo: Espacio que existe entre la zapata y el fondo del hoyo.

Botella: Juntas de 3' aproximadamente que se enroscan a los portamechas para poderlos sujetar y levantar con los elevadores.

Campo: Proyección en superficie del conjunto de yacimientos de hidrocarburos con características similares y asociados al mismo rasgo geológico.

Casing: Tubería de revestimiento.

Cementación: Proceso mediante el cual se aplican lechadas de cemento de determinadas características y con la utilización de sartas especiales, sirve para cementar el espacio anular entre la tubería de revestimiento y el hoyo.

Collarín: Instrumento que se utiliza como dispositivo de seguridad cuando se bajan los revestidores al hoyo, tiene la función de abrazar el casing para evitar que se resbale de la mesa rotaria y se convierta en un pescado.

Conejo: Herramienta para verificar el diámetro interno de las tuberías

Cross Over: Junta utilizada para unir dos roscas de distinto diámetro o tipo.

Cuello Flotador: Junta que se coloca a uno o dos tubulares de la zapata, cuyo objetivo es permitir el paso del fluido en una sola dirección.

Densidad: Peso por unidad de volumen

Drill Pipe: Tubería de perforación

Embolado: Cuando los dientes y conos de la mecha son cubiertos por la arcilla.

Escariador: Ampliador

Filtrado: El líquido que atraviesa la costra formada por el filtro influenciado por el diferencial de presión.

Fino: Partícula que posee un tamaño entre 44 y 74 micrones.

Formación: Se refiere a los estratos rocosos homogéneos de cualquier tipo, usados particularmente para describir zonas de roca penetrada durante la perforación.

Fuerza de Gel: Fuerza existente entre las partículas en estado estático.

GPM: galones por minuto

Gradiente de Presión: Variación de la presión con respecto a la profundidad.

Grado API: Clasificación para el petróleo con propósitos particulares en función de su densidad.

Hevy Wate: Tubería extrapesada, llamada así por la compañía que la fabrica y es utilizada para darle peso a la mecha.

IADC: International American Drilling Contractors, Asociación Internacional de Contratistas de Perforación, cuya misión es promover la consagración a la seguridad, a la protección ambiental y a los adelantos de la tecnología de perforación.

ID: Diámetro Interno, Inside Diameter en inglés.

Kmonel: Junta fabricada de un material especial, la cual es antimagnética.

Lpc: Unidad de presión que significa libras por pulgada cuadrada.

Lpg: Unidad de densidad que significa libras por galón.

OD: Diámetro Externo, Outside Diameter en inglés.

Permeabilidad: Propiedad que tiene la roca en dejar pasar los fluidos a través de ella.

Pescado: Toda herramienta en el hoyo que se haya caído o desprendido y evite el avance normal de las operaciones.

Petróleo: Mezcla líquida de muchas sustancias, principalmente compuestas de hidrógeno y carbono.

pH: Indica la acidez o alcalinidad del fluido de perforación.

Poro: Espacio vacío que posee la roca donde se puede almacenar aire, agua, hidrocarburo u otro fluido.

Pozo: Hoyo que ha sido terminado apropiadamente con los aditamentos requeridos, para traer a la superficie la producción de gas y/o petróleo de un yacimiento.

Predict: Software empleado para la construcción de las curvas de presión de poros y fracturas.

PSM: Peso sobre la mecha

Punto de Cedencia: Resistencia al flujo causada por la resistencia de las partículas en estado dinámico.

RGP: Cantidad de pies cúbicos de gas que se producen por cada barril de petróleo

RPM: Revoluciones por minuto

Seller: Encofrado por el cual retorna el cemento y es donde van colocado los cabezales o secciones de los revestidores.

SPE: Sociedad de Ingenieros de Petróleo, Society Petroleum of Engineering,

Suabeo: Efecto tipo chupón que se le hace al pozo cuando se saca la tubería, provocando arremetidas.

Tapón de cementación: Volumen de cemento dentro del hoyo, utilizado para sellar zonas indeseadas.

Terminación: Preparación de un pozo para ponerlo en producción económica.

TIR: Tasa Interna de Retorno, Tasa de Descuento (interés) que hace el Valor Presente Neto igual a cero, es decir, que iguala el Valor Presente de los ingresos al Valor Presente de los egresos. Desde el punto de vista de la Evaluación Económica de Proyectos corresponde a la Tasa que a través del descuento de los Flujos de Efectivo (Actualización de los Flujos) permite recuperar la inversión.

Tool Joint: Sección de la herramienta de cruz de flujo, la cual posee una conexión que se desenrosca en sentido de las agujas del reloj.

Top Job: Procedimiento para cementar que se realiza por el espacio anular.

Vacuum: Vehículos con tanques, diseñados para trasladar fluidos, se les llama así porque absorben y descargan fluidos a través de sus mangueras.

Viscosidad: Resistencia del fluido a fluir.

Viscosidad Embudo: Número de segundos requeridos para que un cuarto de galón pase a través de un tubo de 3/16" colocado a continuación de un tubo de 12" de largo.

Viscosidad Plástica: Resistencia al flujo del lodo, causada principalmente por la fricción entre las partículas suspendidas, y también por la viscosidad de la fase fluida.

VPN: Valor Presente Neto, corresponde al valor actual de los flujos de Efectivo Neto (Ingresos - Egresos) determinados para una propuesta conforme a su horizonte económico.

Well Plan: Software utilizado para la simulación de la hidráulica, cementación y torque y arrastre.

Yacimiento: Acumulación de petróleo y/o gas en roca porosa tal como arenisca.

Zapata: Junta que va colocada en la parte inferior de la sarta de revestimiento, cuyo objetivo es servir de guía cuando se bajan los casing por el hoyo.

ANEXO A

**PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA
LA CORRIDA Y CORTE DE GUAYA**



**PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA
LA CORRIDA DE CORTE Y GUAYA**

1. Se guinda el bloque viajero con el winche. Si existe tubería en el hoyo, llevarla hasta la zapata más próxima y colocar las cuñas, tomándose en cuenta que el Top Drive no se apoye de la tubería.
2. Se marca donde se va a cortar la guaya.
3. Se suelta el freno del malacate.
4. Se desenrosca la guaya del tambor del malacate.
5. Se desconecta la grapa.
6. Se pica la guaya donde se indicó con el cortador y se lava el extremo con gasoil y aserrín o en su defecto con barita hasta que quede no exista grasa.
7. Se chequean los frenos del malacate.
8. Se desconecta el ancla de la garrapata.
9. Se conecta la grapa al tambor del malacate.
10. Se desenrolla la guaya del carrito los pies calculados y se enrolla simultáneamente del malacate.
11. Se coloca el ancla de la garrapata y se descuelga el bloque viajero.

Esta operación debe durar aproximadamente 1,5 horas sin contratiempos.

ANEXO B
REVESTIDORES



CPV-10

PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA LA CORRIDA DE REVESTIDORES

1. Colocar los tubulares que van a hacer introducidos en el hoyo, en los estantes de tubería.
2. Desenroscar los taparoscas de los tubulares.
3. Medir y calibrar la tubería de casing.
4. Vestir la llave hidráulica de la compañía de servicio utilizada para apretar los casing.
5. Tener en la planchada los centralizadores, clavos, cuello y zapata preparados para la conexión.
6. Colocar grasa y soldadura en frío en el pin del revestidor.
7. Colocar protector de goma a cada tubo para evitar que se estropee la el pin al momento de levantarlos.
8. Levantar el casing de la rampa de tubería con el winche por medio de la cinta hasta una altura apropiada para sujetarlo con los elevadores del Top Drive.
9. Levantar la tubería y colocarla sobre el tool joint de la zapata.
10. Colocar el centralizador al primer tubular, en caso de haberse diseñado dos centralizadores, colocarlos con un top collar entre ellos.
11. Enroscar y darle torque a la conexión zapata-revestidor por medio de las llaves hidráulicas de la compañía de servicio.
12. Quitar la tapa del hueco de ratón.
13. Elevar sarta con el top drive
14. Colocar cuñas y collarín a la zapata para evitar que se deslice hacia el hueco.
15. Dejar aproximadamente 5' de tubería por encima de la mesa rotatoria para realizar la próxima conexión.
16. Colocar grasa y soldadura al frío al cuello del revestidor.
17. Colocar la botella al cuello flotador con llaves de tubo.
18. Levantar y situar cuello flotador sobre el revestidor.

19. Apretar la conexión cuello-sarta con las llaves hidráulicas de la compañía de servicio.
20. Alinear próximo revestidor sobre la sarta.
21. Engrasar conexiones y colocar centralizador (según diseño).
22. Apretar la conexión con llaves hidráulicas.
23. Levantar sarta con el top drive.
24. Quitar collarín y sacar cuñas.
25. Bajar sarta, meter cuñas y colocar collarín.
26. Engrasar conexiones y colocar próximo revestidor con centralizadores (según diseño).
27. Hacer conexión revestidor-revestidor con llave de compañía de servicio.
28. Repetir las últimas tres operaciones durante el resto de la sarta de revestidores.

Observación: En caso de utilizar cuello flotador, llenar el revestidor cada 5 tubos con el lodo de los tanques activos.

CÁLCULOS DEL DISEÑO DE REVESTIDORES PARA EL POZO ES-451

Revestidor de superficie:

Se tomó los siguientes valores teóricos para su diseño:

Parámetros teóricos

| | |
|-----------------------------------|-------|
| Profundidad [pie] | 1200 |
| Gradiente de fractura [lpg] | 10,1 |
| Densidad del lodo | 8,9 |
| Altura lechada de relleno [pie] | 900 |
| Altura lechada de cola [pie] | 300 |
| Densidad lechada de relleno [lpg] | 13,5 |
| Densidad lechada de cola [lpg] | 15,6 |
| Diámetro [plg] | 9-5/8 |
| Gradiente del gas [lpg] | 0,115 |

Diseño de estallido:

La máxima carga en superficie se establece de una manera arbitraria y va a ser equivalente a la presión de fractura de la formación. La presión máxima se originará en la superficie en caso de existir una arremetida y tener el casing lleno de gas.

La presión máxima en el asiento del casing se denomina presión de inyección (IP) y es calculada arbitrariamente como el gradiente de fractura (GF) mas un factor de seguridad (SG) de 1lpg.

$$IP = (GF+SF) \times 0.052 \times \text{Profundidad del casing.}$$

$$IP = (10,1 + 1) \times 0,052 \times 1200$$

$$IP = 693 \text{ lpc}$$

La máxima presión de inyección será la presión de inyección menos la hidrostática (HP)

$$SP = IP - HP$$

$$SP = 693 - 1200 \times 0,115$$

$$SP = 555 \text{ lpc}$$

La presión de respaldo será:

$$P_{@0'} = 0$$

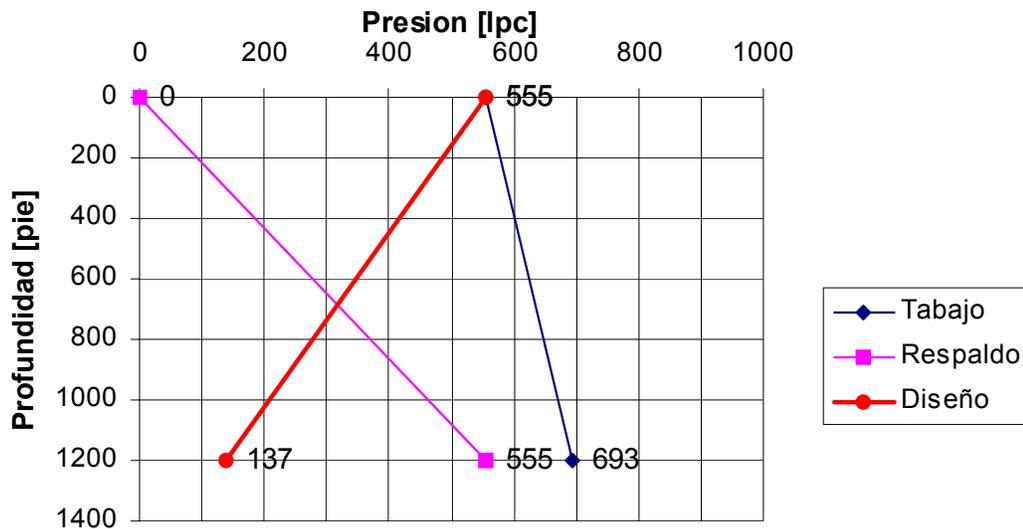
$$P_{@1200'} = 0,052 \times 8,9 \times 1200 = 555 \text{ lpc}$$

La línea de diseño viene dada por

$$P_{@0'} = 555 - 0 = 555 \text{ lpc}$$

$$P_{@1200'} = 693 - 555 = 138 \text{ lpc}$$

Como el factor de seguridad es 1 en la industria para el diseño de estallido en revestidores de superficie, la línea de diseño no sufre modificaciones. Graficando estos resultados se obtiene:



Diseño de Estallido para revestidor 9-5/8"

El revestidor tentativo, el cual está diseñado para soprtar estas presiones, es un H-40 de 32,3 lb/pie, el cual es capaz de permitir hasta 2270 lpc.

Diseño de colapso:

La máxima carga de colapso (PC) va a ser ejercida por la columna de fluido de mayor densidad que va a ocupar el anular, es decir por las presiones de las lechadas.

$$PC_{@0'} = 0 \text{ lpc}$$

$$PC_{@900'} = 0,052 \times 900 \times 13,5 = \mathbf{632 \text{ lpc}}$$

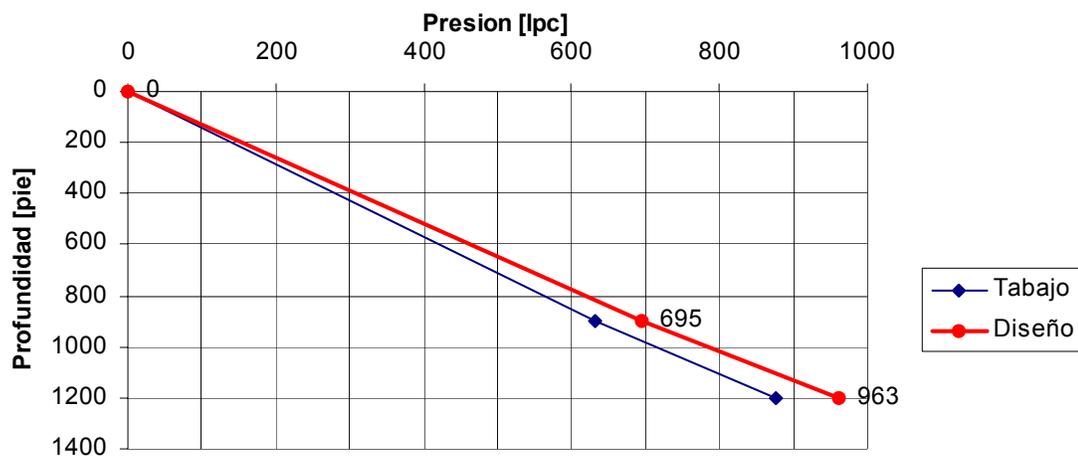
$$PC_{@1200'} = 632 + 0,052 \times 300 \times 15,6 = \mathbf{875 \text{ lpc}}$$

No se aplica ninguna presión de respaldo, ya que el casing puede quedar completamente vacío en caso de una pérdida de circulación. Para graficar la presión de diseño, se multiplican estos valores por el factor de diseño de la empresa 1,1.

$$PC_{@0'} = 0 \times 1,1 = \mathbf{0 \text{ lpc}}$$

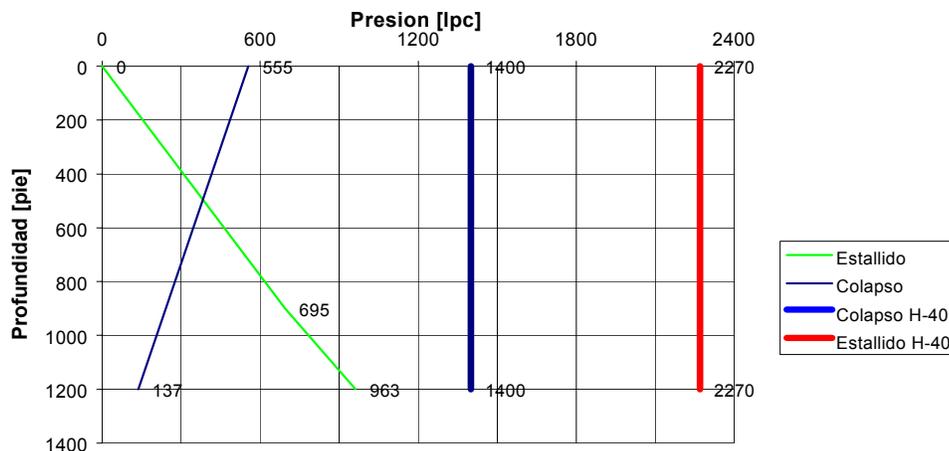
$$PC_{@900'} = 632 \times 1,1 = \mathbf{695 \text{ lpc}}$$

$$PC_{@1200'} = 875 \times 1,1 = \mathbf{963 \text{ lpc}}$$



Diseño de Colapso para revestidor 9-5/8"

Ahora se grafican ambas líneas de diseño, tanto para el estallido como para el colapso y se determina si el modelo del revestidor anteriormente elegido se adapta para ambas curvas.



Diseño de Colapso y estallido para revetidor 9-5/8"

El modelo H-40 de 32,3 lb/pie, cumple con las exigencias para las cargas de estallido y colapso.

Tensión:

Estas fuerzas las componen las cargas verticales actuando a lo largo del eje del revestidor, y son una combinación del peso de las diferentes secciones del revestimiento y las fuerzas de flotabilidad del lodo. La tensión se expresa de la siguiente forma:

$$FT = FW + FB$$

$$FT = \text{Tensión total}$$

$$FW = \text{peso del casing}$$

$$FB = \text{fuerza de la flotabilidad.}$$

Se consideran fuerzas positivas las que actúan hacia abajo y negativas las que apuntan hacia arriba.

$$FW = \text{lb/pie casing} \times \text{Longitud}$$

$$FW = 32,3 \times 1200 = \mathbf{38760 \text{ lb}}$$

$$FB = 0,052 \times \text{Peso del lodo} \times L \text{ casing} \times \text{Area transversal del acero}$$

$$FB = - 0,052 \times 8,6 \times 1200 \times \Pi \times (9-5/8^2 - 9,001^2)/4 = - \mathbf{5070 \text{ lb}}$$

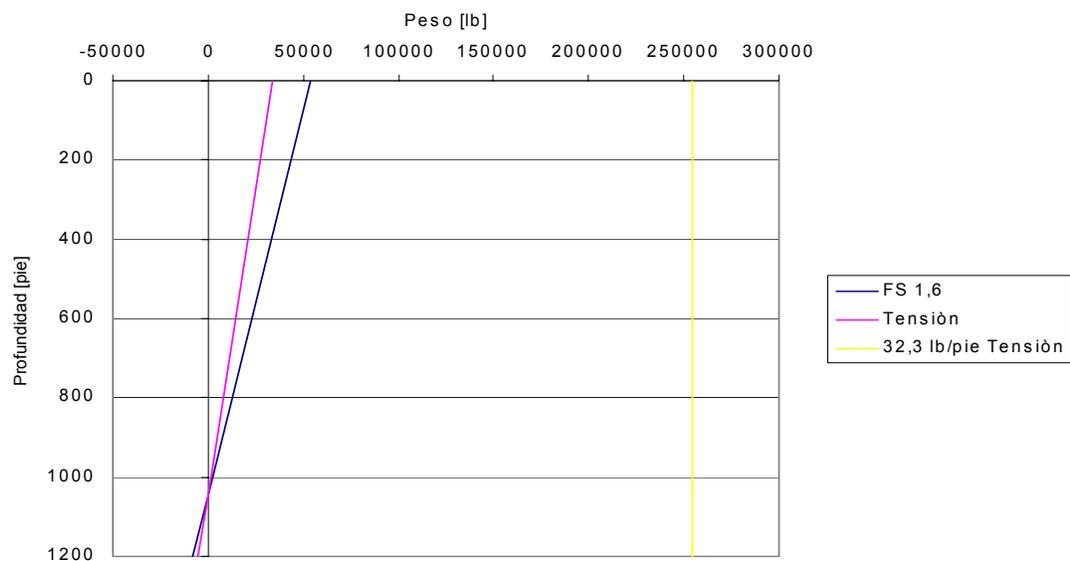
$$\mathbf{FT = 33690 \text{ lb}}$$

Se determina el punto neutro

$$PN = FB/\text{peso del casing}$$

$$PN = 5070 / 32,3 = \mathbf{157 \text{ pie}}$$

Se multiplica por el factor de seguridad de 1,6 todas las fuerzas actuantes y se grafican ambas curvas, además se considera la tensión de la tubería seleccionada para observar si soporta el peso del revestidor.



Diseño de Tensión para revestidor 9-5/8"

Se puede observar por el gráfico, que el revestidor seleccionado posee una tensión superior a las ejercidas por su peso y el del lodo, por lo tanto no puede fallar por este parámetro.

Diseño de esfuerzos biaxiales:

Se realiza este estudio para determinar como afecta y cambia los valores de colapso y estallido del casing seleccionado a distintas profundidades.

Para ello se calcula la presión ejercida por la columna de cemento sobre el área del revestidor.

$$FB1 = - (P_{\text{cemento cola}} + P_{\text{cemento llenado}}) \times \text{Area del casing}$$

$$FB1 = - 0,052 \times (13,5 \times 900 + 15,6 \times 300) \times \Pi \times 9-8/5^2 / 4 = \mathbf{-63677 \text{ lb}}$$

La fuerza del lodo por dentro de la tubería

$$FB2 = 0,052 \times 8,9 \times 1200 \times \Pi \times 9,001^2 / 4 = \mathbf{35388 \text{ lb}}$$

El peso del casing vendrá dado por

$$FW = 32,3 \times 1200 = \mathbf{38760 \text{ lb}}$$

La fuerza total (FT) será entonces:

$$FT = FB1 + FB2 + FW$$

$$\mathbf{FT = 10422 \text{ lb}}$$

Se determina como va a afectar a los valores de tensión y colapso en el casing.

$$F_{\text{axial}} = \frac{\text{carga Tensional}}{\text{Area de las paredes}}$$

Fuerza Axial para revestidor 9-5/8"

| Profundidad | Carga Axial | Area | Fuerza Axial |
|-------------|-------------|------|--------------|
| 1200 | -28338 | 9,1 | -3104 |
| 0 | 10422 | 9,1 | 1142 |

La cedencia promedio de este revestidor es 40000 lb (H-40) , el factor fuerza (X) es la relación de la fuerza axial entre la cedencia promedio. Por medio de estos valores se corrige el estallido y el colapso mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Estallido} = 0,5 X + \sqrt{1 - 0,75 X^2}$$

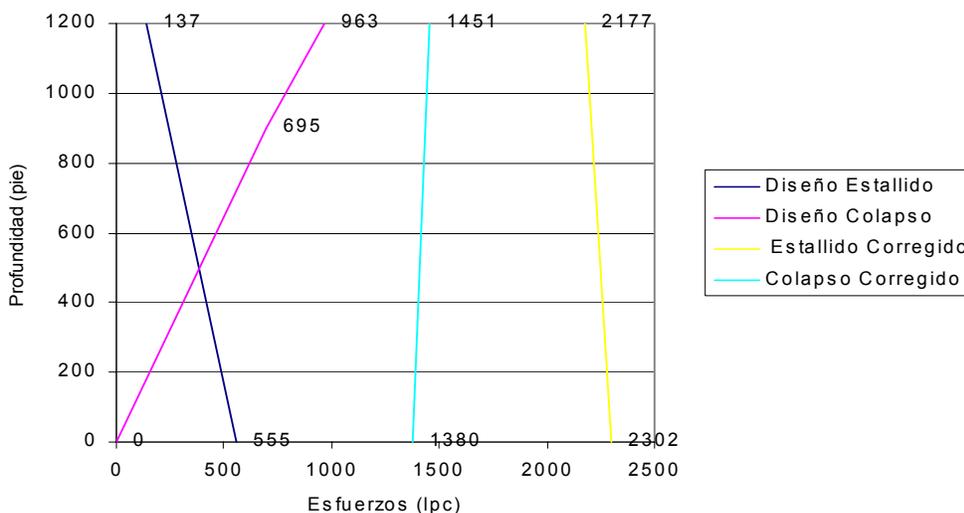
$$\text{Colapso} = - 0,5 X + \sqrt{1 - 0,75 X^2}$$

Quedando como resultado:

Estallido y Colapso Corregidos

| YA | X | Factor Estallido | Factor Colapso | Estallido | Colapso | Estallido Corregido | Colapso Corregido | Profundidad |
|-------|---------|------------------|----------------|-----------|---------|---------------------|-------------------|-------------|
| 40000 | -0,0776 | 0,9589 | 1,0365 | 2270 | 1400 | 2177 | 1451 | 1200 |
| 40000 | 0,0285 | 1,0140 | 0,9854 | 2270 | 1400 | 2302 | 1380 | 0 |

Graficando estos valores se obtiene:



Diseño de Esfuerzos biaxiales para revestidor 9-5/8"

Por lo tanto, el revestidor del tipo H-40 de 32,3 lb/pie, cumple con los requisitos mínimos para soportar los efectos de las cargas presentes en el hoyo.

Revestidor intermedio

Se tomó los siguientes valores teóricos para su diseño:

Parámetros teóricos

| | |
|------------------------------------|------|
| Profundidad [pie] | 4300 |
| Gradiente de fractura [lpg] | 13,8 |
| Densidad del lodo | 8,6 |
| Altura lechada de relleno [pie] | 3800 |
| Altura lechada de cola [pie] | 500 |
| Densidad lechada de relleno [lpg] | 14,2 |
| Densidad lechada de cola [lpg] | 15,6 |
| Diámetro [plg] | 7 |
| Gradiente de gas [lpg] | 2,21 |
| Máxima Presión en superficie [lpc] | 2500 |

Diseño de estallido:

Se deben establecer las presiones máximas en la superficie y en la profundidad total.

$$IP = \text{Gradiente de fractura} + FS$$

$$IP = (13,8 + 1) \times 0,052 \times 4300 = \mathbf{3309 \text{ lpc}}$$

Determinando la altura que ocupara el lodo (X) y una burbuja de gas (Y)

$$X = \frac{IP - P_s - Prof * Gg}{Glodo - Gg}$$

$$X = \frac{3303 - 2500 - 4300 * 0,115}{0,052(13 - 2,21)} = \mathbf{560 \text{ pie}}$$

$$Y = 4300 - 560 = \mathbf{3740 \text{ pie}}$$

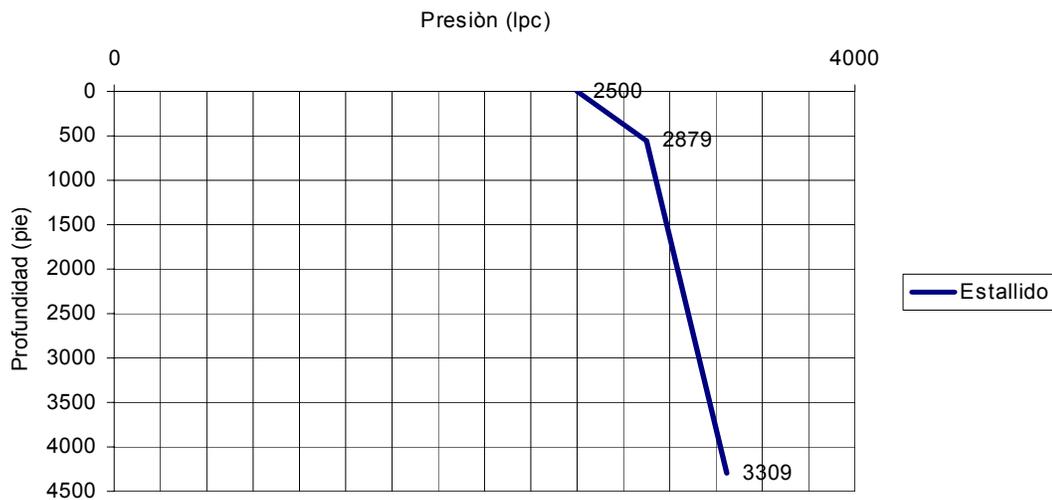
La presión en la interfase será:

$$P_b = P_s + Glodo X$$

$$P_b = 2500 + 0,052 \times 13 \times 560 = \mathbf{2879 \text{ lpc}}$$

Para realizar un diseño aún más seguro, se supondrá que no existiera respaldo alguno.

Graficando estos valores:



Diseño de Estallido para revestidor 7"

El revestidor de 7" que cumple con estos requisitos, es el J-55 de 20 lb/pie, cuya presión de estallido es 3740 lpc.

Diseño de colapso

La máxima presión de colapso va a estar ejercida por el fluido de mayor densidad que va a ocupar el espacio anular.

$$PC_{@0'} = 0 \text{ lpc}$$

$$PC_{@3800'} = 0,052 \times 14,2 \times 3800 = 2806 \text{ lpc}$$

$$PC_{@4300'} = 2806 + 0,052 \times 15,6 \times 500 = 3212 \text{ lpc}$$

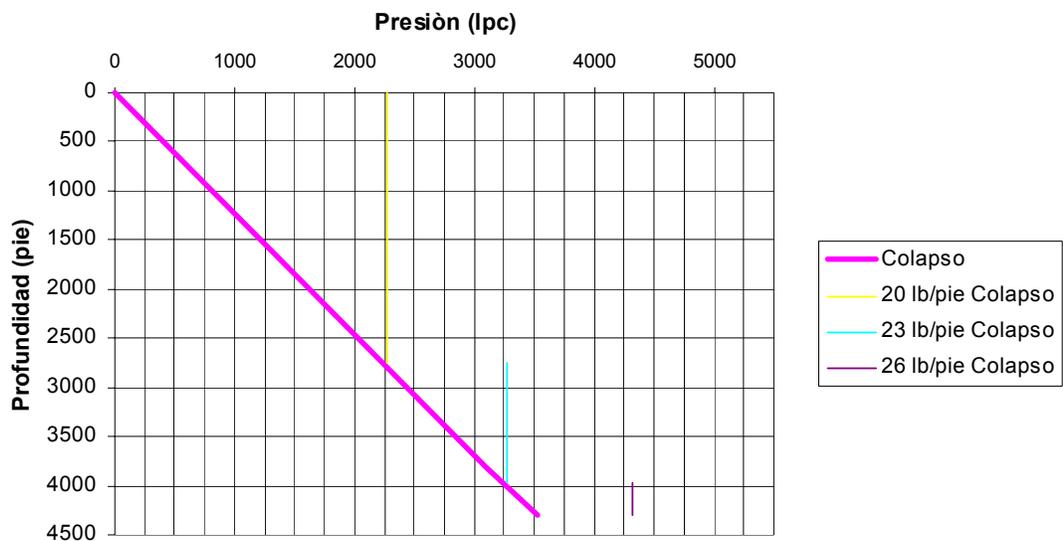
Al igual que para estallido, se diseña sin la carga de respaldo, suponiendo una pérdida completa de lodo. Ambos valores se multiplican por un factor de diseño de 1,1.

$$PC_{@0'} = 0 \times 1,1 = 0 \text{ lpc}$$

$$PC_{@3800'} = 2806 \times 1,1 = 3087 \text{ lpc}$$

$$PC_{@4300'} = 3212 \times 1,1 = 3533 \text{ lpc}$$

Graficando estos puntos se obtiene:



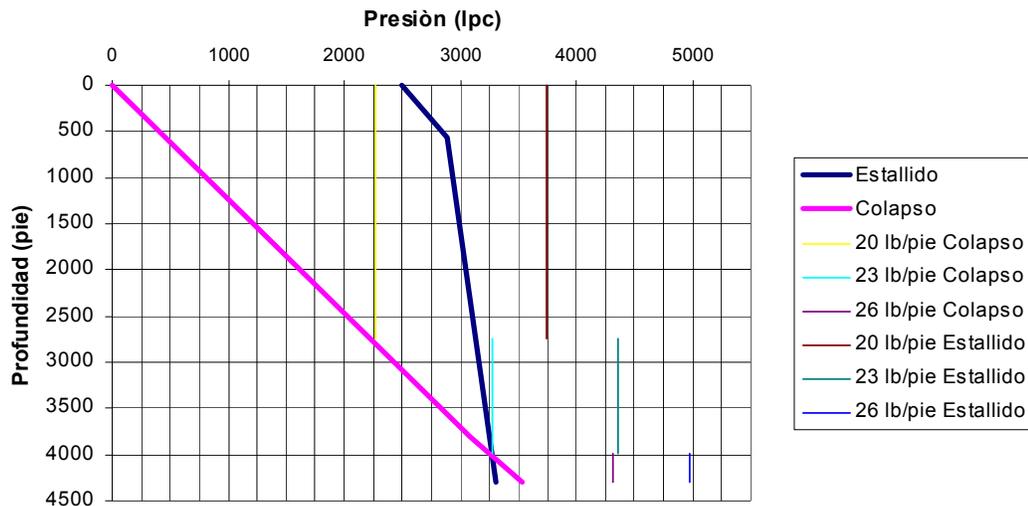
Diseño de Colapso para revestidor 7"

Se observa por la gráfica, que se deben de utilizar tres tipos de revestidores para cumplir con las exigencias de colapso, todos son del tipo J-55 pero de 20, 23 y 26 lb/pie respectivamente a distintas profundidades:

Tubulares para el Colapso

| Tipo | Grado [lb/pie] | Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] |
|------|----------------|-------------|-------------|-----------------|
| J-55 | 20 | 0 | 2750 | 2750 |
| J-55 | 23 | 2750 | 3980 | 1230 |
| J-55 | 26 | 3980 | 4300 | 320 |

Se grafica el diseño de colapso y el diseño de estallido y se compara si los tres tipos de tubulares seleccionados aplican para ambas curvas.



Diseño de Colapso y Estallido para revestidor 7”

Se observa que estos revestidores si aplican para ambas presiones.

Diseño de tensión

Al igual que para el diseño del revestidor de superficie, se calculan las fuerzas positivas y negativas que actúan en el diseño.

Peso del lodo

$$FB3 = - 0,052 \times \text{Prof} \times \text{Den lodo} \times \text{Area transversal del acero del casing}$$

$$FB3 = - 0,052 \times 8,6 \times 4300 \times \Pi \times (7^2 - 6,276^2)/4 = \mathbf{-14518 \text{ lb}}$$

Peso de la tubería y lodo @ 3980 pie

$$FW2 = 26 \times 320 = \mathbf{8320 \text{ lb}}$$

$$FB2 = 0,052 \times 8,6 \times 3980 \times \Pi \times (6,276^2 - 6,366^2)/4 = \mathbf{1591 \text{ lb}}$$

$$FResultante = -14518 + 8320 + 1625 = \mathbf{-4606 \text{ lb}}$$

Peso de la tubería y lodo @ 2750 pie

$$FW3 = 23 \times 1230 = \mathbf{28290 \text{ lb}}$$

$$FB3 = 0,052 \times 8,6 \times 2750 \times \Pi \times (6,366^2 - 6,456^2)/4 = \mathbf{1115 \text{ lb}}$$

$$FResultante = -4606 + 28290 + 1115 = \mathbf{24798 \text{ lb}}$$

Peso del revestidor

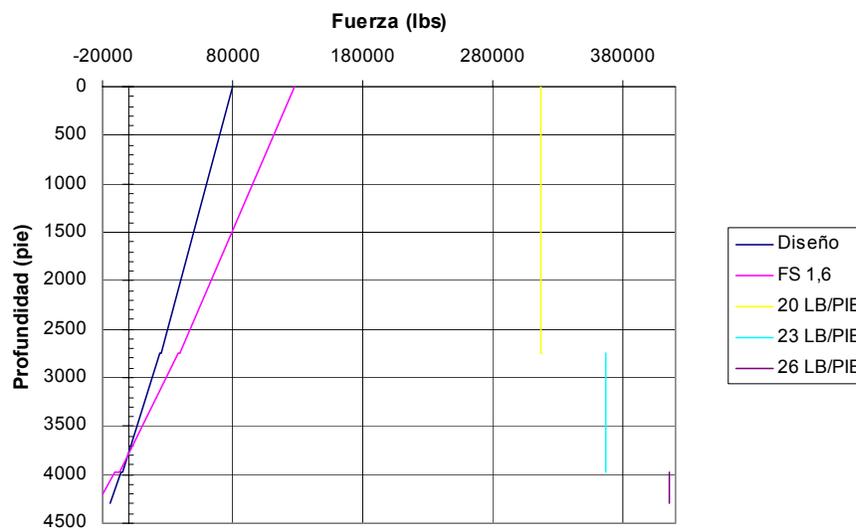
$$FW4 = 20 \times 2750 = \mathbf{55000 \text{ lb}}$$

$$FResultante = 24798 + 55000 = \mathbf{79798 \text{ lb}}$$

Multiplicando por 1,6 como factor de seguridad estos valores y graficándolos junto con las tensiones que soportan los tres tipos de casing antes seleccionados, se obtiene:

Valores Tensión para 7"

| Profundidad | Tensión | FS 1,6 |
|-------------|---------|--------|
| 4300 | -14517 | -23227 |
| 3980 | -6197 | -9915 |
| 3980 | -4606 | -7370 |
| 2750 | 23684 | 37894 |
| 2750 | 24798 | 39678 |
| 0 | 79798 | 127678 |



Diseño de Tensión para revestidor 7"

Por la gráfica se observa que los tres revestidores superan las cargas de tensión a las cuales se les va a someter.

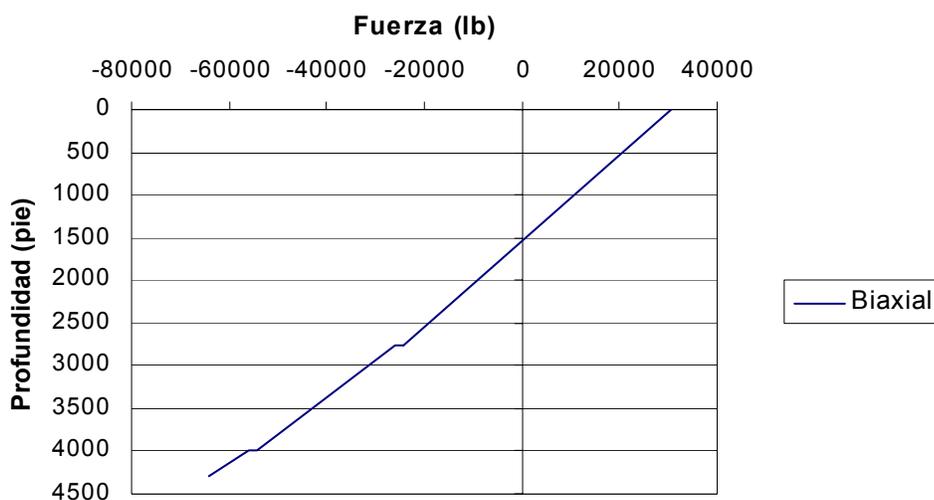
Diseño de esfuerzos biaxiales:

Se realiza de la misma manera que para los cálculos de esfuerzos biaxiales del revestidor de superficie. Quedando de la siguiente manera:

Esfuerzos Biaxiales para revestidor 7"

| Profundidad | Cargas |
|-------------|--------|
| 4300 | -64106 |
| 3980 | -55786 |
| 3980 | -54196 |
| 2750 | -25906 |
| 2750 | -24293 |
| 0 | 30707 |

Graficando estos valores se obtiene:

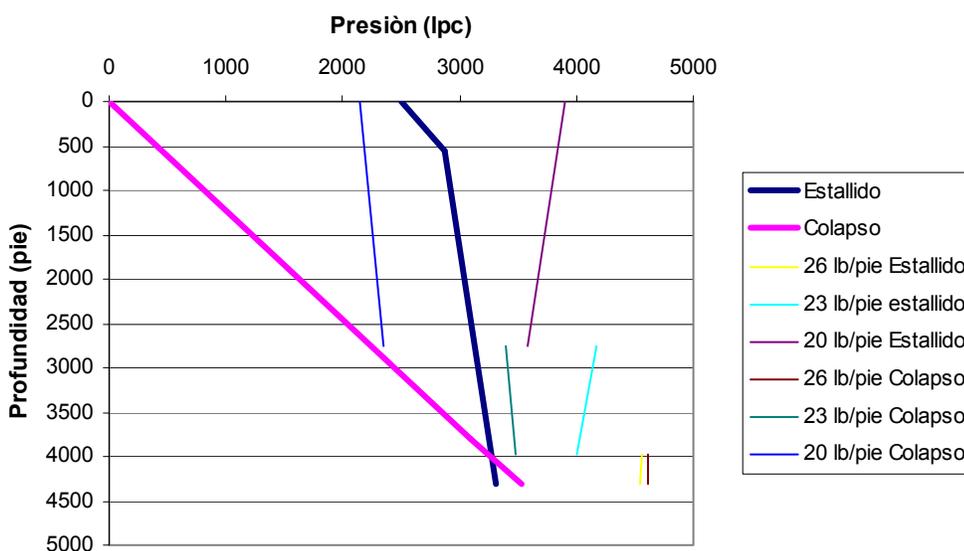
**Esfuerzos Biaxiales para revestidor 7"**

Se recalculan los valores de colapso y tensión al igual que en el revestidor de superficie:

Esfuerzos Biaxiales para revestidor 7"

| Profundidad | Cargas | Area | Esf Axial | Cedencia | X |
|-------------|--------|-------|-----------|----------|---------|
| 4300 | -64106 | 7,549 | -8492 | 55000 | -0,1544 |
| 3980 | -55786 | 6,656 | -8382 | 55000 | -0,1524 |
| 3980 | -54196 | 6,656 | -8143 | 55000 | -0,1481 |
| 2750 | -25906 | 5,749 | -4506 | 55000 | -0,0819 |
| 2750 | -24293 | 5,749 | -4225 | 55000 | -0,0768 |
| 0 | 30707 | 5,749 | 5341 | 55000 | 0,0971 |

| Factor Estallido | Factor Colapso | Estallido | Colapso | Estallido Corregido | Colapso Corregido |
|------------------|----------------|-----------|---------|---------------------|-------------------|
| 0,9138 | 1,0682 | 4980 | 4320 | 4551 | 4615 |
| 0,9151 | 1,0675 | 4980 | 4320 | 4557 | 4611 |
| 0,9177 | 1,0658 | 4360 | 3270 | 4001 | 3485 |
| 0,9565 | 1,0384 | 4360 | 3270 | 4170 | 3396 |
| 0,9594 | 1,0362 | 3740 | 2270 | 3588 | 2352 |
| 1,0450 | 0,9479 | 3740 | 2270 | 3908 | 2152 |



Colapso y Estallido corregidos por Esfuerzos Biaxiales para revestidor 7”

Al verificar la gráfica, se observa que los valores de colapso y estallido corregidos por los esfuerzos biaxiales, no afectan el diseño de los tres tubulares J-55 de diferentes grados, por lo tanto, el revestidor que aplica para este sistema de fuerzas y el más rentable es:

Diseño Final del Revestidor Intermedio

| Tipo | Grado [lb/pie] | Desde [pie] | Hasta [pie] | Intervalo [pie] |
|------|----------------|-------------|-------------|-----------------|
| J-55 | 20 | 0 | 2750 | 2750 |
| J-55 | 23 | 2750 | 3980 | 1230 |
| J-55 | 26 | 3980 | 4300 | 320 |

ANEXO C

**PROCEDIMIENTO OPERACIONAL
PARA EL EMPAQUE CON GRAVA**



PROCEDIMIENTO OPERACIONAL DE EMPAQUE CON GRAVA

- Calcular la capacidad del tubing.
- Desplazando y forzando
 1. Se desplaza con fluido la capacidad de la tubería.
 2. Se desplaza con la mezcla de empaque la capacidad de la tubería
 3. Se cierra el anular y se presiona hacia la formación hasta alcanzar la presión de forzamiento (1500 lpc)
- Llenando Anular y tensionar
 4. Se abre el anular
 5. Se continua bombeando mezcla de empaque hasta notar la subida de presión, lo que refleja la llegada de la grava hasta el tubo indicador.
 6. Se prueba o presiona 3 veces con 2500 lpc.
 7. Se tensiona la sarta para comprobar el empaque con 4000 lbs adicionales al peso de la sarta.
- Reversar y Probar
 8. Se bombea de casing a tubing hasta remover toda la grava que continua en el la sarta.
 9. Se prueba el empaque y se bombea fluido de tubing a casing para verificar la presión final de 2500 lpc.
- Asentamiento de la empacadura.
 10. Se tensiona a 1000 lbs adicionales al peso de la original de la sarta
 11. Se gira 5 vueltas en sentido de las agujas del reloj, comprobando si existe torque
 12. Se continua con 5 vueltas más hasta liberar settin tool.
 13. Se sube la sarta de 2 a 3 pies a objeto de liberar las cuñas de asentamiento del settin tool.
 14. Se baja la sarta hasta hacer tope con el colgador.

15. Se aplican 3000 lbs adicionales al peso original, a objeto de comprimir el elemento sellante (gomas).

□ Gomas

16. Se bombea por el casing fluido hasta levantar la presión entre 400 y 500 lpc por lo cual se verifica que el sello funcionó exitosamente.

17. Descargar la sarta para liberar la presión acumulada.

18. Sacar la sarta para retirar el setting tool y tubos lavadores.

ANEXO D

**PROCEDIMIENTO OPERACIONAL
PARA LA TOMA DE NÚCLEOS**



PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA LA TOMA DE NÚCLEOS

1. Abrir el HCR y la válvula ciega para desahogar el pozo.
2. Sacar el tapa rosca del portanúcleos.
3. Colocar el Long Protector (protector largo) al portanúcleos.
4. Poner el collarín y sacar el colgador al portanúcleos.
5. Meter la manga de núcleos, si es de 15 pies, colocar el collarín y apretar las dos mangas.
6. Colocar la Upper Section, donde se van a depositar las esferas, pero enroscando sólo la manga.
7. Desconectar el collarín.
8. Subir el ensamblaje y conectar la Low Section, donde se encuentra el ensamblaje de las Claps Shell y el Core Catcher, verificándose que estén los seguros puestos.
9. Colocar cinta adhesiva a la Low Section, para evitar que se active el mecanismo de cierre por efecto de sacudidas involuntarias de la herramienta.
10. Bajar ensamblaje y enroscar la Top Section del portanúcleos.
11. Desconectar el Long Protector.
12. Enroscar el Bent Sub y la Mecha Corona
13. Verificar que la manga quede justo sobre la mecha, sin aberturas, para evitar que la muestra se lave.

Todas las conexiones se realizan con las llaves mecánicas y con un torque de aproximadamente 3500 lb-ft.

14. Llegar a un pie del fondo, y circular por 1,5 horas, con presión de bombas igual a 400 psi, para eliminar la el relleno y dejar el hoyo lo más limpio posible.
15. Apagar las bombas de lodo.

16. Meter Cuñas
17. Desconectar sarta.
18. Soltar la esfera de menor diámetro.
19. Conectar tubería.
20. Sacar cuñas.
21. Activar bombas a de lodos y esperar el aumento de presión, que es el indicativo que el bolo llegó al fondo.
22. Aplicar entre 5 y 10 Klbs de peso a la mecha, con 60 rpm y una rata de penetración de 3-5 pies/hora.
23. Recuperar los pies programados o hasta que exista un impedimento en el avance de la toma de núcleos.
24. Desenroscar la conexión de superficie y lanzar la segunda esfera
25. Sacar la sarta y cuando el ensamblaje del toma núcleos se encuentre en superficie, desenroscar la manga con mucha precaución.
26. Elevar la manga, colocarla en la corredera con rolineras y sujetarla.
27. Bajar la manga de la planchada y trasladarla para realizar los cortes respectivos.
28. Determinar los pies recuperados y seccionar la manga cada 3 pies, marcando las profundidades a las cuales ha sido cortada
29. Almacenar las muestras en cavas con hielo seco y trasladarla a los laboratorios para los estudios petrofísicos.

ANEXO E

**PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA
LAS CONEXIONES DEL TOP DRIVE**



PROCEDIMIENTO OPERACIONAL PARA LAS CONEXIONES DEL TOP DRIVE

1. Después de perforar una pareja, disminuir la velocidad del rotador superficial a 15 - 20 Revoluciones Por Minuto (RPM)
2. Colocar rotador superficial en neutro.
3. Colocar rotador superficial en modo de conexión.
4. Meter Cuña
5. No dejar caer todo el peso del bloque sobre la tubería
6. Apagar bombas de lodo
7. Cerrar válvula hidráulica
8. Cerrar Grabber (mordaza hidráulica)
9. Desenroscar conexión
10. Engrasar Pin
11. Encuellar siguiente pareja
12. Colocar rotador superficial en marcha
13. Enroscar pareja
14. Verificar torque de apriete
15. Abrir válvula hidráulica
16. Sacar cuñas
17. Encender bombas de lodo
18. Colocar modo de perforación (drill)
19. Colocar rotador superficial en marcha hasta las RPM requeridas
20. Una vez cuando se tienen presión de bombas ya se puede abrir el elevador.

Observación:

- Nunca cambiar velocidad entre baja y alta mientras está en rotación
- Nunca cambiar de rango de bajo a alto cuando el Top Drive se encuentra en rotación.

APÉNDICE A
PIPE TALLY DE LOS REVESTIDORES
DEL POZO ES-451



PYPE TALLY DEL REVESTIDOR DE SUPERFICIE DEL POZO ES-451

| PDVSA | | | | | | | | | | Página 1 de 1 | |
|---------------------------------|-------------|---------------|-----------------------------|--------------|-------|-----------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|---------------|----|
| Reporte Pipe Tally Final | | | | | | | | | | | |
| Nom. Legal Pozo: 46702-ES -0451 | | | Inic Perf: 02/11/2002 | | | Reporte #: 2 | | | Fec Reporte: 08/11/2002 | | |
| Nom. Común Pozo: ES -0451 | | | Fec. Inicio: 01/11/2002 | | | Fec. Fin: 04/12/2002 | | | Evento: PERFCN/ORIGINAL | | |
| Fe. Corr: 08/11/2002 | | | TMD Propuesta: 1,205.0 (ft) | | | Factor de Flotación: 0.8639 | | | Peso Bloque: 22 (Mlb) | | |
| Datos de la Tubería | | | | | | | | | | | |
| Juntas | Tamaño (in) | Fabricante | Peso (lb/ft) | Roscas | Grado | Rango | Correc. Rosca (ft) | Desplazamiento (bb/ft) | | | |
| 0 - 0 | 9.625 | HALLIBURTON | 47.00 | BTC | P110 | 1 | | 0.01948 | | | |
| 1 - 30 | 9.625 | CONDUSSID | 43.50 | BTC | N80 | 1 | | 0.01584 | | | |
| 0 - 0 | 9.625 | HALLIBURTON | 43.50 | BTC | N80 | 1 | | 0.01584 | | | |
| Información de la Tubería | | | | | | | | | | | |
| Corr # | Jun # | Descripción | Long Jun(ft) | Long Acu(ft) | Ct | Corr # | Jun # | Descripción | Long Jun(ft) | Long Acu(ft) | Ct |
| 1 | | ZAPATA FLOTAD | 1.650 | 1.650 | | 17 | 15 | REVESTIDOR | 44.780 | 659.700 | |
| 2 | 1 | REVESTIDOR | 44.080 | 45.730 | | 18 | 16 | REVESTIDOR | 44.690 | 714.390 | |
| 3 | | CUELLO FLOTAD | 1.160 | 48.690 | | 19 | 17 | REVESTIDOR | 44.760 | 752.150 | |
| 4 | 2 | REVESTIDOR | 44.730 | 91.620 | | 20 | 18 | REVESTIDOR | 44.410 | 803.560 | |
| 5 | 3 | REVESTIDOR | 44.660 | 136.270 | | 21 | 19 | REVESTIDOR | 44.850 | 948.410 | |
| 6 | 4 | REVESTIDOR | 43.900 | 180.170 | | 22 | 20 | REVESTIDOR | 44.810 | 893.220 | |
| 7 | 5 | REVESTIDOR | 43.350 | 223.520 | | 23 | 21 | REVESTIDOR | 44.100 | 937.320 | |
| 8 | 6 | REVESTIDOR | 44.700 | 268.220 | | 24 | 22 | REVESTIDOR | 43.940 | 981.260 | |
| 9 | 7 | REVESTIDOR | 44.730 | 312.950 | | 25 | 23 | REVESTIDOR | 44.760 | 1,026.020 | |
| 10 | 8 | REVESTIDOR | 44.840 | 357.790 | | 26 | 24 | REVESTIDOR | 44.770 | 1,070.790 | |
| 11 | 9 | REVESTIDOR | 44.280 | 402.070 | | 27 | 25 | REVESTIDOR | 44.790 | 1,115.580 | |
| 12 | 10 | REVESTIDOR | 44.600 | 446.670 | | 28 | 26 | REVESTIDOR | 44.720 | 1,160.300 | |
| 13 | 11 | REVESTIDOR | 44.730 | 491.400 | | 29 | 27 | REVESTIDOR | 44.750 | 1,205.050 | |
| 14 | 12 | REVESTIDOR | 44.840 | 536.040 | | OUT | 28 | REVESTIDOR | 44.820 | | |
| 15 | 13 | REVESTIDOR | 44.810 | 580.850 | | OUT | 29 | REVESTIDOR | 44.120 | | |
| 16 | 14 | REVESTIDOR | 44.070 | 624.920 | | OUT | 30 | REVESTIDOR | 43.900 | | |

PIPE TALLY RUN DEL REVESTIDOR INTERMEDIO DE 7"

| CORRIDA DE REVESTIDOR 7", 23 LBS/PIE, N-80, BTTS, | | | | | |
|--|-------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| POZO ES-451, TALADRO CPV-10 | | | | | |
| | | ZAPATA 7" @ 4328 | | | |
| DESCRIPCIÓN | LONG | LONG ACUMU. | PROF. BASE | CENTRALIZ. | PROF. TOPE |
| ZAPATA | 1,63 | 1,63 | 4328 | | 4326,37 |
| REVESTIDOR N ^a 1 | 44,72 | 46,35 | 4326,37 | 1 | 4281,65 |
| CUELLO | 0,90 | 47,25 | 4281,65 | | 4280,75 |
| REVESTIDOR N ^a 2 | 44,79 | 92,04 | 4280,75 | 2 - 3 | 4235,96 |
| REVESTIDOR N ^a 3 | 44,73 | 136,77 | 4235,96 | 4 | 4191,23 |
| REVESTIDOR N ^a 4 | 44,78 | 181,55 | 4191,23 | 5 | 4146,45 |
| REVESTIDOR N ^a 5 | 44,72 | 226,27 | 4146,45 | 6 | 4101,73 |
| REVESTIDOR N ^a 6 | 44,78 | 271,05 | 4101,73 | 7 | 4056,95 |
| REVESTIDOR N ^a 7 | 44,68 | 315,73 | 4056,95 | 8 | 4012,27 |
| REVESTIDOR N ^a 8 | 44,70 | 360,43 | 4012,27 | 9 | 3967,57 |
| REVESTIDOR N ^a 9 | 44,72 | 405,15 | 3967,57 | 10 | 3922,85 |
| REVESTIDOR N ^a 10 | 44,45 | 449,60 | 3922,85 | | 3878,40 |
| REVESTIDOR N ^a 11 | 44,75 | 494,35 | 3878,40 | 11 | 3833,65 |
| REVESTIDOR N ^a 12 | 44,65 | 539,00 | 3833,65 | | 3789,00 |
| REVESTIDOR N ^a 13 | 44,67 | 583,67 | 3789,00 | | 3744,33 |
| REVESTIDOR N ^a 14 | 44,68 | 628,35 | 3744,33 | | 3699,65 |
| REVESTIDOR N ^a 15 | 43,31 | 671,66 | 3699,65 | | 3656,34 |
| REVESTIDOR N ^a 16 | 44,65 | 716,31 | 3656,34 | 12 | 3611,69 |
| REVESTIDOR N ^a 17 | 43,90 | 760,21 | 3611,69 | 13 | 3567,79 |
| REVESTIDOR N ^a 18 | 44,64 | 804,85 | 3567,79 | | 3523,15 |
| REVESTIDOR N ^a 19 | 44,76 | 849,61 | 3523,15 | | 3478,39 |
| REVESTIDOR N ^a 20 | 44,73 | 894,34 | 3478,39 | 14 | 3433,66 |
| REVESTIDOR N ^a 21 | 44,72 | 939,06 | 3433,66 | | 3388,94 |
| REVESTIDOR N ^a 22 | 44,73 | 983,79 | 3388,94 | | 3344,21 |
| REVESTIDOR N ^a 23 | 44,68 | 1028,47 | 3344,21 | 15 | 3299,53 |
| REVESTIDOR N ^a 24 | 44,68 | 1073,15 | 3299,53 | | 3254,85 |
| REVESTIDOR N ^a 25 | 44,73 | 1117,88 | 3254,85 | | 3210,12 |
| REVESTIDOR N ^a 26 | 44,66 | 1162,54 | 3210,12 | 16 | 3165,46 |
| REVESTIDOR N ^a 27 | 44,72 | 1207,26 | 3165,46 | | 3120,74 |
| REVESTIDOR N ^a 28 | 44,74 | 1252,00 | 3120,74 | | 3076,00 |
| REVESTIDOR N ^a 29 | 44,76 | 1296,76 | 3076,00 | 17 | 3031,24 |
| REVESTIDOR N ^a 30 | 44,69 | 1341,45 | 3031,24 | | 2986,55 |
| REVESTIDOR N ^a 31 | 44,75 | 1386,20 | 2986,55 | | 2941,80 |
| REVESTIDOR N ^a 32 | 44,70 | 1430,90 | 2941,80 | 18 | 2897,10 |
| REVESTIDOR N ^a 33 | 44,80 | 1475,70 | 2897,10 | | 2852,30 |
| REVESTIDOR N ^a 34 | 44,66 | 1520,36 | 2852,30 | | 2807,64 |
| REVESTIDOR N ^a 35 | 44,71 | 1565,07 | 2807,64 | 19 | 2762,93 |
| REVESTIDOR N ^a 36 | 44,69 | 1609,76 | 2762,93 | | 2718,24 |
| REVESTIDOR N ^a 37 | 44,75 | 1654,51 | 2718,24 | | 2673,49 |
| REVESTIDOR N ^a 38 | 44,47 | 1698,98 | 2673,49 | 20 | 2629,02 |
| REVESTIDOR N ^a 39 | 44,71 | 1743,69 | 2629,02 | | 2584,31 |
| REVESTIDOR N ^a 40 | 44,70 | 1788,39 | 2584,31 | | 2539,61 |
| REVESTIDOR N ^a 41 | 43,50 | 1831,89 | 2539,61 | 21 | 2496,11 |
| REVESTIDOR N ^a 42 | 44,36 | 1876,25 | 2496,11 | | 2451,75 |
| REVESTIDOR N ^a 43 | 44,68 | 1920,93 | 2451,75 | | 2407,07 |
| REVESTIDOR N ^a 44 | 44,71 | 1965,64 | 2407,07 | | 2362,36 |
| REVESTIDOR N ^a 45 | 44,79 | 2010,43 | 2362,36 | 22 | 2317,57 |
| REVESTIDOR N ^a 46 | 44,68 | 2055,11 | 2317,57 | | 2272,89 |
| REVESTIDOR N ^a 47 | 44,75 | 2099,86 | 2272,89 | | 2228,14 |

| | | | | | |
|---------------------------------|-------------|------------------------|---------|----|---------------------------|
| REVESTIDOR Nª 48 | 44,76 | 2144,62 | 2228,14 | | 2183,38 |
| REVESTIDOR Nª 49 | 44,68 | 2189,30 | 2183,38 | 23 | 2138,70 |
| REVESTIDOR Nª 50 | 44,72 | 2234,02 | 2138,70 | | 2093,98 |
| REVESTIDOR Nª 51 | 44,69 | 2278,71 | 2093,98 | | 2049,29 |
| REVESTIDOR Nª 52 | 43,38 | 2322,09 | 2049,29 | | 2005,91 |
| REVESTIDOR Nª 53 | 43,60 | 2365,69 | 2005,91 | 24 | 1962,31 |
| REVESTIDOR Nª 54 | 43,09 | 2408,78 | 1962,31 | | 1919,22 |
| REVESTIDOR Nª 55 | 44,69 | 2453,47 | 1919,22 | | 1874,53 |
| REVESTIDOR Nª 56 | 44,70 | 2498,17 | 1874,53 | | 1829,83 |
| REVESTIDOR Nª 57 | 44,83 | 2543,00 | 1829,83 | 25 | 1785,00 |
| REVESTIDOR Nª 58 | 44,66 | 2587,66 | 1785,00 | | 1740,34 |
| REVESTIDOR Nª 59 | 44,70 | 2632,36 | 1740,34 | | 1695,64 |
| REVESTIDOR Nª 60 | 44,73 | 2677,09 | 1695,64 | | 1650,91 |
| REVESTIDOR Nª 61 | 44,79 | 2721,88 | 1650,91 | 26 | 1606,12 |
| REVESTIDOR Nª 62 | 44,76 | 2766,64 | 1606,12 | | 1561,36 |
| REVESTIDOR Nª 63 | 44,75 | 2811,39 | 1561,36 | | 1516,61 |
| REVESTIDOR Nª 64 | 44,76 | 2856,15 | 1516,61 | | 1471,85 |
| REVESTIDOR Nª 65 | 44,72 | 2900,87 | 1471,85 | 27 | 1427,13 |
| REVESTIDOR Nª 66 | 44,78 | 2945,65 | 1427,13 | | 1382,35 |
| REVESTIDOR Nª 67 | 44,75 | 2990,40 | 1382,35 | | 1337,60 |
| REVESTIDOR Nª 68 | 44,81 | 3035,21 | 1337,60 | | 1292,79 |
| REVESTIDOR Nª 69 | 44,74 | 3079,95 | 1292,79 | 28 | 1248,05 |
| REVESTIDOR Nª 70 | 44,70 | 3124,65 | 1248,05 | | 1203,35 |
| REVESTIDOR Nª 71 | 44,76 | 3169,41 | 1203,35 | | 1158,59 |
| REVESTIDOR Nª 72 | 44,73 | 3214,14 | 1158,59 | | 1113,86 |
| REVESTIDOR Nª 73 | 44,73 | 3258,87 | 1113,86 | | 1069,13 |
| REVESTIDOR Nª 74 | 44,75 | 3303,62 | 1069,13 | | 1024,38 |
| REVESTIDOR Nª 75 | 44,70 | 3348,32 | 1024,38 | | 979,68 |
| REVESTIDOR Nª 76 | 44,73 | 3393,05 | 979,68 | | 934,95 |
| REVESTIDOR Nª 77 | 41,60 | 3434,65 | 934,95 | | 893,35 |
| REVESTIDOR Nª 78 | 45,00 | 3479,65 | 893,35 | | 848,35 |
| REVESTIDOR Nª 79 | 44,79 | 3524,44 | 848,35 | | 803,56 |
| REVESTIDOR Nª 80 | 45,00 | 3569,44 | 803,56 | | 758,56 |
| REVESTIDOR Nª 81 | 44,71 | 3614,15 | 758,56 | | 713,85 |
| REVESTIDOR Nª 82 | 44,80 | 3658,95 | 713,85 | | 669,05 |
| REVESTIDOR Nª 83 | 44,76 | 3703,71 | 669,05 | | 624,29 |
| REVESTIDOR Nª 84 | 44,73 | 3748,44 | 624,29 | | 579,56 |
| REVESTIDOR Nª 85 | 44,74 | 3793,18 | 579,56 | | 534,82 |
| REVESTIDOR Nª 86 | 44,76 | 3837,94 | 534,82 | | 490,06 |
| REVESTIDOR Nª 87 | 44,72 | 3882,66 | 490,06 | | 445,34 |
| REVESTIDOR Nª 88 | 44,74 | 3927,40 | 445,34 | | 400,60 |
| REVESTIDOR Nª 89 | 44,72 | 3972,12 | 400,60 | | 355,88 |
| REVESTIDOR Nª 90 | 45,13 | 4017,25 | 355,88 | | 310,75 |
| REVESTIDOR Nª 91 | 44,71 | 4061,96 | 310,75 | | 266,04 |
| REVESTIDOR Nª 92 | 44,76 | 4106,72 | 266,04 | | 221,28 |
| REVESTIDOR Nª 93 | 44,76 | 4151,48 | 221,28 | | 176,52 |
| REVESTIDOR Nª 94 | 44,74 | 4196,22 | 176,52 | | 131,78 |
| REVESTIDOR Nª 95 | 44,72 | 4240,94 | 131,78 | | 87,06 |
| REVESTIDOR Nª 96 | 44,74 | 4285,68 | 87,06 | | 42,32 |
| REVESTIDOR Nª 97 | 44,71 | 4330,39 | 42,32 | | -2,39 |
| CUELLO FLOTADOR 4281 | | ZAPATA 4328 | | | ZAP 9 5/8 1203 |
| LONG. DEL REV. | 4330 | EN HOYO ABIERTO | | | N/A |

PYPE TALLY DEL LINER RANURADO DE 4,5"

| CORRIDA DE LINER 4,5", 16 LBS/PIE, N-80, BTTS | | | | |
|---|-----------------|------------------------|-----------------------------|---------------|
| POZO ES-451, TALADRO CPV-10 | | | | |
| | ZAPATA 4 1/2" @ | | 4438 | |
| DESCRIPCIÓN | LONG | LONG ACUMU. | PROF. BASE | PROF. TOPE |
| ZAPATA | 0,70 | 0,7 | 4438 | 4437,3 |
| REJILLA N° 1 | 42,18 | 42,88 | 4437,30 | 4395,12 |
| REJILLA N° 2 | 42,30 | 85,18 | 4395,12 | 4352,82 |
| REJILLA N° 3 | 42,78 | 127,96 | 4352,82 | 4310,04 |
| TUBO LISO N°1 | 38,43 | 166,39 | 4310,04 | 4271,61 |
| TUBO LISO N°2 | 42,24 | 208,63 | 4271,61 | 4229,37 |
| COLGADOR | 5 | 213,63 | 4229,37 | 4224,37 |
| SETTING TOOL | 2,00 | 215,63 | 4224,37 | 4222,37 |
| X/OVER | 1,50 | 217,13 | 4222,37 | 4220,87 |
| 12 HW'S/6 PJAS | 355,69 | 572,82 | 4220,87 | 3865,18 |
| 122 DP'S / 61 PJAS | 3867,44 | 4440,26 | 3865,18 | -2,26 |
| | | | | |
| TOPE COLGADOR | | OVER LAP | | ZAP 7" |
| 4224 | | 104 | | 4328 |
| | | | | |
| LONG. DEL LINER | 214 | EN HOYO ABIERTO | | 110 |
| | | | | |
| TUBERÍA 3-1/2" | | 122 | (Prom. 31' por tubo 2-7/8") | |
| | PAREJA | 61 | | |
| REALIZADO POR : ING. L. SERRANO | | | | |

APÉNDICE B

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS
ENSAMBLAJES UTILIZADOS EN EL POZO ES-451**



| PDVSA | | | | | | | | | | Página 1 de 5 | | |
|---------------------------------|---------------|------------------|----------------|--------------------|--------------|----------------------|---------|--------------|------------------------|--|-------------------|----------------|
| Reporte Sumario de BHA | | | | | | | | | | | | |
| Nom. Legal Pozo: | | 46/02-ES-0451 | | | | Inic Perf: | | 02/11/2002 | | | | |
| Nom. Común Pozo: | | ES-0451 | | | | Fec. Inicio: | | 01/11/2002 | | | | |
| Evento: | | PERFORN/ORIGINAL | | | | Fec. Fin: | | 21/11/2002 | | | | |
| Contralista: | | HUABEI | | | | Fec. Liberac: | | | | | | |
| Tel./Ceb.: | | CPV-10 | | | | | | | | | | |
| BHA #1 | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | | Mech# | Propósito | | | Mec. para Survey (%) | Mín. Id | Motor | Prod. Perf. Act. Perf. | Pres. HeadWkts Act. HeadWkts (psi/100ft) | I/O D/L B/G/D/R | |
| LIGA | | 1 | MANTENER VERT. | | | | | N | | | | |
| Fe. Entr.: | | 07/11/2002 | Hr. Entr.: | | 09:30 | MD Entr.: | | (ft) | Fe. Sal.: | | 07/11/2002 | |
| Hr. Sal.: | | 20:30 | MD Sal.: | | 1,210,0 (ft) | | | | | | | |
| Detalle BHA | | # | Longitud (ft) | OD (in) | ID (in) | Conexión | | Hr. Gauge | Serial # | Spnd | Cuello de Pescado | Ancho de Aleta |
| Descripción | | Jts | | | | am | tp | Caja | Dentro | fuera | | |
| BIT - Mecha Tricónica | | 1 | 1,10 | 12,250 | | | | | | | | |
| Bit Sub 8 | | 1 | 4,00 | 8,000 | 2,813 | | | | | | | |
| Drill Collar | | 2 | 51,65 | 8,000 | 2,813 | | | | | | | |
| Cross Over 7 3/4 | | 1 | 4,04 | 7,750 | 2,813 | | | | | | | |
| Drill Collar | | 4 | 121,63 | 7,250 | 2,813 | | | | | | | |
| Drillos - Heat-Ware | | 34 | 1,017,55 | 5,000 | 3,000 | | | | | | | |
| Longitud Total: | | | 1,210,37 | | | | | | | | | |
| BHA | Cheq. MD (ft) | Cheq. Fecha | Cheq. Hora | Carg. Gancho (Mlb) | | Pozo de Sarta (Mlb) | | | Arrest. (Mlb) | Peso BHA Jer (Mlb) | Torque (ft-lb) | |
| | | | | Permit. | Actual | Arriba | Abajo | Rot. | | | Encend. | Apag. |
| 1 | 1,210.0 | 07/11/2002 | 22:30 | | | | | | | | | |
| BHA #2 | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | | Mech# | Propósito | | | Mec. para Survey (%) | Mín. Id | Motor | Prod. Perf. Act. Perf. | Pres. HeadWkts Act. HeadWkts (psi/100ft) | I/O D/L B/G/D/R | |
| EMPACADA | | 2 | MANTENER VERT. | | | | 2,250 | N | | | 1/1W/1A 1/1R/1D | |
| Fe. Entr.: | | 08/11/2002 | Hr. Entr.: | | 02:30 | MD Entr.: | | 1,210,0 (ft) | | | | |
| Hr. Sal.: | | 05:00 | MD Sal.: | | 3,782,0 (ft) | | | | | | | |
| Detalle BHA | | # | Longitud (ft) | OD (in) | ID (in) | Conexión | | Hr. Gauge | Serial # | Spnd | Cuello de Pescado | Ancho de Aleta |
| Descripción | | Jts | | | | am | tp | Caja | Dentro | fuera | | |
| BIT - Mecha Tricónica | | 1 | 0,80 | 8,500 | | | | | | | | |
| Bit Sub 8 | | 1 | 4,00 | 8,000 | 2,813 | | | | | | | |
| Non-Mag Drill Collar | | 1 | 28,83 | 8,750 | 3,250 | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | | 1 | 4,70 | 8,250 | 2,250 | | | | | | | |
| Drill Collar | | 1 | 30,03 | 8,250 | 2,813 | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | | 1 | 4,34 | 8,250 | 2,813 | | | | | | | |
| Drill Collar | | 4 | 121,83 | 7,250 | 2,813 | | | | | | | |
| Drillos - Heat-Ware | | 6 | 179,03 | 5,000 | 3,000 | | | | | | | |
| Dalley Hyd. | | 1 | 32,87 | 8,500 | 2,750 | | | | | | | |
| Drillos - Heat-Ware | | 28 | 858,52 | 5,000 | 3,000 | | | | | | | |
| Longitud Total: | | | 1,242,72 | | | | | | | | | |
| BHA | Cheq. MD (ft) | Cheq. Fecha | Cheq. Hora | Carg. Gancho (Mlb) | | Pozo de Sarta (Mlb) | | | Arrest. (Mlb) | Peso BHA Jer (Mlb) | Torque (ft-lb) | |
| | | | | Permit. | Actual | Arriba | Abajo | Rot. | | | Encend. | Apag. |
| 1 | 1,210.0 | 08/11/2002 | 15:24 | 23 | 84 | 87 | 83 | 80 | 7 | 84 | 2,122 | 760 |
| 1 | 1,450.0 | 08/11/2002 | 20:00 | 29 | 82 | 83 | 80 | 82 | 1 | 49,143 | 1,040 | |
| 1 | 2,682.0 | 10/11/2002 | 22:00 | 23 | 100 | 105 | 100 | 100 | 5 | 88,628 | 1,534 | 388 |

| PDVSA | | | | | | | | | | | | | Página 2 de 5 | |
|---------------------------------|---------|------------------|----------------|------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|------------------------|---|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|--|
| Reporte Sumario de BHA | | | | | | | | | | | | | | |
| Nom. Legal Pozo: | | 45702-ES -0451 | | | | | | | | | | | | |
| Nom. Común Pozo: | | ES -0451 | | | | | | | | | | Inic Perf: 02/11/2002 | | |
| Evento: | | PERFON/ORIGINAL | | | | | | | | | | Fec. Fin: 21/11/2002 | | |
| Contratista: | | HUABEI | | | | | | | | | | Fec. Liberac: | | |
| Tal/Gal: | | CPV-10 | | | | | | | | | | | | |
| BHA | Cheq | Cheq | Cheq | Carg./Gancho(Mb) | | Peso de Sarta (Mb) | | | Arrest. | Peso BHA | Torque (ft-lb) | | | |
| Chq | MD (ft) | Fecha | Hora | Permit. | Actual | Arriba | Abajo | Rot | (Mb) | Jar (Mts) | Encend. | Apag | | |
| 1 | 3.687,0 | 11/11/2002 | 21:00 | 23 | 118 | 118 | 110 | 110 | | 6 | 82.628 | 2.078 | 87 | |
| 1 | 3.762,0 | 12/11/2002 | 04:00 | 23 | 118 | 118 | 110 | 110 | | 6 | 82.628 | 1.033 | | |
| 1 | 3.762,0 | 13/11/2002 | 23:00 | 23 | 75 | 75 | 70 | 70 | | 6 | 832.670 | 438 | | |
| BHA #3 | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | | Mes# | Propósito | | Mes para Surveys (ft) | Mn. Id | Motor | Prod. Perf. Act. Perf. | Prod. BHA/Walk Act. BHA/Walk (ft/100ft) | O.D. - B.G.C.R. | | | | |
| LISA | | 3 | MANTENER VERT. | | | 2.250 | N | | | 1/1WTA EINWTD | | | | |
| Fe. Entr.: 14/11/2002 | | Hr. Entr.: 05:00 | | MD Entr.: 3.762,0 (ft) | | | Fe. Sal.: 14/11/2002 | | Hr. Sal.: 18:00 | | MD Sal.: 3.762,0 (ft) | | | |
| Detalle BHA | | # | Longitud | OD | ID | Condición | | Pin | Gauge | Serial # | Revol | Cuello de Pesca(In) | Ancho de Alata | |
| Descripción | | Jts | (ft) | (In) | (In) | Temp. (in) | Tipo | Caja Dentro | fuera | | | | | |
| B T - Mocha Inconica | | 1 | 0,30 | 8,500 | | | REG | | | | | | | |
| Bit Sub C | | 1 | 4,00 | 8,000 | 2,313 | | REG | | | | | | | |
| Non-Mag. Drill Collar | | 1 | 26,63 | 8,750 | 3,250 | | IF | | | | | | | |
| Drill Collar | | 1 | 30,00 | 8,250 | 2,813 | | IF | | | | | | | |
| Drill Collar | | 4 | 121,83 | 7,250 | 2,313 | | DSL | | | | | | | |
| Drilico - Hesi-Wate | | 6 | 179,03 | 5,300 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | |
| Drilico - Hesi-Wate | | 1 | 32,87 | 6,500 | 2,750 | | IF | | | | | | | |
| Drilico - Hesi-Wate | | 28 | 936,52 | 5,300 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | |
| Longitud Total: | | | 1.233,68 | | | | | | | | | | | |
| BHA | Cheq | Cheq | Cheq | Carg./Gancho(Mb) | | Peso de Sarta (Mb) | | | Arrest. | Peso BHA | Torque (ft-lb) | | | |
| Chq | MD (ft) | Fecha | Hora | Permit. | Actual | Arriba | Abajo | Rot | (Mb) | Jar (Mts) | Encend. | Apag | | |
| 1 | 3.777,0 | 14/11/2002 | 18:00 | | | | | | | | | | | |
| BHA #5 | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | | Mes# | Propósito | | Mes para Surveys (ft) | Mn. Id | Motor | Prod. Perf. Act. Perf. | Prod. BHA/Walk Act. BHA/Walk (ft/100ft) | O.D. - B.G.C.R. | | | | |
| EMPACADA | | 3 | MANTENER VERT. | | | 2.250 | N | | | 1/1WTA EINWTD | | | | |
| Fe. Entr.: 14/11/2002 | | Hr. Entr.: 05:00 | | MD Entr.: 3.777,0 (ft) | | | Fe. Sal.: 14/11/2002 | | Hr. Sal.: 18:00 | | MD Sal.: 3.777,0 (ft) | | | |
| Detalle BHA | | # | Longitud | OD | ID | Condición | | Pin | Gauge | Serial # | Revol | Cuello de Pesca(In) | Ancho de Alata | |
| Descripción | | Jts | (ft) | (In) | (In) | Temp. (in) | Tipo | Caja Dentro | fuera | | | | | |
| CB - Core Bit | | 1 | 1,00 | 8,000 | 4,000 | | REG | | | | | | | |
| Bit Sub B | | 1 | 1,16 | 8,000 | 4,000 | | REG | | | | | | | |
| Cross Over B | | 1 | 1,25 | 8,000 | 4,000 | | REG | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer B 3-8 | | 1 | 3,00 | 3,250 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Core Barrel | | 1 | 26,00 | 3,750 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer B 3-8 | | 1 | 4,00 | 3,250 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Cross Over B 3/8 | | 1 | 1,87 | 3,750 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Drill Collar | | 4 | 121,83 | 7,250 | 2,813 | | DSL | | | | | | | |
| Drilico - Hesi-Wate | | 6 | 179,03 | 5,300 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | |

| PDVSA | | | | | | | | | | | | Página 3 de 5 | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-----------------|---------|-----------------------|----------|---------------|------------------------|--|---------|--------------|---------|-------------------|----------------|------------|--|-----------|--|-------|--|----------|--|--------------|--|
| Reporte Sumario de BHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nom. Legal Pozo: | | 46702-ES -0451 | | | | Inic Perf: | | 02/11/2002 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nom. Común Pozo: | | ES -0451 | | | | Fec. Inicio: | | 01/11/2002 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Evento: | | PERFOR/ORIGINAL | | | | Fec. Fin: | | 21/11/2002 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Contratista: | | HUABEI | | | | Fec. Liberac: | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tal./Gab.: | | CPV-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Detalle BHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Descripción | # Jts | Longitud (ft) | OD (in) | ID (in) | Conexión | | Pin Caja | Gauge | | Serial # | Sprial | Cuello de Pescado | Ancho de Alata | | | | | | | | | | |
| Dalley Hyd. | 1 | 32,87 | 6,500 | 2,750 | | IF | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Drillco - Heavy-Weight | 28 | 838,52 | 5,200 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Longitud Total: | | 1,210,63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BHA #4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | Mech | Propósito | | Rec. pres Survey (ft) | Min. in | Motor | Pres. Perf. Act. Perf. | Pres. BackWash Act. BackWash (psi/min) | I D O L | | B G O R | | | | | | | | | | | | |
| EMPACADA | 2 | MANTENER VERT | | | 2,250 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe. Entr.: | | 14/11/2002 | | Hr. Entr.: | | 19:30 | | MD Entr.: | | 3,777,0 (ft) | | Fe. Sal.: | | 15/11/2002 | | Hr. Sal.: | | 19:00 | | MD Sal.: | | 3,777,0 (ft) | |
| Detalle BHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Descripción | # Jts | Longitud (ft) | OD (in) | ID (in) | Conexión | | Pin Caja | Gauge | | Serial # | Sprial | Cuello de Pescado | Ancho de Alata | | | | | | | | | | |
| BIT - Mech. Triangular | 1 | 0,80 | 6,500 | | | REG | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bit Sub B | 1 | 4,00 | 6,000 | 2,813 | | REG | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Non-Mag Drill Collar | 1 | 28,83 | 6,750 | 3,250 | | IF | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | 1 | 4,70 | 6,250 | 2,250 | | IF | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Drill Collar | 1 | 30,00 | 6,250 | 2,812 | | IF | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | 1 | 4,34 | 6,250 | 2,812 | | IF | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Drill Collar | 4 | 121,83 | 7,250 | 2,813 | | DSL | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Drillco - Heavy-Weight | 6 | 179,03 | 5,000 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dalley Hyd. | 1 | 32,87 | 5,500 | 2,750 | | IF | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Drillco - Heavy-Weight | 28 | 838,62 | 5,000 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Longitud Total: | | 1,242,72 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BHA #5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | Mech | Propósito | | Rec. pres Survey (ft) | Min. in | Motor | Pres. Perf. Act. Perf. | Pres. BackWash Act. BackWash (psi/min) | I D O L | | B G O R | | | | | | | | | | | | |
| EMPACADA | 3 | MANTENER VERT | | | 2,250 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe. Entr.: | | 15/11/2002 | | Hr. Entr.: | | 20:30 | | MD Entr.: | | 3,777,0 (ft) | | Fe. Sal.: | | 16/11/2002 | | Hr. Sal.: | | 16:00 | | MD Sal.: | | 3,799,0 (ft) | |
| Detalle BHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Descripción | # Jts | Longitud (ft) | OD (in) | ID (in) | Conexión | | Pin Caja | Gauge | | Serial # | Sprial | Cuello de Pescado | Ancho de Alata | | | | | | | | | | |
| CB - Core Bit | 1 | 1,00 | 8,500 | 4,000 | | REG | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bit Sub B | 1 | 1,18 | 8,000 | 4,000 | | REG | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cross Over B | 1 | 1,25 | 8,000 | 4,000 | | REG | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | 1 | 3,00 | 6,250 | 4,000 | | IF | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Core Barrel | 1 | 26,00 | 6,750 | 4,000 | | F | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | 1 | 4,00 | 6,250 | 4,000 | | F | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| FDVSA | | | | | | | | | | | | | Página 4 de 5 | | | | | | |
|--------------------------------|--|----------------|----------------|-----------|-----------------------|--------------|----------|-----------------------|---|-----------------|---------------|------------|---------------|----------|-------------|--|------------|--------------|--|
| Reporte Sumario de BHA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nom. Legal Pozo: | | 46702-ES -0451 | | | | Evento: | | PERFON/ORIGINAL | | | Fec. Inicio: | | 01/11/2002 | | Inic. Perf: | | 02/11/2002 | | |
| Nom. Común Pozo: | | ES -0451 | | | | Contratista: | | HUABEI | | | Fec. Liberac: | | | | Fec. Fin: | | 21/11/2002 | | |
| Tal./Gab.: | | CPV-10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Detalle BHA | | # | Longitud | OD | ID | Conexión | | Pin | Gauge | | Serial # | Serial | Cuello de | Ancho | | | | | |
| Descripción | | Jts | (ft) | (in) | (in) | Int. (in) | Tipo | Caja | Dentro | fuera | | | Pesca(in) | de Alapa | | | | | |
| Cross Over 6 3/4 | | 1 | 1.97 | 6.750 | 4.000 | | IF | | | | | | | | | | | | |
| Drill Collar | | 4 | 121.83 | 7.250 | 2.613 | | DSL | | | | | | | | | | | | |
| Drilico - Hevi-Wate | | 6 | 179.03 | 5.000 | 3.000 | | NC50 | | | | | | | | | | | | |
| Dallev Hyd. | | 1 | 32.87 | 6.500 | 2.750 | | IF | | | | | | | | | | | | |
| Drilico - Hevi-Wate | | 28 | 638.52 | 5.000 | 3.000 | | NC50 | | | | | | | | | | | | |
| Longitud Total: | | | 1,210.63 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BHA #6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | | Mec# | Propósito | | Mec. para Survey (ft) | Mín. d | Motor | Pred. Perf Act. Perf. | Pred. Build/Walk Act. Build/Walk (ft)(in)(in) | I O D L B G O R | | | | | | | | | |
| EMPACADA | | 3 | MANTENER VERT. | | | 2,250 | N | | | | | | | | | | | | |
| Fe. Entr: | | 16/11/2002 | | Hr. Entr: | 16:00 | | MD Entr: | 3,799.0 (ft) | | Fe. Sal: | | 17/11/2002 | | Hr. Sal: | 04:30 | | MD Sal: | 3,829.0 (ft) | |
| Detalle BHA | | # | Longitud | OD | ID | Conexión | | Pin | Gauge | | Serial # | Serial | Cuello de | Ancho | | | | | |
| Descripción | | Jts | (ft) | (in) | (in) | Int. (in) | Tipo | Caja | Dentro | fuera | | | Pesca(in) | de Alapa | | | | | |
| CB - Core Bit | | 1 | 1.00 | 8.500 | 4.000 | | REG | | | | | | | | | | | | |
| Bit Sub 8 | | 1 | 1.16 | 8.000 | 4.000 | | REG | | | | | | | | | | | | |
| Cross Over 8 | | 1 | 1.25 | 8.000 | 4.000 | | REG | | | | | | | | | | | | |
| Integral Bude Stabilizer 8 3/8 | | 1 | 3.00 | 6.250 | 4.000 | | IF | | | | | | | | | | | | |
| Core Barrel | | 1 | 26.00 | 6.750 | 4.000 | | IF | | | | | | | | | | | | |
| Integral Bude Stabilizer 8 3/8 | | 1 | 4.00 | 6.250 | 4.000 | | IF | | | | | | | | | | | | |
| Cross Over 6 3/4 | | 1 | 1.67 | 6.750 | 4.000 | | IF | | | | | | | | | | | | |
| Drill Collar | | 4 | 121.83 | 7.250 | 2.613 | | DSL | | | | | | | | | | | | |
| Drilico - Hevi-Wate | | 6 | 179.03 | 5.000 | 3.000 | | NC50 | | | | | | | | | | | | |
| Dallev Hyd. | | 1 | 32.87 | 6.500 | 2.750 | | IF | | | | | | | | | | | | |
| Drilico - Hevi-Wate | | 28 | 638.52 | 5.000 | 3.000 | | NC50 | | | | | | | | | | | | |
| Longitud Total: | | | 1,210.63 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BHA #7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | | Mec# | Propósito | | Mec. para Survey (ft) | Mín. d | Motor | Pred. Perf Act. Perf. | Pred. Build/Walk Act. Build/Walk (ft)(in)(in) | I O D L B G O R | | | | | | | | | |
| EMPACADA | | 3 | MANTENER VERT. | | | 2,250 | N | | | | | | | | | | | | |
| Fe. Entr: | | 17/11/2002 | | Hr. Entr: | 06:30 | | MD Entr: | 3,529.0 (ft) | | Fe. Sal: | | 17/11/2002 | | Hr. Sal: | 18:00 | | MD Sal: | 3,862.0 (ft) | |
| Detalle BHA | | # | Longitud | OD | ID | Conexión | | Pin | Gauge | | Serial # | Serial | Cuello de | Ancho | | | | | |
| Descripción | | Jts | (ft) | (in) | (in) | Int. (in) | Tipo | Caja | Dentro | fuera | | | Pesca(in) | de Alapa | | | | | |
| CB - Core Bit | | 1 | 1.00 | 8.500 | 4.000 | | REG | | | | | | | | | | | | |
| Bit Sub 8 | | 1 | 1.16 | 8.000 | 4.000 | | REG | | | | | | | | | | | | |

| PDVSA | | | | | | | | | | | | Página 3 de 5 | | |
|---------------------------------|--|------------------|----------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|-------|------------------------|---|------------------------|---------------|---------------|-----------|----------|
| Reporte Sumario de BHA | | | | | | | | | | | | | | |
| Nom. Legal Pozo: | | 46702-ES -0451 | | | | | | | | Inic Perf.: 02/11/2002 | | | | |
| Nom. Común Pozo: | | ES -0451 | | | | | | | | Fec. Fin: 21/11/2002 | | | | |
| Evento: | | PERFOR ORIGINAL | | | | Fec. Inic: 01/11/2002 | | | | Fec. Liberac: | | | | |
| Contratista: | | HUABEI | | | | | | | | | | | | |
| Tal/Gab: | | CPV-10 | | | | | | | | | | | | |
| Detalle BHA | | # | Longitud | OD | ID | Conexión | | Pin | Gauge | | Serial # | Seria | Cuello de | Ancho |
| Descripción | | Jts | (ft) | (in) | (in) | Tem. (F) | Tipo | Caja | Dentro | Tuerca | | | Pescanil | de Aleta |
| Cross Over B | | 1 | 1,25 | 8,000 | 4,000 | | REG | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | | 1 | 3,00 | 6,250 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Core Barrel | | 1 | 26,00 | 6,750 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | | 1 | 4,00 | 6,250 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Cross Over 8 3/4 | | 1 | 1,97 | 6,750 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Drill Collar | | 4 | 121,83 | 7,250 | 2,813 | | DSL | | | | | | | |
| Drillco - Heavy-Weight | | 6 | 179,03 | 5,000 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | |
| Drillco - Hyd. | | 1 | 32,87 | 6,500 | 2,750 | | IF | | | | | | | |
| Drillco - Heavy-Weight | | 28 | 338,52 | 5,000 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | |
| Longitud Total: | | | 1,210,63 | | | | | | | | | | | |
| BHA #8 | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre BHA | | Mech | Propósito | | Mec para Survey (ft) | Mot | Motor | Frec. Perf. Act. Perf. | Pred. BullWark Ave. Bullwark (ft/100ft) | | C.O.I. B.C.R. | | | |
| EMPACADA | | 3 | MANTENER VERT. | | | 2,250 | N | | | | | | | |
| Fe. Entr.: 17/11/2002 | | Hr. Entr.: 10:00 | | M.D. Entr.: 3,862,0 (ft) | | Fe. Sal: : | | Hr. Sal: : | | M.D. Sal: (ft) | | | | |
| Detalle BHA | | # | Longitud | OD | ID | Conexión | | Pin | Gauge | | Serial # | Seria | Cuello de | Ancho |
| Descripción | | Jts | (ft) | (in) | (in) | Tem. (F) | Tipo | Caja | Dentro | Tuerca | | | Pescanil | de Aleta |
| CG - Core Bit | | 1 | 1,00 | 3,500 | 4,000 | | REG | | | | | | | |
| Bit Sub B | | 1 | 1,16 | 3,000 | 4,000 | | REG | | | | | | | |
| Cross Over B | | 1 | 1,25 | 8,000 | 4,000 | | REG | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | | 1 | 3,00 | 6,250 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Core Barrel | | 1 | 26,00 | 6,750 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Integral Blade Stabilizer 8 3/8 | | 1 | 4,00 | 6,250 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Cross Over 8 3/4 | | 1 | 1,97 | 6,750 | 4,000 | | IF | | | | | | | |
| Drill Collar | | 4 | 121,83 | 7,250 | 2,813 | | DSL | | | | | | | |
| Drillco - Heavy-Weight | | 6 | 179,03 | 5,000 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | |
| Drillco - Hyd. | | 1 | 32,87 | 6,500 | 2,750 | | IF | | | | | | | |
| Drillco - Heavy-Weight | | 28 | 338,52 | 5,000 | 3,000 | | NC50 | | | | | | | |
| Longitud Total: | | | 1,210,63 | | | | | | | | | | | |

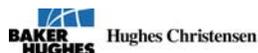
APÉNDICE C

**REPORTE DE LAS MECHAS
UTILIZADAS EN EL POZO ES-451**



PDVSA SAN TOME

ES-451



| | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|---|--|---|--|--|--|--|
| GEOGRAPHIC LOCATION VENEZUELA | OPERATOR PDVSA SAN TOME | SPUD DATE 11/03/02 | DULL CHARACTERISTICS | | | | REASONS PULLED | | | |
| FIELD / AREA ARECUNA | LOCATION / WELL NUMBER ES-451 | DULL LOCATION N -Nose(Row) M -Middle Row H -Heel Row G -Gage(Row) C -Cone S -Shoulder T -Taper A -All(Rows or Areas) | BC -Broken Cone BU -Balled Up CI -Cone Interferenc ER -Erosion JD -Junk Damage LT -Lost Teeth/Cutr PN -Plugged Nozzle | BF -Bond Failure CC -Cracked Cone CT -Chipped Teeth/Cutr FC -Flat Crested Wr LC -Lost Cone OC -Off-Center Wr RG -Rounded Gage | BT -Broken Teeth CD -Cone Drag CR -Cored HC -Heat Check LN -Lost Nozzle PB -Pinched Bit RO -Ring Out | BHA - BOTTOM HOLE ASSEMBLY CM - CONDITION MUD DMF - DOWNHOLE MOTOR FAILURE DSF - DRILL STRING FAILURE DTF - DOWNHOLE TOOL FAILURE FM - FORMATION CHANGE PR - PENETRATION RATE | CP - CORE POINT DST - DRILL STEM TEST DP - DRILL PLUG HP - HOLE PROBLEMS HR - HOURS ON BIT LIH - LEFT IN HOLE LOG - RUN LOGS | | | |
| BIT RECORD NO. IU1139 | CONTRACTOR / RIG PDVSA SAN TOME CPV-10 | SEALED BEARINGS E -Seals Effective F -Seals Failed X -Fixed Cutter Bit N -Not able to Grade | SD -Shirttail Damage WO -Washed Out Bit Char | SS -Self-Sharp'n Wr WT -Worn Teeth/Cutr | TR -Tracking NO -No Dull | RIG - RIG REPAIRS TD - TOTAL/CASING DEPTH WC - WEATHER CONDITIONS | PP - PUMP PRESSURE TQ - TORQUE TW - TWIST OFF | | | |

| No. | SIZE (in) | MFG | BIT TYPE | NOZZLES (1/32 in) | SERIAL No. | DEPTH OUT (ft) | DIST DRLD (ft) | DRLG TIME (hrs) | ROP (ft/hr) | ACC TIME (hrs) | WOB (klb) | RPM | MTR RPM | RT | PUMP PRESS (psi) | FLOW RATE (gpm) | VER DEV (deg) | MUD | | DULL GRADE | | | | | | | | | |
|-----|--------------|-----|-------------|----------------------|---------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------|----------------------|--------------|---------|------------|----|------------------------|-----------------------|---------------------|-------------|------|------------|----|---|---|---|----|-----|----|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | WT (ppg) | TYPE | I | O | D | L | B | G | O | RP | | |
| 1 | 12-1/4 | HTC | MX-C1 | 3-16 1-15 | 5015547 | 1210 | 1210 | .0 | .0 | .0 | 5 12 | 110 110 | | | 400 | 350 | | W | 0 | 0 | NO | A | E | I | NO | TD | | | |
| 2 | 8-1/2 | HTC | MX-C1 | 3-16 | 5016726 | 3762 | 2552 | 52.0 | 49.1 | 52.0 | 8 10 | 100 100 | | | 900 | 500 | | W | 0 | 0 | NO | A | E | I | NO | TD | | | |
| 3 | 8-1/2 | STC | M710DP | | | 3895 | 133 | .0 | 49.1 | 52.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 8-1/2 | HTC | MX-C1 | 3-16 | 5016726 | 4340 | 445 | 23.5 | 18.9 | 75.5 | 8 22 | 100 100 | | | 1500 | 460 | | W | 0 | 1 | WT | A | E | I | NO | BHA | | | |
| 5 | 6-1/8 | HTC | ST-X1 | 3-16 | 5017789 | 4439 | 99 | 3.5 | 28.3 | 79.0 | 8 22 | 100 100 | | | 1505 | 400 | | W | 1 | 1 | WT | A | E | I | NO | TD | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

APÉNDICE D
REPORTES TIPO DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN Y
EQUIPOS DE CONTROL DE SÓLIDOS
DEL POZO ES-451



REPORTE TIPO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

| | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
|  MI DRILLING FLUIDS VENEZUELA | | WATER-BASED MUD REPORT No. 7 | | | |
| | | Date: 12/11/2002 | Depth/TVD: 3785 pies / 3785 pies | Spud Date: 06/11/2002 | Mud Type: Lignosulfonato |
| Operator: PDVSA-SANTOME | | Field/Area: SOCORRO / PETROUCV | | Water Depth: | |
| Report For: O. Sokozano | | Description: VERTICAL-ESTRATIGRAF | | Activity: STFH | |
| Well Name: 28-451 | | Location: 2-PJ | | Well No.: ES-451 | |
| Contractor: COPROVEN-10 / HUABEI | | Report For: Edgar Albornoz | | | |

| DRILLING ASSEMBLY | | CASING | MUD VOLUME (bbl) | CIRCULATION DATA | |
|------------------------------|-------------------|--|----------------------------|--------------------------------|----------------|
| Bit Size: 4.5 plg (114.3 mm) | | Surface: 9.625 plg (244.1 mm) (130 FT) | Hole: 247.3 | Pump Make: KAIRINA BMSB | SADUNAL 80-8 |
| Drill Pipe Size: 4.5 plg | Length: 2522 pies | Intermediate: | Active Pits: 344.7 | Pump Size: 6.25 X 8.5 in. | 6.25 X 8.5 in. |
| Drill Pipe Size: 5 plg | Length: 839 pies | Intermediate: | Total Circulating Vol: 592 | Pump Cap: 3,217 gal/min | 3,217 gal/min |
| Drill Collar Size: 6.25 plg | Length: 30 pies | Production or Liner: | In Storage: 485 | Pump st/min: 59@55% | 85@95% |
| | | | | Flow Rate: 457 gal/min | |
| | | | | Bottoms Up: 18.5 min | 2621 stk |
| | | | | Total Circ Time: 54.4 min | 7726 stk |
| | | | | Circulation Pressure: 1670 psi | |

| MUD PROPERTIES | | | | PRODUCTS USED LAST 24 HRS | | |
|------------------|------------|------------|-----------|---------------------------|-----------|------|
| Sample From | FT @ 20:00 | FT @ 12:00 | FT @ 4:00 | Product | Size | Am't |
| Flow Line Temp | °F | | | Carbit 40-45 | 50 LB BG | 80 |
| Depth/TVD | pies | 3795-3795 | 3795-3795 | Carbonato de Calcio 300 | 56 LB BG | 60 |
| Mud Weight | lb/gal | 10.3 | 9.8 | 200vca | 55 LB BG | 3 |
| Funnel Viscosity | sec | 48 | 45 | 4-17 | 50 LB BG | 21 |
| Rheology Temp | °F | 120 | 120 | W-Cut Paper | 100 LB BG | 10 |
| Rec0-R100 | sec/100 | 38/24 | 36/23 | V-1 Bar | 100 LB BG | 370 |
| R200-R120 | | 18/18 | 16/14 | Soda Ash (Na2CO3) | 55 LB BG | 3 |
| R60-R3 | | 7/7 | 6/5 | Servicio De Ingeniería | 1 BA | 1 |
| PV | cP | 13 | 13 | Armon X | 47 LB BG | 1 |
| YP | lb/100p | 12 | 10 | | | |
| 10/10m/30m Ge | lb/100p | 5/12/18 | 4/12/18 | | | |
| API Fluid Loss | cc/30 min | 5.8 | 4.8 | | | |
| HDP-FL Temp | cc/30 min | | | | | |
| Cake APFHDP | 1/32 plg | 1 | 1 | | | |
| Solids | %Vol | 10 | 9 | | | |
| Oil/Water | %Vol | 1.87 | 1.90 | | | |
| Sand | %Vol | 1.1 | 1.1 | | | |
| MRT | lb/bbl | 30 | 30 | | | |
| pH | | 10.3 | 10.3 | | | |
| Alkal Mud (pH) | | 8 | 8 | | | |
| PPM | | 4,95 | 4,95 | | | |
| Chlorides | mg/l | 300 | 300 | | | |
| Hardness Ca | mg/l | 80 | 80 | | | |

| SOLIDS EQUIP | | |
|----------------|---------|----|
| Swaco Shaver 1 | 140X140 | 24 |
| Swaco Shaver 1 | 140X140 | 24 |
| Swaco Shaver 3 | 140X140 | 24 |
| Centrifuge | | 14 |
| 5c | 250X250 | 24 |
| D/Sander | | 24 |
| D/Siber | | 24 |

| MUD PROPERTY SPECS | |
|--------------------|-----------|
| Weight | 8.6 - 8.9 |
| Viscosity | 40 - 50 |
| Filterate | 80% |

| REMARKS AND TREATMENT | | REMARKS | |
|--|--|---|--|
| Se prepararon 250 lbs de fluido Viscoelástico de 9.6 lb/gal y se inyectó al sistema según programa y admisión en tanque de reserva de PDVSA. Incremento densidad de 9.6 lb/gal a 10.3 lb/gal y adición a el fluido 15 lb de CACDO (FMG), para evitar pedruzcos en arena deobstantes por el incremento de densidad. | | Enfoque 1 a las 17:00 ap, donde circula hasta retocio tiempo y comienza STFH, saca 3 parajes y comienza a hacer armados significativos, succiona el fondo libre e incrementa densidad hasta 9.8 lb/gal circula hasta homogeneizar material, saca 5 debles y comienza a hacer armados e comienza a serdo con armados y comienza a el fondo a aumentar densidad e incrementa la misma hasta 10.1 lb/gal al punto las bombas para flujo, dec de incremento hasta 10.3 lbs. | |

| TIME DISTR | Last 24 Hrs | MUD VOL ACCTG (bbl) | SOLIDS ANALYSIS (%/bbl) | MUD RHEOLOGY & HYDRAULICS |
|----------------|-------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| Big. (Shovels) | | 0 | Col 1 | 40/30 Values |
| Drilling | 5 | 25 | EC | 6604-0.236 |
| Drilling | 4 | 0 | Low Gravity | 6617-0.093 |
| B.C.F. NL | | 0 | Benzene | 311-74.2 |
| B.C.F. Testing | | 0 | Drill Solids | 152-7.7 |
| Temp. Control | | 1 | Weight Material | 266 |
| Condition Hole | | 0 | Chemical Cons | Ann. Vel DP (ft/min) |
| Condition Mud | | 10 | Inst/Recd | Ann. Vel DC (ft/min) |
| Condition | | 0 | Average SD | Crit Vel DP (ft/min) |
| Det. Sinter | | 0 | Calc. Solids (ft/min) | Crit Vel DC (ft/min) |

| M-I ENGINE PHONE | RIG PHONE | WAREHOUSE PHONE | DAILY COST | CUMULATIVE COST |
|---------------------------------|--------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Francisco Latorre: 0418-0670851 | 0281-2905835 | 0281-2951431 | Bs 8,326,580.5 | Bs 41,317,394 |
| A. Gomez/E. Camp | | | | |

REPORTE DE CONTROL DE SÓLIDOS Y EFLUENTES PARA EL HOYO DE SUPERFICIE DEL POZO ES-451

Reporte N: 17



A Division of Perini / Halliburton Services Company

REPORTES DE CONTROL DE SÓLIDOS Y EFLUENTES

Fecha: 29/11/2002

Rozal: ES-451

Tipo de bien: NRO. DE BENTONITA

Ciudad: WASHINGTON

Localización: EFLU

Profundidad: 4340 FT

Taladro: 726-10

Cámara del pozo: B-102

Peso Leds: 10.7

Ganaje:

Riesgo: 1 hora

Profundidad Final:

| LIBERACION CONTROL DE SÓLIDOS | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|---------|---------|-----|---------|--------|---------|--------|---------|-------|----------|-------------|------|------|
| EQUIPOS | PROPIEDAD | SERIAL | Malla | | MOLINOS | SERIAL | EQUIPOS | | Presión | Flujo | Densidad | Temperatura | Día | Hora |
| | | | T | O' | | | ENTRADA | SALIDA | | | | | | |
| T. ZAMBIA No. 1 | SWACO | 1400140 | 1400140 | 282 | 1400140 | 282 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| T. ZAMBIA No. 2 | SWACO | 1400140 | 1400140 | 282 | 1400140 | 282 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| T. ZAMBIA No. 3 | SWACO | 1400140 | 1400140 | 282 | 1400140 | 282 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 1-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 2-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 3-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 4-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 5-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 6-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 7-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 8-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 9-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |
| SWACO 10-100000 | SWACO | 2800280 | 2800280 | 258 | 2800280 | 258 | SWACO | SWACO | C | 300 | | | 2112 | |

| INVENTARIO DE MALLAS | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| Descripción | Material | Porcentaje |
| 80/100 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 100/140 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 140/200 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 200/300 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 300/400 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 400/500 MESH | | | | | | | | | | | | | | |

| INVENTARIO QUÍMICOS | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| Descripción | Material | Porcentaje |
| 80/100 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 100/140 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 140/200 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 200/300 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 300/400 MESH | | | | | | | | | | | | | | |
| 400/500 MESH | | | | | | | | | | | | | | |

| TUBOS ABUNDANCIA DE REPOS EN EL TALADRO | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| ENTRADA | | | | | SALIDA | | | | | RESIDUOS | | | | | |
| Material | Porcentaje | Material | Porcentaje | Material | Porcentaje | Material | Porcentaje | Material | Porcentaje | Material | Porcentaje | Material | Porcentaje | Material | Porcentaje |
| 80/100 MESH | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100/140 MESH | | | | | | | | | | | | | | | |
| 140/200 MESH | | | | | | | | | | | | | | | |
| 200/300 MESH | | | | | | | | | | | | | | | |
| 300/400 MESH | | | | | | | | | | | | | | | |
| 400/500 MESH | | | | | | | | | | | | | | | |

| COSTOS | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------|----------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| EQUIPO | UNIDAD | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| ZAMBIA PRIMARIA | Hrs | 24 | 6.25 | 150 | | | | | | | | | | |
| ZAMBIA PRIMARIA | Hrs | 24 | 6.25 | 150 | | | | | | | | | | |
| ZAMBIA PRIMARIA | Hrs | 24 | 6.25 | 150 | | | | | | | | | | |
| CONCRETO 1000-1500 | Hrs | 24 | 15.42 | 370.08 | | | | | | | | | | |
| CONCRETO 1500-2000 | Hrs | 24 | 6.6 | 158.4 | | | | | | | | | | |
| CONCRETO 2000-2500 | Hrs | 24 | 13.55 | 325.2 | | | | | | | | | | |
| CONCRETO 2500-3000 | Hrs | 24 | 1.74 | 41.76 | | | | | | | | | | |
| CONCRETO 3000-3500 | Hrs | 24 | 3.23 | 77.52 | | | | | | | | | | |
| CONCRETO 3500-4000 | Hrs | 24 | 4.17 | 100.08 | | | | | | | | | | |
| TOTAL DE LOS COSTOS (COSTOS) | Hrs | 24 | 1.48 | 35.52 | | | | | | | | | | |
| SERVICIO TÉCNICO | Hrs | 24 | 15.34 | 368.16 | | | | | | | | | | |

| PERSONAL | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------|----------|------|-------|--------|-------|----------|------|-------|--------|-------|----------|------|-------|
| NOMBRE | CARGO | COMPANIA | EDAD | VALOR | NOMBRE | CARGO | COMPANIA | EDAD | VALOR | NOMBRE | CARGO | COMPANIA | EDAD | VALOR |
| JOSE RAFAEL RONDON | SUP. DE TALADRO | SWACO | 24 | 480 | | | | | | | | | | |
| PEDRO CASTILLO | T.C.S. | SWACO | 24 | 480 | | | | | | | | | | |
| GIANNI MARTINEZ | T.C.S. | SWACO | 24 | 480 | | | | | | | | | | |
| JOSÉ HERRERA | T.C.S. | SWACO | 24 | 480 | | | | | | | | | | |
| RUBEN CLOQUE | T.C.S. | SWACO | 24 | 480 | | | | | | | | | | |

Observaciones:

ACORDO CELULAR Y CANALES CONFORMES CON LA NORMA
 DE CAMBIO POR EMPAQUES A LA BOMBA DEL TALADRO
 SE DESTACHARON LOS COSTOS DEL FILTER

ACTIVIDAD DEL TALADRO: BAJAR REVESTIDOR DE 7"

POR MI: FRANCISCO LAPEZANBAL GOMEZ/HENRY CAMPOS



Jose R. Rondon
 SUP. SWACO: JOSE RAFAEL RONDON

REPORTE DE CONTROL Y EFLUENTES PARA EL HOYO INTERMEDIO DEL POZO ES-451

Reporte N° 5



A Division of Schlumberger Services Company

REPORTES DE CONTROL DE SOLIDOS Y EFLUENTES

Tecno: 02/11/2002 Cliente: MORILLING Teléfono: 823-13 Cálculo: _____
 Pozo: ES-451 Localización: EPJ Diámetro del hoyo: 8-1/2 Pasa / Horas: _____
 Tipo de fluido: DRYDRILLFLUID Profundidad: 1200 FT. Peso Lodo: 8.9 Profundidad Final: _____

| EQUIPOS | | EQUIPOS CONTROL DE LOS SOLIDOS | | | | | | | | | | EQUIPOS | | Presión | Densidad | Cantidad | Dia. | Serial | |
|------------------|-----------|--------------------------------|--------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|---------|-----|---------|----------|-------------|--------|--------|--------|
| PROYECTO | NO. SERIE | 1" | 2" | 3" | 4" | 5" | 6" | 8" | 10" | 12" | 14" | 16" | 18" | 20" | PSI | Gravimetric | Volume | Inches | Serial |
| TRAMPAS No. 1 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | 6 | 34.3 | | | 2712 |
| TRAMPAS No. 2 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | 6 | 43.3 | | | 874 |
| TRAMPAS No. 3 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACCION LOGS (1) | SWACO 3 | 200200 | 200200 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 4 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 5 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 6 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 7 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 8 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 9 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 10 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 11 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 12 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 13 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 14 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 15 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 16 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 17 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 18 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 19 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRAMPAS No. 20 | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |
| PLANTA ELECTRICA | SWACO 3 | 140218 | 140219 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | |

| ITEM | UNID. | QTY. | DESCRIPCION | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL | UNID. | QTY. | DESCRIPCION | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL | |
|------|-------|------|-------------|-------------|-------------|-------|------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 1 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 2 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 3 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 4 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 5 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 6 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 7 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 8 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 9 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 10 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 11 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 12 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 13 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 14 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 15 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 16 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 17 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 18 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |
| 19 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 | 20 | HR | 24 | TRAMPAS | 10.00 | 240.00 |

| COSTOS | | MATERIAL | | SERVICIOS | | EQUIPOS | | OBRAS | | TOTAL | | | | |
|--------|-------|----------|-------------|-------------|------|---------|------|-------------|-------------|-------|-------|------|-------------|-------------|
| ITEM | UNID. | QTY. | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL | ITEM | UNID. | QTY. | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL | ITEM | UNID. | QTY. | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL |
| 1 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 1 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 1 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 2 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 2 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 2 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 3 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 3 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 3 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 4 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 4 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 4 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 5 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 5 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 5 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 6 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 6 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 6 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 7 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 7 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 7 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 8 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 8 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 8 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 9 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 9 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 9 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 10 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 10 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 10 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 11 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 11 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 11 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 12 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 12 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 12 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 13 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 13 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 13 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 14 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 14 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 14 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 15 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 15 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 15 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 16 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 16 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 16 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 17 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 17 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 17 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 18 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 18 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 18 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 19 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 19 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 19 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 20 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 20 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 20 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |

| PERSONAL | | MATERIAL | | SERVICIOS | | EQUIPOS | | OBRAS | | TOTAL | | | | |
|----------|-------|----------|-------------|-------------|------|---------|------|-------------|-------------|-------|-------|------|-------------|-------------|
| ITEM | UNID. | QTY. | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL | ITEM | UNID. | QTY. | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL | ITEM | UNID. | QTY. | VALOR UNIT. | VALOR TOTAL |
| 1 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 1 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 1 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 2 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 2 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 2 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 3 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 3 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 3 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 4 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 4 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 4 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 5 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 5 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 5 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 6 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 6 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 6 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 7 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 7 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 7 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 8 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 8 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 8 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 9 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 9 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 9 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 10 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 10 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 10 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 11 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 11 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 11 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 12 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 12 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 12 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 13 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 13 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 13 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 14 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 14 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 14 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 15 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 15 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 15 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 16 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 16 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 16 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 17 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 17 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 17 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 18 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 18 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 18 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 19 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 19 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 19 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |
| 20 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 20 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 | 20 | HR | 24 | 10.00 | 240.00 |

Observaciones:

REVISAR AREA DE LOS EQUIPOS SWACO
 REVISAR LIMPIEZA Y CONEXION A LA CENTRIFUGA DIO.
 REVISAR NIVEL DE ACEITE Y AGUA A LA PLANTA ELECTRICA.
 RE-ADICION DE AGUA CON BOMBA DE DIAFRAMA.

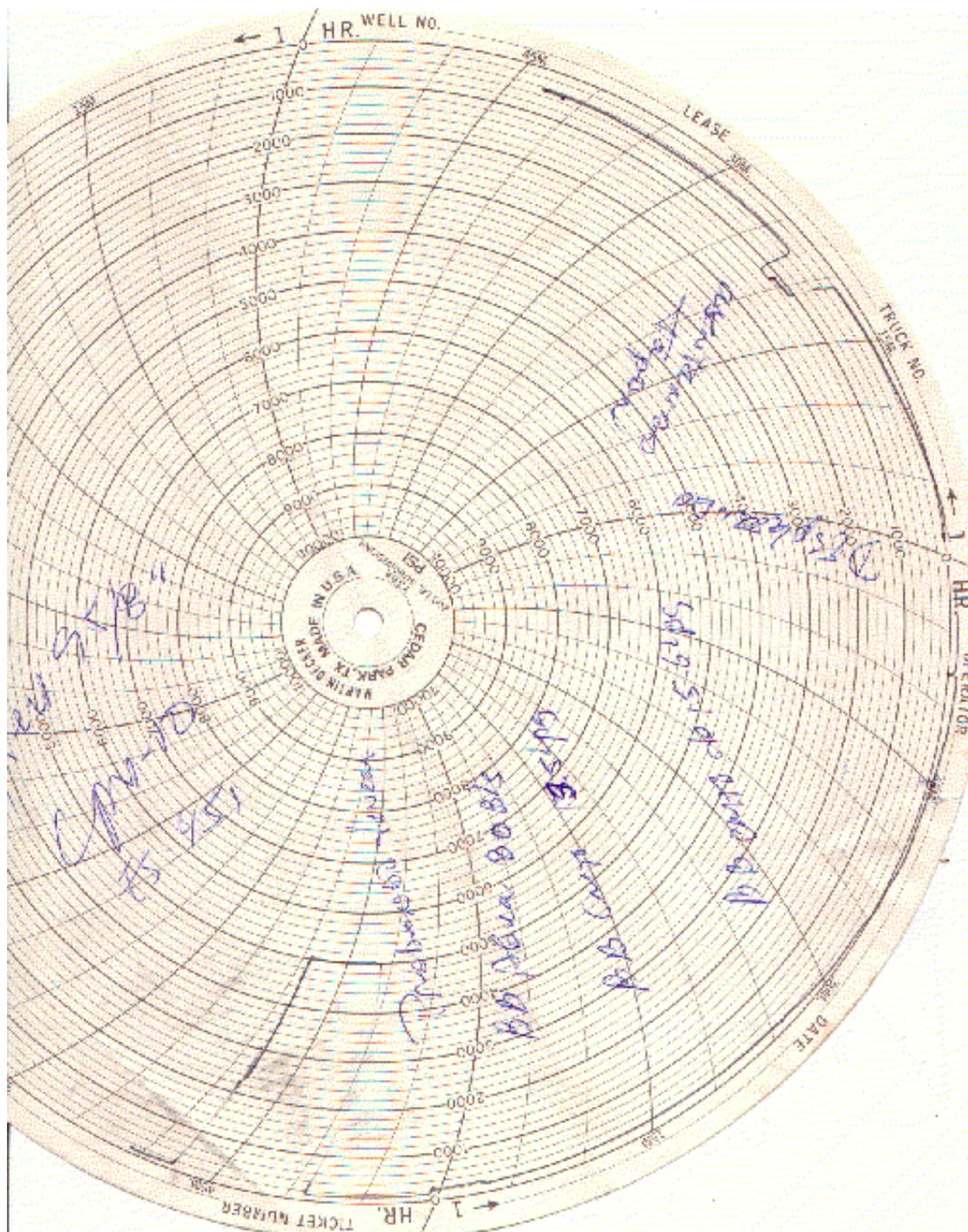
ACTIVIDAD DEL TALLADO: LIMPIANDO CEMENTO.
 POR N°: FRANCISCO LABRANZA, GONZALEZ Y CARLOS.


 SUP. SWACO, JOSE RAFAEL RONDON

APÉNDICE E
CEMENTACIÓN DE LOS REVESTIDORES
DEL POZO ES-451



DISCO DE PRESIÓN DE LA CEMENTACIÓN DEL REVESTIDOR DE 9-5/8” DEL POZO ES-451



PROGRAMA DE CEMENTACIÓN DEL HOYO INTERMEDIO DE 8 1/2” DEL POZO ES-451, REALIZADO POR BJ SERVICES



NEWARK, Delaware, General
ES-451
C.F.A. 11

DISEÑO DE REVESTIDOR INTERMEDIO (Rev. 5) Revestidor Intermedio

ESQUEMA DEL POZO

| Mesa | Description | Depth |
|---------|--------------------------|----------------|
| 1900 ft | Topo de Barasto | |
| 2000 ft | 5-601 Casing Shoe | 10' (3.775 ft) |
| | Art Capote: 0.150 (0.07) | |
| 3940 ft | Topo de Cola | |
| 4300 ft | Cuello Flotador | |
| 4340 ft | Zapata Flotadora | |
| 4340 ft | TD | |

| INFORMACION DEL POZO | | FLOAT EQUIPMENT & CSG HARDWARE | |
|----------------------------------|--------|---|----|
| Leasing O.D. (in): | 7.000 | Descripción | |
| Casing I.D. (in): | 5.800 | Tapete Flotador 2" (ap. 1st) Aleste Petros | 1 |
| Casing Weight (lb/ft): | 43.5 | Cuello Flotador 2", perforable con PVC, IUR | 1 |
| Casing Grade: | J-55 | Controladores Flotador 7" x 6 1/2" | 25 |
| Casing Thread: | BTC | Stop Collar 7" integral | 50 |
| Casing Capacity (cu ft/ft): | 0.1625 | Tapón de Limpieza T-IUR | 1 |
| Ext. Size (in): | 8.000 | Tapón de Desplazamiento 7" IUR | 1 |
| Annular Capacity (cu ft/ft): | 0.1745 | Compuerta Soldadura de Fluido | 2 |
| Flow Capacity (cu ft/ft): | 0.4418 | | |
| Maximum Deviation (%): | 0.00 | | |
| Temperature Gradient (°F/100ft): | 1.38 | | |

| PREFILADOS Y ESPACIADORES | | | |
|---------------------------|----------------------|---------------|-----|
| Primera Etapa | | Segunda Etapa | |
| 20 sbbs | Lavador Químico | 8,34 | ppg |
| 20 sbbs | 8 Fieles de Sello | 9,30 | ppg |
| 20 sbbs | Espaciador con Sello | 11,20 | ppg |

| LECHADAS DE CEMENTO | | | | | | | |
|---|---------------|---------|------|---------------|---------|------|---------|
| | Primera Etapa | | | Segunda Etapa | | | Top Job |
| | Scow | Llenado | Cola | Scow | Llenado | Cola | |
| Clase de Cemento: | | | | | | | B |
| Arene de Silice (Silica Flour) | 46.00 % | 45.00 % | | | | | |
| Controlador de Filtrado hasta 210 °F B-CT | 0.60 % | 0.30 % | | | | | |
| Modificator Anhydre de Sodio | 0.40 % | 0.10 % | | | | | |
| Dispersante | 0.80 % | 0.85 % | | | | | |
| Antifloculante hasta 210 °F B-CT | 0.90 % | 0.70 % | | | | | |
| Cloruro de Calcio (CaCl2) | | | | | | | 1.00 % |
| Artes. Llave | 1.0 gbs | 1.0 gbs | | | | | 1.0 gbs |
| Top MD (ft): | 1600 | 3640 | | | | | 0 |
| Bottom MD (ft): | 3840 | 4340 | | | | | 712 |
| Bottom TVD (ft): | 4180 | 4280 | | | | | 712 |
| Exceso | 0% | 0% | | | | | 0% |
| Req. Cemento (sbs): | 171 | 56 | | | | | 108.75 |
| Req. de agua de mezcla (bbls): | 40 | 8 | | | | | 14 |
| Volumen lechada (cu ft): | 385 | 55 | | | | | 131 |
| Volumen lechada (bbls): | 85 | 17 | | | | | 25 |

| PROPIEDADES ESTIMADAS DE LAS LECHADAS | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|----------|------|---------------|---------|------|----------|
| | Primera Etapa | | | Segunda Etapa | | | Top Job |
| | Scow | Llenado | Cola | Scow | Llenado | Cola | |
| Densidad lechada (lb/gal): | 14.2 | 15.6 | | | | | 15.6 |
| rendimiento (cu ft/sb): | 2.50 | 1.93 | | | | | 1.10 |
| Requisito de agua (gal/sb): | 8.57 | 6.59 | | | | | 5.23 |
| BHST @ bottom (°F): | 160 | 160 | | | | | 50 |
| BHCT (°F): | 116 | 116 | | | | | 55 |
| T. Espesamiento (hr:min): | 4:10 | 5:10 | | | | | 1:58 |
| P. Filtrado (mL/50-mL): | 30 | 32 | | | | | 895 |
| Acid Libre (pH): | 0 | 0 | | | | | 0.16 |
| R. Compresión (psi/hr): | 937 (24) | 2127(24) | | | | | 2656(24) |

| DISPLAZAMIENTO | | | |
|--|--|--|--|
| 147 bbls de agua fresca con 61 unidades bombas. | | | |
| El desplazamiento debe hacerse según procedimiento descrito abajo. | | | |

| REQUERIMIENTO DE PRODUCTOS | | | |
|--------------------------------|----------|----------------------------------|----------|
| Cemento Clase 'B' | 937 sbs | Antifloculante hasta 210 °F B-CT | 103 lb |
| Antiespumante | 3 gal | Cloruro de Calcio (CaCl2) | 103 lb |
| Arene de Silice (Silica Flour) | 3805 lbs | Arene de S Fieles (Espaciador) | 3876 lbs |
| Controlador de Filtrado Hasta | 120 lbs | | |
| Modificator Anhydre de Sodio | 69 lbs | | |
| Dispersante | 173 lbs | | |
| | | Agua de Mezcla (Cemento) | 63 bbls |
| | | Agua de Mezcla (Espaciador) | 20 bbls |

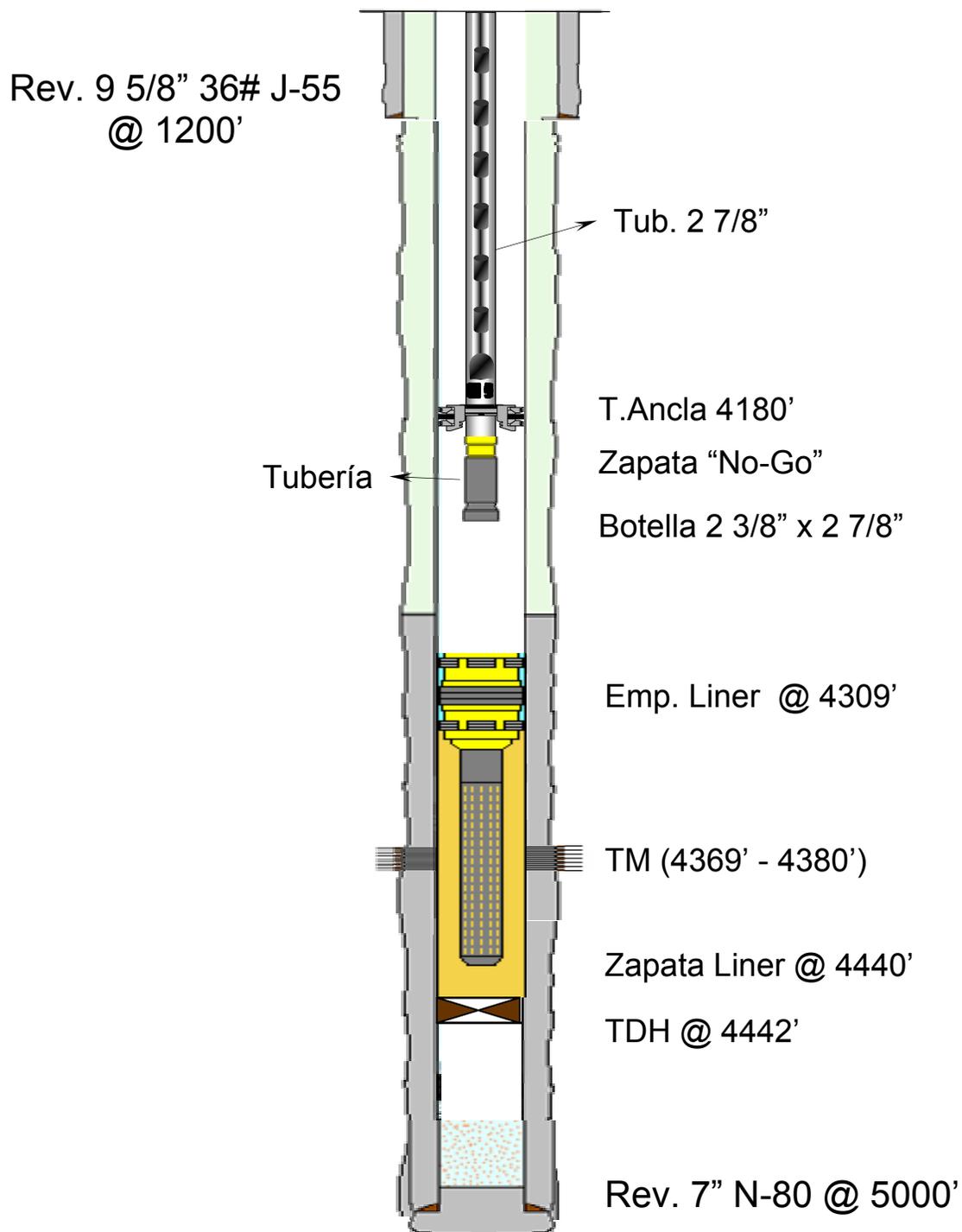
| DATOS DEL LODO | |
|------------------------------|----------------|
| Densidad (lb/gal): | 10.70 |
| V ₁₀ (cp): | 11.0 |
| V ₃₀ (lb/100gal): | 51.0 |
| Tipo de Lodo | Visco Elástico |

| COMENTARIOS | |
|-------------|--|
| | |

APÉNDICE F

DIAGRAMA DEL EMPAQUE CON GRAVA A HOYO ENTUBADO PARA EL POZO ES-451, DISEÑADO POR LA VCD





APÉNDICE G
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL
TALADRO CORPOVEN-10



CPV-10

| | |
|-----------------------|--|
| Descripción | Mástil |
| Modelo | 118-365-10-4 |
| Serial | |
| Marca | Cooper |
| Ubicación | Plataforma del malacate |
| Inf. Adicional | Altura 118', cap. 365000 lbs. |
| Descripción | Subestructura |
| Modelo | Box on box |
| Serial | |
| Marca | Cooper |
| Ubicación | |
| Inf. Adicional | Cap. 300 ton, 18 pies altura |
| Descripción | Bloque corona |
| Modelo | |
| Serial | |
| Marca | Cooper |
| Ubicación | Mástil |
| Inf. Adicional | 5 poleas de 30"/ 1 polea 36"/cap. 365000 lbs |
| Descripción | Bloque viajero y gancho |
| Modelo | 6150 |
| Serial | 31979 |
| Marca | Mckemsey |
| Ubicación | Mástil |
| Inf. Adicional | Cap. 150 toneladas/poleas 45", línea 1-1/8 |
| Descripción | Swivel |
| Modelo | P200 |
| Serial | |
| Marca | National |
| Ubicación | Bloque viajero |
| Inf. Adicional | 200 ton. |
| Descripción | Winche de aire |
| Modelo | Ku5 |
| Serial | 4100 |
| Marca | Ingersoll rand |
| Ubicación | Subestructura |
| Inf. Adicional | |
| Descripción | Mesa rotaria |
| Modelo | |
| Serial | Dc-302 |
| Marca | Ideco |
| Ubicación | Subestructura |
| Inf. Adicional | Cap. 250 ton., 17.5" de diámetro. |
| Descripción | Malacate |
| Modelo | Lto-750 |
| Serial | 164 |
| Marca | Cooper |
| Ubicación | Plataforma del malacate |

Inf. Adicional

Descripción Motor de malacate n°1
Modelo D-3406
Serial 90u14612
Marca Caterpillar
Ubicación Plataforma del malacate

Inf. Adicional

Descripción Motor de malacate n°2
Modelo D-3406
Serial E2955
Marca Caterpillar
Ubicación Plataforma del malacate

Inf. Adicional

Descripción Transmisión n°1
Modelo Clbt-5961-4
Serial E-2955
Marca Allison
Ubicación Plataforma del malacate

Inf. Adicional

Descripción Transmisión n°2
Modelo Clbt-5961-4
Serial 3110098968
Marca Allison
Ubicación Plataforma del malacate

Descripción Caja horizontal
Modelo 710
Serial 104
Marca Noster
Ubicación Plataforma del malacate

Descripción Caja vertical
Modelo 705
Serial 104
Marca Noster
Ubicación Plataforma del malacate

Descripción Freno de agua
Modelo Sr22
Serial D631759
Marca Parmac
Ubicación Plataforma del malacate

Descripción Generador n°1
Modelo Sr4
Serial 5ha05686
Marca Cat
Ubicación Trailer de la casa de fuerza
Inf. Adicional 448 frame, 275kw

| | |
|-----------------------|------------------------------|
| Descripción | Motor generador n°1 |
| Modelo | D-3406 |
| Serial | 90u12798 |
| Marca | Caterpillar |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |
| Inf. Adicional | |
| Descripción | Generador n°2 |
| Modelo | Sr4 |
| Serial | 5ka04310 |
| Marca | Caterpillar |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |
| Inf. Adicional | Frame 448, 240 kva |
| Descripción | Motor generador n°2 |
| Modelo | D-3408 |
| Serial | S/s |
| Marca | Caterpillar |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |
| Descripción | Compresor auxiliar |
| Modelo | 350 |
| Serial | |
| Marca | Quincy |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |
| Descripción | Motor compresor auxiliar |
| Modelo | St2 |
| Serial | 458560 |
| Marca | Lister |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |
| Descripción | Compresor n°1 |
| Modelo | 5120 |
| Serial | 6049762 |
| Marca | Quincy |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |
| Descripción | Motor eléctrico n°1 |
| Modelo | |
| Serial | 5325 |
| Marca | Baldor |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |
| Inf. Adicional | 25 hp, 1750 rpm, frame 234t |
| Descripción | Compresor n°2 |
| Modelo | 53c41 |
| Serial | 5049.5 |
| Marca | Betico |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |
| Descripción | Motor eléctrico n°2 |
| Modelo | |
| Serial | E-08-76-0022 |
| Marca | |
| Ubicación | Trailer de la casa de fuerza |

Inf. Adicional 50 hp, 1750 rpm, frame 326t

Descripción Winche hidráulico

Modelo Pd10

Serial

Marca Braden

Ubicación Plataforma del malacate

Inf. Adicional Dos (2)

Descripción Bomba de lodo n°1

Modelo 8-p-80

Serial

Marca National

Ubicación Trailer de las bombas de lodo

Descripción Motor bomba de lodo n°1

Modelo D-398

Serial

Marca Caterpillar

Ubicación Trailer de las bombas de lodo

Descripción Convertidor de torsión n°1

Modelo C-300-100

Serial

Marca National

Ubicación Trailer de las bombas de lodo

Inf. Adicional

Descripción Bomba de lodo n°2

Modelo 8-p-80

Serial

Marca National

Ubicación Trailer de las bombas de lodo

Descripción Motor bomba de lodo n°2

Modelo D398

Serial

Marca Caterpillar

Ubicación Trailer de las bombas de lodo

Descripción Convertidor de torsión n°2

Modelo C - 300 - 100

Serial

Marca National

Ubicación Trailer de las bombas de lodo

Descripción Centrifuga bomba de lodo n°1

Modelo

Serial

Marca

Ubicación Trailer de las bombas de lodo

Descripción Motor eléctrico n°1

Modelo

Serial

Marca

| | |
|-----------------------|-------------------------------|
| Ubicación | Trailer de las bombas de lodo |
| Inf. Adicional | 60 hp, 1750 rpm, frame 364t |
| Descripción | Centrifuga bomba de lodo n°2 |
| Modelo | |
| Serial | |
| Marca | |
| Ubicación | Trailer de las bombas de lodo |
| Descripción | Motor eléctrico n°2 |
| Modelo | |
| Serial | |
| Marca | |
| Ubicación | Trailer de las bombas de lodo |
| Inf. Adicional | 60 hp, 1750 rpm, frame 364t |
| Descripción | Tanque de agua fresca n°1 |
| Inf. Adicional | Cap. 500 bls. |
| Ubicación | Patin propio |
| Descripción | Centrifuga n°1 |
| Modelo | 3x4 |
| Serial | |
| Marca | Fairbanks morse |
| Ubicación | Tanque de agua fresca |
| Descripción | Motor eléctrico n°1 |
| Serial | 81335t |
| Marca | U.s. |
| Ubicación | Tanque de agua fresca |
| Inf. Adicional | 25 hp, 1800 rpm, frame 284t |
| Descripción | Centrifuga n°2 |
| Modelo | 3x4 |
| Serial | |
| Marca | Mission |
| Ubicación | Tanque de agua fresca |
| Descripción | Motor eléctrico n°2 |
| Modelo | |
| Serial | Idr750901977 |
| Marca | |
| Ubicación | Tanque de agua fresca |
| Inf. Adicional | 25hp, 254t,1800 rpm. |
| Descripción | Tanque de agua fresca n°2 |
| Ubicación | Patín propio |
| Inf. Adicional | 500 bls. |
| Descripción | Tanque de petroleo-gasoil |
| Ubicación | Patín propio |
| Inf. Adicional | 450 bls |
| Descripción | Centrifuga petro-gasoil |
| Modelo | 1x1-1/2 |

| | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Ubicación | Tanque de petro-gasoil |
| Descripción | Motor eléctrico |
| Serial | La184ttfgs7071 |
| Ubicación | Tanque de petro-gasoil |
| Inf. Adicional | 3 hp, 1750 rpm, frame 182tc |
| Descripción | Centrifuga del mezclador |
| Modelo | 5x6 |
| Serial | |
| Marca | Mission |
| Ubicación | Tanque de lodo |
| Descripción | Motor eléctrico |
| Ubicación | Tanque de lodo |
| Inf. Adicional | 50 hp, 1750 rpm, frame 326t |
| Descripción | Tanque de lodo n°1 |
| Ubicación | Patín propio |
| Inf. Adicional | 450 bls |
| Descripción | Centrifuga del tanque de lodo n°1 |
| Modelo | 5x6 |
| Marca | Fairbanks morse |
| Ubicación | Tanque de lodo n°1 |
| Descripción | Motor eléctrico |
| Modelo | |
| Serial | |
| Marca | Dutty master |
| Ubicación | Tanque de lodo n°1 |
| Inf. Adicional | 60 hp, 1780 rpm, frame 364t |
| Descripción | Centrifuga n°2 del tanque de lodo |
| Modelo | 5x6 |
| Serial | |
| Marca | Fairbanks morse |
| Ubicación | Tanque de lodo n°1 |
| Descripción | Motor eléctrico |
| Modelo | |
| Serial | |
| Marca | Dutty master |
| Ubicación | Tanque de lodo n°1 |
| Inf. Adicional | 60 hp, 1780 rpm, frame 364t |
| Descripción | Agitador n°1 |
| Modelo | Ma10 |
| Serial | 9125 |
| Marca | Brandt |
| Ubicación | Tanque de lodo n°1 |
| Descripción | Motor eléctrico |
| Modelo | |
| Serial | 5467 |
| Marca | U.I. |

| | |
|-----------------------|-------------------------------|
| Ubicación | Tanque de lodo n°1 |
| Inf. Adicional | 10 hp, 1735 rpm, frame 215t |
| Descripción | Tanque de lodo n°2 |
| Ubicación | Patin propio |
| Inf. Adicional | 450 bls |
| Descripción | Agitador n°2 |
| Modelo | Ma10 |
| Serial | 9118 |
| Marca | Brandt |
| Ubicación | Tanque de lodo n°2 |
| Descripción | Motor eléctrico |
| Modelo | |
| Serial | 81-486t |
| Marca | UI |
| Ubicación | Tanque de lodo n°2 |
| Inf. Adicional | 10 hp, 1735 rpm, frame 215t |
| Descripción | Agitador n°3 |
| Modelo | Ma10 |
| Serial | 9123 |
| Marca | Brandt |
| Ubicación | Tanque de lodo n°2 |
| Descripción | Motor eléctrico |
| Modelo | |
| Serial | 81482t |
| Marca | Houston |
| Ubicación | Tanque de lodo n°2 |
| Inf. Adicional | 7.5 hp/ 215t |
| Descripción | Tanque de combustible |
| Ubicación | Patín propio |
| Inf. Adicional | Cant (02) capacidad 27600 lts |
| Descripción | Centrifuga |
| Modelo | |
| Serial | |
| Marca | |
| Ubicación | Tanque de combustible |
| Inf. Adicional | 1" x 1" |
| Descripción | Motor eléctrico |
| Modelo | |
| Serial | 81267t |
| Marca | |
| Ubicación | Tanque de combustible |
| Inf. Adicional | 3hp, 1750 rpm, frame 182t. |
| Descripción | Centrifuga n° 2 |
| Modelo | |
| Marca | Mom |
| Ubicación | Tanque de combustible |
| Inf. Adicional | 1" x 1 ½" |

| | |
|---------------------------|--|
| Descripción | Motor eléctrico |
| Serial | S/s |
| Ubicación | Tanque de combustible |
| Inf. Adicional | 5hp, 1750 rpm, frame 184t. |
| Descripción | Indicador de peso |
| Modelo | Fs |
| Marca | Martin decker |
| Descripción | Comedor |
| Inf. Adicional | Capacidad (05) personas. |
| Descripción | Sistema de iluminación |
| Inf. Adicional | 30 lamparas/ 10 reflectores. |
| Descripción | Tren de rodaje (cauchos) |
| Modelo | 21-00-25x |
| Ubicación | Todo el equipo |
| Inf. Adicional | (12) buenas condiciones/ (12) cond. Reg. |
| Descripción | Kelly spinner |
| Modelo | |
| Serial | |
| Marca | |
| Ubicación | |
| Inf. Adicional | (01) motor de arranque caterpillar |
| Descripción | Tanque de agua potable |
| Inf. Adicional | 50 bls. |
| Descripción | Bop anular de 13 5/8" |
| Marca | Shaffer |
| Presión de trabajo | 5,000 psi |
| Conexión arriba | 13 5/8" x 5.000 psi |
| Conexión abajo | 13 5/8" x 5.000 psi |
| Carreto de comb. | 13 5/8" x 3.000 x 5000 psi |
| Mud cross | 13 5/8" x 5000 psi, con salidas laterales 2 1/16" x 5.000 psi y 3 1/16" x 5.000 psi |
| Descripción | Bop tipo ram de 13 5/8" |
| Cantidad | Uno |
| Marca y tipo | Shaffer tipo doble |
| Presión de trabajo | 5,000 psi |
| Conexión arriba | 13 5/8" x 5.000 psi |
| Conexión abajo | 13 5/8" x 5.000 psi |
| Adaptador | 11" – (5.000 -3.000) psi x 13 5/8" - 5000 psi 7 1/16" – (5.000 -3.000) psi x 13 5/8" - 5000 psi |
| Descripción | Ranes para bop de 13 5/8" |
| | 4 1/2" |
| | Ranes ciegos |
| | 9 5/8" , 7 5/8" , 7" , 5 1/2" , 4 1/2, 3 1/2", 2 7/8" y 2 3/8" |
| Descripción | Línea de matar |
| Cantidad | Uno |

| | |
|---------------------------|--|
| Tipo válvula | Check valve, con bridas de 2 1/6" x 5.000 psi y 2 válvulas de compuerta de 2 1/6" x 5.000 psi con bridas, conectadas al mud cross |
| Presión de trabajo | 5.000 psi |
| Diámetro (i.d) | 2" |
| Descripción | Línea estranguladora |
| Cantidad | Uno |
| Válvula | 5.000 psi, manual, conectada al mud cross |
| Presión de trabajo | 5.000 psi |
| Diámetro | 3 1/16" |
| Hcr | 5.000 psi, hid., Conectada al mud cross |
| Descripción | Niple campana |
| Cantidad | Uno |
| Características | Diámetro mínimo 13 3/8", con salida lateral de 10", conexión con unión de golpe para manguera de 10" |
| Descripción | Tubo canal |
| Cantidad | Uno |
| Características | Con manguera conectada al niple campana de 10" x 15', con cajón recolector de fluido al comienzo del mismo. |
| Descripción | Unidad de control del acumulador |
| Tipo | 80 |
| Marca | Koomey |
| N° de botellas | 9 |
| Medidor de flujo | Si |
| N° bombas elect. | 1 |
| N° bombas neum. | 2 |
| Localización | Planchada y arrea de trailer |
| Descripción | Unidad portátil para prueba del bop |
| Boma tipo | Neumática |
| Rango de presión | 0 a 5.000 psi |
| Descripción | Multile de estrangulamiento |
| Tipo | Horizontal |
| N° de válvulas | 8 de compuertas de 3 1/16" x 5.000 psi |
| Estrang. Manual | Regulable de 0 1 9/16" x 5.000 psi |
| Estrang. Hid. | Regulable de 0 1 9/16" x 10.000 psi |
| Ind. Presión rev. | 0 a 5.000 psi |
| Ind. Presión tub. | 0 a 5.000 psi |
| Descripción | Panel de control p/estrangulador hid. |
| Marca | Swaco |
| Ind. Presión rev. | 0 a 5.000 psi |
| Ind. Presión tub. | 0 a 5.000 psi |
| Características | Control para suministro de aire, control para regular sistema hid., Indicador de embolada para cada bomba, indicador de posición (abrir – cerrar), bomba manual para accionar sistema hid. |
| Ubicación | Planchada del taladro |
| Descripción | Válvula kelly cock |
| Presión de trab. | 5.000 psi |
| Conexiones | 4 1/2" if (inferior) y 6 5/8" reg lh (superior) |

| | | | |
|---------------------------|---|------------|---------------|
| Cantidad | 2 inferiores y 1 superior | | |
| Descripción | Válvula flotadora | | |
| Dimensiones | 6 ¼" o.d. X 2 ¼" i.d. | | |
| Conexión | 4 ½" if | | |
| Cantidad | 1 | | |
| Descripción | Tubería de perforación | | |
| Cantidad | 7.500 pies (250 juntas) | | |
| Diámetro (o.d) | 4 ½" x 16.6 lbs/ft, grado "g". | | |
| Rosca | 4 ½" if, nc-50 | | |
| Descripción | Tubería de juntas cortas | | |
| Rosca | 4 ½" if, nc-50 | | |
| 5 pies - cantidad | 2 | | |
| 10 pies - cantidad | 1 | | |
| 10 pies - cantidad | 1 | | |
| Descripción | Tubería extra pesada | | |
| Diámetro | 5" x 49.3 lbs/ft. | | |
| Cantidad | 40 juntas | | |
| Rosca | 4 ½" if, nc-50 | | |
| Descripción | Portamechas | | |
| Diámetro (o.d) | 8" | 6 ½" | 4 ¾" |
| Diámetro (i.d) | 2 13/16" | 2 13/16" | 2 ¼" |
| Peso | 150 lbs/ft. | 93 lbs/ft. | 47 lbs/ft. |
| Largo | 30 pies | 30 pies | 30 pies |
| Conexión | 6 5/8" reg. | 4 ½" if. | 3 ½" if. |
| Cantidad | 10 | 10 | 10 |
| Bsr | 2.61:1 | 2.73:1 | 2.85:1 |
| Descripción | Sustitutos | | |
| Especificaciones | 6 5/8" reg. Caja x 6 5/8" reg. Caja. | | (cantidad: 2) |
| | 6 5/8" reg. Caja x 4 ½" if caja. | | (cantidad: 2) |
| | 4 ½" reg. Caja x 4 ½" if caja. | | (cantidad: 2) |
| | 3 ½" reg. Caja x 3 ½" if caja. | | (cantidad: 2) |
| | 6 5/8" reg. Pin x 4 ½" if pin. | | (cantidad: 2) |
| | 4 ½" if pin x 4 ½" if caja. | | (cantidad: 2) |
| | 3 ½" if pin x 4 ½" if caja. | | (cantidad: 2) |
| | 4 ½" if, nc-50 | | (cantidad: 2) |
| Descripción | Elevadores de revestidor (puerta lateral) | | |
| Revestidores | 13 3/8", 10 3/4", 9 5/8", 7", 5 1/2" | | |
| Cantidad | Uno para cada diámetro | | |
| Descripción | Elevador de cuña | | |
| Revestidor | 7" | | |
| Cantidad | 1 | | |
| Descripción | Cuñas | | |
| Revestidores | 13 3/8", 10 3/4", 9 5/8", 7", 5 1/2" | | |
| Cantidad | 2 (13 3/8" @ 7"), 1 (7" @ 5 1/2") | | |
| Tubería perf. | 3 ½" - 4 1/2" | | |
| Cantidad | 1 de 3 ½" y 2 de 4 ½" | | |
| Portamechas | 8", 6 ½" y 4 ¾" | | |

| | |
|--------------------------|---|
| Cantidad | 1 para cada diámetro |
| Descripción | Brazos para elevadores (parrillas) |
| Revestidores | Capacidad 350 klbs, 12' de longitud |
| Tubería perf. | Capacidad 350 klbs, 7' de longitud |
| Cantidad | 1 para rev. Y 1 para tubería de perf. |
| Descripción | Llaves de tenaza para revestidores y tubería |
| Tipo | Db |
| Marca | Bj |
| Rango | 3 1/2" – 13 5/8" |
| Descripción | Elevadores para tuberías |
| Tubería de perf. | 4 1/2" y 3 1/2" |
| Tubería de prod. | 4 1/2" |
| Porta mechas | 8" 6 1/2" 4 3/4" |
| Cantidad | Uno para cada diámetro |
| Descripción | Levantadores para porta mechas |
| Diámetros | 8" 6 1/2" 4 3/4" |
| Conexión | 6 5/8" reg. 4 1/2" if 4 1/2" if |
| Dia. Agarre elev. | 5" 5" 5" |
| Cantidad | 3 para cada diámetro |
| Descripción | Grampa de seguridad |
| Rango | 4 1/2" – 11" |
| Cantidad | 2 |
| Descripción | Platos para desconectar mechas |
| Tipo de mecha | Triconica |
| Diámetro mechas | 16", 12 1/4", 8 1/2" y 6 1/4". |
| Cantidad | 1 para cada diámetro de mecha. |
| Descripción | Guarda barro |
| Para tuberías | 3 1/2", 4 1/2" y 5" |

APÉNDICE H
REGISTRO GEOLÓGICO DEL POZO ES-451

