

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA LIMPIEZA DE HOYO EN POZOS HORIZONTALES Y ALTAMENTE DESVIADOS DEL CAMPO EDÉN YUTURI

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN PETRÓLEOS

ANA BELÉN LÓPEZ SÁNCHEZ
lopez93.ana@outlook.com

DIRECTOR: MSc. FRANKLIN VINICIO GÓMEZ SOTO
franklin.gomez@epn.edu.ec

Quito, abril 2018

DECLARACIÓN

Yo, Ana Belén López Sánchez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

ANA BELÉN LÓPEZ SÁNCHEZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ana Belén López Sánchez, bajo mi supervisión.

**MSc. FRANKLIN VINICIO GÓMEZ S.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa de servicios Schlumberger y de manera especial a los ingenieros: José Salas, por ser mi mentor, mi amigo y darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, a Argenis Betancourt y Javier Carvajal quienes fueron mis tutores y me brindaron su tiempo, conocimiento y apoyo a lo largo de la realización de este trabajo.

A todo el personal de Schlumberger segmento M-I SWACO WP, en especial a los ingenieros: Tanya Calva, Carlos Navarrete y Tedys Zambrano quienes compartieron su conocimiento conmigo y fueron mi guía durante la parte experimental de mi trabajo.

A la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Ingeniería en Geología y Petróleos y a los maestros que me guiaron a lo largo de los años de mi vida estudiantil.

Al ingeniero Franklin Gómez por su acertada dirección durante el desarrollo de este proyecto.

A mis padres por su comprensión, paciencia y apoyo a lo largo de toda mi vida. A mi hermano por no permitir que me rindiera y siempre señalar que el esfuerzo tiene su recompensa.

A Jhonny Reatiqui por ser mi mejor amigo, mi compañero de batallas y estar siempre para mí, mil gracias.

A mis Dignos, Katy, Nixon, Mabe, Santy y George gracias por todo lo que hicieron por mí, por hacerme reír y alegrar mis días de estudio.

A mi fiel compañero Lucas por brindarme su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis maestros de vida, que de forma consciente o inconsciente han formado mi carácter, conocimiento y experiencia: a mis padres, a mi hermano, a mi hermana Elizabeth, a Jhonny y a mis amigos Katy, Nixon, Mabe y Santy, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

CONTENIDO

| | |
|--|----------|
| DECLARACIÓN | II |
| CERTIFICACIÓN | III |
| CONTENIDO..... | VI |
| RESUMEN | XV |
| PRESENTACIÓN | XVI |
| CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.2.1. OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CAMPO EDÉN YUTURI Y CONCEPTOS GENERALES | 5 |
| 2.1. GENERALIDADES DEL CAMPO | 5 |
| 2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA | 6 |
| 2.3. ESTRATIGRAFÍA DEL CAMPO | 6 |
| 2.4. LITOLOGÍA DEL CAMPO..... | 8 |
| 2.4.1. YACIMIENTO M-1..... | 8 |
| 2.4.2. YACIMIENTO M-2..... | 8 |
| 2.4.3. YACIMIENTO U SUPERIOR..... | 8 |
| 2.4.4. YACIMIENTO U INFERIOR | 8 |
| 2.4.5. YACIMIENTO T..... | 8 |
| 2.5. PROPIEDADES PETROFÍSICAS DEL CAMPO..... | 9 |
| 2.6. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA LIMPIEZA DE POZOS | 9 |
| 2.6.1. ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL POZO | 10 |
| 2.6.2. EXCENRICIDAD | 11 |
| 2.6.3. RECORTES EN EL POZO | 12 |
| 2.6.3.1. Características de las camas de recortes | 13 |
| 2.6.3.2. Transporte de recortes | 14 |
| 2.6.4. CARACTERÍSTICAS DE FLUJO | 14 |
| 2.6.4.1. Ningún Flujo..... | 15 |
| 2.6.4.2. Flujo Tapón..... | 16 |
| 2.6.4.3. Transición de flujo tapón a flujo laminar | 16 |
| 2.6.4.4. Flujo laminar | 17 |
| 2.6.4.5. Transición de flujo laminar a flujo turbulento..... | 18 |
| 2.6.4.6. Flujo Turbulento..... | 19 |
| 2.7. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS..... | 19 |
| 2.7.1. VISCOSIDAD | 20 |
| 2.7.1.1. Viscosidad de embudo | 20 |
| 2.7.1.2. Esfuerzo de corte y velocidad de corte..... | 21 |
| 2.7.1.3. Esfuerzo de corte..... | 22 |
| 2.7.1.4. Viscosidad efectiva | 22 |

| | |
|---|----|
| 2.7.1.5. Viscosidad aparente | 23 |
| 2.7.1.6. Viscosidad plástica | 23 |
| 2.7.2. PUNTO CEDENTE (YIELD POINT) | 24 |
| 2.7.3. VISCOSIDAD A BAJA VELOCIDAD DE CORTE Y LSRV | 25 |
| 2.7.4. TIXOTROPÍA Y ESFUERZO DE GEL..... | 25 |
| 2.7.5. TIPOS DE FLUIDO | 26 |
| 2.7.5.1. Fluidos Newtonianos | 26 |
| 2.7.5.2. Fluido no Newtonianos | 28 |
| 2.8. MODELOS REOLÓGICOS | 30 |
| 2.8.1. MODELO DE FLUJO PLÁSTICO DE BINGHAM | 30 |
| 2.8.2. MODELO DE LEY EXPONENCIAL | 31 |
| 2.8.2.1. Parámetros que afectan al coeficiente k..... | 32 |
| A. Acumulación de sólidos | 32 |
| B. Disminución de sólidos | 32 |
| C. Floculación causada por la contaminación | 33 |
| 2.8.2.2. Cálculo de la Ley Exponencial para tuberías..... | 33 |
| 2.8.2.3. Cálculo de la Ley Exponencial para el espacio anular..... | 33 |
| 2.8.2.4. Ecuación General de la Ley Exponencial para la viscosidad efectiva..... | 33 |
| 2.8.3. MODELO HERSCHEL – BULKLEY | 34 |
| 2.9. CÁLCULOS DE LA HIDRÁULICA DEL POZO..... | 35 |
| 2.9.1. ECUACIONES DE HIDRÁULICA DE API | 36 |
| 2.9.2. CÁLCULOS DE PÉRDIDA DE PRESIÓN | 36 |
| 2.10. SITUACIÓN ACTUAL DE LA LIMPIEZA DE LOS POZOS | 37 |
| CAPÍTULO 3: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS | 40 |
| 3.1. PRUEBAS DE LABORATORIO | 40 |
| 3.1.1. DENSIDAD DEL FLUIDO..... | 40 |
| 3.1.1.1. Calibración del equipo | 40 |
| 3.1.1.2. Procedimiento de la prueba | 41 |
| 3.1.2. VISCOSIDAD DE EMBUDO..... | 41 |
| 3.1.2.1. Procedimiento de la prueba | 42 |
| 3.1.3. VISCOSÍMETRO ROTATIVO..... | 42 |
| 3.1.3.1. Procedimiento para la determinación de la viscosidad aparente, la viscosidad plástica y el punto cedente..... | 43 |
| 3.1.3.2. Procedimiento para la determinación del esfuerzo de gel | 43 |
| 3.2. SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE FLUIDOS (VCS)..... | 43 |
| 3.2.1. FILE MANAGER | 44 |
| 3.2.2. DPROB | 44 |
| 3.2.2.1. Geometría del pozo | 44 |
| 3.2.2.2. Perfil direccional | 45 |
| 3.2.2.3. Perfil de temperatura | 46 |
| 3.2.2.4. Perfil de densidad de la salmuera..... | 46 |
| 3.2.3. DISPRO..... | 46 |
| 3.2.3.1. Diseño de la operación | 47 |
| 3.2.3.2. Diseño del fluido | 47 |

| | |
|---|----|
| 3.2.3.3. Diseño del desplazamiento..... | 48 |
| 3.2.3.4. Resultados..... | 48 |
| 3.2.3.5. Gráficos de salida..... | 49 |
| 3.2.3.6. Visualización..... | 50 |
| 3.3. SOFTWARE DE DISEÑO DE SARTAS DE LIMPIEZA (WB) | 50 |
| CAPÍTULO 4: SELECCIÓN DE PÍLDORAS DE LIMPIEZA Y HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS..... | 51 |
| 4.1. CASOS DE ESTUDIO..... | 51 |
| 4.2. FLUIDOS DE LIMPIEZA..... | 51 |
| 4.2.1. PÍLDORAS VISCOSAS..... | 52 |
| 4.2.2. REOLOGÍA MEDIDA DE LAS PÍLDORAS VISCOSAS..... | 53 |
| 4.2.2.1. Comportamiento newtoniano de las píldoras viscosas | 54 |
| 4.2.2.2. Régimen de flujo de las píldoras viscosas en la tubería de la sarta de limpieza..... | 55 |
| 4.3. SIMULACIONES DE LA LIMPIEZA DE POZOS..... | 56 |
| 4.3.1. POZO EDYA-054 | 57 |
| 4.3.1.1. Antecedentes del pozo | 57 |
| 4.3.1.2. Resultados de la simulación de desplazamiento de fluidos | 57 |
| 4.3.2. POZO EDYT-158H..... | 60 |
| 4.3.2.1. Antecedentes del pozo | 60 |
| 4.3.2.2. Resultados de la simulación de desplazamiento de fluidos | 60 |
| 4.3.3. POZO EDYF-105A..... | 62 |
| 4.3.3.1. Antecedentes del pozo | 62 |
| 4.3.3.2. Resultados de la simulación de desplazamiento de fluidos..... | 62 |
| 4.4. ARREGLOS DE LAS HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS DE LIMPIEZA UTILIZADAS DURANTE LOS AÑOS 2015 A 2017 | 66 |
| 4.4.1. HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS DE LIMPIEZA Y CALIBRACIÓN..... | 69 |
| 4.4.1.1. Razor Back (Raspador)..... | 69 |
| 4.4.1.2. Magnostar (Magneto) | 70 |
| 4.4.1.3. Multiback | 71 |
| 4.4.1.4. Well Patroler (Filtro)..... | 72 |
| 4.5. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LAS HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS EN LAS SARTAS PARA LA LIMPIEZA DEL POZO | 75 |
| 4.5.1. TRABAJOS DE REACONDICIONAMIENTO..... | 76 |
| 4.5.1.1. Análisis del desempeño de las sartas en pozos de grado de dificultad de la limpieza media..... | 76 |
| 4.5.1.1.1. Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" @ TD. | 76 |
| 4.5.1.1.2. Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" + liner 7"..... | 78 |
| 4.5.1.2. Análisis del desempeño de las sartas en pozos de grado de dificultad de la limpieza alta..... | 79 |

| | |
|--|----|
| 4.5.1.2.1. Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" + liner 7" | 79 |
| 4.5.1.3. Análisis del desempeño de las sartas en pozos de grado de dificultad de la limpieza muy alta | 81 |
| 4.5.1.3.1. Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" @ TD | 82 |
| 4.5.1.3.2. Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" + liner 7" | 83 |
| 4.5.2. TRABAJOS DE COMPLETACIÓN | 85 |
| CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 87 |
| 5.1. CONCLUSIONES | 87 |
| 5.2. RECOMENDACIONES | 88 |
| GLOSARIO..... | 90 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 94 |
| ANEXOS | 96 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| 2. 1. Propiedades petrofísicas del campo Edén Yuturi..... | 9 |
| 2. 2. Parámetros que afectan la limpieza del pozo..... | 10 |
| 2. 3. Grado de dificultad de la limpieza en relación al ángulo de Inclinación del pozo..... | 11 |
| 2. 4. Gravedad específica de las arcillas..... | 13 |
| 2. 5. Ecuaciones de hidráulica API..... | 36 |
| 2. 6. Ecuaciones de pérdidas de presión..... | 36 |
| 2. 7. Problemas operativos asociados a la limpieza en el campo Edén Yuturi (2015 - 2016)..... | 37 |
| 4. 1. Pozos seleccionados..... | 51 |
| 4. 2. Medidas y cálculos reológicos de las píldoras viscosas..... | 53 |
| 4. 3. Datos utilizados para los cálculos de Modelamiento Reológico e Hidráulico..... | 54 |
| 4.4. Determinación del Modelo Reológico de las píldoras viscosas dentro de la tubería de la sarta de limpieza..... | 54 |
| 4. 5. Determinación del tipo de fluido de las píldoras viscosas dentro del espacio anular..... | 55 |
| 4. 6. Cálculos de la hidráulica para la tubería..... | 55 |
| 4. 7. Cálculos de la hidráulica para el espacio anular..... | 56 |
| 4. 8. Características del pozo EDYA-054..... | 57 |
| 4. 9. Configuración mecánica del pozo EDYA-054..... | 57 |
| 4. 10. Características del pozo EDYT-158H..... | 60 |
| 4. 11. Configuración mecánica del pozo EDYT-158H..... | 60 |
| 4. 12. Características del pozo EDYF-105A..... | 62 |
| 4. 13. Configuración mecánica del pozo EDYF-105A..... | 62 |
| 4. 14. Arreglos de sarta de limpieza para pozos con Csg 9-5/8" a TD..... | 67 |
| 4. 15. Arreglos de sargas de limpieza para pozos con Csg. 9-5/8" + Liner 7"..... | 68 |
| 4. 16. Residuos recogidos en pozos de dificultad media y Csg. 9-5/8" @ TD..... | 77 |
| 4. 17. Residuos recogidos en pozos de dificultad media y Csg. 9-5/8" + Liner 7"..... | 78 |
| 4. 18. Residuos recogidos en pozos de dificultad alta y Csg. 9-5/8" + Liner 7"..... | 80 |
| 4. 19. Residuos recogidos en pozos de dificultad muy alta y Csg. 9-5/8" @ TD..... | 82 |
| 4. 20. Residuos recogidos en pozos de dificultad muy alta y Csg. 9-5/8" + Liner 7"..... | 83 |
| 4. 21. Residuos recogidos en los trabajos de completación..... | 86 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| 2. 1. Ubicación geográfica del campo Edén Yuturi..... | 6 |
| 2. 2. Columna estratigráfica de la cuenca oriente | 7 |
| 2. 3. Dificultad de la limpieza del pozo con respecto a la inclinación | 11 |
| 2. 4. Excentricidad de la tubería | 12 |
| 2. 5. Cama de recortes en un pozo de alto ángulo..... | 13 |
| 2. 6. Efecto de la rotración en la limpieza de pozos | 15 |
| 2. 7. Etapa 1 - Ningún flujo..... | 16 |
| 2. 8. Etapa 2 - Flujo tapón | 16 |
| 2. 9. Etapa 3 - Flujo de transición..... | 17 |
| 2. 10. Flujo laminar de un fluido newtoniano y no newtoniano | 17 |
| 2. 11. Etapa 4 - Flujo laminar | 18 |
| 2. 12. Etapa 5 - Flujo de transición..... | 18 |
| 2. 13. Etapa 6 - Flujo turbulento | 19 |
| 2. 14. Velocidad y esfuerzo de corte | 21 |
| 2. 15. Esfuerzos de gel..... | 25 |
| 2. 16. Comportamiento tixotrópico..... | 26 |
| 2. 17. Comportamiento de los fluidos newtonianos según el esfuerzo y la velocidad de corte..... | 26 |
| 2. 18. Efecto de la velocidad de corte sobre la viscosidad efectiva de un fluido no newtoniano..... | 28 |
| 2. 19. Efecto de disminución de la viscosidad con el esfuerzo de corte en los fluidos no newtonianos | 29 |
| 2. 20. Diagrama de flujo del lodo newtoniano y el lodo típico..... | 30 |
| 2. 21. Modelo de bingham y fluido no newtoniano típico..... | 31 |
| 2. 22. Efecto de "n" sobre el comportamiento del fluido | 32 |
| 2. 23. Comportamiento de un fluido herschel - bulkley..... | 34 |
| 2. 24. Problemas operacionales..... | 39 |
| 3. 1. Balanza de lodo..... | 42 |
| 3. 2. Viscosímetro de Marsh..... | 43 |
| 3. 3. Viscosímetro de rotación Fann..... | 44 |
| 3. 4. Gráfico FBP..... | 51 |
| 4. 1. Comportamiento reológico de las píldoras viscosas | 53 |
| 4. 2. Simulación de la limpieza del pozo EDYA-054 con píldoras viscosas de 3 lb/bl..... | 58 |
| 4. 3. Gráfica de patron de flujo y datos de diseño del pozo EDYA-054..... | 59 |
| 4. 4. Simulación de la limpieza del pozo EDYT-158H con píldoras viscosas de 3 lb/bl..... | 61 |
| 4. 5. Gráfica de patron de flujo y datos de diseño del pozo EDYT-158H | 61 |
| 4. 6. Survey del pozo EDYF-105A..... | 63 |
| 4. 7. Simulación de la limpieza del pozo EDYF-105A con píldoras viscosas | |

| | |
|---|----|
| de 3,5 lb/bl..... | 63 |
| 4. 8. Simulación de la limpieza del pozo a 7000' | 64 |
| 4. 9. Simulación de la limpieza del pozo EDYF-105A con circulación en reversa | 65 |
| 4. 10. Gráfica de patron de flujo y datos de diseño del pozo EDYF-105A..... | 66 |
| 4. 11. Número de pozos según el grado de dificultad de la limpieza en los trabajos realizados de 2015 a 2017 | 67 |
| 4. 12. Tiempo de armado y desarmado de las sargas de limpieza para pozos con Csg. 9-5/8" @ TD..... | 68 |
| 4. 13. Tiempo de armado y desarmado de las sargas de limpieza para pozos con Csg 9-5/8" + Liner 7" | 69 |
| 4. 14. Razor back (raspador)..... | 70 |
| 4. 15. Magnostar (magneto) | 71 |
| 4. 16. Multiback | 72 |
| 4. 17. Paso de fluido a través del Well Patroller | 73 |
| 4. 18. Operación de recuperación de la sarga con Well Patroller..... | 74 |
| 4. 19. Well patroller (filtro de pozo)..... | 74 |
| 4. 20. Parámetros de evaluación del desempeño de las sargas de limpieza | 75 |
| 4. 21. División de pozos según el grado de dificultad de la limpieza para los trabajos de reacondicionamiento..... | 76 |
| 4. 22. Residuos recuperados durante la limpieza en pozos de dificultad media con Csg. 9-5/8" @ TD..... | 77 |
| 4. 23. Porcentaje de uso de los arreglos en pozos de dificultad media..... | 78 |
| 4. 24. Residuos recuperados durante la limpieza en pozos de dificultad media con Csg. 9-5/8" + Liner 7" | 79 |
| 4. 25. Porcentaje de uso de los arreglos en pozos de dificultad alta..... | 80 |
| 4. 26. Residuos recuperados durante la limpieza en pozos de dificultad alta con Csg. 9-5/8" + Liner 7" | 81 |
| 4. 27. Residuos recuperados durante la limpieza en pozos de dificultad muy alta con csg. 9-5/8" @ TD..... | 82 |
| 4. 28. Porcentaje de uso de los arreglos en pozos de dificultad muy alta | 83 |
| 4. 29. Residuos recuperados durante la limpieza en pozos de dificultad muy alta con csg. 9-5/8" + liner 7" | 84 |
| 4. 30. División de pozos según el grado de dificultad de la limpieza para los trabajos de completación | 85 |
| 4. 31. Residuos recuperados durante la limpieza en pozos completados..... | 86 |

SIMBOLOGÍA

| SÍMBOLO | SIGNIFICADO | DIMENSIONES |
|-----------------------|---|-------------------|
| Comple. | Completación | |
| Conc. | Concentración | |
| cp | centipoise | M/Lt |
| BOP | Preventor de reventones | |
| BPM | Barriles por minuto | L ³ /t |
| Csg | Tubería de revestimiento (casing) | |
| D | Darcy | L ² |
| D | Diámetro | L |
| D _c | Diámetro interno de la tubería de revestimiento | L |
| D _p | Diámetro externo de la tubería de la sarta | L |
| ECD | Densidad equivalente de circulación | M/L ³ |
| f _a | Factor de fricción en el anular | |
| FBP | Flow Back Pattern | |
| F _p | Factor de fricción en la tubería | |
| ft | Pie | L |
| ft/min | Pies /minuto | L/t |
| ft/seg | Pies / segundo | L/t |
| gpm | Galones por minuto | L ³ /t |
| hrs | Horas | t |
| ID | Diámetro interno de la tubería | L |
| in | Pulgada | L |
| inf | Inferior | |
| k | Índice de consistencia | |
| kg | Kilogramo | M |
| km ² | Kilómetros cuadrados | L ² |
| lb | Libras | M |
| lb/100ft ² | Libra / 100 pies cuadrados | M/L ² |
| lb/bl | Libra / barril | M/L ³ |
| lb/gal; PPG | Libra / galón | M/L ³ |
| log | logaritmo | |
| LSVR | Viscosidad a muy baja velocidad de corte | M/Lt |
| MBPD | Mil barriles por día | L ³ |
| MBT | Methylene Blue Test | |
| MD | Profundidad medida | L |
| mL | Mililitros | L ³ |
| n | Índice de la Ley Exponencial | |
| No. | Número | |
| NR _e | Número de Reynolds | |
| OD | Diámetro externo de la tubería | L |
| P _a | Pérdida de presión del intervalo anular | ML/t ² |
| PAM | Petroamazonas | |
| psi | Libras fuerza por pulgada cuadrada | ML/t ² |
| PV | Viscosidad plástica | M/Lt |

| SÍMBOLO | SIGNIFICADO | DIMENSIONES |
|------------------|---|-------------------|
| Q | Caudal | |
| qt | Cuarto | L ³ |
| Reacond. | Trabajo de reacondicionamiento | |
| RPM | Revoluciones por minuto | 1/t |
| seg/qt | Segundos/cuarto | t |
| std/valve | Standing valve | |
| sup | Superior | |
| TD | Profundidad total | L |
| TFA | Área total de flujo | L ² |
| TOL | Tope de liner | |
| v/v | Concentración volumen / volumen | |
| VA | Viscosidad aparente | M/Lt |
| V _a | Velocidad anular | L/t |
| V _c | Velocidad crítica | L/t |
| VCS | Virtual Completion Solutions | |
| V _p | Velocidad en la tubería | L/t |
| WB | Well Builder | |
| WP | Peso del lodo | M/L ³ |
| YP | Punto cedente | |
| Θ ₃ | Lectura del viscosímetro a 3 RPM | |
| Θ ₆ | Lectura del viscosímetro a 6 RPM | |
| Θ ₁₀₀ | Lectura del viscosímetro a 100 RPM | |
| Θ ₂₀₀ | Lectura del viscosímetro a 200 RPM | |
| Θ ₃₀₀ | Lectura del viscosímetro a 300 RPM | |
| Θ ₆₀₀ | Lectura del viscosímetro a 600 RPM | |
| γ | Velocidad de corte | 1/t |
| Θ | Indicación del cuadrante del viscosímetro de lodo | |
| μ | Viscosidad | M/Lt |
| μ _e | Viscosidad efectiva | M/Lt |
| ρ | densidad | M/L ³ |
| τ | Esfuerzo de corte | M/L ² |
| τ ₀ | Límite de esfuerzo | M/L ² |
| ω | Velocidad rotacional RPM del viscosímetro | 1/t |
| ° | Grados | |
| °C | Grado Celsius | T |
| °F | Grado Fahrenheit | T |
| °API | Grado API | |
| @ | Hasta | |
| # | Número | |
| % | Tanto por ciento | |
| #/ft | Libra/pie | ML/t ² |
| ' | Pies | L |
| " | Pulgadas | L |
| 3D | Tres dimensiones | |

RESUMEN

Este trabajo de titulación, describe el estudio para la optimización de la limpieza del pozo durante los trabajos de reacondicionamiento con el fin de evitar los problemas operativos subsecuentes a una limpieza deficiente, mediante el análisis de las simulaciones de desplazamiento de fluidos, el análisis del desempeño de las sargas de limpieza en relación al tiempo de armado y desarmado y a los residuos recuperados del pozo tomando en cuenta los antecedentes de los pozos, su dirección y configuración mecánica, entre otras.

El capítulo uno describe la problemática presentada en el campo Edén Yuturi junto a la justificación y objetivos de realizar este estudio de optimización.

El capítulo dos muestra la situación actual del campo como ubicación, estratigrafía, litología, propiedades petrofísicas del campo. También se tiene en cuenta los conceptos básicos de la limpieza de pozos, los fluidos de completación, los regímenes de flujo, modelos reológicos y la situación actual de la limpieza de los pozos.

El capítulo tres describe la metodología de las pruebas de laboratorio realizadas y el uso de los programas usados durante este estudio.

El capítulo cuatro es el núcleo de este trabajo ya que en él se incluyen las concentraciones de las píldoras viscosas escogidas y el análisis del rendimiento de las diferentes configuraciones de las sargas de limpieza.

El capítulo cinco contiene conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron con el desarrollo de este trabajo de titulación.

PRESENTACIÓN

El trabajo realizado y presentado en este documento fue desarrollado en conjunto con el consorcio KAMANA SERVICES S.A, y los resultados obtenidos servirán para la mejora de los trabajos de reacondicionamiento del campo Edén Yuturi, el cual es operado por dicho consorcio.

El campo Edén Yuturi se encuentra ubicado al noreste de la cuenca Oriente, dentro del Bloque 12. La producción de petróleo de este campo proviene de las arenas T, U inferior, U superior, M2 y M1 en la formación Napo. Presenta en su mayoría pozos de alto ángulo y pozos horizontales, en los cuales, al utilizar métodos de limpieza de hoyo convencionales los resultados no son los esperados.

Durante los años en los que se han desarrollado trabajos de reacondicionamiento se han presentado varios problemas operacionales relacionados con la limpieza de hoyo, el problema común presente es el de obstrucciones en la tubería y el segundo es el asentamiento incorrecto de los empacadores, lo cual puede derivar en un aumento de los viajes de limpieza.

Con la finalidad de solucionar estos problemas utilizando la data disponible se resolvió que al modificar la concentración de las píldoras viscosas, la configuración de las sartas de limpieza y al establecer parámetros de circulación y velocidad de bombeo, la limpieza del pozo podría ser optimizada.

Las píldoras viscosas se hicieron con goma xantana clarificada debido a que produce una alta viscosidad a muy baja velocidad de corte (LSRV) y esfuerzos de gel altos, pero frágiles. Estas propiedades brindan buena suspensión y mejor limpieza del pozo, mejora la hidráulica, reduce el torque, ayuda a minimizar la invasión de filtrados y tiene una mayor estabilidad térmica.¹

Las concentraciones utilizadas para las píldoras fueron de 2 lb/bl hasta 4,5 lb/bl. Se realizaron pruebas de laboratorio en las que se determinó la viscosidad de embudo, densidad y reología de las píldoras de limpieza con el propósito de tener los datos suficientes para realizar las simulaciones en el software VCS. Con estas simulaciones se determinaron los parámetros de circulación del fluido y la velocidad de bombeo de las píldoras viscosas, el surfactante y el fluido de control para lograr una limpieza de hoyo óptima.

Con respecto a las configuraciones de las sartas de limpieza se realizó un análisis del rendimiento de las herramientas especializadas utilizadas, lo cual se hizo a partir de una base de datos de los pozos realizada para este estudio, determinando la mejor configuración en base a la configuración mecánica y el grado de dificultad de limpieza que presenta un pozo en particular.

¹ (M-I SWACO, 2004)

El primer arreglo constaba de un Razor Back más un Magnostar para la sección de 9 5/8" y lo mismo para la de 7". Más adelante se hizo un cambio del arreglo haciendo uso de una herramienta combinada, es decir, una Multiback más dos Magnostar y el Well Patroller para la sección de 9-5/8" y una Multiback más dos Magnostar para la de 7". Este cambio se hizo a causa de que los pozos en el campo Edén Yuturi son horizontales o muy desviados y la limpieza del pozo requiere herramientas con alto manejo de cantidad de sólidos, a pesar de que la recolección de residuos fue la esperada el tiempo que tomaba realizar estos viajes sobrepaso en demasía al tiempo planificado, por lo tanto, se cambió la configuración.²

La tercera configuración de sarta de limpieza para este campo constaba de dos Razor Back y dos Magnostar para la sección de 9-5/8" e igualmente para la de 7", esto se hizo para lograr una mayor recolección de limallas, materiales arcillosos y otros sólidos durante la limpieza.

Después de probar esta configuración se recomendó la inclusión del *Well Patroller* para hacer una validación de la limpieza en pozos de un muy alto grado de dificultad de limpieza o en pozos en los que no se ha realizado un trabajo de reacondicionamiento con anterioridad.²

Con este trabajo se ha determinado que las píldoras viscosas que mejor trabajan son las que tienen concentraciones mayores a 3 lb/bl de goma xantana y se ha establecido las configuraciones de las sartas más eficientes para utilizarse.

PALABRAS CLAVE: Optimización de la limpieza, pozos horizontales y de alto ángulo, VCS, concentraciones, píldoras viscosas, configuración de las sartas.

² (KAMANA SERVICES, 2016)

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Bloque 12 se ubica en el noroeste de la Cuenca Oriente de Ecuador. Presenta reservorios clásicos con propiedades de fluido y roca variables. Sus principales campos son: Paka Sur y Edén Yuturi.³

El campo de Edén Yuturi está constituido por 94 km² de área donde está presente la acumulación de petróleo. En este campo la producción de petróleo proviene de las arenas reservorio T Principal, U inferior, U superior, M2 y M1 en la formación Napo. Cabe señalar que la arena U inferior es un reservorio maduro, con un fuerte apoyo acuífero y un factor de recuperación estimado en 34%. La producción acumulada de petróleo es de 48,1 millones de barriles (a partir de julio de 2015) y cuenta con 186 pozos.⁴

En los años en los que se han desarrollado trabajos de intervención en el campo Edén Yuturi se han presentado varios problemas operacionales en los pozos, que derivaron en el aumento de tiempo y costos de operación. Tras varios análisis se determinó que la limpieza del pozo era uno de los factores con mayor margen de afectación con respecto a la eficiencia de los trabajos realizados.

Se debe considerar que el campo presenta pozos con alto ángulo de inclinación y pozos horizontales, en los cuales la limpieza del pozo se ve afectada o se dificulta debido a las condiciones geológicas del campo.⁴

Durante las operaciones de reacondicionamiento de un pozo varios eventos se realizan para poner al pozo nuevamente en producción. Estos eventos se planifican cuidadosamente teniendo en cuenta las personas, el medio ambiente, el tipo de

³ (Davila, et al., 2009)

⁴ (Gonzales, et al., 2015)

reservorio, la integridad del pozo, la productividad y el costo final del trabajo de intervención.

Entonces, al realizar un trabajo de reacondicionamiento es bastante común que prácticas convencionales de limpieza del pozo sean utilizadas, y en varias ocasiones este proceso no se considera una parte importante de las operaciones. Se debe tener en cuenta que el tiempo asociado para limpiar un pozo representa del 40% hasta el 60% del tiempo total del trabajo de la intervención usando herramientas convencionales de limpieza.⁵

Los problemas relacionados con la limpieza de los pozos existentes en este campo son: la disminución de la producción, la adherencia mecánica, el asentamiento incorrecto de los empaquetadores en el fondo, presencia de sólidos en el equipo BES, presencia de obstrucciones en tubería y problemas durante la toma de registros eléctricos a hueco entubado.

Para llevar a cabo este trabajo se realizó un análisis de la limpieza mecánica y química de los pozos, los cuales suelen presentar una alta cantidad de escombros como el cemento, restos de limalla, arenas, grasas, crudo pegado en las paredes de la tubería, finos de la formación, entre otros. Haciendo uso de software de simulación para el desplazamiento de fluidos, nuevos arreglos de BHA y una composición óptima de las píldoras de limpieza, la cual, se desarrolló a partir de pruebas de laboratorio como pruebas de reología para el diseño de píldoras viscosas.⁶

⁵ (Cárdenas, Rueda, Guerra, & Vera, 2011)

⁶ (M-I SWACO, 2016)

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio para la optimización de la limpieza del hoyo en pozos horizontales y altamente desviados mediante la utilización de nuevas tecnologías, fluidos de limpieza, estudios de fluidos y lecciones aprendidas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer el patrón de afectación en los pozos horizontales y pozos de alto ángulo que afectan las operaciones en el campo Edén Yuturi.
- Comparar las operaciones, equipos, herramientas, fluidos y elementos que se utilizaban antes y después de los problemas operativos.
- Modelar los parámetros de la limpieza del hoyo mediante la aplicación de software para el diseño de los BHA de limpieza.
- Determinar el fluido de completación y píldoras de limpieza óptimos mediante pruebas de laboratorio para mejorar el desempeño de la limpieza de los pozos en el campo Edén Yuturi.
- Determinar los procedimientos para control y limpieza de pozo, establecer parámetros de circulación del fluido de completación.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El trabajo desarrollado tiene gran importancia dentro del área de producción de hidrocarburos, ya que, empleando las simulaciones, análisis de laboratorio y herramientas especializadas como puntos de apoyo en la toma de decisiones para la optimización de la limpieza del hoyo derivará en el aumento de eficiencia y eficacia de los trabajos de reacondicionamiento del campo Edén Yuturi ayudando así a restituir la producción del pozo en menos tiempo generando ingresos incrementales por producción adelantada .

En este estudio se determinó el problema operacional más común que los pozos del campo presentan y a partir de esta información se obtuvo una base de datos para realizar las pruebas de fluido en el laboratorio, en las cuales se determinaron

las propiedades reológicas, como: viscosidad, densidad, gelificación y punto cedente.

Los análisis del rendimiento de las herramientas especializadas y las simulaciones de la limpieza del pozo con el empleo de software (VCS y WB), hicieron posible determinar una configuración y la concentración de las píldoras viscosas que se adecuen de mejor manera al trabajo a realizarse tomando en cuenta parámetros de operación como: la presión de bombeo, dirección de la circulación de fluido, velocidad de bombeo, entre otras.

Otra de las razones para hacer este estudio radica en la presencia de problemas operacionales durante la ejecución de los trabajos de intervención, hay una gran presencia de sólidos y esto puede producir la pega de las herramientas u obstrucciones en la tubería, lo cual, puede ser solucionado implementando un procedimiento de limpieza de pozo cuidadosamente diseñado e integrado. Esto ahorra tiempo, reduce costos y riesgos, así como también mejora la eficiencia operacional, permitiendo al mismo tiempo que los operadores produzcan más petróleo.⁷

El estudio se realizó partiendo de un número de 42 pozos en los que se realizaron trabajos de reacondicionamiento entre los años 2015 a 2017, de estos pozos se determinó los problemas operativos comunes y se obtuvo la información necesaria para la elección de las configuraciones de sartas más eficientes y de los mejores fluidos para ser probados en los pozos del campo Edén Yuturi.

⁷ (Ali, et al., 2005)

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CAMPO EDÉN YUTURI Y CONCEPTOS GENERALES

2.1. GENERALIDADES DEL CAMPO

La explotación del campo Edén Yuturi inició en el año 2002, su etapa inicial de producción fue realizada por la compañía OCCIDENTAL PETROLEUM y a partir del 2006 las operaciones fueron realizadas por Petroamazonas EP (PAM). Desde su producción máxima de 83,8 MBPD en 2004, el campo experimento una disminución en su producción a menos de 30 MBPD y con un corte de agua del 92%.⁸

En el año 2014, PAM adjudicó un contrato para la Provisión de Servicios Específicos Integrados con Financiamiento de Consorcio KMNA (conformado en un 60% por Schlumberger y en 40% por Tecpetrol), para la ejecución de actividades de optimización de la producción, actividades de recuperación mejorada y actividades de exploración en los campos Edén Yuturi, Pañacocha y Tumali, con el objetivo de revertir el declive del campo y aumentar el factor de recuperación mediante la optimización de la producción y la aplicación de técnicas mejoradas de recuperación de petróleo.⁸

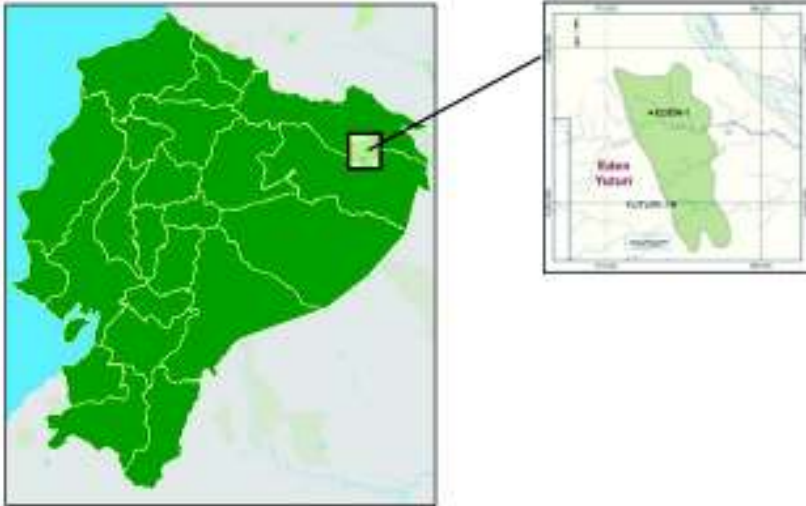
La producción de petróleo proviene de las arenas T Principal, U inferior, U superior, M2 y M1 en la formación Napo. Cabe señalar que U inferior es un reservorio maduro, con un acuífero activo cuyo factor de recuperación está estimado en un 34%. Se produce mediante un sistema de empuje de agua con un acuífero fuerte, el campo tiene una producción acumulada de petróleo de 48,1 millones de barriles de 124 pozos activos.⁸

⁸ (Gonzales, et al., 2015)

2.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El campo de Edén Yuturi está localizado dentro del Bloque 12, el cual, se encuentra ubicado al noreste de la cuenca Oriente, en las provincias de Sucumbíos y Francisco de Orellana. El bloque 12 está limitado al norte por el campo Tarapoa, al sur por el Bloque 14, al oeste por el campo Indillana y al este por la reserva Cuyabeno. La ubicación de este campo se observa en la figura 2.1:

FIGURA 2. 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO EDÉN YUTURI



2.3. ESTRATIGRAFÍA DEL CAMPO

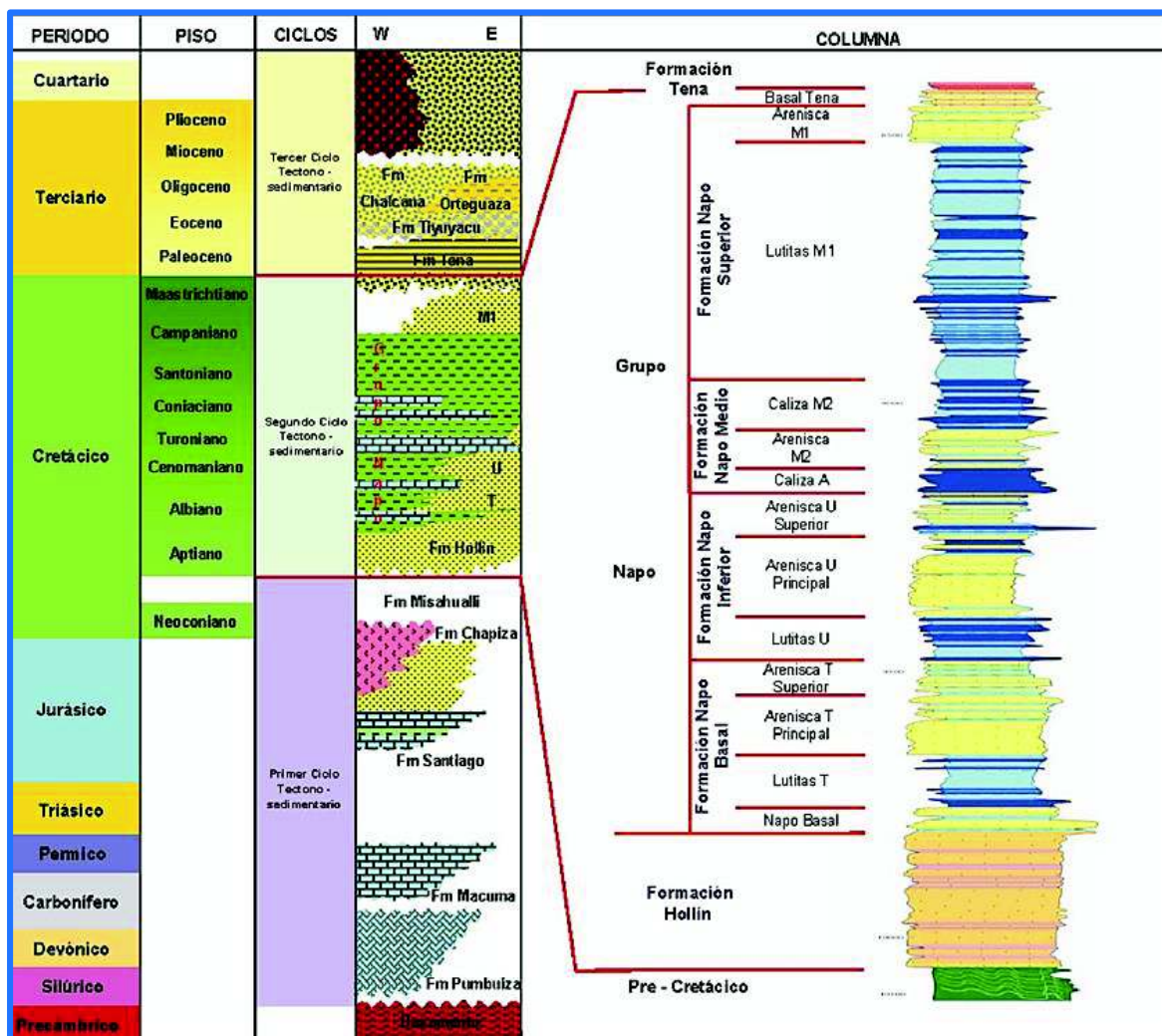
Estructuralmente, los reservorios de la formación Napo en el campo Edén Yuturi forman un pliegue anticlinal muy suave (inmersión promedio de 1°) y con un azimut en dirección noroeste / sureste.⁹

Esta estructura está truncada en el oeste por una falla inversa noroeste / sureste (azimut: $320^\circ - 350^\circ$) que actúa como sello. La falla tiene una inmersión muy alta (promedio de 85°) hacia el este, creando el bloque de pared colgante donde el petróleo está atrapado. El anticlinal es el resultado de la inversión de una cuenca jurásica con tectónica distensiva preexistente al final del Cretácico.⁹

⁹ (Gonzales, et al., 2015)

La formación Napo presenta un espesor medio de 1250 ft en Edén Yuturi. La columna de esta formación muestra una repetición de ciclos sedimentarios de arenisca separados por intervalos de caliza y caliza. La mayoría de las calizas son marcadores regionales que se pueden correlacionar a través de la cuenca, estas crearon un sello vertical para las diferentes acumulaciones de petróleo contenidas en la columna.¹⁰ En la figura 2.2 se observa la columna estratigráfica de la cuenca Oriente

FIGURA 2. 2. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA CUENCA ORIENTE



Fuente: (Albariño, L., et. al., 2008)

Elaborado por: (Albariño, L., et. al., 2008)

¹⁰ (White, Skopec, & Ramirez, 1995), (Barragan R. , 1999), (Barragan, Christophoul, White, & al, 2014)

2.4. LITOLOGÍA DEL CAMPO

2.4.1. YACIMIENTO M-1

Es una arenisca cuarzosa, con espesor variable que se encuentra en un rango de 0 a 120 ft, con granos de tipo fino y medio, cemento silíceo, a veces caolinítica. Presenta un ambiente de deposición que se considera como deltaico en su parte inferior, tidal (influenciado por mareas) y marino somero hacia el tope.¹¹

2.4.2. YACIMIENTO M-2

“Esta arenisca presenta propiedades petrofísicas regulares debido a que posee un ambiente marino de baja energía lo que dio lugar al depósito de un material fino, el mismo que obstruye la porosidad y afecta a la permeabilidad”.¹¹

2.4.3. YACIMIENTO U SUPERIOR

Es una arenisca cuarzosa de grano fino, presenta cemento caolinítico hacia la base. El ambiente de esta arena es tidal. Posee cerca de 40 ft de espesor y su continuidad lateral a través de todo el campo es consistente.¹¹

2.4.4. YACIMIENTO U INFERIOR

Es una arenisca cuarzosa con tipo de grano de medio a grueso, en la parte inferior y media se presenta como una arenisca con una estratificación cruzada (canales de marea) y hacia la parte superior aumenta el contenido de intercalaciones de arcilla, lo que señala una gran influencia marina y ambiente de depósito más tranquilo (marino somero).¹¹

2.4.5. YACIMIENTO T

Es una arenisca cuarzosa de grano medio a grueso, algunas veces con matriz caolinítica y presencia de glauconita en la parte superior. Conformada por dos intervalos con características petrofísicas diferentes: la parte inferior de mejor calidad con un ambiente tidal y el intervalo superior de menor calidad, el cual,

¹¹ (Baby, Rivadeneira, & Barragán , 2004)

presenta muchas intercalaciones arcillosas que actúan como barreras al flujo de los fluidos, cemento calcáreo y glauconita, con un ambiente marino somero.¹²

2.5. PROPIEDADES PETROFÍSICAS DEL CAMPO

Las propiedades petrofísicas se detallan a continuación en la tabla 2.1:

TABLA 2. 1.
PROPIEDADES PETROFÍSICAS DEL CAMPO EDÉN YUTURI

| Propiedades | Arenisca M-1 | Arenisca M-2 | Arenisca U sup | Arenisca U inf | Arenisca T |
|--------------------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|-------------|
| Presión de reservorio (psi) | 1800 - 2600 | 2400 - 2800 | 2400 - 2900 | 2400 - 3000 | 2600 - 3000 |
| Temperatura de reservorio (°F) | 187 | 198 | 198 | 202 | 203 |
| Permeabilidad (D) | 1 - 14 | 0 - 0,15 | 0 - 2,50 | 0,2 - 2,40 | 0,3 - 2,3 |
| Porosidad (%) | 10 - 35 | 4 - 9 | 18 - 20 | 15 - 20 | 15 - 23 |
| ° API | 17° - 22° | 14° - 17° | 17° - 22,4° | 18° - 24° | 17° - 21° |

Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

2.6. CONCEPTOS BÁSICOS DE LA LIMPIEZA DE POZOS

La limpieza del pozo es un proceso de eliminación de partículas sólidas del pozo a la superficie. Estas partículas sólidas se ven afectadas por cuatro factores. Son gravedad, arrastre viscoso, impacto y flotabilidad. El medio de transporte utilizado para efectuar la eliminación de los residuos del pozo es el fluido de limpieza y los factores que afectan la capacidad de arrastre de los residuos son: la densidad y la reología del fluido, velocidad anular y régimen de flujo, densidad de los sólidos, el tamaño del espacio anular y la excentricidad.¹³

Cuando la limpieza del pozo es deficiente se pueden presentar varios problemas operativos, como: pega de la tubería, exceso de torque y arrastre, empaquetamiento del espacio anular, la pérdida de circulación, viscosidades y esfuerzos de gel excesivos, altos costos del lodo, entre otros.¹⁴

¹² (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004)

¹³ (Akrong, 2010)

¹⁴ (M-I SWACO, 2001)

La limpieza del pozo depende de diferentes parámetros, los cuales se muestran en la tabla 2.2:

TABLA 2. 2.
PARÁMETROS QUE AFECTAN LA LIMPIEZA DEL POZO

| | |
|--|--|
| Perfil y geometría del pozo | <ul style="list-style-type: none"> - Ángulo de inclinación del pozo. - Diámetros de la tubería de revestimiento y de la tubería de la sarta de limpieza. - Excentricidad. |
| Características de los recortes y de las camas de recortes. | <ul style="list-style-type: none"> - Gravedad específica. - Tamaño y forma de las partículas. - Reactividad con el lodo. - Propiedades del fluido. |
| Características de flujo | <ul style="list-style-type: none"> - Velocidad anular. - Perfil de velocidad anular. - Régimen de flujo. |
| Propiedades del lodo | <ul style="list-style-type: none"> - Peso. - Viscosidad, con énfasis en bajas velocidades de corte. - Esfuerzos de gel. |

Fuente: (M-I SWACO, 2001)

Elaborado por: Ana López

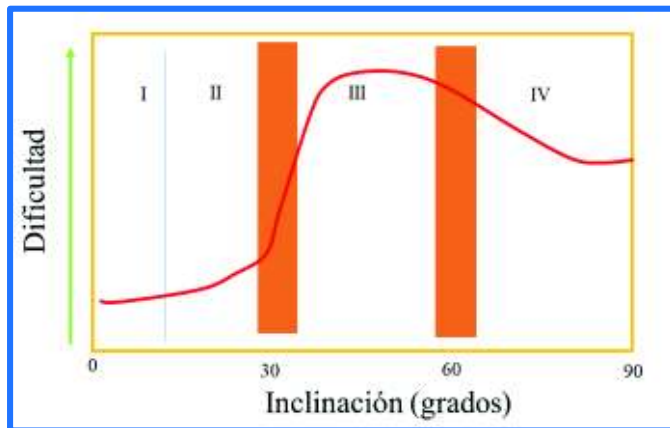
2.6.1. ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL POZO

El ángulo de inclinación es aquel que se mide con respecto a la vertical, dependiendo de su valor los pozos se clasifican en: verticales, direccionales y horizontales. En los pozos verticales y casi verticales no se forman camas de recortes, sin embargo los residuos pueden acumularse en el fondo si no son transportados y suspendidos de forma adecuada. En los pozos direccionales, mientras mayor sea el aumento del ángulo de inclinación, generalmente es más difícil limpiar el pozo.¹⁵

Como se observa en la figura 2.3 la mayor dificultad se presenta en la sección intermedia (III) porque las camas de recortes pueden deslizarse en sentido contrario a la dirección del flujo. Las tendencias de deslizamiento empiezan a disiparse a ángulos mayores que 60°, debido a la reducción del vector de fuerza gravitatoria, y por ello los pozos dentro de ese rango son un poco menos difíciles de limpiar.¹⁵

¹⁵ (M-I SWACO, 2001)

FIGURA 2. 3. DIFICULTAD DE LA LIMPIEZA DEL POZO CON RESPECTO A LA INCLINACIÓN



Fuente: (M-I SWACO, 2001)
Elaborado por: Ana López

De la Figura 2.3 se puede obtener un rango de la dificultad de la limpieza del pozo según su inclinación. Este rango es definido en la tabla 2.3:

**TABLA 2. 3.
GRADO DE DIFICULTAD DE LA LIMPIEZA EN RELACIÓN AL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL POZO**

| Angulo de inclinación | Perfil del Pozo | Dificultad de la limpieza |
|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| 0° - 10° | Vertical | Baja |
| 10,1° - 33° | Direccional | Media |
| 33,1° - 60° | Direccional | Muy Alta |
| 60,1° - 90° | Horizontal | Alta |

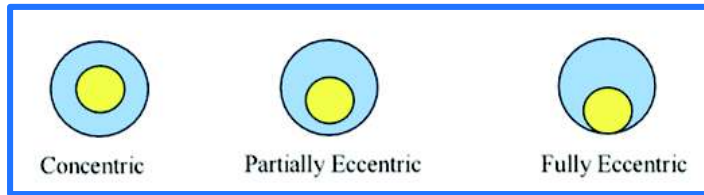
Fuente: (M-I SWACO, 2001)
Elaborado por: Ana López

2.6.2. EXCENTRICIDAD

Es un término que se usa para describir que tan descentralizada se encuentra una tubería con respecto a otra. Se considera que una tubería es totalmente excéntrica (100%) si está recostada contra el diámetro interior de la tubería circundante, y cuando está centrada en su totalidad dentro de la tubería se considera que la tubería es concéntrica.¹⁶ Esto se visualiza en la figura 2.4:

¹⁶ (Akrong, 2010)

FIGURA 2. 4. EXCENTRICIDAD DE LA TUBERÍA



Fuente: (Akrong, 2010)

Elaborado por: (Akrong, 2010)

2.6.3. RECORTES EN EL POZO

La gravedad específica, el tamaño y la forma de las partículas, y la reactividad con el fluido son algunas de las características importantes de los recortes* y de las camas de recortes.¹⁷

Durante un trabajo de reacondicionamiento en un pozo los recortes que se hallan pueden ser cemento, restos de limalla, arenas, grasas, crudo pegado en las paredes de la tubería, finos de la formación, etc. Se debe tomar en cuenta el tipo de arcilla de la formación, ya que estas poseen diferentes características y tienen una gran influencia en la configuración del fluido de completación a usarse.

Unos de los más importantes recortes que se observan en los pozos de la cuenca oriente son las arcillas. Son recortes que debe tomarse muy en cuenta ya pueden provocar daños a la formación o reaccionar con el fluido de completación. Las principales clases de arcillas son:

- Clorita
- Caolinita
- Illita
- Esmectita o Montmorillonita

Para la realización las simulaciones el software requiere el ingreso de los valores de gravedad específica de estos recortes detallados en la tabla 2.4:

¹⁷ (M-I SWACO, 2001)

* Para el presente trabajo se ha mantenido la palabra *Recortes* debido a que en la bibliografía consultada se utiliza este término, sin embargo, cabe recalcar que en trabajos de reacondicionamiento el término usado es *Residuos*.

TABLA 2. 4.
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LAS ARCILLAS

| Arcilla | Gravedad específica |
|-----------------|---------------------|
| Clorita | 2,6 - 2,9 |
| Caolinita | 2,62 – 2,66 |
| Illita | 2,6 – 2,86 |
| Montmorillonita | 2,75 – 2,78 |
| Suelo | 2,72 – 2,8 |

Fuente: (Lambe & Whitman, 1969)

Elaborado por: Ana López

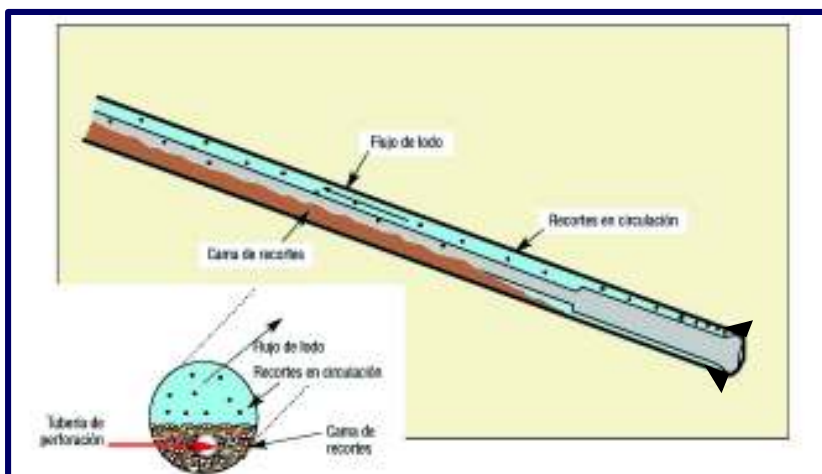
Las reacciones que pueden afectar a los recortes son:

- Con el fluido (dispersión)
- Con sí mismos (agregación)
- Degradación mecánica (de recortes grandes formar recortes pequeños)¹⁸

2.6.3.1. Características de las camas de recortes

Si la suspensión de los recortes no es adecuada, éstos pueden acumularse en el fondo del pozo, en las tuberías de revestimiento de gran diámetro, en el lado inferior de los intervalos inclinados (formando camas) como se observa en la figura 2.5 y justo encima del conjunto de fondo. El arrastre del conjunto de fondo y elementos a través de camas preexistentes puede causar la formación de “tapones” y la pega de la tubería.¹⁸

FIGURA 2. 5. CAMA DE RECORTES EN UN POZO DE ALTO ÁNGULO



Fuente: Modificado de (M-I SWACO, 2001)

Elaborado por: Ana López

¹⁸ (M-I SWACO, 2001)

Las camas de recortes, como las que se forman en los pozos direccionales, pueden adoptar una gran variedad de características que afectan el rendimiento de la limpieza del pozo. Los recortes que permanecen en la corriente de flujo no forman parte de una cama o acumulación, por lo cual, las propiedades de suspensión del lodo son importantes, especialmente a caudales bajos y en condiciones estáticas.¹⁹

2.6.3.2. Transporte de recortes

El medio de transporte de los sólidos es el fluido de completación y la capacidad de levantar partículas de varios tamaños fuera del hoyo es una de las funciones más importantes de este.

Los factores que afectan la capacidad de carga del fluido incluyen: densidad y reología del fluido, régimen de flujo y velocidad anular, rotación de la tubería, densidad, tamaño y forma de los recortes, el tamaño del anular y la excentricidad.²⁰

2.6.4. CARACTERÍSTICAS DE FLUJO

La eficacia de transporte de los recortes depende en gran parte de la velocidad anular y del perfil de velocidad anular, ya que si la velocidad aumenta la eficacia de la limpieza también lo hará. Adicionalmente se debe considerar conjuntamente la velocidad anular y el perfil de velocidad con los demás parámetros del pozo.¹⁹

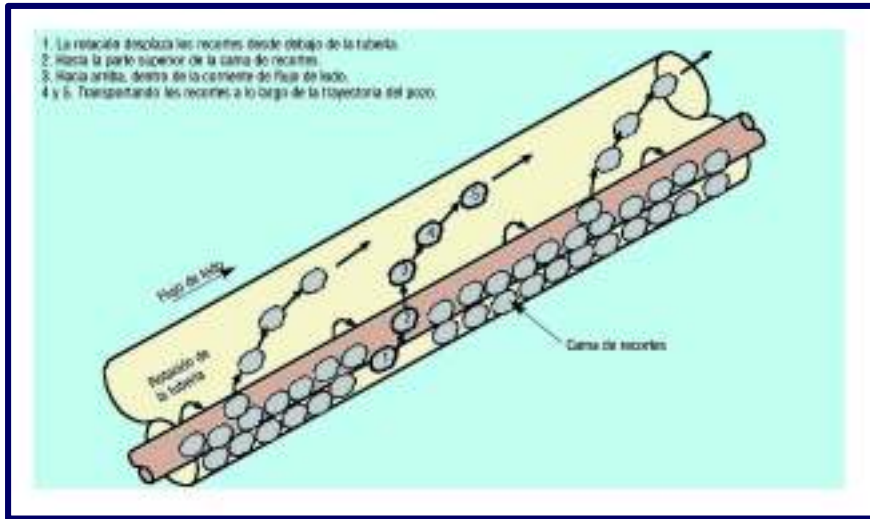
En los pozos desviados debe considerarse que la sarta de limpieza tiende a recostarse en el lado inferior del pozo en las secciones de aumento de ángulo, desviando el perfil de velocidad, haciendo que los recortes formen camas de recortes o que los residuos se acumulen en el fondo del pozo.¹⁹

La rotación levanta los recortes desde el lado inferior del pozo, devolviéndolos a la corriente de flujo, y produce un flujo helicoidal que resulta ser eficaz al momento de realizar la limpieza del pozo como se observa en la figura 2.6.¹⁹

¹⁹ (M-I SWACO, 2001)

²⁰ (Akron, 2010)

FIGURA 2. 6. EFECTO DE LA ROTACIÓN EN LA LIMPIEZA DE POZOS



Fuente: Modificado de (M-I SWACO, 2001)

Elaborado por: Ana López

Las condiciones para las cuales el perfil de velocidad es especialmente insensible a la rotación es cuando el flujo es turbulento, la tubería concéntrica y los fluidos que son de baja viscosidad.²¹

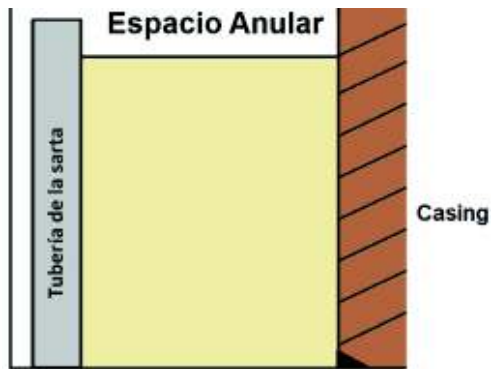
Los regímenes de flujo que se encuentran durante la limpieza del pozo se dividen en seis etapas, las cuales son:

2.6.4.1. Ningún Flujo

La mayoría de los fluidos resisten con fuerza suficiente al flujo, de manera que es necesario aplicar una presión para iniciarlo. El valor máximo de esta fuerza constituye el esfuerzo de cedencia verdadero del fluido. En un pozo, el esfuerzo de cedencia verdadero está relacionado con la fuerza necesaria para “romper la circulación”. En la práctica, se acepta el esfuerzo de cedencia como valor para la indicación a 3 RPM o el esfuerzo de gel inicial en el viscosímetro VG.²¹ En la figura 2.7 puede visualizarse el estado del pozo en esta etapa.

²¹ (M-I SWACO, 2001)

FIGURA 2. 7. ETAPA 1 - NINGÚN FLUJO

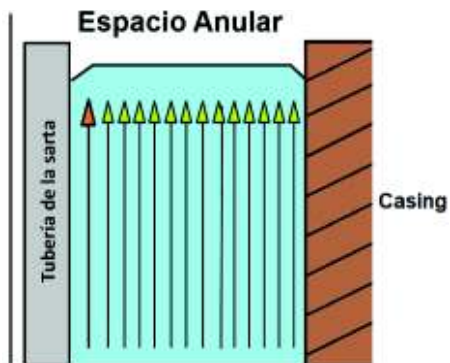


Fuente: Modificado de (Salas, 2013)
Elaborado por: Ana López

2.6.4.2. Flujo Tapón

Cuando se excede el esfuerzo de cedencia verdadero, el flujo comienza en la forma de un tapón sólido. En el flujo tapón, la velocidad es la misma a través del diámetro de la tubería o del espacio anular, excepto para la capa de fluido que está contra la pared del conducto, como se ve en la figura 2.8. El flujo Tapón se alcanza a valores muy bajos de número de Reynolds y el perfil de velocidad del es plano.²²

FIGURA 2. 8. ETAPA 2 - FLUJO TAPÓN



Fuente: Modificado de (Salas, 2013)
Elaborado por: Ana López

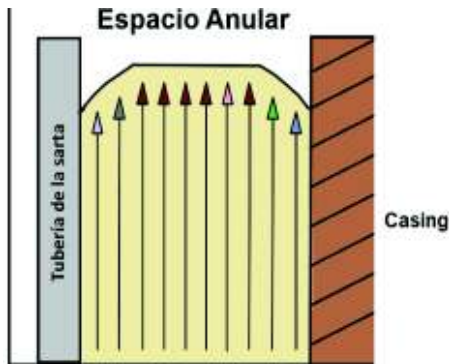
2.6.4.3. Transición de flujo tapón a flujo laminar

A medida que el caudal aumenta, los efectos de corte comenzarán a afectar las capas dentro del fluido y a reducir el tamaño del tapón en el centro del flujo. La

²² (M-I SWACO, 2001)

velocidad aumentará desde el pozo hasta el borde del tapón central. El perfil de velocidad es plano a través del tapón que tiene la mayor velocidad, y decae o disminuye a cero en la pared del conducto,²³ como indica la figura 2.9:

FIGURA 2. 9. ETAPA 3 - FLUJO DE TRANSICIÓN

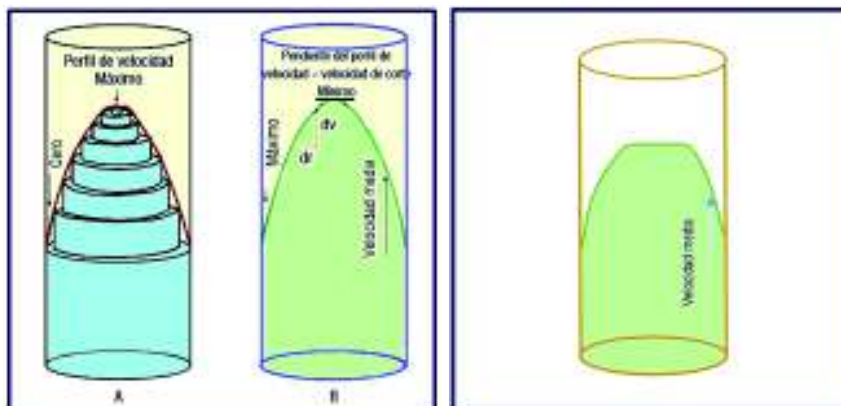


Fuente: Modificado de (Salas, 2013)
Elaborado por: Ana López

2.6.4.4. Flujo laminar

A medida que se aumenta el caudal, los efectos del caudal y de la pared sobre el fluido siguen aumentando. A cierto punto, el tapón central dejará de existir. A este punto, la velocidad alcanzará su nivel más alto en el centro del flujo y disminuirá a cero en la pared del conducto. El perfil de velocidad tiene la forma de una parábola como el que se observa en la figura 2.10.²³

FIGURA 2. 10. FLUJO LAMINAR DE UN FLUIDO NEWTONIANO Y NO NEWTONIANO



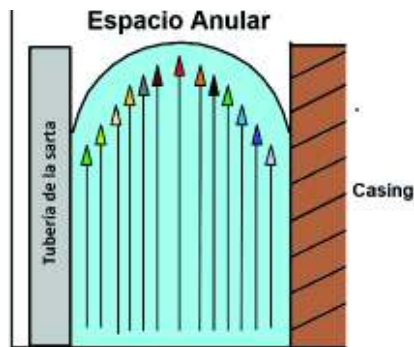
Fuente: (M-I SWACO, 2001)
Elaborada por: Ana López.

²³ (M-I SWACO, 2001)

La velocidad del fluido está relacionada con la distancia a partir del espacio anular o de la pared de la tubería. La razón de cambio de velocidad con la distancia (velocidad de corte) es la pendiente del perfil de velocidad en cualquier punto dentro de la tubería.²⁴

Todo el fluido a través de la tubería se moverá en la dirección del flujo, pero a diferentes velocidades, como se muestra en la figura 2.11. Esta etapa de flujo regular se llama laminar debido a las capas o láminas formadas por las diferentes velocidades.²⁴

FIGURA 2. 11. ETAPA 4 - FLUJO LAMINAR

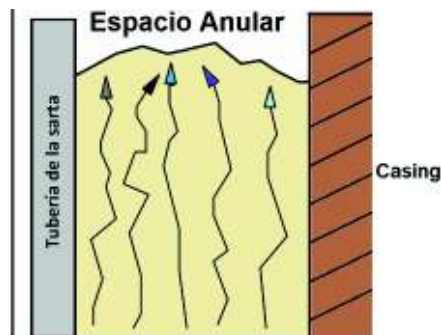


Fuente: Modificado de (Salas, 2013)
Elaborado por: Ana López

2.6.4.5. *Transición de flujo laminar a flujo turbulento*

A medida que el caudal aumenta, el flujo regular comienza a descomponerse, tal como se observa en la figura 2.12.

FIGURA 2. 12. ETAPA 5 - FLUJO DE TRANSICIÓN



Fuente: Modificado de (Salas, 2013)
Elaborado por: Ana López

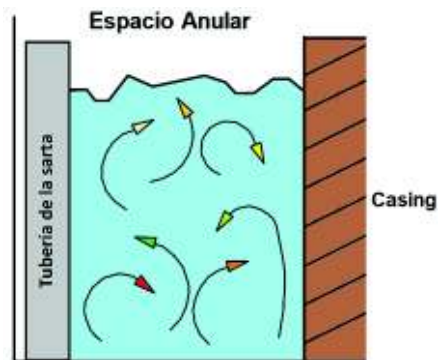
²⁴ (M-I SWACO, 2001)

2.6.4.6. Flujo Turbulento

Cuando el caudal sigue aumentando, el flujo regular se descompone totalmente y el fluido tiene un flujo vorticial y turbulento. El movimiento del fluido total sigue siendo a lo largo del espacio anular o de la tubería en una dirección, pero la dirección del movimiento será imprevisible en cualquier punto dentro de la masa del fluido, esto se representa en la figura 2.13. El incremento de caudal aumentara la turbulencia.²⁵

La presión requerida para bombear un fluido dentro de un flujo turbulento es considerablemente más alta que la presión requerida para bombear el mismo fluido dentro de un flujo laminar. Una vez que el flujo es turbulento, los aumentos del caudal aumentan geométricamente la presión de circulación. Las pérdidas de presión dentro del espacio anular pueden ser críticas cuando la Densidad Equivalente de Circulación (ECD) se aproxima al gradiente de fractura.²⁵

FIGURA 2. 13. ETAPA 6 - FLUJO TURBULENTO



Fuente: Modificado de (Salas, 2013)
Elaborado por: Ana López

2.7. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Las propiedades de los fluidos contribuyen a varios aspectos importantes para llevar a cabo un exitoso trabajo de reacondicionamiento, los cuales son:

- Proporcionar el control de las presiones para impedir influjos.
- Proporcionar estabilidad del pozo a través de las zonas presurizadas o sometidas a esfuerzos mecánicos.

²⁵ (M-I SWACO, 2001)

- Suspender los recortes y el material densificante durante los periodos estáticos.
- Permitir la separación de los sólidos y el gas en la superficie.
- Extraer los recortes del pozo.²⁶

La limpieza de pozo es llevada a cabo con un conjunto de fluidos, los cuales tienen el siguiente orden:

- Fluido espaciador (diésel o agua)
- Píldora viscosa
- Píldora surfactante
- Píldora viscosa
- Fluido de control

En este estudio se va a profundizar en el análisis de las píldoras viscosas y para ello es necesario conocer las propiedades reológicas y el modelo reológico que dicta su comportamiento.

La **reología** es el estudio de la manera en que la materia se deforma y fluye. Analiza la relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte, y el impacto que éstos tienen sobre las características de flujo dentro de los materiales tubulares y los espacios anulares. Al tomar ciertas medidas en un fluido, es posible determinar la manera en que dicho fluido fluirá bajo diversas condiciones, como la temperatura, la presión y la velocidad de corte.²⁶

2.7.1. VISCOSIDAD

La viscosidad es la resistencia al flujo de una sustancia.

2.7.1.1. Viscosidad de embudo

La viscosidad de embudo se mide usando el viscosímetro de Marsh. Es un indicador relativo de la condición del fluido. Se usa en el campo para detectar los cambios relativos en las propiedades del fluido.²⁶

²⁶ (M-I SWACO, 2001)

2.7.1.2. Esfuerzo de corte y velocidad de corte

Los otros términos para la viscosidad (μ) se pueden describir como la relación del esfuerzo de corte (τ) a la velocidad de corte (γ).²⁷ Se define como:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2. 1)$$

Donde:

τ : esfuerzo de corte (lb/100 ft²)

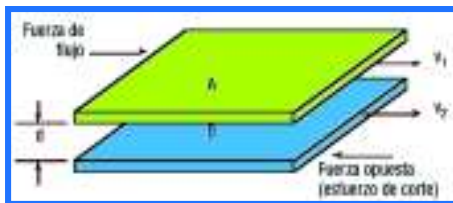
μ : viscosidad del fluido (cp)

γ : velocidad de corte (ft/seg)

La velocidad de corte depende de la velocidad media del fluido en la geometría en que está fluyendo, mientras más alta mayor será la fuerza resistiva del esfuerzo de corte, el cual está asociada al total de las pérdidas de presión a través del sistema de circulación (presión de bombeo). La velocidad de bombeo está asociada con la velocidad de corte.²⁷

Esta relación entre la velocidad de corte y el esfuerzo de corte para un fluido define la manera en que dicho fluido corre. Esto se ve en la figura 2.14.

FIGURA 2. 14. VELOCIDAD Y ESFUERZO DE CORTE



Fuente: (M-I SWACO, 2001)

Elaborado por: Ana López

Cuando un fluido está fluyendo, hay una fuerza en el fluido que se opone al flujo llamada **esfuerzo de corte**, el cual se puede describir como un esfuerzo de fricción que aparece cuando una capa de fluido se desliza encima de otra. El corte ocurre con mayor facilidad entre capas de fluido que entre la capa exterior del fluido y la pared de la tubería, el fluido que está en contacto con la pared no fluye. La velocidad

²⁷ (M-I SWACO, 2001)

a la cual una capa pasa por delante de la otra capa se llama **velocidad de corte**, es decir, que es un gradiente de velocidad.²⁸

Para calcular la velocidad de corte se usan las ecuaciones:

$$\gamma = \frac{V_2 - V_1}{d} \quad (2. 2)$$

Donde:

γ : Velocidad de corte (1/seg)

V_2 : Velocidad en la capa B (ft/seg)

V_1 : Velocidad en la capa A (ft/seg)

d : Distancia entre A y B (ft)

ó,

$$\gamma = 1,703\omega \text{ (seg}^{-1}\text{)} \quad (2. 3)$$

Donde:

ω : velocidad rotacional del viscosímetro (RPM)

El factor 1,703 se deriva de la geometría del manguito y del balancín del viscosímetro.²⁸

2.7.1.3. *Esfuerzo de corte*

Es la fuerza requerida para mantener la velocidad de corte. Las indicaciones del cuadrante del viscosímetro de lodo (Θ), pueden ser convertidas en un esfuerzo de corte (τ)²⁸, con:

$$\tau = 1,0678\Theta \frac{\text{lb}}{100\text{ft}^2} \quad (2. 4)$$

2.7.1.4. *Viscosidad efectiva*

La viscosidad de un fluido no newtoniano cambia con el esfuerzo de corte. La viscosidad efectiva (μ_e) de un fluido es la viscosidad de un fluido bajo condiciones de velocidad de corte, la presión y la temperatura específicas.²⁸

²⁸ (M-I SWACO, 2001)

2.7.1.5. *Viscosidad aparente*

La viscosidad efectiva a veces es llamada Viscosidad Aparente (VA). La viscosidad aparente está indicada por la indicación del viscosímetro de lodo a 300 RPM (Θ_{300}) o la mitad de la indicación del viscosímetro a 600 RPM (Θ_{600}).²⁹

La siguiente fórmula indica la forma analítica de calcular esta viscosidad a partir de cualquier lectura en el viscosímetro.

$$AV = 300 \frac{\Theta}{\omega} \text{ (cp)} \quad (2.5)$$

2.7.1.6. *Viscosidad plástica*

La viscosidad plástica (PV) se calcula a partir de los datos del viscosímetro de lodo²⁹, con:

$$PV = \Theta_{600} - \Theta_{300} \text{ (cp)} \quad (2.6)$$

Se ve afectada principalmente por:

- La concentración, tamaño y forma de los sólidos.
- La viscosidad de la fase fluida.
- La presencia de algunos polímeros de cadena larga
- Las relaciones Aceite - Agua o Sintético - Agua en los fluidos de emulsión inversa.²⁹

La fase sólida es de gran interés debido a que el aumento de la viscosidad plástica puede significar un aumento en el porcentaje en volumen de sólidos, una reducción del tamaño de las partículas de los sólidos, un cambio de la forma de las partículas o una combinación de estos efectos.²⁹

La viscosidad plástica debe mantenerse en el nivel más bajo posible, debido a que puede aumentar la energía proporcionada a la broca, mejorar el flujo en el espacio anular para la limpieza del pozo, y reduce el uso y desgaste de los equipos, así como el consumo de combustible.²⁹

²⁹ (M-I SWACO, 2001)

2.7.2. PUNTO CEDENTE (YIELD POINT)

Es una medida de las fuerzas electroquímicas o de atracción en un fluido. Estas fuerzas son el resultado de las cargas negativas y positivas ubicadas en o cerca de las superficies de las partículas.³⁰ Disminuye a medida que las fuerzas de atracción son reducidas. Su reducción también reducirá la viscosidad aparente.³¹

Se usa como indicador de las características de dilución por esfuerzo de corte de un fluido y de su capacidad de suspender el material densificante y retirar los recortes del pozo.³¹

$$YP = 2\Theta_{300} - \Theta_{600} \quad (2.7)$$

ó,

$$YP = \Theta_{300} - PV \quad (2.8)$$

Donde:

YP: Punto cedente (lb/100 ft²)

Θ_{600} : Valor leído a 600 RPM en el viscosímetro

Θ_{300} : Valor leído a 300 RPM en el viscosímetro

La alta viscosidad que resulta de un alto punto cedente puede deberse a:

1. La introducción de contaminantes solubles como sales, cemento, anhídrita o yeso, resultando en arcillas de floculación y sólidos reactivos.
2. La introducción de sólidos inertes que aumenta el punto cedente, ya que las partículas se acercan más entre sí y la atracción entre ellas aumenta.
3. Las lutitas o arcillas hidratables que introducen nuevos sólidos.
4. El subtratamiento o sobretratamiento con productos químicos cargados electroquímicamente.
5. El uso de biopolímeros ramificados.
6. Sobretratamiento con arcilla organofílica o modificadores reológicos en sistemas de emulsión inversa.³¹

³⁰ (Schlumberger, 2017)

³¹ (M-I SWACO, 2001)

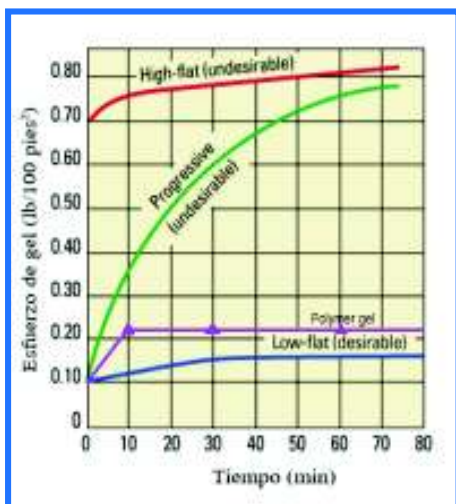
2.7.3. VISCOSIDAD A BAJA VELOCIDAD DE CORTE Y LSRV

Se ha determinado que los valores de viscosidad a baja velocidad de corte tienen un mayor impacto sobre la limpieza del pozo y la suspensión de sólidos en pozos horizontales y de alto ángulo que el punto cedente. Esta viscosidad se mide usando un viscosímetro a una velocidad de corte de 0,3 RPM.³²

2.7.4. TIXOTROPÍA Y ESFUERZO DE GEL

La tixotropía es la propiedad demostrada por algunos fluidos que forman una estructura de gel cuando están estáticos, regresando luego al estado de fluido cuando se aplica un esfuerzo de corte. La resistencia del gel formado depende de la cantidad y del tipo de sólidos en suspensión, del tiempo, de la temperatura y del tratamiento químico. Si las indicaciones de gel inicial y a diez minutos son altas y muestran muy pocas diferencias entre ellas, esto representa la formación de geles instantáneos y puede indicar que la floculación ha ocurrido.³¹ Como se observa en la figura 2.15.

FIGURA 2. 15. ESFUERZOS DE GEL



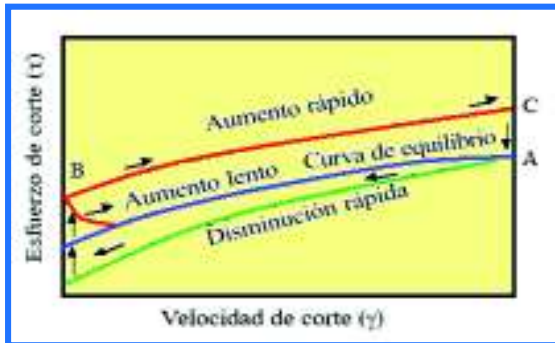
Fuente: (Schlumberger, 2017)
Elaborado por: (Schlumberger, 2017)

Si el fluido no está siendo tratado correctamente resultará en presiones de circulación muy altas. Periodos muy largos pueden ser necesarios para alcanzar el

³² (M-I SWACO, 2001)

punto de equilibrio A. Los fluidos de completación tratados correctamente siguen la trayectoria más corta hasta la curva de equilibrio, resultando en presiones de bombeo más bajas.³³ Este comportamiento se aprecia en la figura 2.16.

FIGURA 2. 16. COMPORTAMIENTO TIXOTRÓPICO



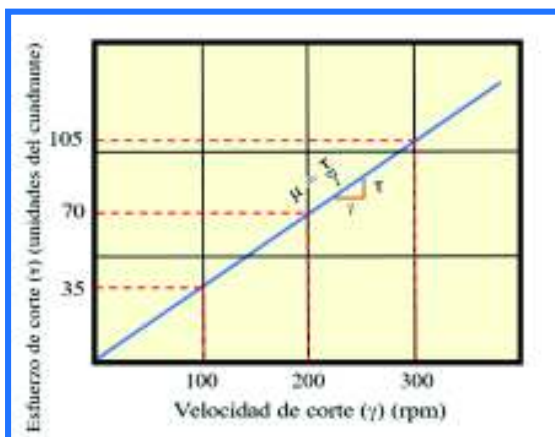
Fuente: Modificado de (M-I SWACO, 2001)
Elaborado por: Ana López

2.7.5. TIPOS DE FLUIDO

2.7.5.1. Fluidos Newtonianos

Son los fluidos más simples. Los fluidos de base agua dulce, salada o de aceite diésel, mineral y sintético de la mayoría de los fluidos de perforación son fluidos newtonianos.³³ El comportamiento de estos fluidos se observa en la figura 2.17.

FIGURA 2. 17. COMPORTAMIENTO DE LOS FLUIDOS NEWTONIANOS SEGÚN EL ESFUERZO Y LA VELOCIDAD DE CORTE



Fuente: (M-I SWACO, 2001)
Elaborado por: Ana López

³³ (M-I SWACO, 2001)

En estos fluidos, el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte. La viscosidad de un fluido newtoniano es la pendiente de esta línea de esfuerzo de corte / velocidad de corte. El esfuerzo de cedencia siempre será cero.³⁴

Los fluidos newtonianos no suspenderán los recortes y el material densificante bajo condiciones estáticas. El esfuerzo de corte debe ser medido a distintas velocidades de corte para caracterizar las propiedades de flujo de un fluido³⁴ y puede ser calculado mediante:

$$\tau = \mu \times \gamma \quad (2. 9)$$

La velocidad de corte es máxima en la pared y nula en el centro de la tubería y el esfuerzo de corte también será máximo en la pared.³⁴ Se calcula con:

$$\gamma = \frac{8V}{D} \quad (2. 10)$$

Donde:

V: Velocidad media del fluido en la tubería (ft/seg)

D: Diámetro de la tubería (ft)

Para los espacios anulares concéntricos:

$$\gamma = \frac{12V}{D_c - D_p} \quad (2. 11)$$

Donde:

D_c: Diámetro interior del casing (ft)

D_p: Diámetro interior de la tubería de la sarta (ft)

La relación D_c – D_p es llamado diámetro hidráulico.

³⁴ (M-I SWACO, 2001)

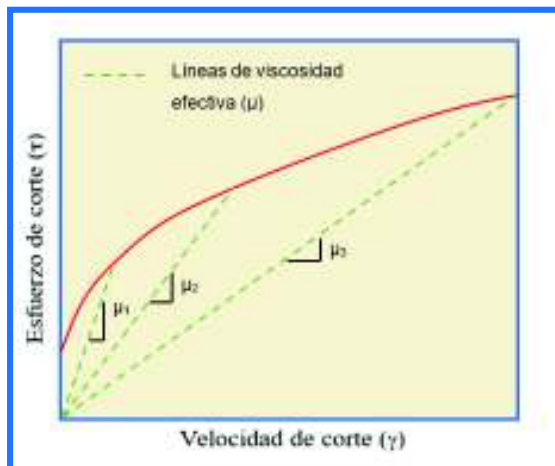
2.7.5.2. Fluido no Newtonianos

Cuando un fluido contiene arcillas o partículas coloidales, estas partículas tienden a “chocar” entre sí, aumentando el esfuerzo de corte o la fuerza requerida para mantener una velocidad de corte determinada.³⁵

A medida que se aumenta la velocidad de corte, las partículas se “alinearán” en el flujo y el efecto de la interacción de las partículas disminuye. Esto hace que en el centro de la tubería, la interferencia causada por las partículas sea grande y el fluido tiende a fluir más como una masa sólida.³⁶

Si las partículas se atraen eléctricamente, a bajas velocidades de corte, las partículas se enlazan entre sí, aumentando la resistencia al flujo, pero a altas velocidades de corte, los enlaces se rompen provocando que el esfuerzo de corte no aumente en proporción directa a la velocidad de corte.³⁶ El comportamiento de estos fluidos se ve en la figura 2.18.

FIGURA 2. 18. EFECTO DE LA VELOCIDAD DE CORTE SOBRE LA VISCOSIDAD EFECTIVA DE UN FLUIDO NO NEWTONIANO



Fuente: (M-I SWACO, 2001)

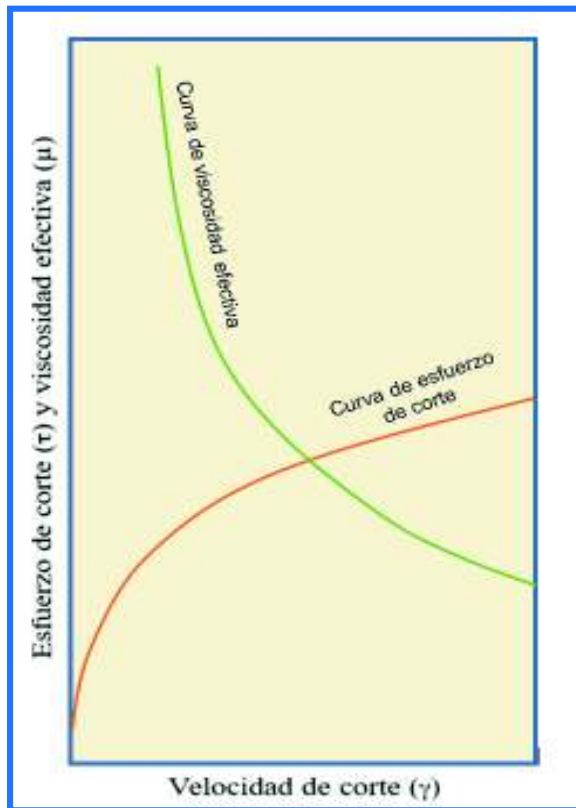
Elaborado por: Ana López

Gran parte de los fluidos no newtonianos demuestran un comportamiento de “disminución de la viscosidad con el esfuerzo de corte”. Lo que se visualiza en la figura 2.19.

³⁵ (Schlumberger, 2017)

³⁶ (M-I SWACO, 2001)

FIGURA 2. 19. EFECTO DE DISMINUCIÓN DE LA VISCOSIDAD CON EL ESFUERZO DE CORTE EN LOS FLUIDOS NO NEWTONIANOS



Fuente: (M-I SWACO, 2001)
Elaborado por: Ana López

De esto se puede concluir que:

1. A altas velocidades (altas velocidades de corte) el lodo disminuye su viscosidad con el esfuerzo de corte hasta alcanzar valores bajos de viscosidad. Esto reduce la presión de circulación y las pérdidas de presión.
2. A las velocidades más bajas (velocidades de corte más bajas) dentro del espacio anular, el lodo tiene una viscosidad más alta que facilita la limpieza del pozo.
3. A una velocidad ultrabaja, la viscosidad del lodo alcanza su más alto nivel, y cuando el lodo no está circulando, éste desarrolla esfuerzos de gel que contribuyen a la suspensión de los materiales densificantes y de los recortes.³⁷

³⁷ (M-I SWACO, 2001)

2.8. MODELOS REOLÓGICOS

Un modelo reológico describe la relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte. Los siguientes modelos describen esta relación y son:

2.8.1. MODELO DE FLUJO PLÁSTICO DE BINGHAM

Este modelo describe un fluido en el cual se requiere una fuerza finita para iniciar el flujo (punto cedente) y que luego demuestra una viscosidad constante cuando la velocidad de corte aumenta (viscosidad plástica).³⁸

$$\tau = YP + PV(\dot{\gamma}) \quad (2. 12)$$

Donde:

τ : esfuerzo de corte (lb/100 ft²)

$\dot{\gamma}$: velocidad de corte (ft/seg)

YP: punto cedente (lb/100 ft²)

PV: Viscosidad plástica (cp)

Para el lodo típico, si se hace una curva de consistencia para un fluido de perforación con los datos del viscosímetro rotativo, se obtiene una curva no lineal que no pasa por el punto de origen.³⁸ Esto se observa en la figura 2.20.

FIGURA 2. 20. DIAGRAMA DE FLUJO DEL LODO NEWTONIANO Y EL LODO TÍPICO



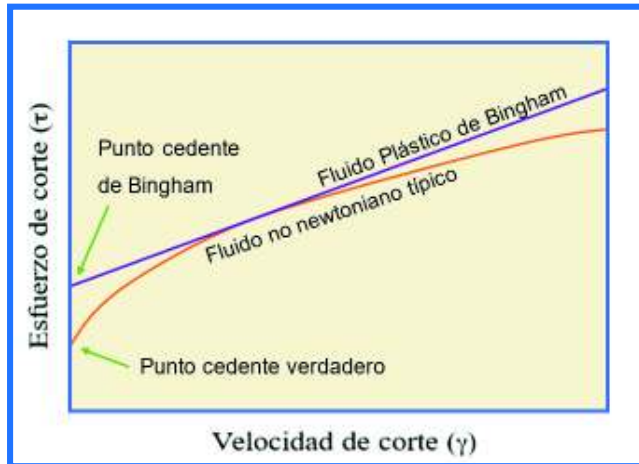
Fuente: (M-I SWACO, 2001)

Elaborado por: Ana López

³⁸ (M-I SWACO, 2001)

El desarrollo de los esfuerzos de gel hace que la intersección de Y se produzca en un punto por encima del punto de origen, debido a la fuerza mínima requerida para requerida para romper los geles e iniciar el flujo.³⁹ Como se ve en la figura 2.21.

FIGURA 2. 21. MODELO DE BINGHAM Y FLUIDO NO NEWTONIANO TÍPICO



Fuente: (M-I SWACO, 2001)

Elaborado por: Ana López

2.8.2. MODELO DE LEY EXPONENCIAL

Un fluido descrito por el modelo reológico de dos parámetros de un fluido pseudoplástico, o un fluido cuya viscosidad disminuye a medida que aumenta la velocidad de corte. Los lodos de polímeros a base de agua, en especial los que contienen goma xantica, se ajustan mejor a la ecuación matemática de la ley exponencial que al modelo plástico de Bingham o cualquier otro modelo de dos parámetros.⁴⁰ Los fluidos de esta ley pueden describirse matemáticamente como:

$$\tau = k\gamma^n \quad (2.13)$$

Donde:

k: índice de consistencia

n: índice de Ley Exponencial

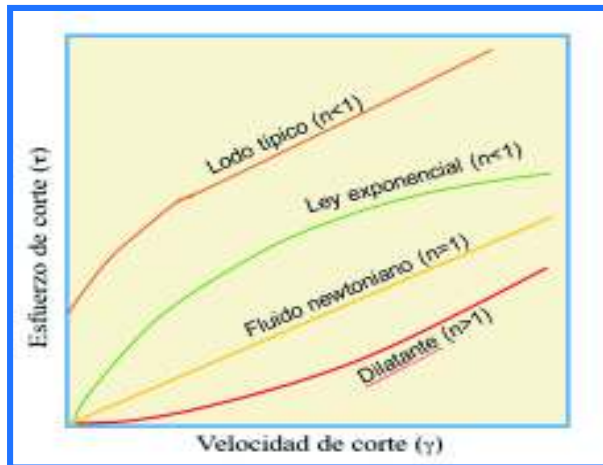
³⁹ (M-I SWACO, 2001)

⁴⁰ (Schlumberger, 2017)

El índice “n” indica el grado de comportamiento no newtoniano de un fluido sobre un rango determinado de velocidades de corte (figura 2.22), y se clasifican en:

- $n < 1$: Fluido no newtoniano (disminuye su viscosidad con el esfuerzo de corte).
- $n = 1$: Fluido newtoniano.
- $n > 1$: Fluido dilatante (aumenta su viscosidad con el esfuerzo de corte).⁴¹

FIGURA 2. 22. EFECTO DE "n" SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO



Fuente: (M-I SWACO, 2001)

Elaborado por: Ana López

2.8.2.1. *Parámetros que afectan al coeficiente k*

La viscosidad plástica y el punto cedente del lodo afectan el coeficiente “K”, y esta afectación se puede clasificar en tres casos:

A. Acumulación de sólidos

La viscosidad plástica ha aumentado hasta exceder la viscosidad de la “base” debido al aumento de los sólidos, como la curva de viscosidad es paralela a la curva de base “n” no varía. La viscosidad global ha aumentado; por lo tanto, el valor de “K” es más alto.⁴¹

B. Disminución de sólidos

La viscosidad plástica ha disminuido debido a la remoción de los sólidos; el punto cedente también ha disminuido, “n” no cambia y “k” disminuye.⁴⁰

⁴¹ (M-I SWACO, 2001)

C. Floculación causada por la contaminación

El punto cedente y la viscosidad plástica aumentaron debido a la contaminación y al aumento de los sólidos. La relación de PC a VP se ve muy afectada por la floculación resultante y el valor de “n” disminuye. “K” aumenta según el cambio de la pendiente (“n”) y el aumento global de la viscosidad.⁴¹

2.8.2.2. Cálculo de la Ley Exponencial para tuberías

Se basa en las indicaciones del viscosímetro de lodo a 300 y 600 RPM (Θ_{300} y Θ_{600}). Sustituyendo las velocidades de corte (511 y 1.022 seg^{-1}) en las ecuaciones de “n” y “K”⁴¹, tenemos:

$$n_p = 3,32 \log \left(\frac{\Theta_{600}}{\Theta_{300}} \right) \quad (2.14)$$

$$k_p = \frac{5,11 \Theta_{300}}{511^{n_p}} \quad (2.15)$$

2.8.2.3. Cálculo de la Ley Exponencial para el espacio anular

Se basan en los valores obtenidos a 3 y 100 RPM (Θ_3 y Θ_{100}). Sustituyendo las velocidades de corte (5,1 seg^{-1} y 170 seg^{-1} , respectivamente) dentro de la ecuación general⁴², tenemos:

$$n_a = 0,657 \log \left(\frac{\Theta_{100}}{\Theta_3} \right) \quad (2.16)$$

$$k_a = \frac{5,11 \Theta_{100}}{170,2^{n_a}} \quad (2.17)$$

2.8.2.4. Ecuación General de la Ley Exponencial para la viscosidad efectiva

$$\mu_e = 100 k_p \gamma^{n-1} \quad (2.18)$$

Viscosidad efectiva, tubería:

$$\mu_{ep} = 100 k_p \left(\frac{1,6 V_p}{D} \right)^{n_p-1} \left(\frac{3 n_p + 1}{4 n_p} \right)^{n_p} \quad (2.19)$$

⁴² (M-I SWACO, 2001)

Viscosidad efectiva, espacio anular:

$$\mu_{ea} = 100 k_a \left(\frac{2,4 V_a}{D_2 - D_1} \right)^{n_a - 1} \left(\frac{2 n_a + 1}{3 n_a} \right)^{n_a} \quad (2. 20)$$

Donde:

D: Diámetro interior de la tubería (in)

D₂: Diámetro interior del casing (in)

D₁: Diámetro exterior de la tubería (in)

2.8.3. MODELO HERSCHEL – BULKLEY

Modelo reológico de tres parámetros, su comportamiento se ve en la figura 2.23.

Se describe matemáticamente de la siguiente manera:

$$\tau = \tau_0 + k \gamma^n \quad (2. 21)$$

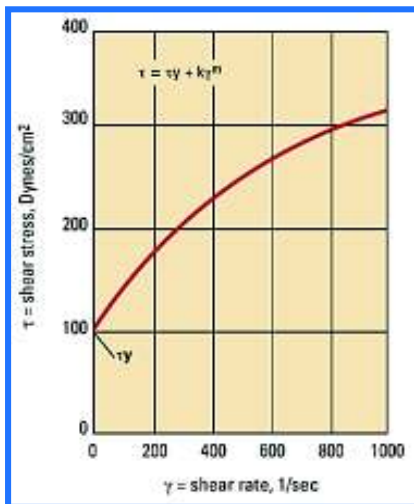
Donde:

τ_0 : Límite de esfuerzo

k: índice de consistencia

n: índice de flujo

FIGURA 2. 23. COMPORTAMIENTO DE UN FLUIDO HERSCHEL - BULKLEY



Fuente: (Schlumberger, 2017)

Elaborado por: (Schlumberger, 2017)

La ecuación de Herschel-Bulkley es preferida porque se obtienen modelos más precisos de comportamiento reológico. La tensión de fluencia se toma normalmente

como la lectura de 3 RPM, calculando luego los valores **n** y **k** a partir de los valores de 600 o 300 RPM o gráficamente.⁴³

$$\mathbf{n} = \frac{\log\left(\frac{\Theta_2 - \Theta_0}{\Theta_1 - \Theta_0}\right)}{\log\left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)} \quad (2.22)$$

$$\mathbf{k} = \frac{\Theta_1 - \Theta_0}{\omega_1^n} \quad (2.23)$$

Donde:

Θ_1 : Indicación del viscosímetro de lodo a la velocidad de corte más baja

Θ_2 : Indicación del viscosímetro de lodo a la velocidad de corte más alta

Θ_0 : Esfuerzo de gel nulo o indicación a 3 RPM

ω_1 : RPM del viscosímetro de lodo a la velocidad de corte más baja

ω_2 : RPM del viscosímetro de lodo a la velocidad de corte más alta

2.9. CÁLCULOS DE LA HIDRÁULICA DEL POZO

Una vez que las propiedades reológicas para un fluido han sido determinadas y modeladas para predecir el comportamiento del flujo, los cálculos de hidráulica son realizados para determinar el efecto que el fluido tendrá sobre las presiones del sistema.⁴⁴ Las ecuaciones utilizadas para el estudio se detallan en las tablas 2.5 y 2.6.

Independientemente de cuales sean las condiciones del pozo, la presión máxima admisible de circulación impone un límite teórico sobre el caudal. Las presiones de circulación están directamente relacionadas con la geometría del pozo y de la tubería utilizada, así como la densidad y las propiedades reológicas del fluido.⁴³

El objetivo principal de la optimización de la hidráulica es lograr un equilibrio entre el control, la limpieza, la presión de bombeo, la densidad equivalente de circulación (ECD) y la caída de presión a través de la broca.⁴³

⁴³ (Schlumberger, 2017)

⁴⁴ (M-I SWACO, 2001)

2.9.1. ECUACIONES DE HIDRÁULICA DE API

TABLA 2. 5.
ECUACIONES DE HIDRÁULICA API

| | | | |
|---|--|----------------------|--|
| Velocidad media de propagación en el medio | Es la velocidad del fluido dentro del anular o tubería, suponiendo que se mantiene constante en todo el medio. | En la tubería | $V_p \left(\frac{ft}{min} \right) = \frac{24,48Q(gpm)}{D^2(in)}$ |
| | | En el espacio anular | $V_a \left(\frac{ft}{min} \right) = \frac{24,48Q(gpm)}{(D_2^2 - D_1^2)(in)}$ |
| Número de Reynolds | Es un número adimensional. Determina si un fluido está en un flujo laminar o turbulento. | General | $N_{Re} = \frac{VD\rho}{\mu}$ |
| | | En la tubería | $N_{Re} = \frac{15,467 V_p D \rho}{\mu_{ep}}$ |
| | | En el espacio anular | $N_{Rea} = \frac{15,467 V_a (D_2 - D_1) \rho}{\mu_{ea}}$ |
| Velocidad crítica | Determina la velocidad a la cual la transición del flujo laminar al flujo turbulento ocurre. | En la tubería | $V_{cp} = \left(\frac{38,727 K_p}{\rho} \right)^{\left(\frac{1}{2-n} \right)} \left(\frac{1,6}{D} \times \frac{3n+1}{4n} \right)^{\left(\frac{n}{2-n} \right)}$ $Q_{cp} = \frac{V_{cp} D^2}{24,51} (gpm)$ |
| | | En el espacio anular | $V_{ca} = \left(\frac{25,818 K_a}{\rho} \right)^{\left(\frac{1}{2-n} \right)} \left(\frac{2,4}{(D_2 - D_1)} \times \frac{2n+1}{3n} \right)^{\left(\frac{n}{2-n} \right)}$ $Q_{cp} = \frac{V_{ca} (D_2^2 - D_1^2)}{24,51} (gpm)$ |

Fuente: (M-I SWACO, 2001)
Elaborado por: Ana López

2.9.2. CÁLCULOS DE PÉRDIDA DE PRESIÓN

TABLA 2. 6.
ECUACIONES DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN

| | | | |
|---|--|---|---|
| Pérdidas totales de presión en el espacio anular | Es la suma de todas las pérdidas de presión del intervalo anular, los cuales, son divididos por cada cambio del diámetro hidráulico. | Factor de fricción del espacio anular | Flujo Laminar: $f_a = \frac{24}{N_{Rea}}$ Flujo Turbulento: $f_a = \frac{\left(\frac{\log n + 3,93}{50} \right)}{N_{Rea}^{\left[\frac{1,75 - \log n}{7} \right]}}$ |
| | | Pérdida de presión del intervalo anular | $P_a = \frac{f_a V_a^2 \rho}{92,916(D_2 - D_1)} \times L_m$ $D_2 = ID \text{ del casing}$ $D_1 = DE \text{ del casing}$ |
| Densidad equivalente de circulación (ECD) | Es la densidad del lodo que ejercería una presión hidrostática equivalente a la presión durante la circulación. | $ECD = \rho + \frac{P_a}{0,052TVD} \left(\frac{lb}{gal} \right)$ | |

Fuente: (M-I SWACO, 2001)
Elaborada por: Ana López

2.10. SITUACIÓN ACTUAL DE LA LIMPIEZA DE LOS POZOS

Durante los años en los que se han desarrollado trabajos de intervención en el campo Edén Yuturi por parte de KAMANA SERVICES, se han presentado varios problemas operacionales en los pozos relacionados con la limpieza de los pozos.

Para conocer cuál es el problema operativo más común del campo, se ha realizado el análisis de los reportes diarios de los trabajos realizados en el campo, y los problemas encontrados se han resumido en la tabla 2.7:

TABLA 2. 7.
PROBLEMAS OPERATIVOS ASOCIADOS A LA LIMPIEZA EN EL CAMPO EDEN YUTURI (2015-2016)

| No. | POZO | TIPO DE TRABAJO | PROBLEMAS OPERACIONALES OCURRIDOS |
|-----|------------|---------------------|---|
| 1 | EDYC-094R1 | Reacondicionamiento | Problemas con el asentamiento de tapón Copperhead para aislar la arena T principal, se queda @ 6480'. (Obstrucción de la tubería) |
| 2 | EDYG-045 | Reacondicionamiento | Pega mecánica de la completación de fondo @ 6991'. Circulación en directa para limpieza de la cabeza de pescado, sin éxito. Se muele la completación de fondo. |
| 3 | EDYF-117 | Reacondicionamiento | Restricción a la sarta de evaluación @ 7059'. Restricción a la sarta de cañoño @ 7325', 7328' y 7360'. (Obstrucción en la tubería). Operación de recuperación de RBP, sin éxito. (Problemas de asentamiento de packer) |
| 4 | EDYK-167S1 | Reacondicionamiento | Baja sarta con RBP restricción en el TOL, (obstrucción en la tubería). Activación del RBP (Problemas de asentamiento de packer). |
| 5 | EDYC-123R1 | Reacondicionamiento | Se realiza fractura hidráulica a la arenisca M-2. Se circula en reversa para limpieza de residuos. Se baja sarta de limpieza @ 7766'. Se baja la completación y se arranca la BES para prueba de producción, la bomba se apaga por alta temperatura. Se recupera BES a superficie. Bomba trabada sin giro. (Presencia de limallas en la bomba BES). |
| 6 | EDYK-135S1 | Reacondicionamiento | Después de hacer una fractura hidráulica a arenisca M-2 se circula en fondo para limpiar apuntalante. Baja completación de fondo y la bomba no arranca. Se recupera BES a superficie. Bomba trabada sin giro. Baja una sarta de limpieza y limpió pozo hasta fondo. Baja segunda BES. Equipo no arranca en primero intento. Bombea fluido con píldoras de diésel espaciadas. (Presencia de limallas en la bomba BES). |
| 7 | EDYG-036 | Reacondicionamiento | A 9600' hay una obstrucción durante la segunda operación de cementación, se baja sarta de limpieza y se pasa hasta 9800'. Se observa arena en superficie y se hace otro viaje de limpieza. Baja @ 9800' y se circula en reversa, se observa abundante arena en superficie, se realiza segunda circulación de bache de píldoras en reversa. (Obstrucción en la tubería). |

CONTINUACIÓN TABLA 2.7.

| No. | POZO | TIPO DE TRABAJO | PROBLEMAS OPERACIONALES OCURRIDOS |
|-----|-----------|---------------------|--|
| 8 | EDYF-37 | Reacondicionamiento | Se recupera sólidos en Well Patroller (80% de su capacidad) + 40 kg de limalla en Magnostar de 9-5/8" + 30 kg en Magnostar de 7". (Alta presencia de sólidos en el pozo). Viaje adicional de limpieza. Evidencia escala en el recubrimiento de la BES. (Presencia de sólidos en la bomba BES). |
| 9 | EDYH-150H | Reacondicionamiento | Bajan sarta con Running Tool + BA PLUG @ 9158', tope del Quantum Packer (QP). Realiza prueba de presión, intenta 4 veces probar integridad de QP, sin éxito. Revisa válvulas y líneas en el chocke manifold, ok. Realiza prueba de integridad, sin éxito. Baja sarta con Retrieving Tool para recuperar BA Plug. Baja sarta con packer hidráulico @ 8750', aplica presión para activar sistema de anclaje, llega a 1480 psi se observa caída de la misma. Intenta probar integridad varias veces, sin éxito. Bajó 5 ft para verificar anclaje del packer, sin éxito. Bajó un tubo más para topar el packer, sin éxito. Baja @ 9144' sobre cabeza de pescado, presuriza sistema y trata de activar mecanismo de anclaje del packer, sin éxito. Saca BHA a superficie. (Problemas de asentamiento de packers). |
| 10 | EDYK-110 | Reacondicionamiento | Baja la completación selectiva, se asienta los packer (superior @ 7113,62' e inferior @ 7237'). Presuriza en directa con 3500 psi + despresuriza presión + prueba con 800 psi por anular cae 100 psi en 10 minutos. Se realiza el mismo ciclo en varias ocasiones, obteniendo el mismo régimen de pérdida. Abre camisa superior (US) @ 7153'. Prueba integridad de sello de packer por anular, resultado (-), cierra camisa. Prueba integridad de sello de packers, resultado (-), abre camisa + realiza maniobra de liberación de packers + saca a superficie. Packer superior sale con elastómeros trabajados + packer inferior sale sin elastómeros, NO-GO sale con arena en asiento y sobre std/valve + std/valve sale levantado sobre su asiento con arena. (Problemas de asentamiento de packers). |
| 11 | EDYK-128 | Reacondicionamiento | Arma cabezal y realiza prueba de giro arenas US y UI. Equipo BES inferior arena UI no arranca, se realiza bombeo en directa (3 bls de fluido de control + 2 bl de diésel) para liberación de la bomba, cambia de variador para intento de arranque, sin éxito. Se decide recuperar completación. Saca completación, desarma los equipos BES. Giro del conjunto BES inferior atascada, descargas limpias + Bombas 1ra 2da 3ra con su giro del eje con arrastre + Intake malla con material extraño. (Presencia de sólidos en la bomba BES). |

Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

En base a la tabla 2.7 se ha realizado la figura 2.24 para visualizar de mejor manera la clasificación de los problemas operacionales en los trabajos realizados lo largo del proyecto a cargo de KAMANA SERVICES en el campo Edén Yuturi.

FIGURA 2. 24. PROBLEMAS OPERACIONALES.



Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

De la figura 2.24 se puede concluir que el problema operacional más común en los pozos del campo Edén Yuturi es la obstrucción de tubería, esto se puede dar debido a que los pozos de este campo son en su mayoría de alto ángulo u horizontales lo que puede provocar que se formen camas de recortes en las partes de alta inclinación o que las limpiezas sean más difíciles de hacer.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

3.1. PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas descritas a continuación son aquellas realizadas en los fluidos preparados para este estudio, se ha decidido llevarlas a cabo debido a que la información obtenida sirve como punto de referencia para el análisis de las propiedades y también debido a que es data que necesaria para hacer las simulaciones de desplazamiento de fluido.

3.1.1. DENSIDAD DEL FLUIDO

La densidad significa el peso por volumen unitario y se mide pesando el lodo, es medida con la balanza de lodo, como la que se visualiza en la figura 3.1 y tiene un margen de error de 0,1 lb/gal.⁴⁵

FIGURA 3. 1. BALANZA DE LODO



Fuente: (Miranda, 2016)

Elaborado por: (Miranda, 2016)

3.1.1.1. *Calibración del equipo*

- Retirar la tapa del vaso y llenar completamente el vaso con agua pura o destilada y colocar la tapa.
- Colocar el brazo sobre la base, con el cuchillo sobre el punto de apoyo.

⁴⁵ (M-I SWACO, 2001)

- La burbuja de nivel debería estar centrada cuando el caballero está en 8,33 lb/gal. Si no, ajustar usando el tornillo de calibración en el extremo del brazo.⁴⁶

3.1.1.2. *Procedimiento de la prueba*

- Colocar el lodo a probar en el vaso de la balanza.
- Tapar y presionar la tapa hasta que este asentada.
- Limpiar el lodo que está fuera del y secar el vaso.
- Colocar el brazo de la balanza sobre la base y desplazar el caballero hasta que el nivel de burbuja de aire indique que esta nivelado.
- En el borde del caballero que se encuentre más cerca del vaso, leer la densidad del lodo.
- Ajustar el resultado a la graduación de escala más próxima.⁴⁶

3.1.2. VISCOSIDAD DE EMBUDO

El viscosímetro de Marsh tiene un diámetro de seis pulgadas en la parte superior y una longitud de 12", en la parte inferior tiene un tubo de orificio liso de dos pulgadas de largo, con un diámetro interior de 3/16", está acoplado de tal manera que no hay ninguna constricción en la unión. Adicionalmente, hay una malla de tela metálica con orificios de 1/16", cubriendo la mitad del embudo, está fijada a 3/4" debajo de la parte superior del embudo.⁴⁶ El viscosímetro es mostrado en la figura 3.2.

FIGURA 3. 2. VISCOSÍMETRO DE MARSH



Fuente: (Omadisa, 2017)

Elaborado por: (Omadisa, 2017)

⁴⁶ (M-I SWACO, 2001)

3.1.2.1. Procedimiento de la prueba

- Manteniendo el embudo en posición vertical, tapar el orificio con un dedo y verter la muestra de fluido recién obtenida a través de la malla, hasta que el nivel del fluido llegue a la parte inferior de la malla (1.500 mL).
- Retirar inmediatamente el dedo del orificio y medir el tiempo requerido para que el lodo llene el vaso receptor hasta el nivel de 1-qt indicado en el vaso.
- Registrar la temperatura⁴⁷.

3.1.3. VISCOSÍMETRO ROTATIVO

Los viscosímetros de indicación directa son instrumentos de tipo rotativo accionados por un motor eléctrico, como se observa en la figura 3.3. El manguito de rotor es accionado a una velocidad rotacional constante, y este impone un torque sobre el balancín cuyo movimiento es limitado con un resorte de torsión y el desplazamiento es indicado por un cuadrante acoplado al balancín. Con este instrumento se pueden obtener los valores de reología del fluido y el esfuerzo de gel.⁴⁷

FIGURA 3. 3. VISCOSÍMETRO DE ROTACIÓN FANN



Fuente: (Miranda, 2016)

Elaborado por: (Miranda, 2016)

⁴⁷ (M-I SWACO, 2001)

3.1.3.1. *Procedimiento para la determinación de la viscosidad aparente, la viscosidad plástica y el punto cedente.*

- Colocar la muestra recién agitada dentro de un vaso térmico y ajustar altura de la placa.
- Calentar o enfriar la muestra hasta 120°F (49°C). Agitar lentamente mientras se ajuste la temperatura.
- Arrancar el motor a alta velocidad y esperar que el cuadrante indique un valor constante, registrar la indicación obtenida a 600 RPM.
- Ajustar a la velocidad de 300 RPM, esperar que el cuadrante indique un valor constante y registrar el valor indicado.
- Repetir el procedimiento para las velocidades de 200 RPM, 100 RPM, 6 RPM y 3 RPM.⁴⁸
- Calcular la viscosidad plástica y punto cedente con las fórmulas expuestas en el capítulo dos.

3.1.3.2. *Procedimiento para la determinación del esfuerzo de gel*

- Agitar la muestra a 600 RPM durante 15 segundos y mover la palanca de cambio de velocidad hasta la posición neutra.
- Apagar el motor y esperar diez segundos.
- Poner el conmutador en 3 RPM y registrar las unidades de deflexión máxima como esfuerzo de gel inicial. Si el indicador del cuadrante no vuelve a ponerse a cero con el motor apagado, no se debe reposicionar el conmutador.
- Repetir los dos primeros pasos, dejando pasar un tiempo de diez minutos y luego poner el conmutador en baja velocidad y registrar las unidades de deflexión máxima. Indicar la temperatura medida.⁴⁸

3.2. SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE FLUIDOS (VCS)

El programa “VCS” de M-I SWACO posee varios módulos los cuales permiten al usuario obtener simulaciones del desplazamiento de fluidos en el pozo a partir de

⁴⁸ (M-I SWACO, 2001)

un gran rango de datos. Puede ser utilizado tanto para fluidos de perforación y fluidos de completación. Este programa permite al usuario calcular los cambios de las propiedades con respecto a la profundidad y a la temperatura de los pozos, adicionalmente se pueden hacer simulaciones de la limpieza de pozo, eficiencia de barrido, entre otras.

El programa consta de varios módulos. Para la ejecución de este estudio se han utilizado tres de ellos, los cuales son:

3.2.1. FILE MANAGER

En este módulo se ingresa toda la información general del pozo, como la compañía operadora, nombre del pozo, nombre del campo, localización, entre otras.

Adicionalmente se puede elegir el abrir un archivo previamente realizado o guardar uno nuevo, en este módulo se podrá ver las versiones de simulaciones realizadas para el pozo seleccionado.

3.2.2. DPROB

En este módulo se ingresan los datos de cuatro secciones y la información que el usuario debe ingresar se describe a continuación:

3.2.2.1. *Geometría del pozo*

Esta sección es usada por el usuario para ingresar la data relacionada a la geometría del pozo. Está conformada por varias categorías como:

Información general

En donde se ingresan información de profundidad del pozo, profundidad de la broca (profundidad de limpieza), profundidad del agua y de la capa de gas, estas últimas son datos opcionales.

Casing/Liners

En esta categoría el usuario puede ingresar la data de la tubería de revestimiento intermedia y de la tubería de revestimiento de producción o liner de producción.

Sarta de trabajo (De arriba hacia abajo)

La categoría permite al usuario ingresar la configuración de la sarta de limpieza prevista a utilizar durante el trabajo de reacondicionamiento. El usuario debe ingresar la información de la configuración de arriba hacia abajo.

Excentricidad

Para simular la rotación de la sarta se debe marcar la casilla de verificación con la opción *ignorar la excentricidad*. La excentricidad es un componente importante para el cálculo de la densidad equivalente de circulación (EDC) en el programa.⁴⁹

Espesor de la película

Esta categoría presenta un cuadro de texto en el cual se ingresará el valor del espesor de la película a limpiarse, el cual en el programa tiene un valor de 0,047 pulgadas por default, este valor se determinó como un promedio basado en estudios de desplazamiento en hueco entubado. Esta es una cubierta de lodo teórica, la cual será removida por los espaciadores acuosos en un desplazamiento típico.⁴⁸

Profundidades de medida de ECD

En esta categoría también se le permite al usuario programar 3 profundidades que se consideran críticas para el pozo, como la profundidad de la zapata del casing, puntos débiles de la tubería, zapata de liner u otra profundidad de interés con el fin de obtener los valores de la densidad de circulación equivalente en esos puntos.⁴⁸

3.2.2.2. Perfil direccional

En esta sección se ingresa la data del Survey del pozo, esta información puede ser ingresada manualmente o ser exportada desde un archivo con formato de texto (".txt"). El procedimiento se detalla en el Anexo 1.

⁴⁹ (M-I SWACO, 2015)

Los datos de importancia para el programa son:

- Profundidad (MD, ft).
- Angulo de inclinación del pozo (°).
- Azimut del pozo (°).

Se consideran estos tres datos cuando se elige un perfil direccional en 3D.

3.2.2.3. Perfil de temperatura

Esta sección brinda datos para calcular los efectos térmicos en las propiedades del fluido en el fondo del pozo. Las temperaturas definidas son para el anular y para la sarta de limpieza. Esto puede ser hecho por medio del ingreso manual de datos o importado vía archivo de texto.

3.2.2.4. Perfil de densidad de la salmuera

En esta sección se calcula la densidad equivalente estática relativa a la presión y temperatura. La opción de diseño dicta el acercamiento - ya sea usando una densidad de superficie específica y calculando la presión de fondo o calculando la densidad de superficie requerida para alcanzar una presión de fondo específica.⁵⁰

3.2.3. DISPRO

En este módulo se realiza el diseño del fluido, incluyendo las propiedades de los espaciadores, caudales y patrones de circulación.

En este módulo se ingresaran los datos de las secciones de:

- Geometría del Pozo
- Perfil direccional
- Configuración del BOP
- Perfil de temperatura
- Diseño de la operación
- Diseño del fluido
- Fluidos en el pozo
- Diseño del desplazamiento

⁵⁰ (M-I SWACO, 2015)

- Resultados
- Visualización

Los datos del perfil de temperatura, el perfil direccional y la geometría del pozo se comparten con los del módulo de DProB, por ello no es necesario volver a ingresar esta información. Cualquier cambio que se en haga en la data de estas secciones en este módulo se actualizara automáticamente en DProB.

3.2.3.1. *Diseño de la operación*

Esta sección permite escoger la forma en que el fluido será bombeado durante la simulación. El bombeo se puede programar en directa o en reversa, esto se definirá dependiendo de las características del trabajo necesario. La data requerida es:

- Profundidad de la broca.
- Presión de estallido del casing (máxima presión diseñada)
- Presión de colapso del casing (mínima presión diseñada)

3.2.3.2. *Diseño del fluido*

En esta sección se definirá los espaciadores de limpieza y las características de los mismos. Está conformada por tres categorías en las que se escribirá las distintas características de las píldoras a utilizarse durante la simulación.⁵¹

Diseño del fluido.

Esta tabla se usa para describir los espaciadores. Para facilitar su uso se recomienda enlistar los espaciadores en el orden a ser bombeados, sin embargo, el orden de bombeo puede ser determinado según sea necesario en la sección de Desplazamiento de Fluido.⁵¹

Valores del viscosímetro.

En la segunda tabla se ingresara la data de la reología de los fluidos. Ingresar los valores de las propiedades a diferentes temperaturas no es necesario pero si se lo

⁵¹ (M-I SWACO, 2015)

hace la precisión de la simulación aumentará. Estos datos son importantes para obtener un modelo de predicción hidráulico preciso.⁵²

Diseño de la limpieza.

Las propiedades de diseño de limpieza de cada fluido se ingresan en esta sección y se correlacionan con la secuencia de diseño de fluido.

Entrada manual: La entrada manual de datos se basa en un índice de sensibilidad por el cual la respuesta química del producto se mide en una escala de 1 a 5. El 1 indica que el desempeño de la química es muy buena y un 5 indica un desempeño bajo para cada uno de los siguientes factores:

- Surfactant – Concentración del químico de limpieza.
- Velocity - Importancia del régimen de flujo.
- Time – Tiempo de contacto
- Contamination – Impacto de la contaminación del lodo en el rendimiento químico.

Para los espaciadores no químicos la selección del índice puede ser definida como baja en todas las categorías.⁵²

3.2.3.3. *Diseño del desplazamiento*

En esta sección se escogerá el orden, volumen y el caudal (velocidad) de los fluidos a bombearse para realizar la limpieza del pozo. El caudal es independiente de los volúmenes de espaciado y debe ser definido para asegurarse que las píldoras y la salmuera son completamente bombeadas.

3.2.3.4. *Resultados*

En esta sección se presentan las opciones de simulación, se divide en cinco categorías las cuales son:

- Opciones de simulación: categoría en la que se selecciona las gráficas que generara el programa, las unidades de la misma, la capacidad de la bomba y la dirección del fluido.
- Cálculo de limpieza/ interfase: en esta categoría se puede seleccionar si se omiten los efectos de la limpieza y las interfaces o no.

⁵² (M-I SWACO, 2015)

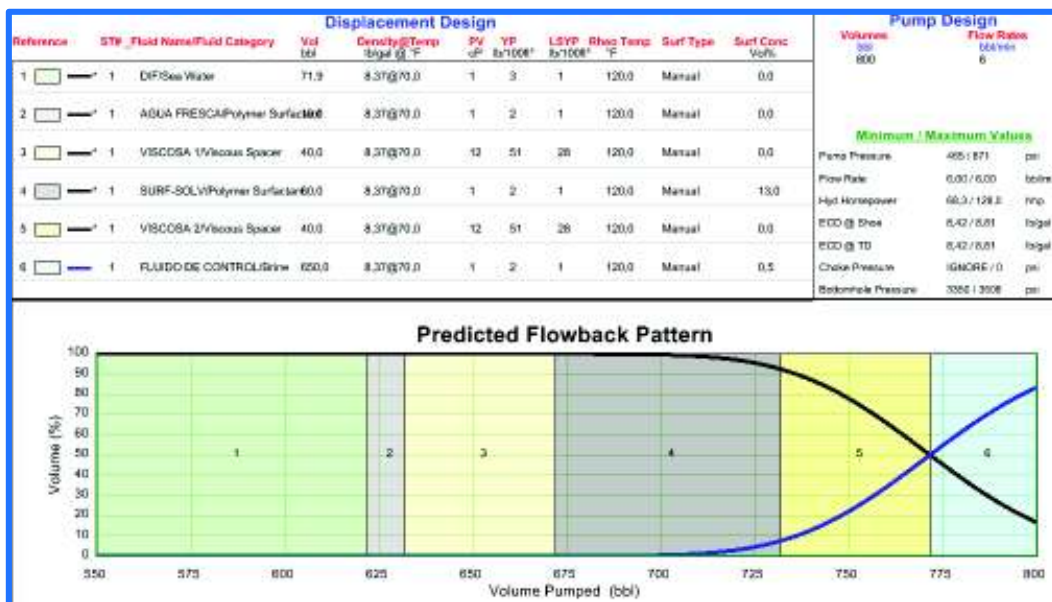
- Superposición de diseño: se seleccionan las variables en las cuales se evaluarán los cambios debido a la temperatura.
- Incremento de volumen: categoría en la cual se selecciona el rango de cálculos de los parámetros del software.
- Límites: categoría en los que se establece los límites físicos que se tiene durante las operaciones.

La simulación empieza una vez que se de clic en el botón Correr. Cuando se seleccionan los gráficos de limpieza, las salidas se correlacionan directamente con la animación del diagrama del pozo. Tomando en cuenta que el espaciador rosado es la píldora de limpieza (solv-surf) en el anular, al empezar la simulación se verán los cambios que se producen durante su desplazamiento.⁵³

3.2.3.5. Gráficos de salida

Los gráficos contienen cantidades sustanciales de datos que el programa ha producido a partir de la información ingresada, para este estudio se ha decidido analizar únicamente la gráfica FBP y la tabla de valores máximos, la cual se muestra en la figura 3.4 y provee al usuario datos para el análisis de la simulación, el comportamiento de la bomba y algunos cálculos reológicos.

FIGURA 3. 4. GRÁFICO FBP



Elaborado por: Ana López

⁵³ (M-I SWACO, 2015)

3.2.3.6. *Visualización*

La visualización se puede ver mientras se ejecuta la simulación de desplazamiento. Proporciona una vista lateral del desplazamiento donde se puede observar el impacto del perfil direccional. La interfaz de desplazamiento entre espaciadores es visible cuando los cálculos de limpieza / interfaz están habilitados.⁵⁴

La manera de manejar el programa para realizar las simulaciones de desplazamiento se encuentra detallada en el *Anexo 1*.

3.3. SOFTWARE DE DISEÑO DE SARTAS DE LIMPIEZA (WB)

El software Well Builder es un programa de modelamiento de sartas de limpieza. Su función es la de graficar la sarta de limpieza a usar durante la operación de limpieza del pozo, este programa es utilizado con el fin de realizar un esquema del pozo y simular como la sarta bajaría dentro del mismo. No posee ninguna función para hacer cálculos.

La data requerida para llevar a cabo la simulación de desplazamiento de la sarta de trabajo es:

- Survey del pozo
- Data del casing usado en el pozo, como: ID, OD, peso de la tubería, profundidad de las zapatas, Tope de linner, entre otros.
- Configuración de la sarta de limpieza o molienda.

En el *Anexo 2* se encuentran las gráficas de las configuraciones de BHA hechas con este programa.

⁵⁴ (M-I SWACO, 2015)

CAPÍTULO 4

SELECCIÓN DE PÍLDORAS DE LIMPIEZA Y HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS

4.1. CASOS DE ESTUDIO

Para realizar las simulaciones de desplazamiento de fluidos y limpieza de pozo se han seleccionado tres casos de estudio, los que se detallan en la tabla 4.1. La selección se dio tomando en cuenta las siguientes características:

- Dificultad de la limpieza del pozo con respecto al ángulo de inclinación.
- Perfil del pozo.

TABLA 4. 1.
POZOS SELECCIONADOS

| Dificultad de la limpieza | Perfil del pozo | Angulo de inclinación | Pozo Seleccionado |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|
| Baja | Vertical | 0° - 10° | N/A |
| Media | Direccional Tipo S | 11,23° | EDYA - 054 |
| Alta | Horizontal | 92,78° | EDYT - 158H |
| Muy Alta | Direccional Tipo J | 50,83° | EDYF-105A |

Elaborado por: Ana López

4.2. FLUIDOS DE LIMPIEZA

Los fluidos de limpieza que se utilizan en el trabajo de reacondicionamiento son:

- Píldoras viscosas.
- Píldoras surfactantes.

Este estudio detalla las características y el comportamiento de las píldoras viscosas, ya que fueron realizadas en el laboratorio y sometidas a las pruebas reológicas detalladas en el capítulo anterior. Con respecto a las píldoras surfactantes, la información sobre sus características no es añadida al documento debido a que no se contaba con las muestras de crudo necesarias para analizar su

comportamiento, es por ello que para correr las simulaciones se ha utilizado los valores de concentración de píldora surfactante que se manejan actualmente para el campo Edén Yuturi.

4.2.1. PÍLDORAS VISCOSAS

Para este estudio se ha planteado la evaluación del desempeño de las píldoras viscosas con diferentes valores de concentración, las cuales se encuentran en un rango de 2 lb/bl a 4,5 lb/bl, el procedimiento seguido para la elaboración de las píldoras se detalla en el *Anexo 3*.

Las píldoras de limpieza han sido desarrolladas con goma xantana clarificada la cual produce una alta viscosidad a muy baja velocidad de corte (LSRV) y esfuerzos de gel altos, pero frágiles. Estas propiedades brindan una mayor suspensión de sólidos, mejora los parámetros hidráulicos durante las operaciones, reduce el torque, el arrastre, la invasión de filtrados, las pérdidas de presión, las Densidades Equivalente de Circulación (EDC) y las presiones de surgencia y suabeo. Aporta una viscosidad superior en aguas saladas, incluyendo los fluidos de KCl, salmueras, agua de mar, agua dulce, entre otros.⁵⁵

Su desempeño puede mejorar con la presencia de sal y a altas temperaturas, es decir, puede utilizarse en pozos con temperaturas de fondo ligeramente mayores a 330°F.⁵⁴

Para evitar la degradación bacteriológica se recomienda utilizar un biocida con el fin de impedir la fermentación en los fluidos que no estén saturados con sal. Adicionalmente, se deben monitorear los sólidos de baja gravedad y los valores MBT (*Anexo 3*) para mantenerlos al nivel más bajo posible, evitando la pérdida de las características no dañinas de la goma xantana clarificada. Se debe tener cuidado al combinar el producto con aditivos catiónicos ya que el carácter químico del mismo es ligeramente aniónico. Es susceptible a la precipitación cuando el pH se eleva o hay presencia de calcio soluble.⁵⁴

⁵⁵ (M-I SWACO, 2004)

4.2.2. REOLOGÍA MEDIDA DE LAS PÍLDORAS VISCOSAS

Las pruebas realizadas a las píldoras viscosas para este estudio son las siguientes: densidad del fluido, viscosidad de embudo, reología y esfuerzo de gel. Los resultados se detallan en la tabla 4.2:

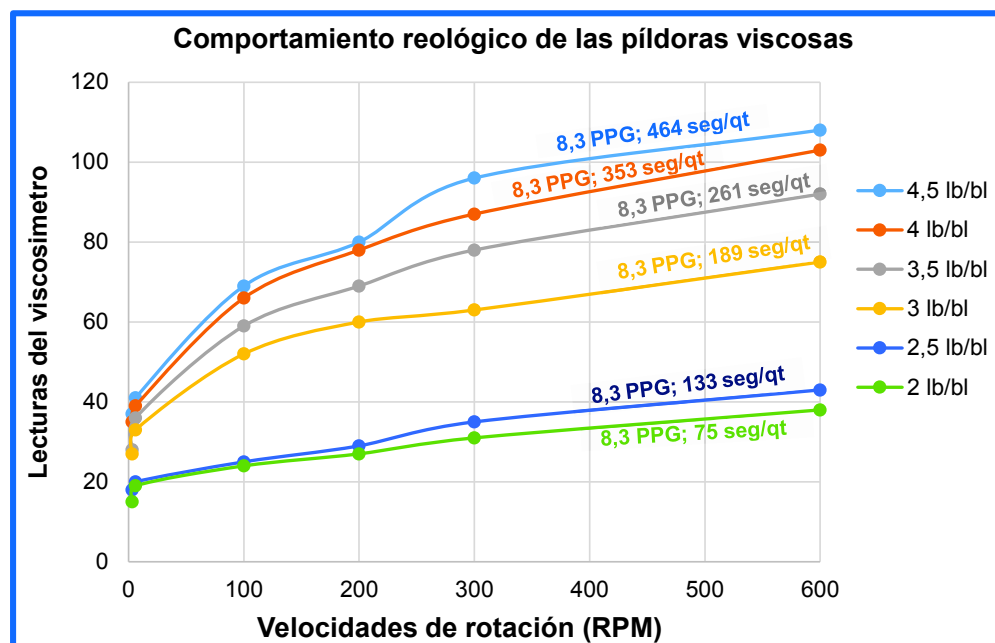
TABLA 4. 2.
MEDIDAS Y CÁLCULOS REOLÓGICOS DE LAS PÍLDORAS VISCOSAS

| RPM | 4,5 lb/bl | 4 lb/bl | 3,5 lb/bl | 3 lb/bl | 2,5 lb/bl | 2 lb/bl |
|---|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| 600 | 108 | 103 | 92 | 75 | 43 | 38 |
| 300 | 96 | 87 | 78 | 63 | 35 | 31 |
| 200 | 80 | 78 | 69 | 60 | 29 | 27 |
| 100 | 69 | 66 | 59 | 52 | 25 | 24 |
| 6 | 41 | 39 | 36 | 33 | 20 | 19 |
| 3 | 37 | 35 | 28 | 27 | 18 | 15 |
| MW (PPG) | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 8,3 |
| Vis. De embudo (seg/qt) | 464 | 353 | 261 | 189 | 133 | 75 |
| Esfuerzo de gel (lb/100ft²) | 32/41 | 32/30 | 24/30 | 20/23 | 15/20 | 13/16 |
| PV (cp) ($\Theta_{600} - \Theta_{300}$) | 12 | 16 | 14 | 12 | 8 | 7 |
| YP (lb/100ft²) ($\Theta_{600} - PV$) | 84 | 71 | 64 | 51 | 27 | 24 |

Elaborado por: Ana López

Con los datos de la tabla 4.2 se ha realizado una gráfica del comportamiento de las píldoras, el cual se puede visualizar en la figura 4.1.

FIGURA 4. 1. COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LAS PÍLDORAS VISCOSAS



Elaborado por: Ana López

En la figura 4.1 se observa que las píldoras con concentraciones de 2,5 lb/bl y de 2 lb/bl siguen una trayectoria alejada de las otras concentraciones y su reología es significativamente baja a comparación de las demás. Esto se puede interpretar de manera tal que las píldoras de concentraciones menores a 3 lb/bl no acarrearían los residuos de los pozos de la forma deseada.

Para encontrar un punto de equilibrio y determinar el punto cedente mínimo el fluido de limpieza debe tener un régimen de flujo tapón. Como se explicó en el capítulo dos este régimen se presenta cuando la velocidad es igual en magnitud y dirección a lo largo del espacio anular y con un NRe bajo. Para visualizar el comportamiento reológico de las píldoras viscosas se han realizado diferentes cálculos a partir de las ecuaciones de la ley exponencial y los cálculos de la hidráulica del pozo.

La información presentada en la tabla 4.3 proviene de la configuración mecánica de la mayoría de los pozos presentes en el campo y el caudal usado es el caudal máximo que se ingresó en el software de simulación.

TABLA 4. 3.
DATOS UTILIZADOS PARA LOS CÁLCULOS DE MODELAMIENTO REOLÓGICO E HIDRÁULICO

| | | | | | |
|---------------------------|------|---------------------------|-------|-----------------|------|
| D (in) | 2,75 | D₂ (in) | 6,276 | MW (PPG) | 8,33 |
| D₁ (in) | 3,5 | Q (BPM) | 4 | Q (GPM) | 168 |

4.2.2.1. *Comportamiento newtoniano de las píldoras viscosas*

En esta parte se determina si las píldoras viscosas son fluidos newtonianos o no newtonianos mediante el cálculo del coeficiente n y el coeficiente k de la ley exponencial. Los resultados de los cálculos se muestran en las tablas 4.4 y 4.5:

TABLA 4. 4.
DETERMINACIÓN DEL MODELO REOLÓGICO DE LAS PÍLDORAS VISCOSAS DENTRO DE LA TUBERÍA DE LA SARTA DE LIMPIEZA

| Conc. (lb/bl) | n_p | k_p | Tipo de fluido |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 2 | 0,294 | 25,392 | Fluido No Newtoniano |
| 2,5 | 0,297 | 28,093 | Fluido No Newtoniano |
| 3 | 0,251 | 67,125 | Fluido No Newtoniano |

CONTINUACIÓN TABLA 4.4

| Conc. (lb/bl) | n_p | k_p | Tipo de fluido |
|---------------|-------|---------|----------------------|
| 3,5 | 0,238 | 90,334 | Fluido No Newtoniano |
| 4 | 0,243 | 97,424 | Fluido No Newtoniano |
| 4,5 | 0,170 | 170,110 | Fluido No Newtoniano |

Elaborado por: Ana López

**TABLA 4. 5.
DETERMINACIÓN DEL TIPO DE FLUIDO DE LAS PÍLDORAS VISCOSAS
DENTRO DEL ESPACIO ANULAR**

| Conc. (lb/bl) | n_a | k_a | Tipo de fluido |
|---------------|-------|---------|----------------------|
| 2 | 0,134 | 61,581 | Fluido No Newtoniano |
| 2,5 | 0,094 | 78,931 | Fluido No Newtoniano |
| 3 | 0,187 | 101,676 | Fluido No Newtoniano |
| 3,5 | 0,213 | 101,116 | Fluido No Newtoniano |
| 4 | 0,181 | 133,103 | Fluido No Newtoniano |
| 4,5 | 0,178 | 141,440 | Fluido No Newtoniano |

Elaborado por: Ana López

4.2.2.2. Régimen de flujo de las píldoras viscosas en la tubería de la sarta de limpieza

Para determinar el régimen de flujo de las píldoras viscosas a distintas concentraciones han sido aplicadas las fórmulas de hidráulica del pozo, con ellas se ha calculado la velocidad media de propagación, la viscosidad efectiva y el NRe de las píldoras en base a los datos de la tabla 4.3 y 4.4. Los resultados se muestran en la tabla 4.6.

**TABLA 4. 6.
CÁLCULOS DE LA HIDRÁULICA PARA LA TUBERÍA**

| En tubería | | | |
|--------------|----------------|------------|----------|
| Conc.(lb/bl) | V_p (ft/min) | μ_{ep} | NRe_p |
| 2 | 543,820 | 49,943 | 3857,998 |
| 2,5 | 543,820 | 56,288 | 3423,102 |
| 3 | 543,820 | 103,738 | 1857,389 |
| 3,5 | 543,820 | 129,271 | 1490,521 |
| 4 | 543,820 | 143,815 | 1339,783 |
| 4,5 | 543,820 | 163,676 | 1177,211 |

Elaborado por: Ana López

De la tabla 4.6 se concluye que las píldoras viscosas de concentraciones de 2 y 2,5 lb/bl tienen un NRe mayor a 2100, lo cual nos indica que se encuentran en un

régimen de *flujo turbulento* lo cual puede provocar problemas durante la operación de limpieza, mientras las píldoras viscosas de concentraciones mayores tienen NRe menores a 2000 y esto es un indicativo de que el régimen de flujo es laminar.

En la tabla 4.7 se observan los resultados del cálculo de la velocidad media de propagación, la viscosidad efectiva y el NRe de las píldoras en base a los datos de la tabla 4.3 y 4.5.

TABLA 4. 7.
CÁLCULOS DE LA HIDRÁULICA PARA EL ESPACIO ANULAR

| En el anular | | | |
|---------------|---------|------------|---------|
| Conc. (lb/bl) | V_a | μ_{ea} | NRe_a |
| 2 | 151,544 | 105,422 | 514,139 |
| 2,5 | 151,544 | 108,898 | 497,728 |
| 3 | 151,544 | 228,345 | 237,366 |
| 3,5 | 151,544 | 258,236 | 209,891 |
| 4 | 151,544 | 289,971 | 186,920 |
| 4,5 | 151,544 | 303,220 | 178,753 |

Elaborado por: Ana López

De la tabla 4.7 se concluye que las píldoras viscosas de concentraciones de 2 y 2,5 *lb/bl* tienen un NRe menor a 2100, lo cual nos indica que se encuentran en un régimen de laminar, sin embargo las píldoras viscosas de concentraciones mayores tienen NRe menor, la diferencia es mayor al 50% entre los valores de 2,5 y 3 *lb/bl* lo que indica que están más cerca del *flujo tapón*, es decir, son las más cercanas al punto de equilibrio buscado para establecer el punto cedente mínimo.

4.3. SIMULACIONES DE LA LIMPIEZA DE POZOS

En esta parte del trabajo se observan las simulaciones escogidas como mejor opción para los casos propuestos. Las simulaciones adicionales que se hicieron para este estudio se encuentran en el *Anexo 4*. Se han realizado un total de 20 simulaciones, alrededor de seis por cada uno de los pozos utilizando los datos de la reología de las píldoras viscosas con las concentraciones establecidas anteriormente. Para el estudio se han tenido en cuenta los antecedentes de los pozos para seleccionar el valor de la concentración de las píldoras viscosas y para

las píldoras surfactantes se mantiene el valor que se usa actualmente en campo. Los diagramas mecánicos de los pozos pueden verse en el Anexo 5.

4.3.1. POZO EDYA-054

4.3.1.1. Antecedentes del pozo

Estos datos del pozo se detallan en las tablas 4.8 y 4.9.

TABLA 4. 8.
CARACTERÍSTICAS DEL POZO EDYA-054

| Perfil del pozo | Inclinación Máxima | | TD (ft, MD) | Fecha Completación | Fecha Último Reacond. |
|--------------------|--------------------|------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| | Grados (°) | Prof. (ft) | | | |
| Direccional Tipo S | 11,23 | 2193,59 | 7730 | 8-Dec-05 | 9-Nov-08 |

Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

TABLA 4. 9.
CONFIGURACIÓN MECÁNICA DEL POZO EDYA-054

| Csg. De Producción | | Liner de Producción | | |
|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------|-----------------------|
| Descripción | Prof. Zapata (ft, MD) | Descripción | TOL (ft, MD) | Prof. Zapata (ft, MD) |
| 9 5/8", N-80, 47#/ft | 7022 | 7", P-110, 26#/ft | 6818 | 7720 |

Fuente: KAMANA SERVICES

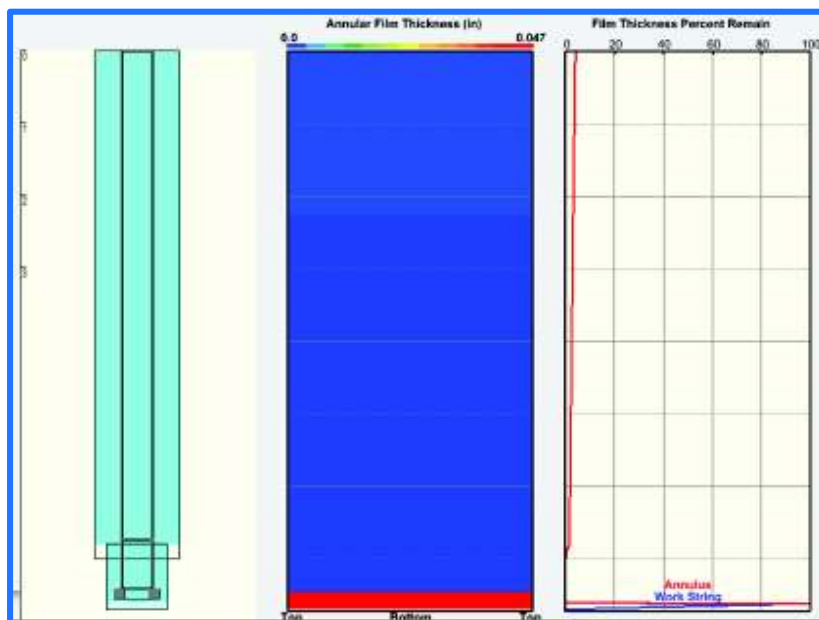
Elaborado por: Ana López

4.3.1.2. Resultados de la simulación de desplazamiento de fluidos

Este pozo tiene un ángulo de inclinación que está ubicado dentro del rango de dificultad de la limpieza medio. Tomando en cuenta los datos de las tablas 4.3 y 4.4 y la información reológica de las píldoras viscosas se lleva a cabo la simulación según el proceso detallado en el Anexo 1. Los valores de concentración para la píldora surfactante utilizados actualmente en este campo es del 13% v/v y la concentración de surfactante para el fluido de control va desde 0,39% a 1% v/v. El límite de presión máxima de la bomba utilizado para las simulaciones del pozo es de 1000 psi. La simulación puede observarse en la figura 4.2.

La interpretación se lleva a cabo según la escala de colores que se presenta en la segunda columna del gráfico, la cual va del azul al rojo. Cuando se ve el color azul significa que el pozo se encuentra limpio, si no se obtiene este color significa que el pozo no está totalmente limpio. En la tercera columna se observa el valor en porcentaje de la costra remanente, con esta columna se tiene la expresión numérica de la limpieza, es decir, que mientras se avance en la escala de colores mayor será el porcentaje remanente de la costra, si esta no disminuye hasta por lo menos un 20%, esto se interpreta como que se debe hacer una nueva circulación de un bache de píldoras o un segundo viaje de limpieza según las condiciones del pozo al momento de hacer el trabajo.

FIGURA 4. 2. SIMULACIÓN DE LA LIMPIEZA DEL POZO EDYA-054 CON PÍLDORAS VISCOSAS DE 3 LB/BL

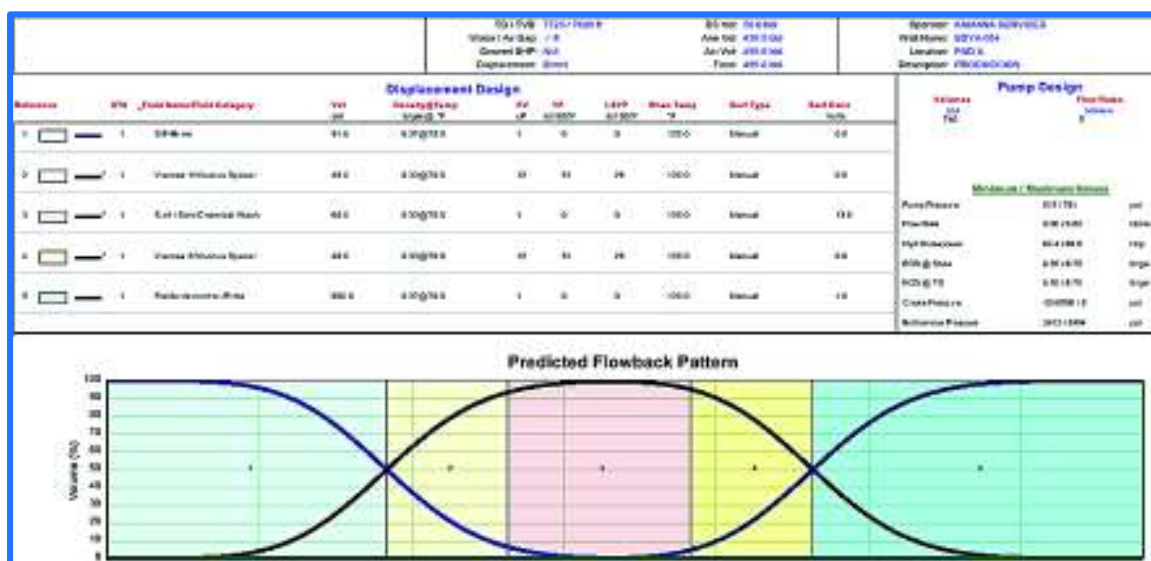


Elaborado por: Ana López

En la figura 4.2 se observa que la simulación fue hecha con la píldora viscosa de 3 lb/bl y el caudal asumido es de 4 BPM. Se puede concluir que la limpieza se ha realizado de la forma correcta, el espesor de la costra formada en el casing está prevista en 0,0023 in lo cual equivale aproximadamente al 5% del espesor inicial. Si la línea de descarga a la estación presenta limitaciones y se debe bajar el valor del caudal de bombeo, entonces se recomienda subir la concentración de la píldora a 3,5 lb/bl para mejorar el acarreo de los residuos en el pozo a esa velocidad.

Del gráfico de salida FBP (figura 4.3), se obtiene la información del orden de los fluidos bombeados, la concentración del surfactante y los resultados de los cálculos de viscosidad plástica, viscosidad LSRV y del punto cedente. También tiene los datos del comportamiento de la bomba según el caudal y los volúmenes seleccionados también son obtenidos en este gráfico, los valores calculados por el software de presión máxima y mínima, potencia, densidad equivalente y presión de fondo se muestran en esta tabla. Estos datos son de utilidad para el análisis de los límites físicos de los equipos en locación. La gráfica final de la figura muestra como es el desplazamiento de los fluidos que ingresan en el pozo. Se observa que el DIF (fluido presente en el pozo) se mueve, conforme avanza la simulación el %Volumen del DIF disminuirá, mientras los demás fluidos ingresan en el pozo incrementando el valor del %Volumen de los fluidos de limpieza. La escala de colores representa cada uno de los fluidos, el orden en el que fueron bombeados y su volumen en barriles, lo cual es de utilidad para determinar el volumen del fluido de control a bombear. Si el pozo se limpia de la forma esperada todo el arreglo de píldoras de limpieza seguirá una sola curva como se observa en la figura 4.3, sin embargo si la limpieza no se lleva de manera uniforme por la geometría del pozo se observarán desfases en estas curvas.

FIGURA 4. 3. GRÁFICA DE PATRON DE FLUJO Y DATOS DE DISEÑO DEL POZO EDYA-054



Elaborado por: Ana López

4.3.2. POZO EDYT-158H

4.3.2.1. Antecedentes del pozo

Los datos del pozo se detallan en las tablas 4.10 y 4.11 respectivamente.

**TABLA 4. 10.
CARACTERÍSTICAS DEL POZO EDYT-158H**

| Perfil del pozo | Inclinación Máxima | | TD (ft, MD) | Fecha de Completación |
|--------------------|--------------------|------------|-------------|-----------------------|
| | Grados (°) | Prof. (ft) | | |
| Direccional Tipo S | 92,78 | 11048 | 11542 | 2-Mar-12 |

Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

**TABLA 4. 11.
CONFIGURACIÓN MECÁNICA DEL POZO EDYT-158H**

| Csg. De Producción | | Liner de Producción | | |
|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------|-----------------------|
| Descripción | Prof. Zapata (ft, MD) | Descripción | TOL (ft, MD) | Prof. Zapata (ft, MD) |
| 9 5/8", N-80, 47#/ft | 8707 | 7", P-110, 26#/ft | 8507 | 10755 |

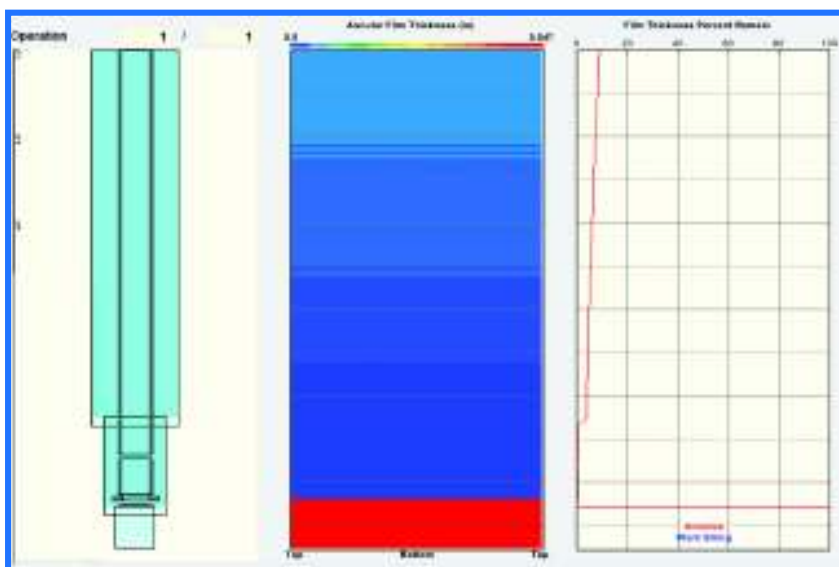
Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

4.3.2.2. Resultados de la simulación de desplazamiento de fluidos

Este pozo tiene un ángulo de inclinación alto, está ubicado dentro del rango de dificultad de la limpieza Alta, es un pozo horizontal que tiene un tramo sin revestir y por lo tanto su limpieza fue compleja por la presencia de residuos de la formación en el pozo.

Tomando en cuenta estos datos se puede concluir que la mejor concentración para las píldoras viscosas de este pozo será la de 3 lb/bl, con una píldora surfactante al 13% de concentración v/v, y con fluido de control con concentración de surfactante del 0,5% al 1% v/v adicionalmente se recomienda que el caudal mínimo de bombeo sea 4 BPM. La simulación se observa en la figura 4.4

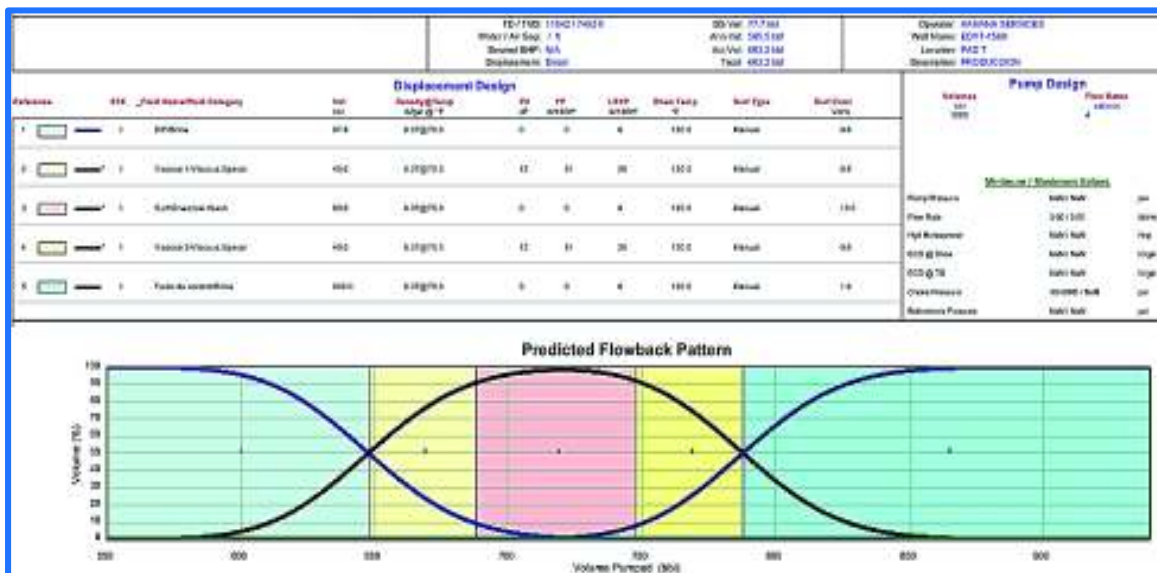
FIGURA 4. 4. SIMULACIÓN DE LA LIMPIEZA DEL POZO EDYT-158H CON PÍLDORAS VISCOSAS DE 3 LB/BL



Elaborado por: Ana López

De la figura 4.4 se concluye que la limpieza del pozo realizada con una píldora viscosa de 3 lb/bl de concentración es muy buena, el espesor de la película remanente tiene un valor del 10%, lo que equivale a 0,0047 in. La píldora tendrá mejores resultados cuando el caudal sea mayor. La gráfica FBP se observa a continuación en la figura 4.5.

FIGURA 4. 5. GRÁFICA DE PATRON DE FLUJO Y DATOS DE DISEÑO DEL POZO EDYT-158H



Elaborado por: Ana López

En la figura 4.5 se puede observar que la velocidad máxima de bombeo es de 3 BPM, es decir, que un caudal mayor no es recomendando para el tipo de bombas que tienen una presión máxima de 1000 psi. Si la bomba no tiene esta limitación la limpieza puede ser llevada a cabo con las recomendaciones anteriores.

4.3.3. POZO EDYF-105A

4.3.3.1. Antecedentes del pozo

Los datos del pozo se detallan en las tablas 4.12 y 4.13 respectivamente.

TABLA 4. 12.
CARACTERÍSTICAS DEL POZO EDYF-105A

| Perfil del pozo | Inclinación Máxima | | TD (ft, MD) | Fecha Completación | Fecha Último Reacond. |
|--------------------|--------------------|------------|-------------|--------------------|-----------------------|
| | Grados (°) | Prof. (ft) | | | |
| Direccional Tipo J | 50,9 | 3534,1 | 10037,4 | 7-Nov-08 | 14-Dec-14 |

Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

TABLA 4. 13.
CONFIGURACIÓN MECÁNICA DEL POZO EDYF-105A

| Csg. De Producción | | Liner de Producción | | |
|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------|-----------------------|
| Descripción | Prof. Zapata (ft, MD) | Descripción | TOL (ft, MD) | Prof. Zapata (ft, MD) |
| 9 5/8", N-80, 47#/ft | 8295 | 7", P-110, 26#/ft | 8079,51 | 10097,63 |

Fuente: KAMANA SERVICES

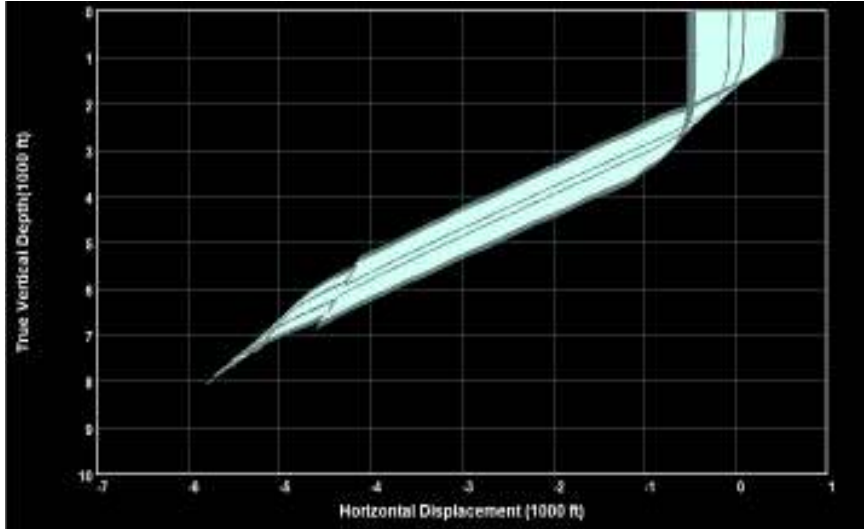
Elaborado por: Ana López

4.3.3.2. Resultados de la simulación de desplazamiento de fluidos

Este pozo tiene un ángulo de inclinación alto, está ubicado dentro del rango de dificultad de la limpieza Muy alta, la limpieza es compleja por la presencia de los altos ángulos en donde se forman grandes camas de recortes. Si revisamos el survey del pozo se observa que aproximadamente a la profundidad de 2000 ft los ángulos son mayores a los 33° y siguen creciendo hasta que alcanzan los 50,9°, donde se mantiene en ese rango +/- 2°. Después a la profundidad aproximada de

9200 ft el ángulo de inclinación vuelve a los 30°, lo que se puede observar en la figura 4.6:

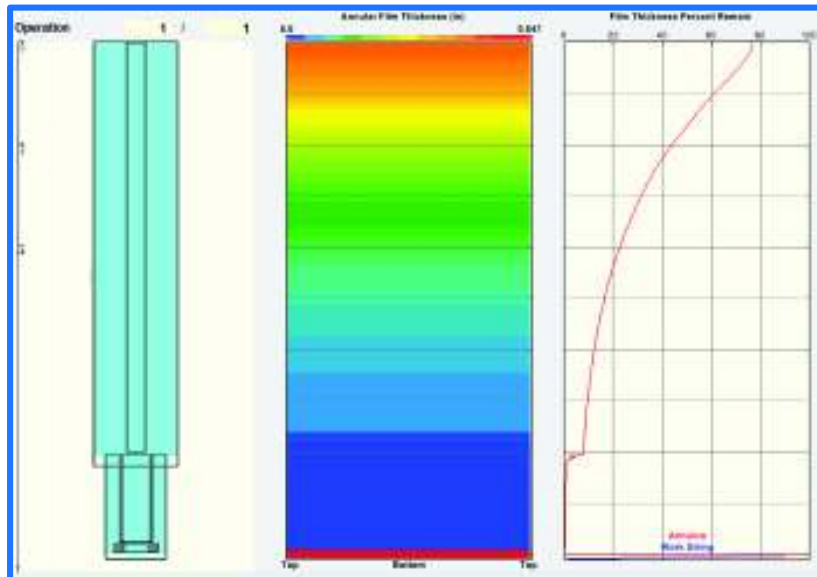
FIGURA 4. 6. SURVEY DEL POZO EDYF-105A



Elaborado por: Ana López

La simulación de este pozo con las píldoras viscosas con la concentración de 3,5 lb/bl y un caudal de mínimo 4 BPM se muestra en la figura 4.7:

FIGURA 4. 7. SIMULACIÓN DE LA LIMPIEZA DEL POZO EDYF-105A CON PÍLDORAS VISCOSAS DE 3,5 LB/BL

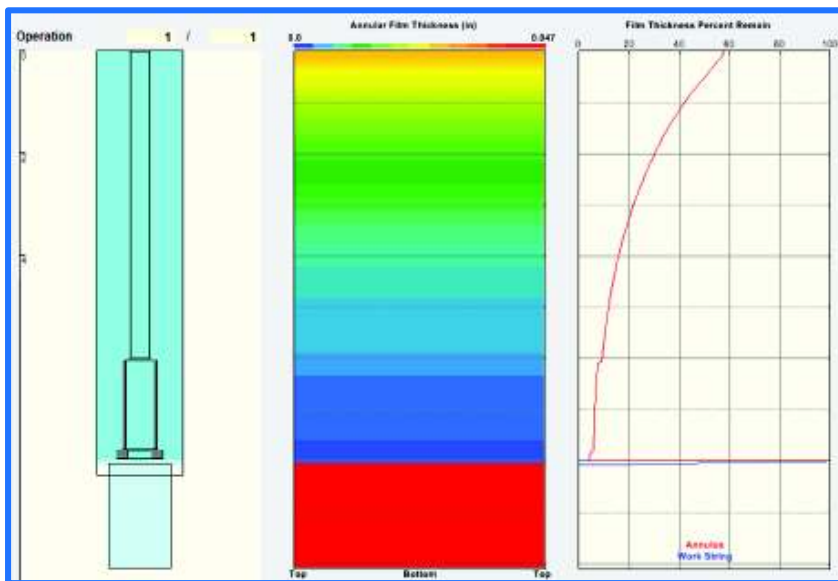


Elaborado por: Ana López

Como se observa en la figura 4.7 la limpieza del pozo no se ha realizado en su totalidad, especialmente en la parte inicial del pozo. Esto se debe a los altos ángulos de inclinación que posee el pozo.

También se observa que la limpieza dentro del liner se lleva a cabo en su totalidad si se utilizan los parámetros fijados. Con esto en mente para mejorar la limpieza se recomienda hacer una circulación intermedia de 40 barriles de píldora viscosa, es decir, subir la sarta a aproximadamente a la profundidad de 7000 ft y circular esta píldora. Al aplicar esto, la simulación obtenida se muestra en la figura 4.8.

FIGURA 4. 8. SIMULACIÓN DE LA LIMPIEZA DEL POZO A 7000'

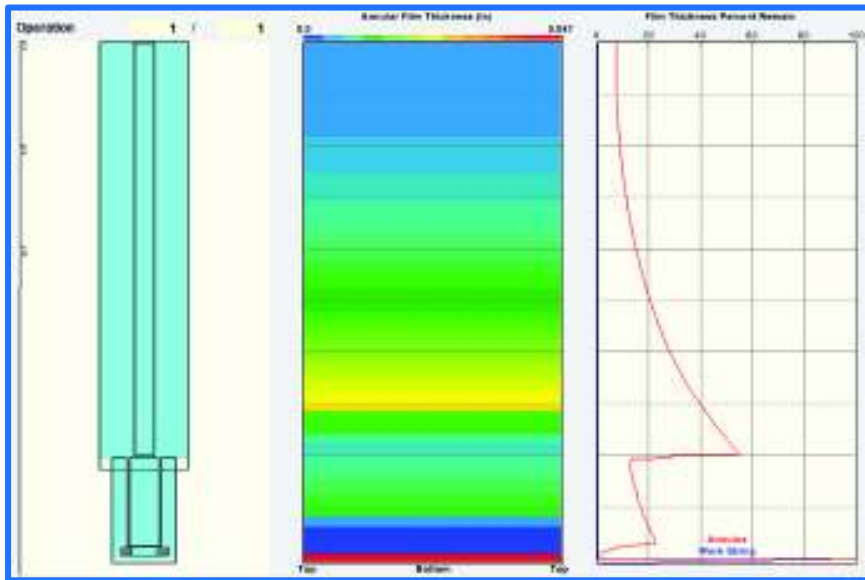


Elaborado por: Ana López

En la figura 4.8 se observa que el índice de espesor de la película sobrante tiene una disminución del 20% dentro de la tubería en la parte superior con respecto a la figura 4.7. Esto permite concluir que al hacer la circulación intermedia se puede reducir la costra remanente aproximadamente a 30% o 40% en los primeros 2000 ft de profundidad de la tubería y lo restante reducirlo a un 10% del espesor obtenido en la figura 4.7. Al ser un pozo tan complejo se recomienda usar las píldoras de 3,5 lb/bl o con una concentración mínima de 3 lb/bl, la píldora surfactante debe tener una concentración de 13% v/v y el fluido de control debe tener el 1% v/v de surfactante.

Otra de las opciones que se analizaron para mejorar la limpieza de este pozo fue la de hacer la circulación en reversa del bache de píldoras de limpieza, con 80 bls de píldoras viscosas de 3,5 lb/bl, la píldora surfactante con 13% v/v y el fluido de control con 1% v/v de surfactante, la simulación se muestra en la figura 4.9.

FIGURA 4. 9. SIMULACIÓN DE LA LIMPIEZA DEL POZO EDYF-105A CON CIRCULACIÓN EN REVERSA

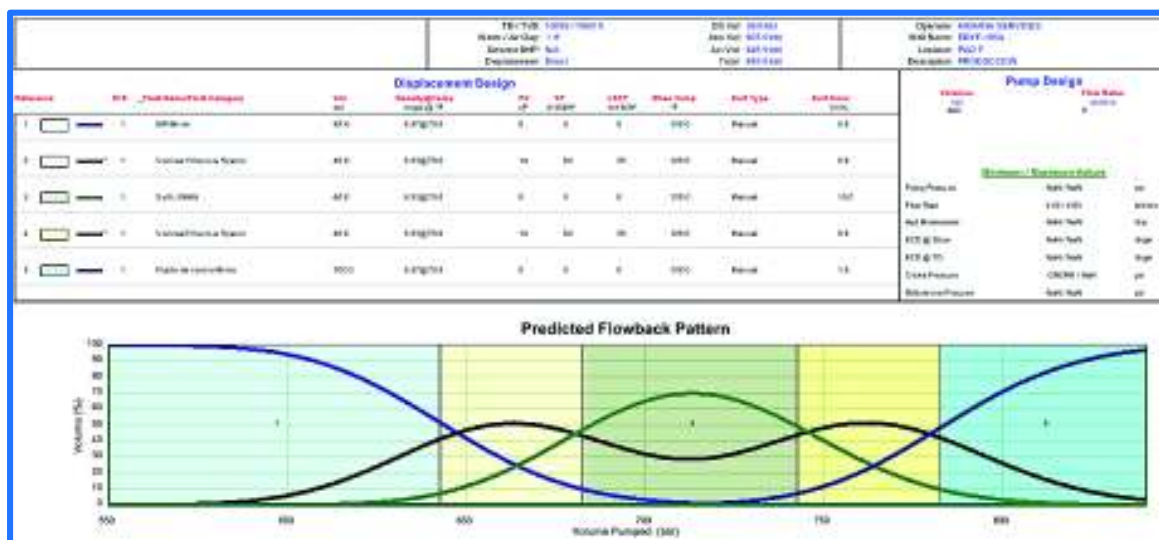


Elaborado por: Ana López

En la figura 4.9 se observa que el porcentaje del espesor de la película a limpiar llega a un valor máximo de 55%, lo cual a comparación de la figura 4.7 es mucho menor, sin embargo la simulación muestra que la limpieza no es uniforme y en ningún tramo de la tubería llega a tener un valor del 0% de espesor, lo cual puede llegar a causar problemas operativos. Como obstrucciones en la tubería, problemas de asentamiento de herramientas, pega de las herramientas o incluso errores en las correlaciones de profundidad. Los datos obtenidos a partir de los registros eléctricos son de vital importancia para la toma de decisiones en los trabajos de reacondicionamiento de los pozos del campo Edén Yuturi, ya que con esta información se dicta la operación a seguir a continuación, por ejemplo, con los registros se determina si el pozo necesita una cementación squeeze o correlacionar la profundidad a la que se asientan los packers, entre otras operaciones.

La gráfica FBP se observa a continuación en la figura 4.10.

FIGURA 4. 10. GRÁFICA DE PATRON DE FLUJO Y DATOS DE DISEÑO DEL POZO EDYF-105A



Elaborado por: Ana López

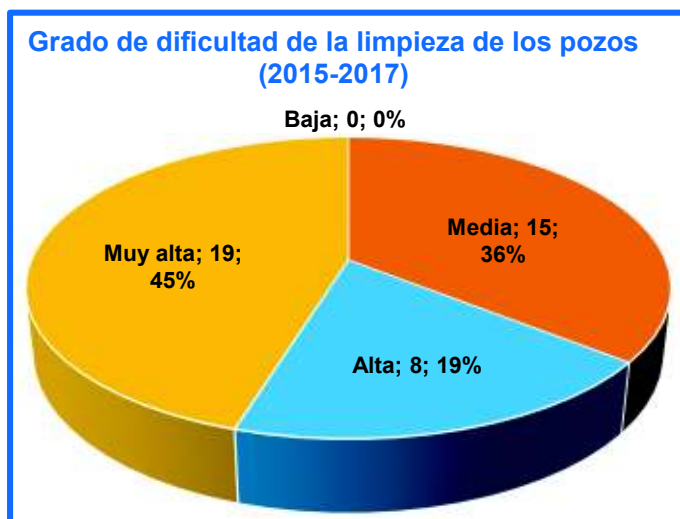
De la figura 4.10 se puede concluir que la velocidad máxima de bombeo es de 4 BPM, es decir, que un caudal mayor no es recomendando para el tipo de bombas que tienen una presión máxima de *1000 psi*.

4.4. ARREGLOS DE LAS HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS DE LIMPIEZA UTILIZADAS DURANTE LOS AÑOS 2015 A 2017

Desde el arranque de operaciones de servicios integrados con KAMANA SERVICES en el campo Edén Yuturi las configuraciones de las sartas de limpieza utilizadas han cambiado según las condiciones del pozo, las lecciones aprendidas y las tecnologías disponibles. El análisis para determinar las configuraciones más eficientes a usar durante la operación de limpieza se basa en la clasificación de los pozos según el grado de dificultad de la limpieza (ver Tabla 2.3), el tipo de trabajo realizado (reacondicionamiento o completación), la configuración mecánica del pozo, el tiempo en que se armó y se desarmó el arreglo y los residuos recogidos.

La data utilizada en este estudio es de un total de 42 pozos entre los cuales se tiene 39 trabajos de intervención y 3 trabajos de completación. En la figura 4.11 se observa la clasificación de los trabajos realizados según el grado de dificultad de la limpieza.

FIGURA 4. 11. NÚMERO DE POZOS SEGÚN EL GRADO DE DIFICULTAD DE LA LIMPIEZA EN LOS TRABAJOS REALIZADOS DE 2015 A 2017



Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

De la figura se concluye que un total de 19 pozos que corresponde al 45% de los trabajos realizados, incluyendo reacondicionamiento y completación, están dentro de los trabajos con un grado de dificultad de limpieza *Muy Alta*. También se observa que a lo largo del proyecto no se han presentado pozos con un grado de dificultad de la limpieza *Baja*.

Las configuraciones mecánicas de pozo que se han utilizado para agrupar los arreglos de sartas de limpieza son:

- Casing de 9 5/8" hasta TD.
- Casing de 9 5/8" + liner de 7".

Para la primera configuración mecánica (Csg. 9-5/8" @ TD) se han conformado dos arreglos de sartas, los cuales se muestran en la tabla 4.14:

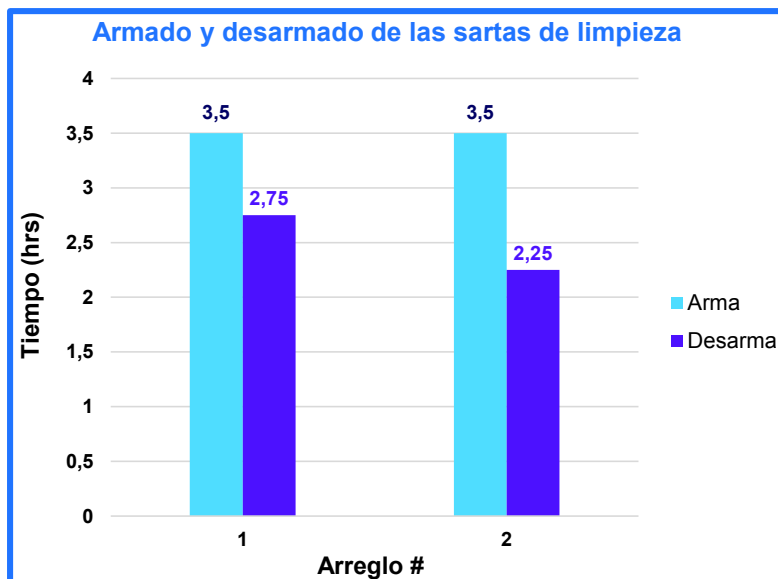
TABLA 4. 14
ARREGLOS DE SARTA DE LIMPIEZA PARA POZOS CON CSG 9-5/8" A TD

| Arreglo # | Punta | Herramientas especializadas Casing 9 5/8" |
|-----------|------------------|--|
| 1 | Broca/Taper Mill | Razor Back + Magnostar |
| 2 | | (2) Junk Basket + Razor Back + (2) Magnostar |

Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Los tiempos de armado y desarmado de estos arreglos de sarta de limpieza se pueden visualizar en la figura 4.12:

FIGURA 4. 12. TIEMPO DE ARMADO Y DESARMADO DE LAS SARTAS DE LIMPIEZA PARA POZOS CON CSG. 9-5/8" @ TD



Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Para la segunda configuración mecánica (Csg. 9-5/8" + liner 7"), los arreglos de herramientas especializadas para la limpieza utilizadas en sartas se detallan en la tabla 4.15:

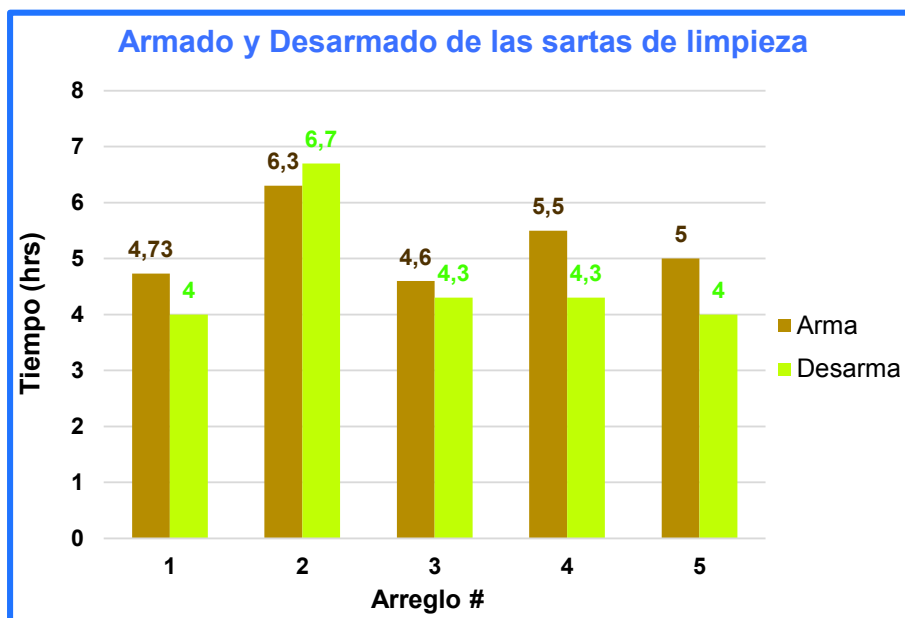
TABLA 4. 15. ARREGLOS DE SARTAS DE LIMPIEZA PARA POZOS CON CSG. 9-5/8" Y LINER 7"

| Arreglo # | Punta | Herramientas especializadas | |
|-----------|----------------------------|--|--|
| | | Liner 7" | Casing 9 5/8" |
| 1 | Broca/Taper Mill/Junk Mill | Razor Back + Magnostar | Razor back + Magnostar |
| 2 | | Multiback + (2) Magnostar | Multiback + (2) Magnostar + Wellpatroler |
| 3 | | Razor Back + (2) Magnostar | Razor Back + (2) Magnostar |
| 4 | | Razor Back + (2) Magnostar | Razor Back + Magnostar + Wellpatroler |
| 5 | | (2) Junk Basket + Razor Back + (2) Magnostar | Razor Back + (2) Magnostar |

Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Los tiempos de armado y desarmado de estos arreglos de sarta de limpieza se pueden visualizar en la figura 4.13.

FIGURA 4. 13. TIEMPO DE ARMADO Y DESARMADO DE LAS SARTAS DE LIMPIEZA PARA POZOS CON CSG 9-5/8" + LINER 7"



Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

4.4.1. HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS DE LIMPIEZA Y CALIBRACIÓN

Las herramientas especializadas que han sido usadas a lo largo de los años 2015 – 2017 fueron:

4.4.1.1. *Razor Back (Raspador)*

Este dispositivo posee un mandril principal de una sola pieza con lantern de hoja metálica autocentrante y cobertura no rotativa de 360° y estabilizadores en espiral derecho con ranuras para derivación de fluidos y escombros, lo cual puede verse en la figura 4.14. Esta herramienta elimina la cubierta de cemento, limallas, escala de tubería, el riesgo de desgaste / daño del casing provocado por los estabilizadores o cuchillas durante la rotación y mejora la acción de limpieza química.

Funcionamiento:

La herramienta debe ser corrida con una velocidad máxima para bajar en hoyo / sacar de hoyo de 150 ft/min, y debe colocarse al menos a 30 ft por encima de la broca / moedor y colocar de modo que no pase por ningún accesorio perforado,

como collares de asentamiento o flotadores. La sarta debe levantarse regularmente para circular por el fondo y eliminar los restos acumulados. En donde sea posible, el OD de la broca o moedor debe ser mayor que el OD del estabilizador de la herramienta. Si esto no es posible, se recomienda que se corra un moedor de calibre completo por debajo del primer raspador en sarta de fondo.

FIGURA 4. 14. RAZOR BACK (RASPADOR)



Fuente: M-I SWACO

4.4.1.2. *Magnostar (Magneto)*

El Magnostar fue diseñado para realizar limpiezas de gran volumen en sartas de alto torque, posee una ruta opcional de flujo para evitar las restricciones de la ruta de flujo cuando el magneto está lleno de escombros. El estabilizador se encuentra fijo en la caja para proporcionar un punto muerto cuando se saca la sarta del pozo, esto puede verse en la figura 4.15. Los diámetros de la herramienta varían desde 7" a 13-3/8" y posee la capacidad potencial para recuperar hasta 200 lb de material ferroso, los imanes resisten altos esfuerzos y temperatura de hasta 350°, adicionalmente son extraíbles.

Funcionamiento:

La herramienta se corre en combinación con otras herramientas de limpieza de pozos. El imán se puede girar y cambiar sin temor a dañar la herramienta o la tubería de revestimiento. Las cuchillas de la cubierta proporcionan un TFA alto para

la derivación del fluido alrededor de la herramienta. El estabilizador fijo proporciona un área segura lejos de la pared de la tubería de revestimiento para recoger los escombros al sacar la herramienta del orificio.

FIGURA 4. 15. MAGNOSTAR (MAGNETO)



Fuente: M-I SWACO

4.4.1.3. *Multiback*

Es una herramienta combinada utilizada para realizar la limpieza de la tubería de revestimiento. Esta herramienta combina las últimas tecnologías probadas de imanes, raspadores y cepillos en una herramienta simplificada y robusta que puede ser utilizada en viajes de acondicionamiento de pozos. La sección del imán es integral en la herramienta, mientras que las secciones del raspador y del cepillo son intercambiables. El diseño modular de la herramienta multiBack le permite al usuario configurarla para aplicaciones o requisitos específicos. La herramienta posee una sección de imán integral para capturar restos ferrosos, raspadores para desprender los desechos difíciles de remover y cepillos para mover la película y cualquier otra acumulación de fluido en la pared interior de la tubería de revestimiento. La herramienta se visualiza en la figura 4.16.

Funcionamiento:

Se corre en el pozo como una herramienta convencional. Las uniones (tornillos) de la unidad del cepillo y el raspador son flexibles, no giratorias, y proporcionan la fuerza para contactar y limpiar 360° del diámetro interno de la tubería. Su diseño autocentrante garantiza la misma fuerza de limpieza en todos los ángulos de inclinación. La sección del imán comprende un mandril con aletas que permiten grandes canales de flujo entre ellos, los imanes se instalan en las caras interiores de las aletas utilizando un método para retener los imanes individuales de modo que la suciedad se acumule en los canales. Su capacidad de recobro de material ferroso es de hasta 67 lb (41 kg).

FIGURA 4. 16. MULTIBACK

Fuente: M-I SWACO

4.4.1.4. Well Patroller (Filtro)

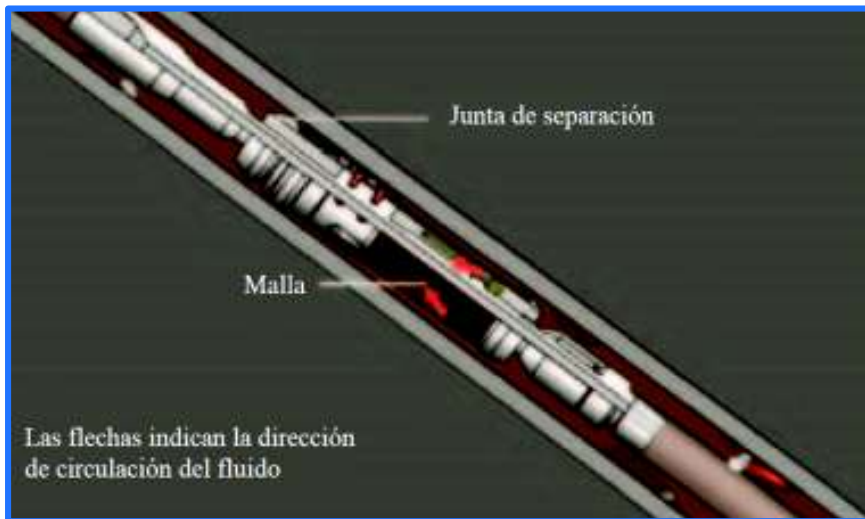
Esta herramienta es un filtro de fondo de pozo, es utilizada durante el acondicionamiento de pozos y fue desarrollada para su uso durante las operaciones previas a la completación o de desplazamiento, donde se requiere un alto grado de limpieza y validación de la misma. Posee una pantalla de 600 micras para filtrar efectivamente los escombros, no requiere bolas ni dardos para su activación, el

TFA de la herramienta es alto y su disco de ruptura alivia la presión si el filtro está obstruido o lleno. Esta herramienta se puede observar en la figura 4.19. La herramienta completa la operación de desplazamiento filtrando el fluido en el pozo mientras sale y, como resultado, valida la limpieza del pozo. Debe colocarse en el pozo junto con otras herramientas de limpieza del pozo, como un cepillo, raspador y el magneto.

Funcionamiento:

Mientras la sarta de trabajo se corre en el pozo, el separador limpia el diámetro interior del revestidor y obliga a que todo el fluido del pozo pase a través de la herramienta desde el fondo. El desplazamiento se lleva a cabo de la manera habitual con el fluido en el anular pasando entre el mandril y la pantalla de filtro. Cuando la circulación se completa y la sarta se saca del pozo, el separador limpia el diámetro interior de la tubería de revestimiento y dirige todo el fluido hacia la pantalla de filtro, como se observa en la figura 4.17.

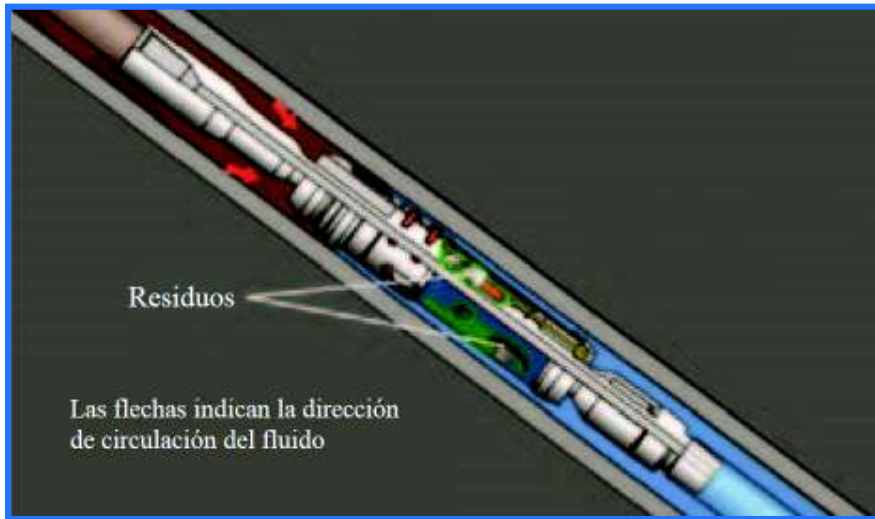
FIGURA 4. 17. PASO DE FLUIDO A TRAVÉS DEL WELL PATROLLER



Fuente: M-I SWACO

Como las válvulas se encuentran cerradas en ese momento todo el fluido se filtra a través de la pantalla quedando los sólidos dentro de la pantalla de filtro. Como se ve en la figura 4.18.

FIGURA 4. 18. OPERACIÓN DE RECUPERACIÓN DE LA SARTA CON WELL PATROLLER



Fuente: M-I SWACO

Si el pozo se limpió correctamente, debe haber muy poco material capturado en la herramienta, validando así que la limpieza se realizó por completo y se puede seguir con la siguiente operación.

FIGURA 4. 19. WELL PATROLLER (FILTRO DE POZO)

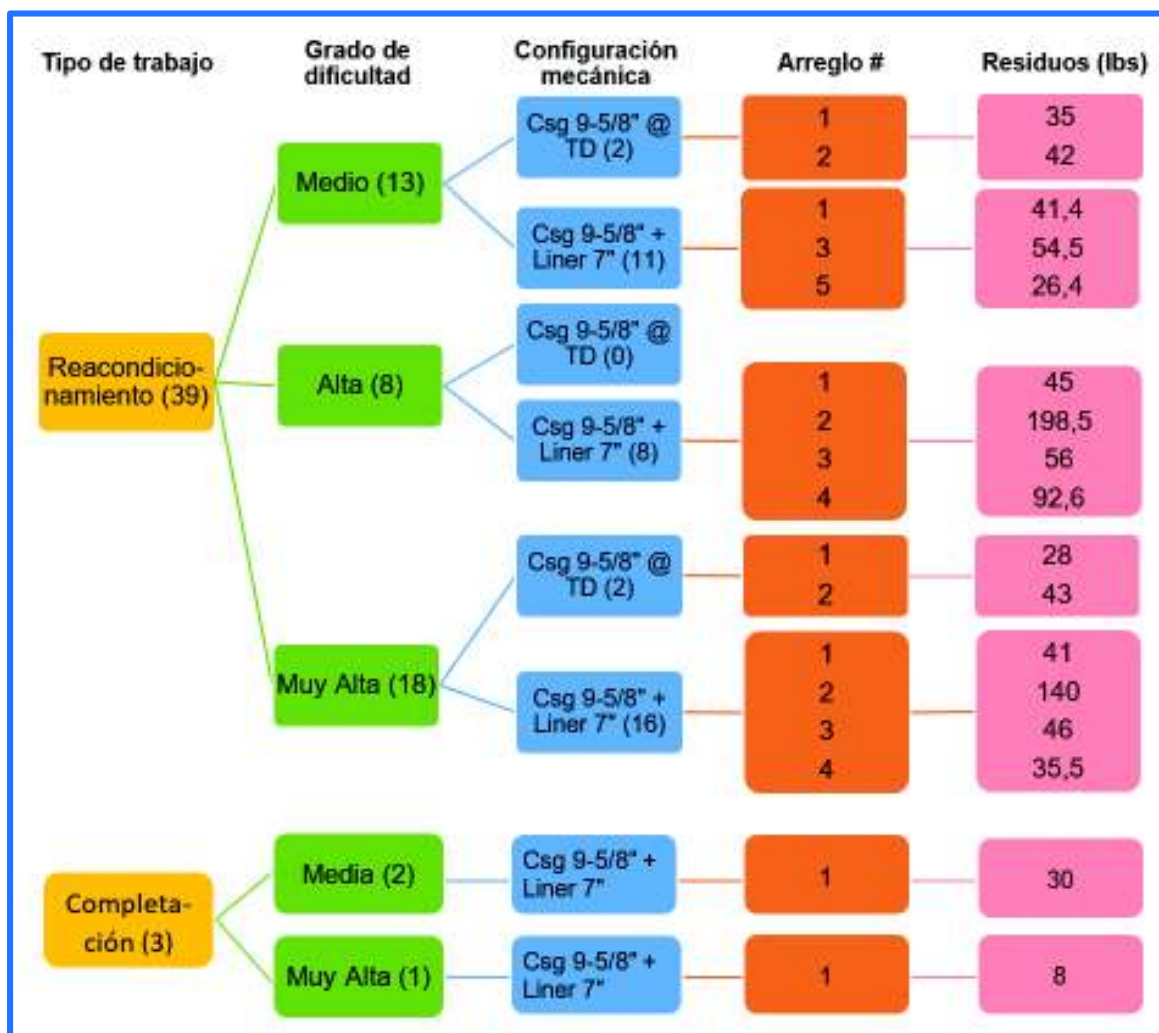


Fuente: M-I SWACO

4.5. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LAS HERRAMIENTAS ESPECIALIZADAS EN LAS SARTAS PARA LA LIMPIEZA DEL POZO

El análisis del desempeño de las sartas utilizadas a lo largo de los años 2015 – 2017 se realizó en base a los parámetros mostrados en la figura 4.20:

FIGURA 4. 20. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS SARTAS DE LIMPIEZA



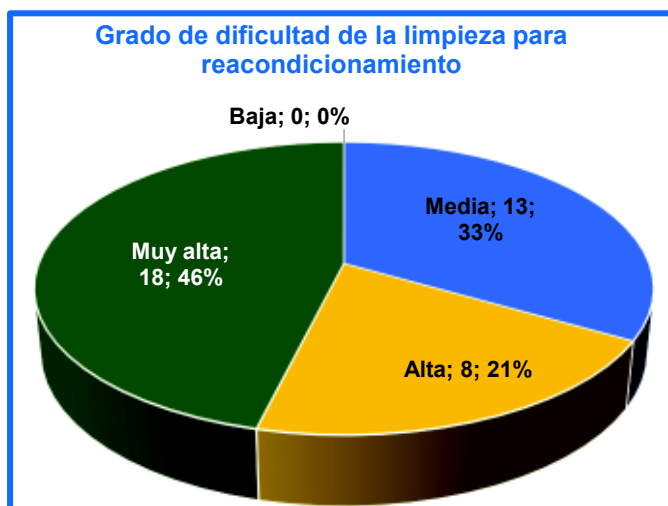
Elaborado por: Ana López

Como se observa en la figura 4.20 el análisis del desempeño de las herramientas especializadas de limpieza se hará dividiendo los pozos según el tipo de trabajo realizado, la dificultad de la limpieza y según la configuración mecánica de los pozos.

4.5.1. TRABAJOS DE REACONDICIONAMIENTO

Los primeros análisis realizados se harán a los pozos en los que se han hecho trabajos de reacondicionamiento en el campo Edén Yuturi. Como se ha establecido anteriormente se presentan 39 trabajos de reacondicionamiento con los grados de dificultad media, alta y muy alta. Lo cual puede ser observado en la figura 4.21:

FIGURA 4. 21. DIVISIÓN DE POZOS SEGÚN EL GRADO DE DIFICULTAD DE LA LIMPIEZA PARA LOS TRABAJOS DE REACONDICIONAMIENTO



Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

4.5.1.1. *Análisis del desempeño de las sartas en pozos de grado de dificultad de la limpieza media*

Los pozos que conforman el grado de dificultad medio representan el 36% de los pozos totales que han sido intervenidos a lo largo del proyecto. Lo que se traduce en un valor de 11 pozos y 13 trabajos de intervención. En esta categoría se pueden encontrar pozos con configuraciones mecánicas de Casing de 9-5/8" @ TD y de Casing de 9-5/8" + liner de 7".

4.5.1.1.1. *Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" @ TD.*

Se conoce que dos pozos cumplen con estos parámetros de evaluación, los arreglos utilizados en los pozos con esta configuración mecánica son el uno y el dos, los cuales son:

- Arreglo #1: Broca/Taper Mill/Junk Mill + Razor Back + Magnostar
- Arreglo #2: Broca/Taper Mill/Junk Mill + (2) Junk Basket + Razor Back + (2) Magnostar

Los arreglos y el peso promedio de residuos recogidos se señalan en la tabla 4.16:

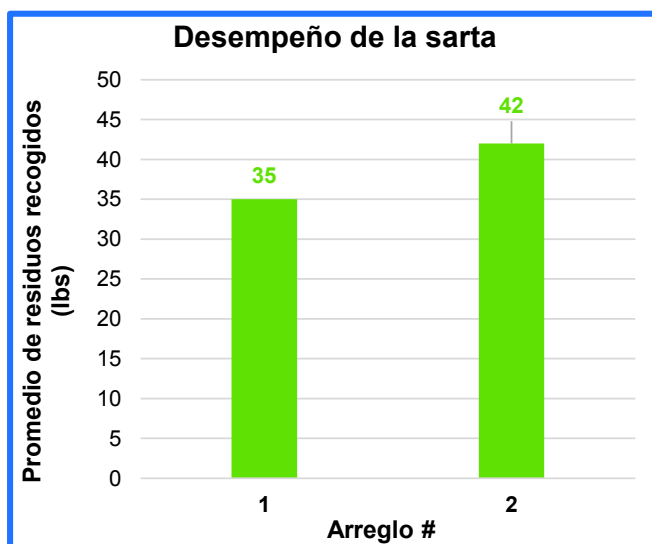
TABLA 4. 16.
RESIDUOS RECOGIDOS EN POZOS DE DIFICULTAD MEDIA Y CSG. 9-5/8" @ TD

| Arreglo # | No. Pozos | Prom residuos (lbs) |
|-----------|-----------|---------------------|
| 1 | 1 | 35 |
| 2 | 1 | 42 |

Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Estos valores se encuentran representados en la figura 4.22:

FIGURA 4. 22. RESIDUOS RECUPERADOS DURANTE LA LIMPIEZA EN POZOS DE DIFICULTAD MEDIA CON CSG. 9-5/8" @ TD



Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

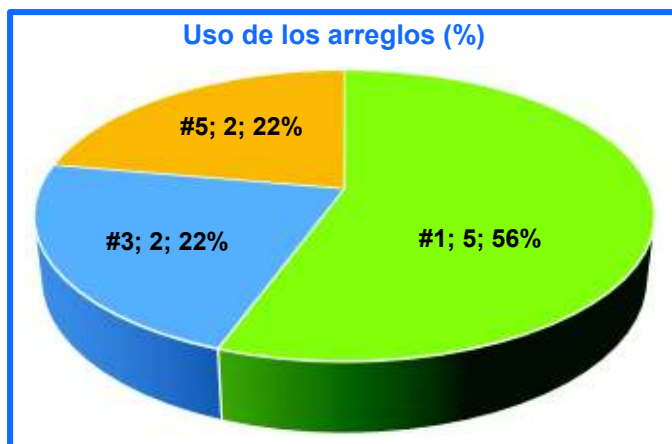
De la figura 4.20 se concluye que la segunda configuración es la que más residuos ha recogido, en conjunto con la información de la gráfica 4.12 en donde se observa que la segunda configuración también es la que menos tiempo toma para ser armada y desarmada se concluye que es la mejor opción para este tipo de pozos.

4.5.1.1.2. Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" + liner 7"

En este caso hay nueve pozos que cumplen con estos parámetros de evaluación, los arreglos utilizados en los pozos con esta configuración mecánica son tres. El uso que han tenido en los años 2015 a 2017 se observa en la figura 4.23 y estos arreglos son:

- Arreglo #1: Punta, 7" Razor Back + 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + 9-5/8" Magnostar
- Arreglo #3: Punta, 7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + (2) 9-5/8" Magnostar
- Arreglo #5: Punta, + (2) 5" Junk Basket + 7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + (2) 9-5/8" Magnostar

FIGURA 4. 23. PORCENTAJE DE USO DE LOS ARREGLOS EN POZOS DE DIFICULTAD MEDIA



Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

Los arreglos y el peso promedio de residuos recogidos se señalan en la tabla 4.17:

TABLA 4. 17. RESIDUOS RECOGIDOS EN POZOS DE DIFICULTAD MEDIA Y CSG. 9-5/8" + LINER 7"

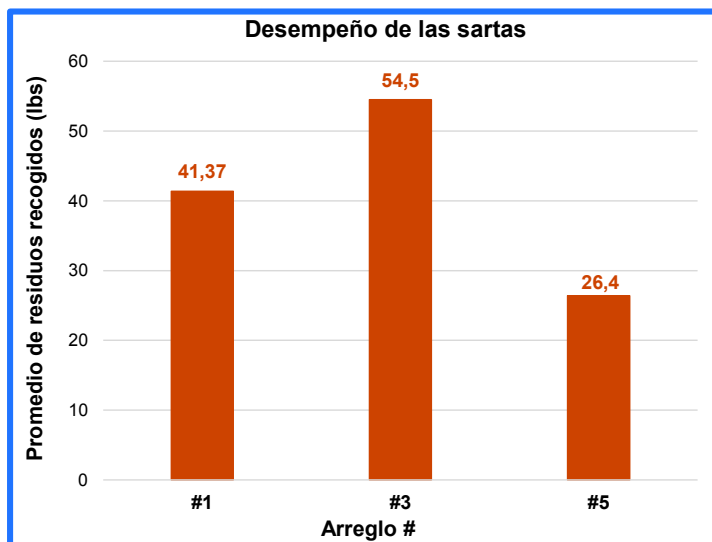
| Arreglo # | No. Pozos | Prom. Residuos (lbs) |
|-----------|-----------|----------------------|
| 1 | 5 | 41,37 |
| 3 | 2 | 54,5 |
| 5 | 2 | 26,4 |

Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

Los valores de la tabla 4.17 se encuentran representados en la figura 2.24:

FIGURA 4. 24. RESIDUOS RECUPERADOS DURANTE LA LIMPIEZA EN POZOS DE DIFICULTAD MEDIA CON CSG. 9-5/8" + LINER 7"



Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

De la figura 4.24 se concluye que el tercer arreglo es el que más recortes recoge, el tiempo de armado y desarmado para este arreglo observado en la figura 4.13 es de 8,9 horas en total. Considerando el tipo de pozo y la cantidad de residuos recogidos se concluye que para este tipo de pozos es recomendable utilizar el primer arreglo debido a el costo es menor y la diferencia de residuos es baja.

4.5.1.2. Análisis del desempeño de las sartas en pozos de grado de dificultad de la limpieza alta

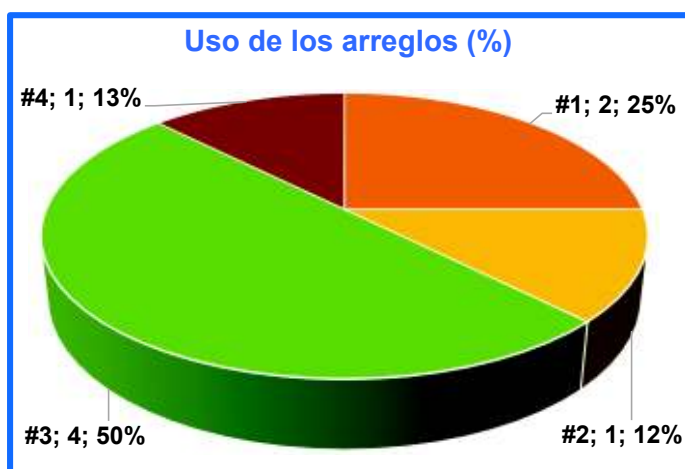
Los pozos que son clasificados en este grado de dificultad representan el 21% de los pozos totales en los que se ha hecho un trabajo de reacondicionamiento a lo largo del proyecto, es decir, un número de ocho pozos (Ver figura 4.21), los cuales presentan configuraciones mecánicas solamente de casing de 9 5/8" + liner de 7".

4.5.1.2.1. Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" + liner 7"

La información disponible es de ocho pozos de la muestra total, en los cuales se observó cuatro de los cinco arreglos, y el uso de estos en los años 2015 a 2017 se ve en la figura 4.25. Los arreglos son:

- Arreglo #1: Punta, 7" Razor Back + 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + 9-5/8" Magnostar
- Arreglo #2: Punta, 7" Multiback + 7" (2) Magnostar, 9 5/8" Multiback + 9 5/8" (2) Magnostar + Wellpatroller
- Arreglo #3: Punta, 7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + (2) 9-5/8" Magnostar
- Arreglo #4: Punta, 7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, 9 5/8" Razor Back + (2) 9 5/8" Magnostar + Wellpatroller

FIGURA 4. 25. PORCENTAJE DE USO DE LOS ARREGLOS EN POZOS DE DIFICULTAD ALTA



Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Los arreglos y el peso promedio de residuos recogidos se señalan en la tabla 4.18:

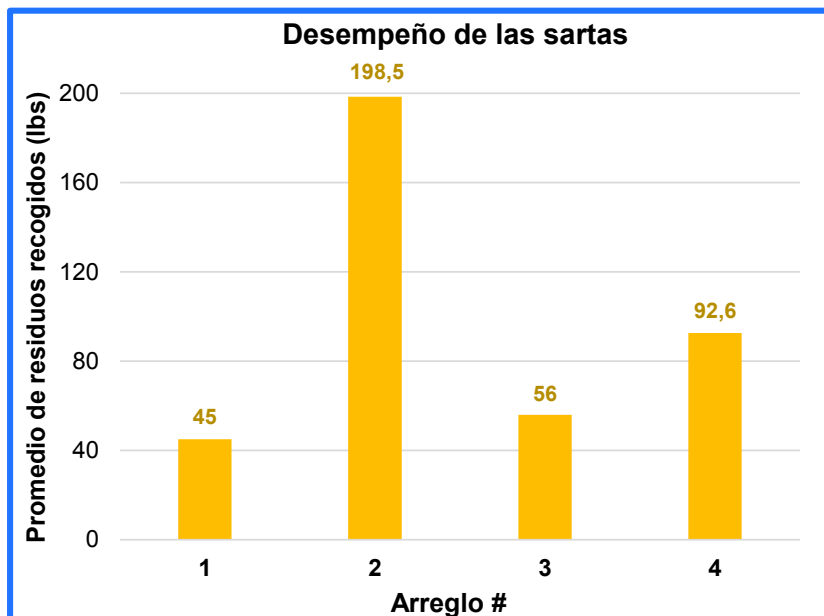
TABLA 4. 18. RESIDUOS RECOGIDOS EN POZOS DE DIFICULTAD ALTA Y CSG. 9-5/8" + LINER 7"

| Arreglo # | Pozos | Prom. residuos (lbs) |
|-----------|-------|----------------------|
| 1 | 2 | 45 |
| 2 | 1 | 198,50 |
| 3 | 4 | 56,00 |
| 4 | 1 | 92,60 |

Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Los valores de la tabla 4.18 se encuentran representados en la figura 4.26:

FIGURA 4. 26. RESIDUOS RECUPERADOS DURANTE LA LIMPIEZA EN POZOS DE DIFICULTAD ALTA CON CSG. 9-5/8" + LINER 7"



Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

De la figura 4.26 se concluye que la segunda configuración es la que mayor cantidad de residuos ha recogido, sin embargo con la figura 4.13 se ve que el tiempo de armado y desarmado total es el mayor tiempo de todos los arreglos (13 horas promedio), mientras que los otros arreglos tienen un promedio cercano al de nueve horas. También debe considerarse que el arreglo numero dos es el que más herramientas especializadas presenta, por lo tanto es el más costoso. Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se recomienda utilizar el cuarto arreglo, siendo este el segundo con la mayor cantidad de residuos recogidos y un promedio de armado y desarmado de nueve horas.

4.5.1.3. *Análisis del desempeño de las sartas en pozos de grado de dificultad de la limpieza muy alta*

Los pozos que conforman el grado de dificultad de la limpieza muy alta representan el 46% de los pozos, es decir, 18 pozos (ver figura 4.21) en los que se ha realizado trabajo de reacondicionamiento a lo largo del proyecto. En esta categoría se pueden encontrar pozos con las dos configuraciones mecánicas disponibles.

4.5.1.3.1. *Análisis del desempeño de las sartas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" @ TD*

Son un total de dos pozos de la muestra total para esta categoría, el promedio de residuos recogidos y los arreglos utilizados se señalan en la tabla 4.19.

- *Arreglo #1*: Punta, Razor Back + Magnostar
- *Arreglo #2*: Punta, (2) Junk Basket + Razor Back + (2) Magnostar

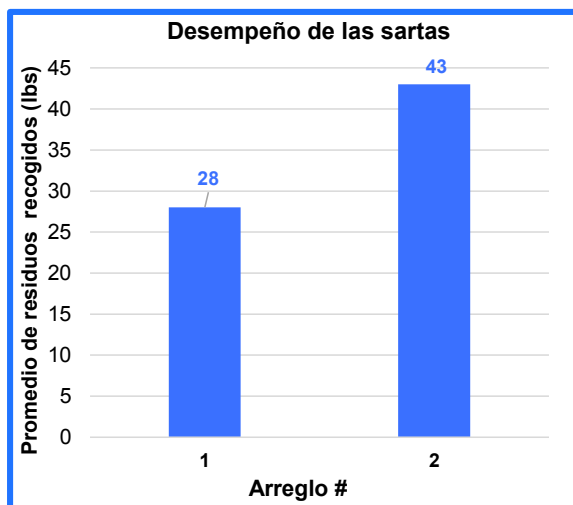
TABLA 4. 19.
RESIDUOS RECOGIDOS EN POZOS DE DIFICULTAD MUY ALTA Y CSG. 9-5/8" @ TD

| Arreglo # | Pozos | Prom residuos (lbs) |
|-----------|-------|---------------------|
| 1 | 1 | 28 |
| 2 | 1 | 43 |

Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Los valores de la tabla 4.19 se encuentran representados en la figura 4.27:

FIGURA 4. 27. RESIDUOS RECUPERADOS DURANTE LA LIMPIEZA EN POZOS DE DIFICULTAD MUY ALTA CON CSG. 9-5/8" @ TD



Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

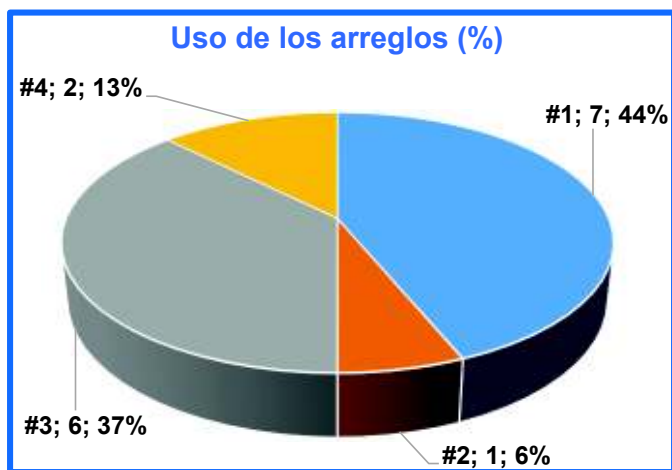
De la figura 4.27 se concluye que la segunda configuración es la que más residuos ha recogido, en conjunto con la información de la gráfica 4.12 en donde se observa que la segunda configuración también es la que menos tiempo toma para ser armada y desarmada se concluye que es la mejor opción para este tipo de pozos.

4.5.1.3.2. *Análisis del desempeño de las sargas de limpieza en pozos con configuración mecánica de casing de 9-5/8" + liner 7"*

Los pozos que tienen esta configuración mecánica representan el 89% de los pozos de dificultad de la limpieza muy alta, es decir, 16 pozos de la muestra total, en los cuales hay cuatro arreglos y su uso se ve en la figura 4.28. Los arreglos son:

- Arreglo #1: Punta, 7" Razor Back + 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + 9-5/8" Magnostar
- Arreglo #2: Punta, 7" Multiback + 7" (2) Magnostar, 9 5/8" Multiback + 9 5/8" (2) Magnostar + Wellpatroller
- Arreglo #3: Punta, 7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + (2) 9-5/8" Magnostar
- Arreglo #4: Punta, 7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, 9 5/8" Razor Back + (2) 9 5/8" Magnostar + Wellpatroler

FIGURA 4. 28. PORCENTAJE DE USO DE LOS ARREGLOS EN POZOS DE DIFICULTAD MUY ALTA



Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Los arreglos y el peso promedio de residuos recogidos se señalan en la tabla 4.20:

TABLA 4. 20. RESIDUOS RECOGIDOS EN POZOS DE DIFICULTAD MUY ALTA Y CSG. 9-5/8" + LINER 7"

| Arreglo # | Pozos | Prom residuos (lbs) |
|-----------|-------|---------------------|
| 1 | 7 | 41,03 |
| 2 | 1 | 140 |

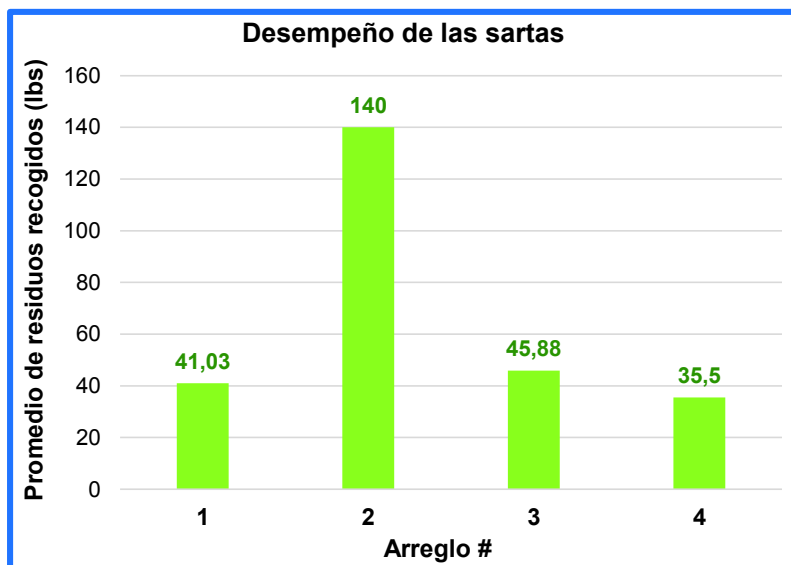
CONTINUACIÓN TABLA 4.20

| Arreglo # | Pozos | Prom residuos (lbs) |
|-----------|-------|---------------------|
| 3 | 6 | 45,88 |
| 4 | 2 | 35,5 |

Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

Los valores de la tabla 4.20 se representan en la figura 4.29:

FIGURA 4. 29. RESIDUOS RECUPERADOS DURANTE LA LIMPIEZA EN POZOS DE DIFICULTAD MUY ALTA CON CSG. 9-5/8" + LINER 7"



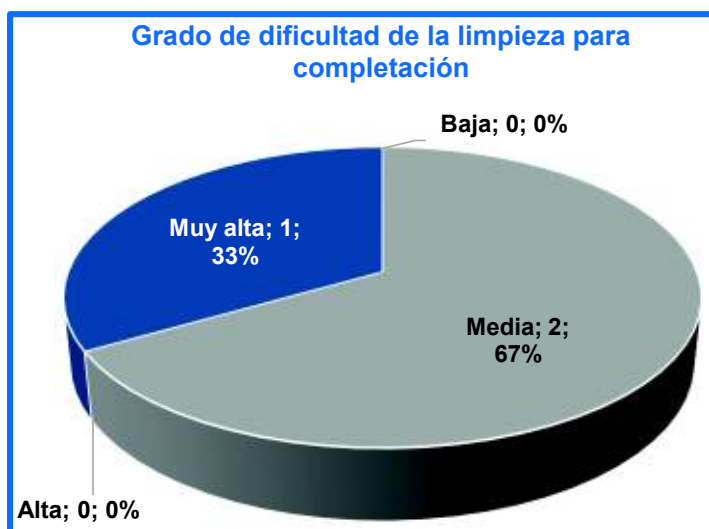
Fuente: KAMANA SERVICES
Elaborado por: Ana López

De la figura 4.29 se concluye que la segunda configuración es la que mayor cantidad de residuos ha recogido y con la figura 4.13 se ve que el tiempo de armado y desarmado total que requiere es el de mayor tiempo de todos los arreglos (13 horas promedio), mientras que los otros arreglos tienen un promedio cercano al de nueve horas. También debe considerarse que el arreglo numero dos es el que más herramientas especializadas presenta, por lo tanto es el más costoso. Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se recomienda utilizar el tercer arreglo, siendo este el segundo con la mayor cantidad de residuos recogidos y un promedio de armado y desarmado de nueve horas.

4.5.2. TRABAJOS DE COMPLETACIÓN

Finalmente los análisis realizados a los pozos en los que se han hecho trabajos de completación en el campo Edén Yuturi. Como se ha establecido anteriormente se presentan 3 trabajos con los grados de dificultad media y muy alta y todos presenta la configuración mecánica de casing 9-5/8" + liner de 7". La división de los grados de dificultad puede ser observada en la figura 4.30:

FIGURA 4. 30. DIVISIÓN DE POZOS SEGÚN EL GRADO DE DIFICULTAD DE LA LIMPIEZA PARA LOS TRABAJOS DE COMPLETACIÓN



Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

Los pozos que conforman la dificultad de la limpieza media representan el 67% de los pozos totales que han sido completados a lo largo del proyecto. Lo que se traduce en un valor de 2 pozos y de la dificultad de la limpieza muy alta representan el 33% de los pozos totales que han sido completados a lo largo del proyecto. Lo que se traduce en un valor de 1 pozo.

En este tipo de pozos solo se ha utilizado el arreglo #1 al igual que en el anterior por lo que el análisis hecho es de la situación global de los trabajos de completación.

- *Arreglo #1:* Punta, 7" Razor Back + 7" Magnostar, 9 5/8" Razor Back + 9 5/8" Magnostar

TABLA 4. 21.
RESIDUOS RECOGIDOS EN LOS TRABAJOS DE COMPLETACIÓN

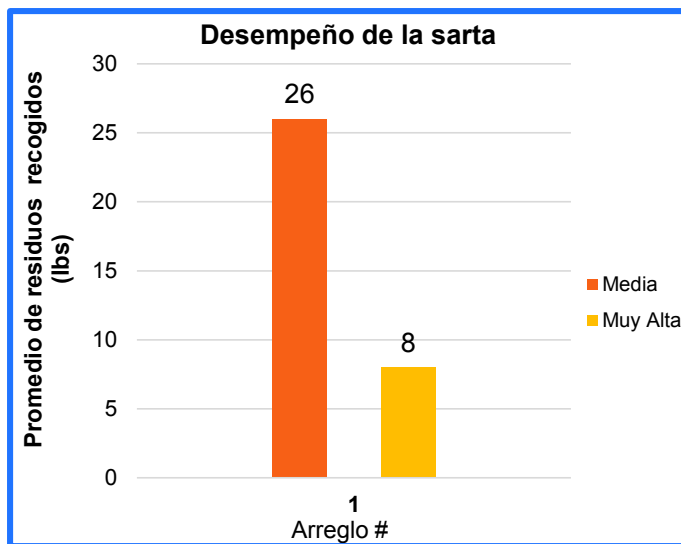
| Dificultad | Pozos | Arreglo # | Prom residuos (lbs) |
|------------|-------|-----------|---------------------|
| Media | 2 | 1 | 26 |
| Muy Alta | 1 | 1 | 8 |

Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

Los valores de la tabla 4.21 se representan en la figura 4.31:

FIGURA 4. 31. RESIDUOS RECUPERADOS DURANTE LA LIMPIEZA EN POZOS COMPLETADOS



Fuente: KAMANA SERVICES

Elaborado por: Ana López

De la figura 4.31 se observa que la cantidad de residuos recogidos es baja, considerando que los trabajos realizados han sido de completación de pozos se concluye que el arreglo #1 está sobredimensionado, es por ello que para este tipo de pozos se propone que la sarta de limpieza solo cuente con un *multiback* para cada sección del pozo a limpiar (9 5/8" + 7").

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El problema operativo más común en los pozos del campo Edén Yuturi es de obstrucciones en la tubería y el segundo más común es el asentamiento incorrecto de los empacadores.
- En el perfil del pozo, el factor de mayor importancia es el ángulo de inclinación ya que este indica el grado de la dificultad de la limpieza, el cual puede ser bajo (para pozos verticales), medio (pozos direccionales con ángulos entre 11° y 33°), alto (pozos con ángulos mayores a 60°) y muy alto (pozos con ángulos mayores a 33° y menores a 60°).
- El software de simulación es una herramienta clave para la evaluación de la limpieza del pozo con respecto a los fluidos de limpieza utilizados, sabiendo que mientras el remanente de la costra sea menor o igual al 10% (color azul en las gráfica de simulación) la limpieza será óptima.
- La goma xantana clarificada es el aditivo escogido para estos trabajos debido a que produce una alta viscosidad a muy baja velocidad de corte y esfuerzos de gel altos, pero frágiles (20/23 para concentraciones de 3 lb/bl y de 24/30 para las de 3,5 lb/bl). Estas propiedades brindan mayor suspensión y mejor limpieza del pozo, mejora la hidráulica, reduce el torque, ayuda a minimizar la invasión de filtrados y tiene una mayor estabilidad térmica.
- El comportamiento reológico de las píldoras viscosas de este estudio se ajusta con el descrito por la Ley Exponencial.
- La muestra de trabajos realizados en el proyecto es del 45% de trabajos de limpieza realizados fueron para pozos con un grado de limpieza muy alto, lo que puede indicar un patrón para los pozos presentes en el campo.
Trabajos de reacondicionamiento:
- De la selección de sartas de limpieza para pozos con configuración mecánica de casing de 9 5/8" @ TD se observa que el tiempo promedio de armado y desarmado es de 5,75 hrs (el menor de los arreglos evaluados para estos

pozos) para el arreglo #2 y también al ser el que mayor residuos recoge en los pozos de dificultad de limpieza media y muy alta, y por ello es la mejor opción para este tipo de configuración mecánica.

- De la selección de sartas de limpieza para los pozos de dificultad de la limpieza media con configuración mecánica de casing de 9 5/8" + liner de 7", se observa que los resultados obtenidos son bastante similares entre el primer y tercer arreglo, haciendo que la elección sea el arreglo #1, ya que el tiempo de armado y desarmado promedio es menor y presenta el menor número de herramientas especializadas y por ende el menor costo.
- De la selección de sartas de limpieza para los pozos de dificultad de la limpieza alta se observa que el segundo arreglo es el que más residuos recoge sin embargo su tiempo de armado y desarmado es el más alto (13 hrs), por lo que se recomienda usar el siguiente arreglo en cuanto a recolección de residuos y ese es el arreglo #4 ya que su tiempo de ensamblaje es 25% menos y también es menos costoso.
- De la selección de sartas de limpieza para los pozos de dificultad de la limpieza muy alta se observa que el segundo arreglo es el que más residuos recoge sin embargo su tiempo de armado y desarmado es el más alto (13 hrs), por lo que se recomienda usar el siguiente arreglo en cuanto a recolección de residuos y ese es el arreglo #3 ya que su tiempo de ensamblaje es 31% menos y también es menos costoso.

Trabajos de completación:

- De la selección de sartas de limpieza para hacer la completación de un pozo se concluye que el arreglo #1 está sobredimensionado, es por ello que para este tipo de pozos se propone que la sarta de limpieza solo cuente con un *multiback* para cada sección del pozo a limpiar.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para la selección de concentraciones de píldoras viscosas y surfactantes en el campo Edén Yuturi se recomienda el uso del software de desplazamiento de fluidos, con el fin de facilitar la toma de decisiones.

- Para pozos de dificultad de limpieza media y alta, las píldoras viscosas deben tener un rango de concentración de 3 lb/bl a 3,5 lb/bl y un volumen de 60 a 80 bls para obtener los resultados esperados.
- Para pozos de dificultad de limpieza muy alta, las píldoras viscosas deben tener un rango de concentración de 3,5 lb/bl a 4 lb/bl y un volumen de 80 bls, sin embargo, si en este tipo de pozos aparecen camas de recortes muy acentuadas lo recomendable sería hacer una circulación intermedio o un segundo viaje limpieza para asegurarse de que el espesor de la película remanente haya disminuido a un porcentaje aceptable.
- Para establecer la dirección de la circulación del fluido se debe verificar el tipo de punta (broca, taper mil, junk mill) a bajar y el perfil del pozo, si se va a bajar una broca no es recomendable circular en reversa ya que los escombros pueden taponar las toberas de la misma y si se tiene un pozo con altos ángulos de inclinación en los tramos superiores del mismo tampoco ya que esto aumenta la precipitación de sólidos a las partes inferiores del pozo y puede causar obstrucciones o pegas de herramientas.
- Se recomienda usar la herramienta Well Patroller para pozos en los que se vaya a realizar un primer trabajo de reacondicionamiento, y pozos horizontales que tengan tramos a hueco abierto con el fin de poder comprobar si la limpieza se ha realizado en su totalidad o se requiere de un viaje o circulación extra.
- Si se utiliza la *configuración 4* se recomienda no circular en reversa debido a que el Well Patroller no funcionará correctamente y no se podrá validar la limpieza.
- Se recomienda seguir actualizando la base de datos que se realizó en este estudio para poder hacer un seguimiento y comprobación de lo recomendado y concluido con esta investigación.
- Las configuraciones recomendadas para su uso en el campo Edén Yuturi son:

| Arreglo # | Punta | Herramientas especializadas | |
|-----------|-------------------------|-----------------------------|--|
| | | Liner 7" | Casing 9 5/8" |
| 1 | Broca/ Taper Mill | Razor Back + Magnostar | Razor Back + Magnostar |
| 3 | | Razor Back + (2) Magnostar | Razor Back + (2) Magnostar |
| 4 | | Razor Back + (2) Magnostar | Razor Back + Magnostar + Wellpatroler |
| 2 | | N/A | (2) Junk Basket + Razor Back + (2) Magnostar |

GLOSARIO

Balanza de Lodo: Una balanza de balancín usada para determinar la densidad del lodo. Se compone principalmente de una base, un balancín graduado con un vaso de volumen constante, una tapa, un caballero, un cuchillo y un contrapeso.

Bache de limpieza: Conjunto de fluidos de limpieza bombeados en un orden determinado.

Barril: Una unidad volumétrica de medición usada en la industria del petróleo, igual a 42 galones U.S.

Barril Equivalente: Una unidad de laboratorio usada para evaluar o probar los fluidos de perforación. Un gramo de material, al ser añadido a 350 mL de fluido, es equivalente a 1 lb de material añadido a un barril de fluido de 43 galones.

Caolinita: Una arcilla mineral muy común en la geología de la cuenca oriente, su estructura se asemeja a un conjunto de juego de barajas arregladas al azar, presenta sus aristas unidas en agregados compactos. Tiende a dispersarse y migrar creando puentes en las gargantas de los poros.

Centipoise (cP): Una unidad de viscosidad igual a 0,01 poise. Un poise es igual a 1 g por metro-segundo, y un centipoise es igual a 1 g por centímetro-segundo. La viscosidad del agua a 20°C es 1,005 cP (1 cP = 0,000672 lb/ft-seg.).

Circulación: El movimiento del fluido desde el tanque de succión, pasando a través de la bomba, la sarta, el espacio anular en el pozo, y luego regresando de nuevo al tanque de succión. El tiempo requerido suele ser llamado tiempo de circulación.

Circulación Inversa: El método que consiste en invertir el flujo normal de un fluido, circulando hacia abajo en el espacio anular y hacia arriba en la sarta.

Clorita: Es una clase de arcilla compuesta por hierro y magnesio, es sensible ante el ácido y aguas oxigenadas. Tiene una estructura química que se asemeja a la de un panal creando microporosidad en el reservorio, provocando que las fuerzas capilares se incrementen lo cual resulta en una alta saturación irreductible de agua y una baja permeabilidad de gas o crudo. Al contacto con un ácido estas arcillas se

disuelven con rapidez ocasionando la precipitación del hierro formando hidróxido férrico, el cual es viscoso y taponan los conductos porosos.

Contaminación: La presencia en un fluido de perforación de cualquier materia extraña que tienda a producir propiedades perjudiciales del fluido de perforación.

Corte (Esfuerzo de Corte): Una acción, resultante de las fuerzas aplicadas, que causa o tiende a causar el deslizamiento entre dos partes contiguas de un cuerpo, en una dirección paralela a su plano de contacto.

Darcy: Una unidad de permeabilidad. Un medio poroso tiene una permeabilidad de 1 darcy, cuando la presión de 1 átomo sobre una muestra de 1 cm de largo y 1 cm² de sección transversal, fuerza un líquido con una viscosidad de 1 cP a través de la muestra a la velocidad de 1 cm³ por segundo.

Densidad: Materia medida como masa por volumen unitario, expresado en libras por galón (lb/gal), kilogramos por litro (kg/l) y libras por pie cúbico (lb/ft³). Muchas veces se usa “peso” para hacer referencia a la densidad.

Densidad Equivalente de Circulación (ECD): Para un fluido en circulación, la densidad equivalente de circulación en lb/gal es igual al cabezal hidrostático (psi) más la caída total de presión anular (psi) dividida por la profundidad (ft) y por 0,052.

Esfuerzo de Gel, 10-Min. El esfuerzo de gel medido a 10 minutos de un fluido es la indicación máxima (deflexión) registrada por un viscosímetro de indicación directa, después de que el fluido haya permanecido estático por 10 minutos. Se reporta en lb/100 ft².

Esfuerzo de Gel Inicial: El esfuerzo de gel inicial medido de un fluido es la indicación máxima (deflexión) registrada por un viscosímetro de indicación directa, después de que el fluido haya permanecido estático por 10 segundos. Se reporta en lb/100 ft².

Espacio Anular: El espacio entre la columna de perforación y la pared del pozo o de la tubería de revestimiento.

Filtrado: El líquido forzado a través de un medio poroso durante el proceso de filtración.

Floculación: Asociación incoherente de partículas en grupos ligeramente enlazados, asociación no paralela de laminillas de arcilla. En suspensiones concentradas, como los fluidos de perforación, la floculación produce gelificación.

Fluido de Rehabilitación: Cualquier tipo de fluido usado durante la operación de rehabilitación de un pozo.

Flujo Tapón: El movimiento de un material como unidad, sin corte dentro de la masa. El flujo tapón es el primer tipo de flujo demostrado por un fluido plástico, una vez que ha superado la fuerza inicial requerida para producir el flujo.

Gel: Un estado de una suspensión coloidal en el que los esfuerzos de corte inferiores a un valor finito no pueden producir ninguna deformación permanente.

Gelificación: Asociación de partículas para formar una estructura continua.

Goma: Cualesquier polisacáridos hidrofílicos de plantas o sus derivados, que al dispersarse en agua, se hinchan para formar una dispersión o solución viscosa.

Gravedad API: La gravedad (peso por volumen unitario) del crudo u otros fluidos relacionados, medida con un sistema recomendado por el Instituto Americano del Petróleo (API).

Gravedad Específica: El peso de un volumen determinado de cualquier sustancia comparado con el peso de un volumen igual de agua a la temperatura de referencia.

Illita: Está constituida por arreglos de una lámina octaedral entre dos láminas tetraedrales. Su estructura se asemeja a agujas, genera microporosidad en el reservorio incrementando las fuerzas capilares. En presencia de estas arcillas la saturación de agua irreductible aumenta y la permeabilidad al gas o al petróleo disminuye. Esta arcilla también suele dispersarse y migrar provocando problemas de arrastre o taponamiento de los punzados en la zona productora.

Malla: Una medida de la finura de un material tejido, entramado o tamiz.

Montmorilonita: Una arcilla mineral comúnmente usada como aditivo en los lodos de perforación. La montmorilonita de sodio es el componente principal de la bentonita. La estructura de la montmorilonita está caracterizada por una forma que consiste en una hoja fina de tipo laminar con una anchura y amplitud indefinida, y

un espesor igual al de la molécula. El espesor unitario de la molécula se compone de tres capas. Iones se adhieren a la superficie, pudiendo ser reemplazados. La montmorilonita de calcio es el componente principal de las arcillas de bajo rendimiento.

Número de Reynolds: Un número adimensional, Re , que aparece en la teoría de dinámica de fluidos. El número es importante en los cálculos de hidráulica de fluidos para determinar el tipo de flujo de fluido, i.e., laminar o turbulento.

Pérdida de Presión: La pérdida de presión en un conducto o espacio anular, debido a la velocidad del líquido en el conducto, las propiedades del fluido, la condición de la pared de la tubería y la alineación de la tubería. En ciertos sistemas de mezcla de lodo, la pérdida de cabezal hidrostático puede ser considerable.

Recortes: Pequeños fragmentos de formación que resultan de la acción desbastadora, raspante y/o triturante de la barrena.

Salmuera: Agua saturada o con una alta concentración de sal común (cloruro de sodio); por lo tanto, cualquier solución salina fuerte que contiene otras sales como cloruro de calcio, cloruro de zinc, nitrato de calcio, etc.

Torque: Una medida de la fuerza o esfuerzo aplicado a un eje, causando su rotación. Esto se aplica especialmente a la rotación de la tubería de perforación, en lo que se refiere a su acción contra el calibre del pozo. El torque puede generalmente ser reducido mediante la adición de varios aditivos del fluido de perforación.

Velocidad Anular: La velocidad de un fluido que se desplaza en el espacio anular.

Viscosímetro: Un aparato para determinar la viscosidad de un fluido o una suspensión. Los viscosímetros tienen diseños y métodos de prueba muy variables.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akrong, J. A. (2010). *EFFECT OF PIPE ECCENTRICITY ON HOLE CLEANING AND WELLBORE HYDRAULICS*. Abuja.
- Ali, A., Blount, C., Hill, S., Pokhriyal, J., Weng, X., Loveland, M. J., . . . Zhou, W. (2005). Sistemas integrados de limpieza de pozos: Mejoramiento de la eficiencia y reducción del riesgo. 15.
- Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragán, R. (2004). *LA CUENCA ORIENTE: GEOLOGÍA Y PETRÓLEO*.
- Barragan, R. (1999). Estratigrafía Secuencial del Cretácico de la Cuenca de Oriente del Ecuador. En P. R. Baby, *La Cuenca de Oriente: Geología y Petróleo* (págs. 45-68). Quito.
- Barragan, R., Christophoul, F., White, H., & al, e. (2014). Estratigrafía Secuencial del Cretácico de la Cuenca de Oriente del Ecuador. En P. Baby, M. Rivadeneira, & R. Barragan, *La Cuenca de Oriente: Geología y Petróleo. Versión actualizada. Edición especial Conmemorativa por los 80 años de Schlumberger en el Ecuador* (págs. 55-79). Quito.
- Bizanti, M. S. (2003). A Simplified Hole Cleaning Solution to Deviated and Horizontal Wells.
- Bratland, O. (29 de Septiembre de 2010). *The Flow Assurance Site*. Obtenido de Introduction: <http://www.drbratland.com/PipeFlow2/chapter1.html>
- Briil, J. P., & Mukherjee, H. (1999). Multiphase-Flow Concepts. In J. P. Briil, & H. Mukherjee, *Multiphase Flow in Wells* (pp. 25-27). Richardson.
- Brown, N. P. (1989). Cleaning Deviated Holes: New Experimental and Theoretical Studies.
- Cárdenas, J. L., Rueda, A., Guerra, E., & Vera, J. (2011). Wellbore Cleanup Tools Save Rig Time in Approximately 30% Optimizing Workover and Completion Operations. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 3.
- Condit, G. A. (2008). *Análisis de un Fluido de Completación y Re-acondicionamiento de Pozos para Determinar si Previene el Daño de Formación en los Campos Fanny y Dorine*. Guayaquil.
- Davila, E., Almeida, R., Vela, I., Pazos, J., Coello, K., Chinellato, F., . . . Porturas, F. (2009). First Applications of Inflow Control Devices (ICD) in Open Hole Horizontal Wells in Block 15, Ecuador. *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference*, (p. 14). Cartagena.
- edafolPA. (24 de 10 de 2017). *Compuestos inorgánicos*. Obtenido de SlideShare: <https://es.slideshare.net/edafolPA/compuestos-inorgnicos-7471638>
- Gonzales, G., Bermeo, P. D., Alvarez, I. T., Laforunére, J., Henson, R., Fonseca, C., . . . Proaño, G. (2015). Improving Recovery from a Mature Reservoir by Understanding the Stratigraphy, Eden-Yuturi Field, Oriente Basin, Ecuador. *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference*, (p. 17). Quito.
- Males, F. (2013). *ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE LAS MEDICIONES PETROFÍSICAS OBTENIDAS CON LA HERRAMIENTA LWD ECOSCOPE Y LOS REGISTROS WIRELINE EN EL CAMPO EDÉN YUTURI*. Quito.

- M-I SWACO. (2001). Limpieza del Pozo. En M.-I. Swaco, *Manual M-I* (págs. 20B.1-20B.12).
- M-I SWACO. (2001). Pruebas del lodo base agua. En M.-I. SWACO, *Manual M-I* (págs. 3-5).
- M-I SWACO. (2001). Reología e Hidráulica. En *Manual M-I SWACO* (págs. 1-36).
- M-I SWACO. (2004). GOMA XANTANA. *Boletín del producto*. Houston, Texas, Estados Unidos.
- M-I SWACO. (2015, Septiembre 10). VCS Handbook. Houston, Texas, Estados Unidos.
- Miranda, R. (2016). *Manual teórico- práctico para el conocimiento, evaluación y selección de fluidos de perforación empleados en la construcción de pozos*. Mexico D.F.
- Omadisa. (5 de Octubre de 2017). *Viscosímetro de Marsh*. Obtenido de Omadisa: <http://www.omadisa.net/viscosimetro-marsh.html>
- Paris de Ferrer, M. (2009). *Fundamento de Ingeniería de Yacimientos*. Maracaibo, Venezuela: Ediciones Astro Data S.A.
- PerfoBlogger. (2011, Marzo 11). *PerfoBlogger*. Retrieved from Area Total de Flujo (TFA): <http://perfob.blogspot.com/2011/03/area-total-de-flujo-tfa.html>
- Power, D. J., Hight, c., Weisinger, D., & Rimer, C. (2000). Drilling Practices and Sweep Selection for Efficient Hole Cleaning in Deviated Wellbores.
- Punase , A., Hascakir, B., Demir, A., & Bilgesu., H. (2017). Inorganic Content of Asphaltenes Impacts Asphaltenes Stability. . *LACPEC*, (pág. 12). Buenos Aires.
- Rasi, M. (1994). Hole Cleaning in Large, High-Angle Wellbores.
- Rodgers, B. (26 de 10 de 2017). *Microscopic Images of Clay and Minerals*. Obtenido de Cfile.org: <https://cfileonline.org/foto-file-microscopic-images-of-clay-and-minerals/>
- Roman, M. (18 de 07 de 2010). *Sensores de flujo y caudal (2da Parte)*. Obtenido de Profesor Roman: <http://profesorroman.blogspot.com/2010/07/sensores-de-flujo-y-caudal-2-parte.html>
- Salas, F. (15 de 2 de 2013). *Propiedades Reológicas de los Fluidos de Perforación*. Obtenido de Scrib: <https://es.scribd.com/doc/125596625/Propiedades-Reologicas-de-los-Fluidos-de-Perforacion>
- Schlumberger. (16 de 10 de 2017). *Oilfield Glossary*. Obtenido de Schlumberger Oilfield Glossary: http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/p/power-law_fluid.aspx
- Schlumberger. (11 de 10 de 2017). *Oilfield Glossary*. Obtenido de Oilfield Glossary: http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/f/fluid_compatibility_test.aspx
- Schlumberger. (16 de 10 de 2017). *Oilfield Glossary*. Obtenido de Schlumberger Oilfield Glossary: http://www.glossary.oilfield.slb.com/Terms/h/herschel-bulkley_fluid.aspx
- Schlumberger. (17 de Septiembre de 2017). *Schlumberger Oilfield Glossary*. Obtenido de http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/c/completion_fluid.aspx
- WeSapiens.org. (24 de 10 de 2017). *Clorita vista en una sección delgada al microscopio petrográfico*. Obtenido de Wesapiens.org: <http://www.wesapiens.org/es/file/1765657/Clorita+vista+en+una+secci%C3%B3n+delgada+al+microscopio+petrogr%C3%A1fico>.

ANEXOS

ANEXO No. 1

MANUAL DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE FLUIDOS

MANUAL DE SOFTWARE DE SIMULACIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE FLUIDOS

El software utilizado posee varios módulos los cuales permiten al usuario obtener simulaciones del desplazamiento de fluidos en el pozo a partir de un gran rango de datos. Puede ser utilizado tanto para fluidos de perforación y fluidos de completación.

Como se señaló en el capítulo tres, los módulos utilizados para este estudio son:

- File Manager
- DProB
- DisPRO

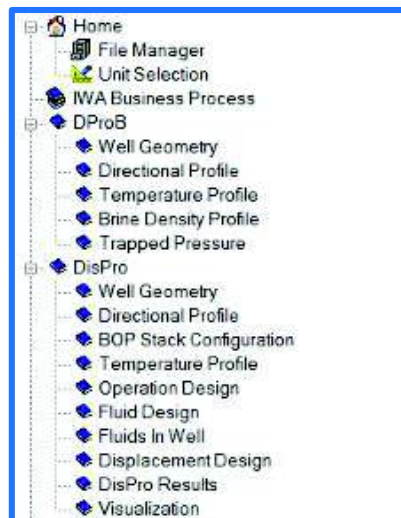


Figura 1. Módulos del programa.

En estos módulos se ingresará la data requerida para realizar una simulación precisa del desplazamiento de las píldoras de limpieza y fluido de control dentro del pozo para su limpieza durante un trabajo de reacondicionamiento.

A continuación se detallarán los procedimientos y significado de cada botón y tabla presente en los módulos y las secciones de los mismos.

FILE MANAGER

Es el primer módulo del software, el cual es representado por la siguiente pantalla.

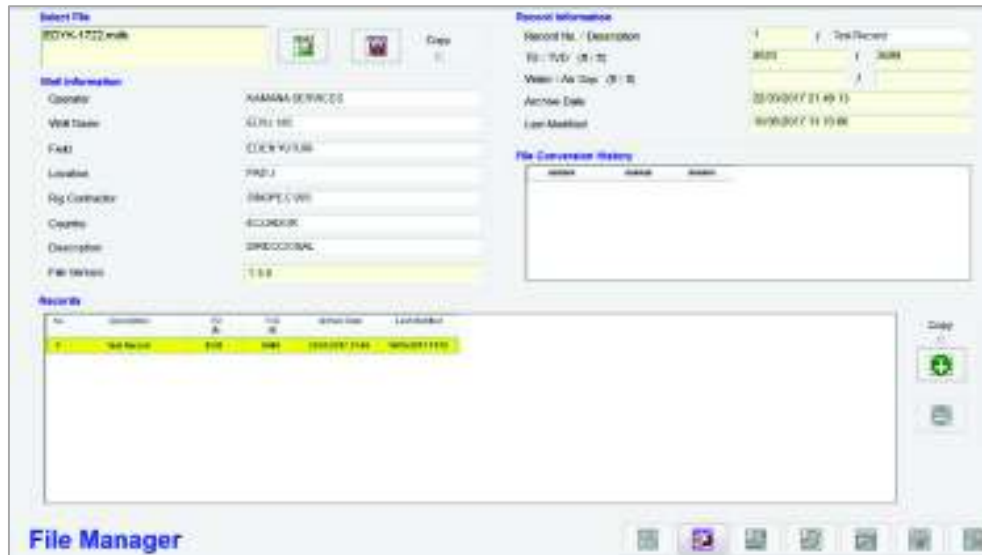


Figura 2. Pantalla del módulo File Manager

Este módulo consta de una sola pantalla, es decir, no tiene secciones. Sin embargo se divide en varias categorías las cuales son:

Select file

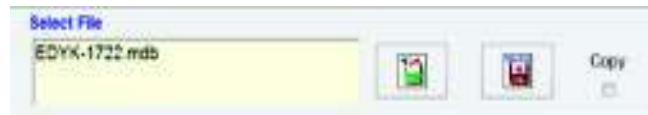


Figura 3. Categoría documento seleccionado del módulo File Manager

En la cual es posible observar que está conformada por un cuadro de texto el cual tiene un color amarillo, esto se debe a que el programa abrió el último archivo en el que se estuvo trabajando y el nombre no puede ser modificado. En esta categoría se pueden observar dos botones los cuales se diferencian por el color de los iconos que los representan.



La función de este botón es la de elegir un documento del archivo o base de datos disponible en la computadora.



La función de este botón es la de abrir un nuevo documento en blanco para que el usuario haga la simulación requerida.

Información del pozo:

Formada por varias etiquetas y cuadros de texto en los que se debe ingresar el nombre del operador, pozo, campo, locación, taladro contratado, País y el perfil del pozo (descripción).

Información registrada:

Esta categoría consta de cinco etiquetas y cuadros de texto, los cuales son de color amarillo lo que quiere decir que el software generara estos datos automáticamente y no pueden ser modificados por el usuario. La información que se encuentra en esta sección es la siguiente:

- Grabación No. / Descripción: Consta de dos cuadros de texto, dividida por el símbolo "/", en el primer cuadro aparecerá el número de la prueba que esta por realizarse o el número de la última prueba realizada.
- TD/ TVD (ft/ft): estos cuadros de texto aparecerán en blanco hasta que la información de la profundidad del pozo sea ingresada en los módulos posteriores.
- Water /Air Cap: estos cuadros de texto aparecerán en blanco hasta que la información de la profundidad del acuífero o capa de gas si existe en el pozo sea ingresada en los módulos posteriores.
- Fecha del archivo: Aparecerá automáticamente con los valores de fecha y hora en la que el documento fue creado.
- Última modificación: Fecha y hora de la última simulación realizada en este pozo.

| Record Information | |
|---------------------------|---------------------|
| Record No. / Description | 1 / Test Record |
| TD / TVD (ft / ft) | 8620 / 8489 |
| Water / Air Gap (ft / ft) | / |
| Archive Date | 22/03/2017 21:49:13 |
| Last Modified | 10/05/2017 11:10:06 |

Figura 4. Categoría Información Registrada del módulo File Manager

Registros:

Esta categoría presenta una tabla de datos con las siguientes opciones:

- No.: Es el número de prueba que se realiza.
- Descripción: Es el tipo de acción que se ejecuta, es decir, la prueba o simulación.
- TD (ft): La profundidad total del pozo.
- TVD (ft): La profundidad vertical verdadera del pozo.
- Última modificación: Muestra la fecha y hora de la última vez que se guardó un cambio en la prueba.

Esta categoría es representada de la siguiente forma:

| No. | Description | TD (ft) | TUD (ft) | Archive Date | Last Modified |
|-----|-------------|---------|----------|------------------|------------------|
| 1 | Test Record | 8520 | 3489 | 22/05/2017 21:49 | 10/05/2017 11:16 |

Figura 5. Categoría Registro del módulo File Manager.



Se observa la presencia de una casilla de verificación con la opción de *Copiar* encima de este, al marcar este cuadro la información introducida en la prueba realizada se copiará y al presionar el botón con el icono de color verde con la leyenda *ADD* automáticamente

aparecerá una segunda prueba en el registro. En esta prueba se hallará los mismos datos de la prueba copiada, pero la función de esta opción es la de hacer los cambios necesarios y conservar la prueba anterior.



Este botón contiene un icono de color rojo con una leyenda que dice *DELETE*, su función es la de borrar una de las pruebas del registro.

Se debe recalcar que los datos de esta tabla se actualizarán automáticamente mediante se ingrese la data del pozo en el que se hará la prueba.

En la pantalla de este módulo se puede observar que en la esquina inferior derecha hay varios botones, los cuales son:



Como se observa en la figura 6 en la pantalla del módulo se pueden ver 7 botones, de los cuales el único habilitado es el segundo cuya función es la de *Actualizar* la información de la prueba.

Los botones de la figura 6 se presentan en todos los módulos del programa y se habilitarán según se avance en el ingreso de datos para hacer la prueba. En algunas secciones se podrán observar botones adicionales.

DPROB

Es el segundo módulo del programa y posee cinco secciones las que son:

Geometría de pozo.

Es la primera sección del segundo módulo, ésta sección se repite en el módulo DisPro, es por ello que una vez se ingrese la data en el éste módulo ya no es necesario hacerlo en el módulo DisPro.

| General Information | | | | | | | | | |
|---------------------|--------|-------------|------------|----------|------------------|---------|----------------|-------------|-------|
| Depth (ft) | 8520 | | | | Water Depth (ft) | 0 | | | |
| Bit Depth (ft) | 8520 | | | | Air Gap (ft) | 0 | | | |
| Casing/Liners | | | | | | | | | |
| No. | Type | Description | Start (ft) | End (ft) | ID (in) | SI (in) | Weight (lb/ft) | Height (ft) | Notes |
| 1 | Casing | CONCRETE | 0 | 40 | 24.75 | 3.00 | 1.9 | | |
| 2 | Casing | STEEL | 40 | 453 | 21.75 | 3.00 | 54.0 | | |
| 3 | Casing | PRECAST | 453 | 760 | 24.00 | 3.00 | 41 | | |
| 4 | Liner | LINER | 760 | 8412.0 | 7 | 3.00 | 25 | | |

| Work String (Top to Bottom) | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|-------------|--------------|--------------|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| No. | Type | Length (ft) | Pipe ID (in) | Pipe SI (in) | Tool Joint Length (ft) | Tool Joint SI (in) | Tool Joint ID (in) | Tool Joint SI (in) | Tool Joint Notes |
| 1 | Sub | 2.0 | 2.75 | 2.75 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3/4\" |
| 2 | Sub | 16.7 | 3.75 | 3.75 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1\" |
| 3 | Sub | 11.0 | 3.75 | 3.75 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1\" |
| 4 | Sub | 8.0 | 3.75 | 3.75 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1\" |
| 5 | Sub | 2.0 | 3.75 | 3.75 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1\" |
| 6 | Sub | 12.0 | 3.75 | 3.75 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1\" |

Figura 6. Geometría del pozo de la sección DproB.

Como se observa en la figura 7 esta sección se divide en las siguientes categorías:

Información general

En esta categoría se ingresará la data de:

- Profundidad del pozo
- Profundidad de la broca
- Profundidad del agua (opcional)
- Altura de la capa de gas (opcional)

| General Information | | | |
|---------------------|------|------------------|---|
| Depth (ft) | 8520 | Water Depth (ft) | 0 |
| Bit Depth (ft) | 8520 | Air Gap (ft) | 0 |

Figura 7. Información general del pozo.

Casing/Liners

Los datos requeridos en esta sección son:

- Tipo: En esta primera columna se puede seleccionar entre cuatro opciones para la tubería, por ejemplo, Riser, Casing, Liner y Open Hole.
- Descripción: texto para caracterizar la tubería de revestimiento o de producción.
- Inicio: Profundidad donde inicia la tubería.
- Fin: Profundidad final de la tubería.
- OD: Diámetro externo.
- ID: Diámetro interno.
- Peso: Peso por unidad de longitud.

| No. | Tipo | Descripción | Start (ft) | End (ft) | OD (in) | ID (in) | Weight (lb/ft) |
|-----|--------|-------------|------------|----------|---------|---------|----------------|
| 1 | Casing | CONDUCTOR | 0 | 45 | 2475 | 2351 | 7.3 |
| 2 | Casing | SUPERSHIELD | 0 | 431 | 11.575 | 12.611 | 54.3 |
| 3 | Casing | PRODUCTION | 0 | 7902 | 8.628 | 8.681 | 47 |
| 4 | Liner | LINER | 7913.25 | 8433.1 | 7 | 6.181 | 28 |

Figura 8. Sección de Casing / Liners.

En esta sección se observa la presencia de cuatro botones los cuales son:



Este botón con un icono de color verde y con la leyenda *ADD*, tiene la función de aumentar una fila para el ingreso de datos en la sección.



Este botón de color rojo y con la leyenda *DELETE*, tiene la función de eliminar la fila seleccionada en la tabla.



Estos botones son dos flechas de color rojo y se encuentran apuntando una arriba y otra hacia abajo, permiten al usuario movilizarse a través de las filas de la tabla.

Cuando se ingresa la data en esta sección el software da la opción al usuario de hacerlo de forma manual o utilizando las tablas de tubería y herramientas disponibles, como se muestra en la siguiente figura.

| Highlighted & Row to Select | OD (in) | ID (in) | Weight (lb/ft) |
|-----------------------------|---------|---------|----------------|
| 1 | 2475 | 2351 | 7.3 |
| 2 | 11.575 | 12.611 | 54.3 |
| 3 | 8.628 | 8.681 | 47 |
| 4 | 7 | 6.181 | 28 |

Figura 9. Catálogo de tuberías de la sección de Casing/Liners

Sarta de trabajo (De arriba hacia abajo).

Conformada por una tabla de once columnas en la que el usuario debe ingresar la siguiente información:

- Tipo: Selecciona el tipo de tubería de perforación o herramienta.
- Longitud: Longitud de la tubería de perforación o herramienta.
- OD de la tubería: Diámetro externo.
- ID de la tubería: Diámetro interno.
- Tipo de TJ: selecciona el tipo de junta de la herramienta.
- Longitud de la TJ: longitud externa de la junta de la herramienta.
- OD TJ: Diámetro externo de la junta de la herramienta.
- ID TJ: Diámetro interno de la junta de la herramienta.
- Índice de la herramienta.
- Modelo de la herramienta: en esta sección aparecerá el código de la herramienta en caso de ser seleccionada en el catálogo del programa, caso contrario permite al usuario escribir el nombre o una pequeña descripción de la herramienta utilizada.

| Pipe ID | Length (ft) | OD (in) | ID (in) | TJ Length (ft) | TJ OD (in) | TJ ID (in) | Tool Name | Tool Index |
|---------|-------------|---------|---------|----------------|------------|------------|------------------------------|------------|
| 1 | 100.0 | 4.75 | 2.25 | | | | 4 1/2" Drill Collar (4.500") | |
| 2 | 91.2 | 3.875 | 2 | | | | REGULATED DRILL PIPE | |
| 3 | 49.4 | 3.875 | 2 | | | | REGULATED DRILL PIPE | |
| 4 | 7.5 | 3.875 | 2 | | | | REGULATED DRILL PIPE | |
| 5 | 37 | 4.75 | 2.25 | | | | 4 1/2" Drill Collar (4.500") | |
| 6 | 2.5 | 4.750 | 2 | | | | REGULATED DRILL PIPE | |
| 7 | 5 | 3.875 | 2 | | | | 4 1/2" Drill Collar | |

Dist Pipe Joint Length (ft): 31 Bit TFA (in): 3.2

Figura 10. Categoría Sarta de trabajo.

Como se observa en la figura 11 en esta categoría constan dos opciones con cuadros de texto en los cuales se ingresa la data de la *longitud de la junta de tubería de perforación*, por lo general es de 31 ft, y también el valor del TFA de la broca en pulgadas. Adicionalmente en esta categoría se presenta otro botón:



Este botón tiene un icono en el que se observa un pozo direccional y su función es la de permitir al usuario importar un archivo desde el programa de construcción de sartas (Well Builder).

Cuando se ingresa la data en esta sección el software da la opción al usuario de hacerlo de forma manual o utilizando las tablas de tubería y herramientas disponibles, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 11. Menú desplegable para el tipo de herramienta en la categoría de sarta de trabajo

Si se conoce el código de la herramienta se puede seleccionar desde el catálogo disponible. Si se escoge una herramienta especializada tendremos disponible el siguiente menú:



Figura 12. Catálogo de herramientas especializadas.

Al seleccionar las herramientas especializadas aquí disponibles el programa automáticamente ingresará toda la data requerida como ID, OD, Longitud, etc., en la tabla haciendo más eficiente el proceso de ingreso de información.

Si se escoge la opción de Drill pipe o Drill collar aparecerán los catálogos correspondientes y al seleccionar una de las opciones entonces la información será ingresada de forma automática.



Figura 13. Catálogos de tubería disponibles en el software.

Estos catálogos cuentan con dos botones y sus funciones son:



El primer botón tiene un icono en forma de cohete y una pequeña leyenda que dice *OK*, su función es igual que la del botón Aceptar en cuanto se hace una selección para los datos de una tubería.



El segundo botón tiene un icono de guardado de color azul con una equis de color rojo y una leyenda que dice *CANCEL*, la función del botón es la de cerrar este catálogo sin guardar la información seleccionada.

Excentricidad

En esta categoría se puede una casilla de verificación la cual da la opción al usuario de ignorar la excentricidad, como se explicó en el capítulo 3 al seleccionar esta casilla el software tomara en cuenta que la sarta de limpieza es bajada rotando. Si se desea considerar la excentricidad entonces no debe marcarse esta casilla y si el usuario requiere resultados más precisos se debe ingresar el dato de peso sobre la broca.

Figura 14. Categoría excentricidad.

Espesor de la película.

En esta categoría el software escribe el valor de 0,047 pulgadas por default, este valor se determinó como un promedio basado en estudios de desplazamiento en hueco entubado.

Figura 15. Categoría Espesor de la película.

Profundidades de medida de ECD

En esta categoría también se le permite al usuario programar 3 profundidades que se consideran críticas para el pozo, como la profundidad de la zapata del casing en hueco abierto u otra profundidad de interés con el fin de obtener los valores de la densidad de circulación equivalente en esos puntos.

Figura 16. Categoría de medida de ECD.

Los botones que habilitados que encontramos en esta sección son:



Este botón tiene un icono de color celeste con una flecha apuntando hacia la izquierda y una leyenda que dice *BACK*, su función es la de deshacer la escritura o retroceder y mostrar la información antes de que se hayan realizado cambios.



Botón de *UPDATE* o *Actualizar*.



Este botón permite al usuario importar la información ingresada en la sección a un libro de Excel y este documento se guardara automáticamente con el nombre del pozo en el que se estén llevando a cabo las simulaciones en ese momento.

Perfil Direccional

Es la segunda sección del módulo DproB, está conformada por una tabla y el número de columnas dependerá de la opción que se escoja en la segunda categoría de la sección, para este estudio se escoge la cuarta opción y por tanto la tabla de la primera categoría está conformada por 4 columnas, en donde el usuario ingresará los valores de Profundidad (ft), Inclinación ($^{\circ}$) y Azimuth ($^{\circ}$).

Figura 17. Sección de Perfil Direccional.

La información a ingresar en esta sección puede realizarse de forma manual o importando los datos de un archivo en formato “.txt” si la data del Survey del pozo no está en este formato se lo puede transformar siguiendo este procedimiento:

- ✓ Seleccionar los datos de importancia del Survey.

| Total | 1.00 | 0.00 | 275.00 | 8.08 | -721.34 | 8.08 | 0.00 | 0.00 | 864 | 8988171.35 | 118926.48 | E | 0.15 | 15.32 | W | 18 | 8.76 | 38 |
|--------|------|--------|--------|---------|---------|-------|--------|------|------------|------------|-----------|------|-------|-------|----|------|------|----|
| 50.00 | 0.20 | 312.62 | 50.08 | -671.34 | 8.08 | 0.00 | -0.05 | 8.48 | 8988171.32 | 118926.58 | E | 0.15 | 15.32 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 100.00 | 0.17 | 312.19 | 100.08 | -621.34 | 8.18 | 0.17 | -0.39 | 8.38 | 8988171.35 | 118926.54 | E | 0.15 | 15.32 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 150.00 | 0.18 | 337.53 | 150.08 | -471.34 | 8.31 | 0.20 | -0.27 | 8.76 | 8988171.68 | 118926.32 | E | 0.15 | 15.32 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 200.00 | 0.29 | 354.18 | 200.08 | -621.36 | 8.52 | 0.45 | -0.31 | 8.26 | 8988171.85 | 118926.31 | E | 0.15 | 15.32 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 250.00 | 0.46 | 347.62 | 250.08 | -471.36 | 8.64 | 0.81 | -0.37 | 8.35 | 8988171.75 | 118926.29 | E | 0.15 | 15.31 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 300.00 | 0.46 | 354.86 | 300.08 | -421.36 | 1.04 | 1.31 | -0.42 | 8.73 | 8988171.87 | 118926.27 | E | 0.15 | 15.31 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 350.00 | 0.59 | 313.37 | 350.08 | -571.36 | 1.60 | 1.60 | -0.62 | 8.74 | 8988171.88 | 118926.21 | E | 0.15 | 15.31 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 400.00 | 0.91 | 297.15 | 400.08 | -521.38 | 2.04 | 1.84 | -1.17 | 8.78 | 8988174.39 | 118926.04 | E | 0.15 | 15.30 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 450.00 | 1.72 | 269.99 | 450.08 | -371.37 | 2.32 | 3.12 | -2.28 | 2.48 | 8988174.76 | 118926.11 | E | 0.15 | 15.30 | W | 18 | 8.76 | 38 | |
| 500.00 | 2.43 | 264.61 | 498.04 | -221.48 | 2.38 | 2.62 | -4.80 | 1.47 | 8988174.92 | 118926.16 | E | 0.15 | 15.30 | W | 18 | 8.76 | 42 | |
| 550.00 | 3.35 | 303.13 | 548.08 | -171.48 | 2.38 | 1.85 | -6.69 | 1.85 | 8988174.93 | 118926.08 | E | 0.15 | 15.30 | W | 18 | 8.76 | 46 | |
| 600.00 | 3.85 | 363.08 | 608.18 | -121.66 | 2.27 | 1.40 | -6.49 | 8.81 | 8988171.83 | 118926.61 | E | 0.15 | 15.31 | W | 18 | 8.76 | 48 | |
| 650.00 | 3.85 | 368.88 | 648.18 | -71.84 | 2.11 | 0.90 | -12.81 | 8.87 | 8988171.79 | 118926.59 | E | 0.15 | 15.31 | W | 18 | 8.76 | 51 | |
| 700.00 | 3.77 | 351.81 | 698.08 | -21.79 | 1.92 | 0.47 | -15.71 | 8.28 | 8988171.84 | 118926.61 | E | 0.15 | 15.32 | W | 18 | 8.76 | 54 | |
| 750.00 | 4.30 | 263.36 | 748.47 | 28.13 | 1.63 | 0.84 | -19.23 | 1.26 | 8988171.51 | 118926.54 | E | 0.15 | 15.32 | W | 18 | 8.76 | 57 | |
| 800.00 | 6.70 | 213.78 | 808.08 | 188.66 | 2.68 | -0.45 | -20.81 | 1.32 | 8988171.46 | 118926.26 | E | 0.15 | 15.32 | W | 18 | 8.76 | 60 | |

Figura 18. Documento del Survey del Pozo en Excel.

- ✓ Copiar los datos en el programa de block de notas. Revisando que al final de los datos no quede ningún espacio en blanco.

```

File Edit Format View Help
0.00 0.00 275.00
50.00 0.20 312.62
100.00 0.17 312.19
150.00 0.18 337.53
200.00 0.29 354.18
250.00 0.46 347.62
300.00 0.46 354.86
350.00 0.59 313.37
400.00 0.91 297.15
450.00 1.72 269.99
500.00 2.43 264.61
550.00 3.35 303.13
600.00 3.85 363.08
650.00 3.85 368.88
700.00 3.77 351.81
750.00 4.30 263.36
800.00 6.70 213.78
  
```

Figura 19. Datos pegados en el programa Notepad (Block de notas)

- ✓ Seleccionar el espacio que existe entre dos valores y copiarlo.
- ✓ Desplegamos el menú de la opción Editar.
- ✓ Escoger la opción Reemplazar. Aparecerá un cuadro de diálogo.

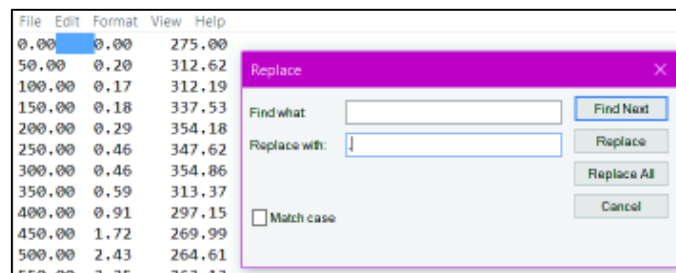


Figura 20. Proceso de reemplazo de espacios por comas

- ✓ En el cuadro de texto de “Encontrar:” pegar el espacio copiado anteriormente.
- ✓ En el cuadro de texto de “Reemplazar con:” escribir “,”.
- ✓ Dar clic en la opción Reemplazar Todos.

- ✓ Al finalizar el proceso se cierra el cuadro de diálogo.
- ✓ El resultado que debe obtenerse es:

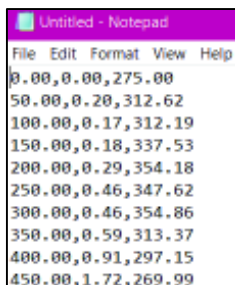


Figura 21. Documento cambiado al formato requerido

- ✓ Guardar el documento.
- ✓ Dar clic en el botón Import Survey.



Este botón está representado por el icono *GET* cuya función es la de abrir un documento desde el almacenamiento de la computadora.

- ✓ Escoger la opción de “Separar por comas” y dar clic en Siguiente.



Figura 22. Separadores de campos de datos

- ✓ Comprobar el orden de los campos coincida con el de los valores asignados.



Figura 23. Orden de la importación de datos

- ✓ Clic en Siguiente.

Eso completa el procedimiento para importar la data del Survey de un pozo.

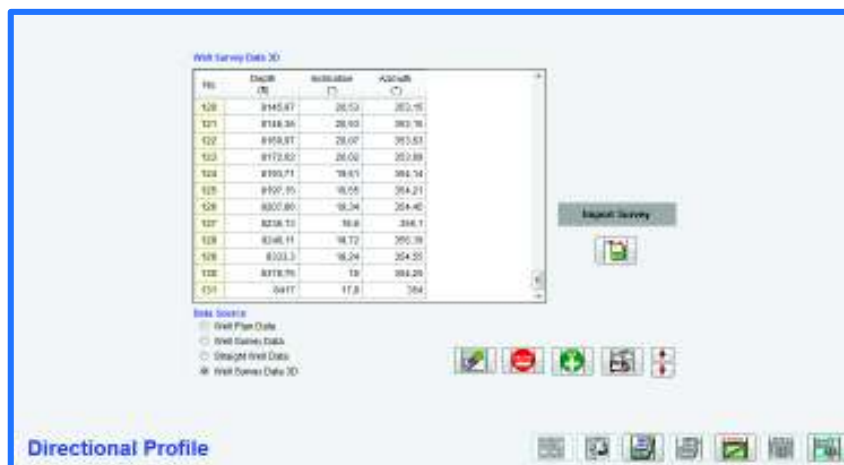


Figura 24. Vista final de la sección de perfil direccional

Los botones habilitados en esta sección son:



Botón de *UPDATE* o *Actualizar*.



Exportar a Excel



Este botón tiene un icono de una hoja cuadriculada de color verde con la leyenda *GRAPH* y su función es la de presentar una gráfica del perfil direccional del pozo en 2D.

Perfil de Temperatura

Esta sección del módulo DproB permite al usuario ingresar la data de la temperatura del pozo en las opciones del perfil de temperatura en el Espacio anular y en la Sarta de trabajo.

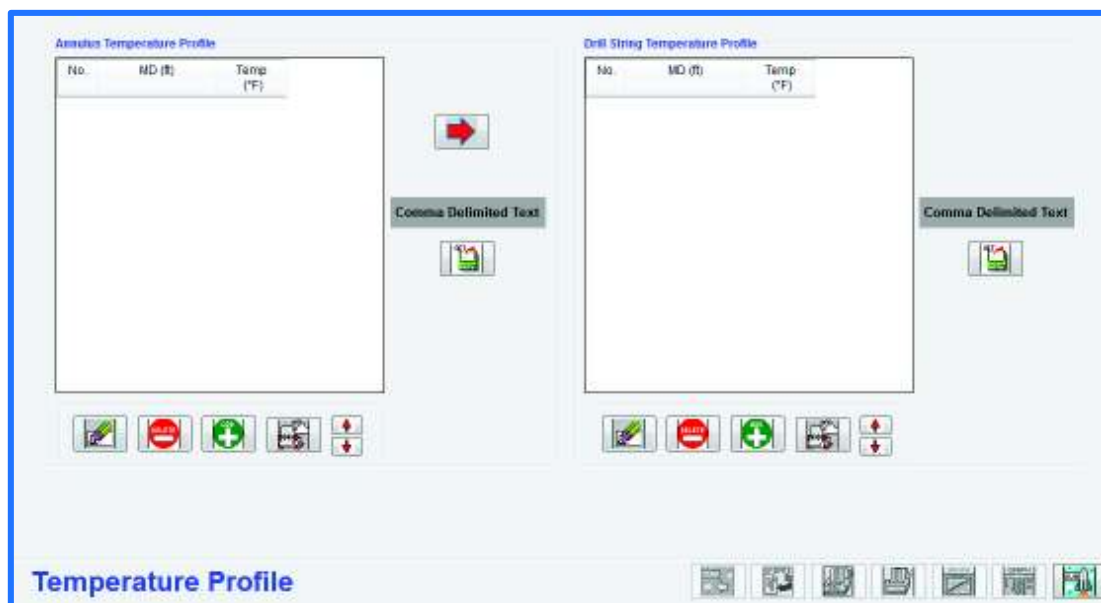


Figura 25. Sección de perfil de temperatura.

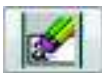
Como en la sección anterior la data se puede ingresar de forma manual o importándola desde un documento de formato “.txt”. Los botones de esta sección tienen las siguientes funciones:



Botón Obtener, su función es la de importar la data.



La función de este botón es el de copiar la data de la categoría de Perfil de Temperatura en el Anular a la categoría de Perfil de Temperatura de la sarta de trabajo.



Este botón tiene un icono de la goma de un lápiz sobre una letra, su función es la borrar el valor de una de las celdas seleccionadas.



Botón de Borrado, elimina una fila completa de la tabla de la sección.



Botón Añadir, crea una fila nueva en la tabla.



Botón Reindexar



Botones direccionales

Una vez toda la data sea ingresada la sección se vera de esta manera:



Figura 26. Sección de perfil de temperatura completa

El botón habilitado en esta sección es el de *Actualizar*.

Perfil de densidad de la salmuera.

Esta sección se compone por cuatro categorías, las cuales son:

Tipo de salmuera.

Es un menú desplegable el cual el usuario podrá elegir la sal utilizada para la salmuera del pozo.

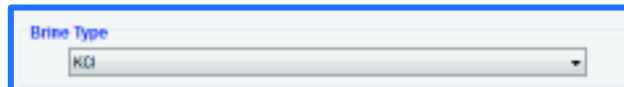
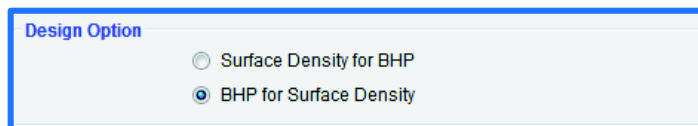


Figura 27. Categoría Tipo de Salmuera.

Opción de diseño.

Esta categoría ofrece al usuario dos opciones para el diseño del perfil de salmuera y son:



Design Option

Surface Density for BHP

BHP for Surface Density

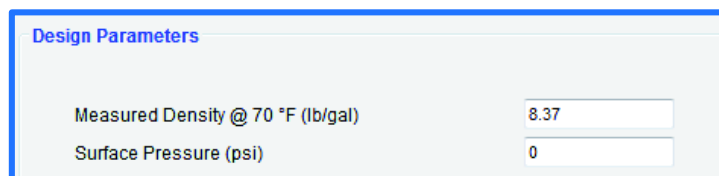
Figura 28. Categoría Opción de Diseño

- Densidad de superficie especificada y calculando la presión de fondo.
- Densidad de superficie requerida para alcanzar una presión de fondo específica.

Para el estudio se ha seleccionado la segunda opción, debido a que la poca data que requiere.

Parámetros de diseño.

Esta categoría está conformada por dos cuadros de texto en los cuales se introduce los datos de la densidad medida de la salmuera a 70° F y la presión de superficie.



Design Parameters

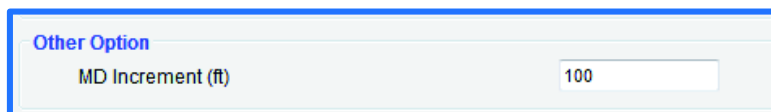
Measured Density @ 70 °F (lb/gal) 8.37

Surface Pressure (psi) 0

Figura 29. Categoría de parámetros de diseño

Otras opciones.

Esta categoría proporciona al usuario la opción de escoger el intervalo de incremento de profundidad.



Other Option

MD Increment (ft) 100

Figura 30. Categoría de medida de incremento de profundidad

Los botones habilitados para esta sección son *Actualizar* y *Exportar a Excel*.

DISPRO.

En este módulo se ingresaran los datos de las secciones de:

- Geometría del Pozo
- Perfil direccional
- Configuración del BOP

- Perfil de temperatura
- Diseño de la operación.
- Diseño del fluido.
- Fluidos en el pozo.
- Diseño del desplazamiento.
- Resultados
- Visualización.

Los datos de Geometría del pozo, perfil direccional y perfil de temperatura son compartidos con el modulo anterior, por ello una vez ingresados en el módulo DproB del programa no es necesario volverlo a reingresar en el módulo DisPro.

Diseño de la operación.

La data requerida es:

- Profundidad de la broca.
- Presión de estallido del casing (máxima presión diseñada).
- Presión de colapso del casing (mínima presión diseñada).

En esta sección se puede ver de forma gráfica como se va a circular el fluido. Este puede ser en directa o en reversa dependiendo de las condiciones del pozo y las herramientas a utilizarse. La dirección del flujo se activa por medio de la gráfica de la parte derecha de la pantalla en la que se hallan dos flechas con las cuales el usuario decidirá cómo hacer la simulación.

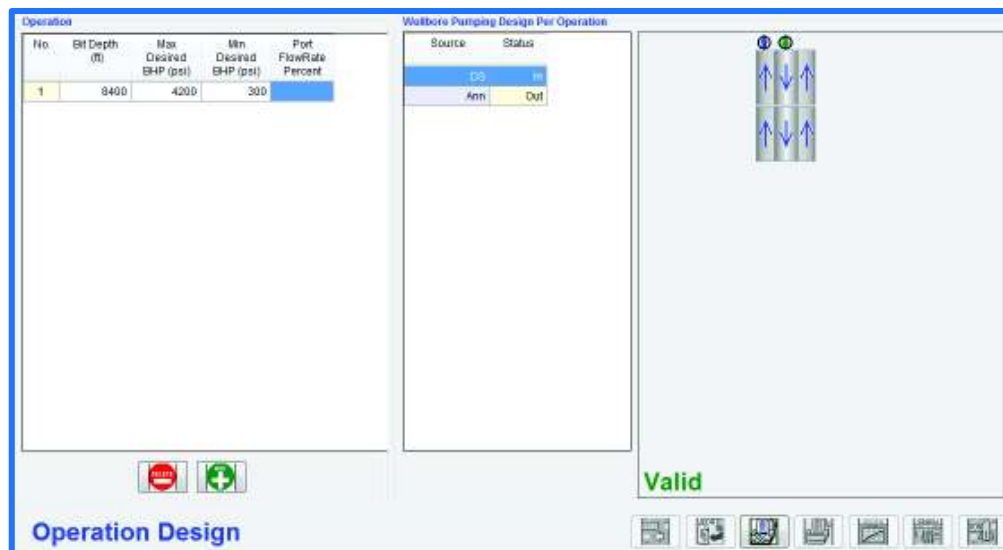


Figura 31. Sección de Diseño de operación

Los botones presentes en esta sección son:



Botón Borrar.



Botón Actualizar.



Botón Añadir.



Exportar a Excel.

Diseño del fluido.

Está conformada por tres categorías, en las cuales se ingresará la información del arreglo de píldoras a bombearse para realizar la limpieza.



Figura 32. Sección de Diseño de fluido

Diseño del fluido.

Esta categoría es una tabla de 12 columnas en las que el usuario debe ingresar la siguiente información:

- Fluido: en esta columna se pondrá el nombre del fluido a bombear, por ejemplo, Agua Fresca, Viscosa, Solv-Surf, etc. El primer fluido siempre será el fluido presente en el pozo previo al desplazamiento.
- Categoría: Determina el código de color de los fluidos a usarse en la simulación.
- Descripción: Se pondrá un diminutivo del nombre del fluido.
- Densidad: Se colocará el valor de la densidad de cada fluido en PPG.
- Tipo de lodo: esta columna se usa para identificar la fase continua de los fluidos. La categoría del tipo de fluido explica las variaciones en los fluidos base aceite, agua o lodos sintéticos. Se define a la salmuera como lodo base agua.

- Tipo de Sal: Se escogerá entre las opciones disponibles de sales que el programa ofrece. Para este estudio se ha utilizado KCl y por lo tanto esta será la que se debe seleccionar antes de realizar las simulaciones.
- Salinidad, este valor es requerido para considerar la compresibilidad en la simulación.
- Gravedad específica de los escombros presentes en el pozo los cuales varían desde 2,6 a 2,8.
- Temperatura a la que se encontró el valor de la densidad, este valor debe definirse con precisión para que se tomen en cuenta los efectos térmicos sobre los fluidos y simular las condiciones dentro del pozo.

| No. | Fluid | Category | Description | Density (lb/gal) | Mud Type | Oil (%) | Salt Type | Salinity (wt %) | WT Mat (s.g.) | LoGrv (wt %) | DensityTemp (°F) |
|-----|-------------------|----------------|-------------|------------------|-------------|---------|-----------|-----------------|---------------|--------------|------------------|
| 1 | DIF | Brine | DIF | 8.37 | Oil Based | 0 | KCL | 9 | 1 | 2 | 70 |
| 2 | Viscosa1 | Viscous Spacer | spacer | 8.33 | Water Based | 0 | KCL | 0 | 1 | 0 | 70 |
| 3 | Surf | WBM | DEEP CL | 8.33 | Water Based | 0 | KCL | 2 | 1 | 0 | 70 |
| 4 | Viscosa2 | Viscous Spacer | spacer | 8.33 | Water Based | 0 | KCL | 4 | 1 | 0 | 70 |
| 5 | Fluido de control | Brine | Brine | 8.37 | Water Based | 0 | KCL | 12.5 | 0 | 0 | 70 |

Figura 33. Sección de diseño de fluido con la data ingresada en su totalidad.

Data del viscosímetro – Fluido No. N.

En esta categoría el usuario debe ingresar la data de la reología de los fluidos seleccionados para la prueba. Contiene una tabla de tres columnas y la data que debe escribirse es la siguiente:

| Fann Model 35A Data - Fluid No.3 | | |
|----------------------------------|---|--|
| R600 | 2 | |
| R300 | 2 | |
| R200 | 1 | |
| R100 | 1 | |
| R6 | 1 | |
| R3 | 1 | |
| Gel10s | 1 | |
| Gel10m | 1 | |

Figura 34. Categoría de datos del viscosímetro

Las columnas disponibles son para escribir estas reologías a diferentes temperaturas, con el fin de aumentar la precisión de la simulación. Cada fluido debe tener ingresada su propia reología.

Diseño de la limpieza.

Esta categoría esta permite al usuario ingresar las propiedades de diseño de limpieza de cada fluido. Está conformada por una tabla de cinco columnas en las que los datos se ingresaran en función de la información anteriormente escrita en la tabla de Diseño de fluido.

| No. | Fluid | Surf Info | Surf Conc (%) | Cleaning Index Surf-Vel-Time-Cont |
|-----|-------------------|-----------|---------------|-----------------------------------|
| 1 | DIF | N/A | 0 | |
| 2 | Viscosa1 | N/A | | |
| 3 | Surf. | N/A | | |
| 4 | Viscosa2 | N/A | | |
| 5 | Fluido de cont... | Manual | | |

Figura 35. Categoría Diseño de la limpieza.

En la tercera columna las celdas tienen un menú desplegable el cual da la opción al usuario de escoger la forma de ingresar los datos de índice de limpieza, la cual puede ser manual o medida como se observa en la figura 31.

Se recomienda elegir la forma manual. Al escoger este tipo de ingreso se desplegará un cuadro de texto con la siguiente información:

| | Index | Sensitivity Index | High | Index Selection | Low |
|---------------|-------|-------------------|------|---|-----|
| Surfactant | 2.5 | Medium High | 5 | <input checked="" type="radio"/> Manual | 5 |
| Velocity | 2.5 | Medium Low | 5 | <input type="radio"/> Measured | 5 |
| Time | 5.0 | Extremely Low | 5 | <input type="radio"/> Manual | 5 |
| Contamination | 5.0 | Extremely Low | 5 | <input type="radio"/> Measured | 5 |

Figura 36. Ventana auxiliar para el ingreso de los índices de limpieza.

El índice de limpieza se basa en la sensibilidad de la respuesta química del producto y se mide en una escala de uno a cinco. El *uno* indica que el desempeño de la química es muy buena y el *cinco* indica un desempeño bajo para cada uno de los factores de la figura 32, ya explicados en el capítulo 3. Cabe recalcar que para los espaciadores no químicos se recomienda al usuario definir el índice como bajo en todas las categorías.

| No. | Fluid | Category | Description | Density (kg/m³) | Ref Type | Oil (No) | Surf Type | Sensit. (No) | Wt. (kg) | LCM (No) | Design/Time (PT) |
|-----|-------------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|----------|-----------|--------------|----------|----------|------------------|
| 1 | DIF | None | DIF | 8.37 | Oil Based | 0 | KOL | 5 | 1 | 0 | 18 |
| 2 | Viscosa1 | Viscous Spacer | SPACER | 8.30 | Water Based | 0 | KOL | 5 | 1 | 0 | 18 |
| 3 | Surf. | None | DEEP-CL | 8.30 | Water Based | 0 | KOL | 5 | 1 | 0 | 18 |
| 4 | Viscosa2 | Viscous Spacer | SPACER | 8.30 | Water Based | 0 | KOL | 4 | 1 | 0 | 18 |
| 5 | Fluido de cont... | None | SPACER | 8.37 | Water Based | 0 | KOL | 12.5 | 5 | 0 | 18 |

| No. | Fluid | Surf Info | Surf Conc (%) | Cleaning Index Surf-Vel-Time-Cont |
|-----|-------------------|-----------|---------------|-----------------------------------|
| 1 | DIF | N/A | 0 | |
| 2 | Viscosa1 | Manual | 5 | 2.5, 5.0, 5.0 |
| 3 | Surf. | Manual | 10 | 18, 2.5, 4.5 |
| 4 | Viscosa2 | Manual | 5 | 1.2, 2.5 |
| 5 | Fluido de cont... | Manual | 1 | 5.0, 5.1 |

Figura 37. Sección de Diseño de fluido

El botón habilitado en esta sección es el de *Actualizar*.

Diseño del desplazamiento.

En esta sección el usuario decidirá el orden en el que se bombearán los fluidos para simular la limpieza del pozo. Está conformado por dos categorías que son:

Diseño del desplazamiento.

Esta categoría está formada por una tabla de cuatro columnas en las que el usuario debe escoger el orden de los fluidos, al dar clic en una celda de la tercera columna aparecerá un menú desplegable con los nombres de los fluidos presentes en la sección anterior, se debe escoger el fluido deseado y en la siguiente columna escribir el volumen del fluido.

Caudal programado.

Esta categoría tiene una tabla en la que se escribirá el volumen total y el caudal al cual se bombeará todo el arreglo.



Figura 38. Sección de diseño de desplazamiento.

Resultados

Sección en la que se ingresará la data final para realizar la simulación del desplazamiento de fluidos, presenta las siguientes categorías:

Opciones de simulación.

Esta categoría está conformada por cuatro opciones las cuales:

- Todas las operaciones: Al seleccionar esta opción se activan más gráficas al momento de hacer la simulación.
- X Variable: este menú desplegable brinda las opciones para determinar las unidades de medida dentro del anular.

- Capacidad de la bomba: se ingresara el valor de la capacidad de bombeo de la bomba en bl/stk.
- Tipo: El menú desplegable da las opciones de bombeo del fluido de limpieza y dependerá de la información ingresada en la sección de diseño de la operación.

Cálculos de limpieza/ interfaces

En esta categoría se puede seleccionar si se omiten los efectos de la limpieza y las interfaces o no.

Superposición de diseño

Esta categoría permite al usuario escoger dos variables cuyos valores se van a sobreponer al momento de hacer la simulación, esto es necesario para hacer los cálculos de las variaciones que sucederán conforme la profundidad y temperatura del pozo.

Incremento de volumen

En esta categoría se observa una barra de desplazamiento la cual tiene una escala de 2 hasta 12. Esta opción varía el intervalo que utilizara el programa para hacer los cálculos. Se recomienda dejar en el valor de 2 barriles para una simulación más exacta.

Límites

Esta categoría presenta las variables físicas que van a marcar las limitaciones que tiene la operación. Se presenta un menú desplegable en el que se puede elegir la variable a utilizarse como presión máxima, presión mínima de bombeo, presión mínima de bombeo, etc. Una vez seleccionada la variable de limitación entonces el usuario podrá ingresar los datos de la presión máxima, caudal máximo y mínimo de la bomba en los cuadros de texto correspondientes.



Figura 39. Sección de Resultados.

Los botones habilitados en esta sección son el de *Actualizar* y el de *Correr*.



Este botón con un icono de un cohete y la leyenda *RUN* tiene la función de empezar la simulación del desplazamiento de fluidos con la data ingresada a totalidad.

Al hacer clic en este botón el programa generará la siguiente pantalla y junto a un panel de control:

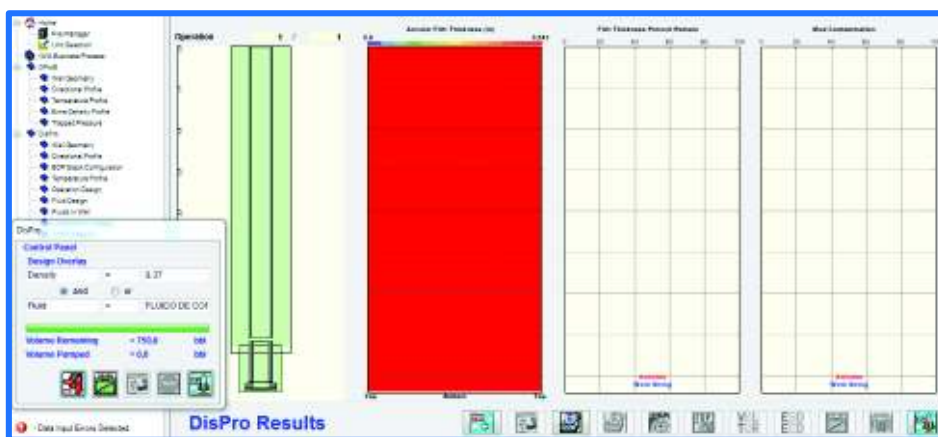


Figura 40. Pantalla de simulación del desplazamiento de fluidos

En el panel de control tiene las siguientes funciones:



Botón correr.



Botón Salir, cuya función es la de finalizar la simulación aun si esta no se completa.



Botón *Pausa*, detiene la simulación momentáneamente hasta que se vuelva a dar clic en *Correr*.

Los botones habilitados en la pantalla de simulación son:



Regresar, Exportar a Excel.



Botón para generar un Excel de la simulación o prueba realizada.



Botón FBP, su función es la de mostrar las gráficas de Flow Back Pattern y los datos generados por el programa.



Botón de gráficas interactivas, muestra las gráficas arcoíris en movimiento, es decir, al mismo tiempo que sucede la simulación.



Botón de Gráficas, muestra las gráficas arcoíris finales que el software ha generado.

La simulación finalizará en el momento en que se termine de bombear el volumen total de fluidos.

Si se da clic en el botón FBP aparecerá el siguiente cuadro en el cual se debe escoger la opción de espaciadores de limpieza combinados.



Figura 41. Seleccionador para el tipo de gráfica FBP.

Para que el software genere la gráfica de predicción del patrón de flujo.

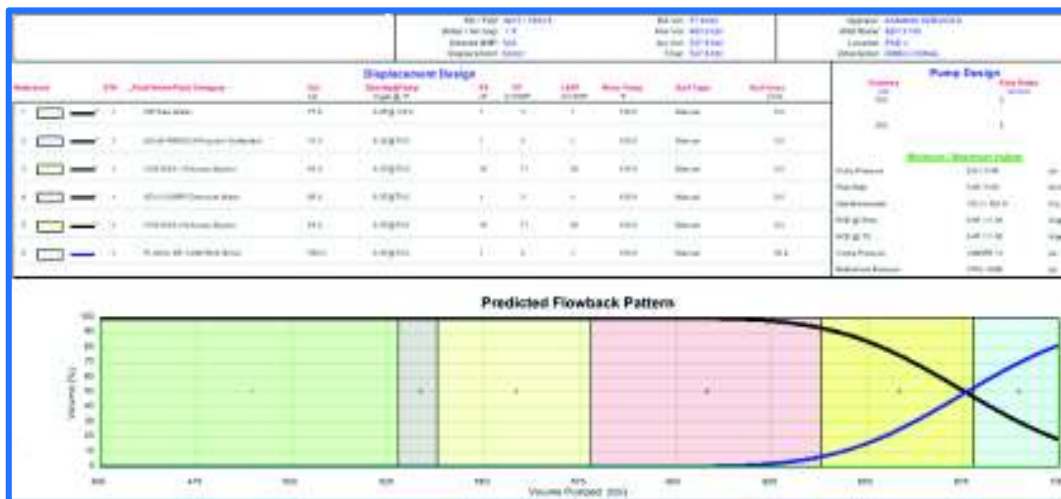


Figura 42. Gráfica de la predicción de flujo y variación de los datos de diseño.

Visualización.

En esta sección el software genera una gráfica en 2D del pozo y permite al usuario tener una vista lateral del pozo.

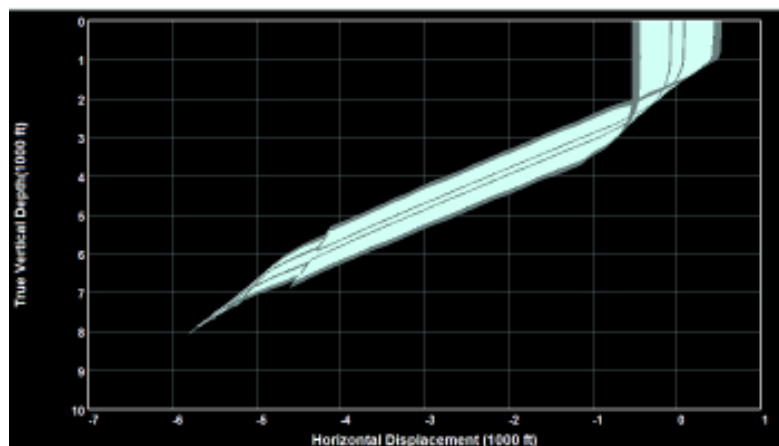


Figura 43. Sección de visualización

GUÍA PARA LLEVAR A CABO LA SIMULACIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE FLUIDOS Y LIMPIEZA DEL POZO

1. Ingresar la data del pozo en el módulo File Manager.
2. Seleccionar la sección de Geometría del Pozo del módulo DisPro en la parte izquierda de la pantalla.
3. Ingresar los datos de profundidad del pozo y la profundidad de la broca o punta.
4. Seleccionar el tipo de tubería de revestimiento para las secciones de 9-5/8" y 7".
5. Completar la tabla con los valores de profundidad inicial y final de las tuberías de revestimiento seleccionadas y dar su respectiva descripción.
6. A continuación ingresar la data de la sarta de trabajo a utilizarse.
7. Activar la casilla de verificación de *Ignorar Excentricidad*.
8. Mantener el valor del espesor de la costra e ingresar en caso de que el usuario lo desee las profundidades para medir la densidad equivalente de lodo.
9. Dar clic en el Botón Actualizar y pasar a la siguiente sección.
10. En la sección de Perfil direccional, seleccionar Data del Survey del Pozo en 3D.
11. A continuación, importar el archivo con el procedimiento anteriormente descrito.
12. Presionar el botón Actualizar y pasar a la siguiente sección.
13. En la sección del perfil de Temperatura se debe ingresar la data requerida.
14. Dar clic en el botón Copiar, clic en el botón Actualizar y pasar a la siguiente sección.
15. En la sección de Perfil de Densidad de la Salmuera se debe escoger la sal utilizada en el fluido, para este caso de estudio es la KCl.
16. Escoger la segunda opción de la categoría (densidad de superficie requerida para alcanzar una presión de fondo específica).
17. Escribir el valor de la densidad de la salmuera (8.37 PPG).
18. Conservar los valores del software para la presión de superficie y el intervalo de incremento de profundidad en cero y 100 respectivamente.
19. Presionar el botón Actualizar y pasar a la sección del módulo DisPro.
20. En este módulo el usuario debe comenzar a ingresar los datos en la sección de Diseño de la Operación ya que la información anterior a esta sección ya fue escrita en el módulo anterior.

21. En la sección de Diseño de la Operación el usuario debe ingresar la profundidad de la punta de la sarta y seleccionar la dirección del flujo según sea requerido.
22. Dar clic en Actualizar e ir a la siguiente sección.
23. Ingresar la data para la sección de Diseño de Fluido.
24. En la primera categoría ingresar la data del nombre de los fluidos a usarse, el tipo de fluido que se escogerá del submenú desplegable de cada celda según la característica del fluido y completar los demás campos.
25. En la segunda categoría ingresar la reología de cada uno de los fluidos y comprobar que las reologías de las píldoras viscosas sean iguales para llevar a cabo la prueba.
26. Seleccionar los valores del diseño de limpieza de forma manual escogiendo los valores de índice de limpieza según el fluido ingresado.
27. Dar clic en Actualizar y continuar a la siguiente sección.
28. No modificar la Sección de Fluido en el Pozo.
29. En la sección de Resultados, se debe quitar el visto de la casilla de verificación de ignorar los efectos de la limpieza e interfases.
30. En la categoría de superposición de diseño se selecciona Densidad > -1 , la opción *and* y finalmente se vuelve a seleccionar Densidad > 200 , para después escoger Ninguno y que el valor de > 200 no pueda modificarse.
31. Escoger el incremento de volumen en 2 bls.
32. El límite escogido será la presión máxima de bombeo, con una presión de 1000 psi, un caudal máximo de 5 bls y uno mínimo de 3 bls.
33. Dar clic en Actualizar y presionar el botón Correr.
34. En el panel de control de la pantalla de simulación presionar el botón Correr y esperar a que la simulación empiece para obtener los resultados de la limpieza de pozo.

ANEXO No. 2

DIAGRAMAS DE LAS CONFIGURACIONES DE LAS SARTAS DE LIMPIEZA

7" Razor Back + 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + 9-5/8" Magostar

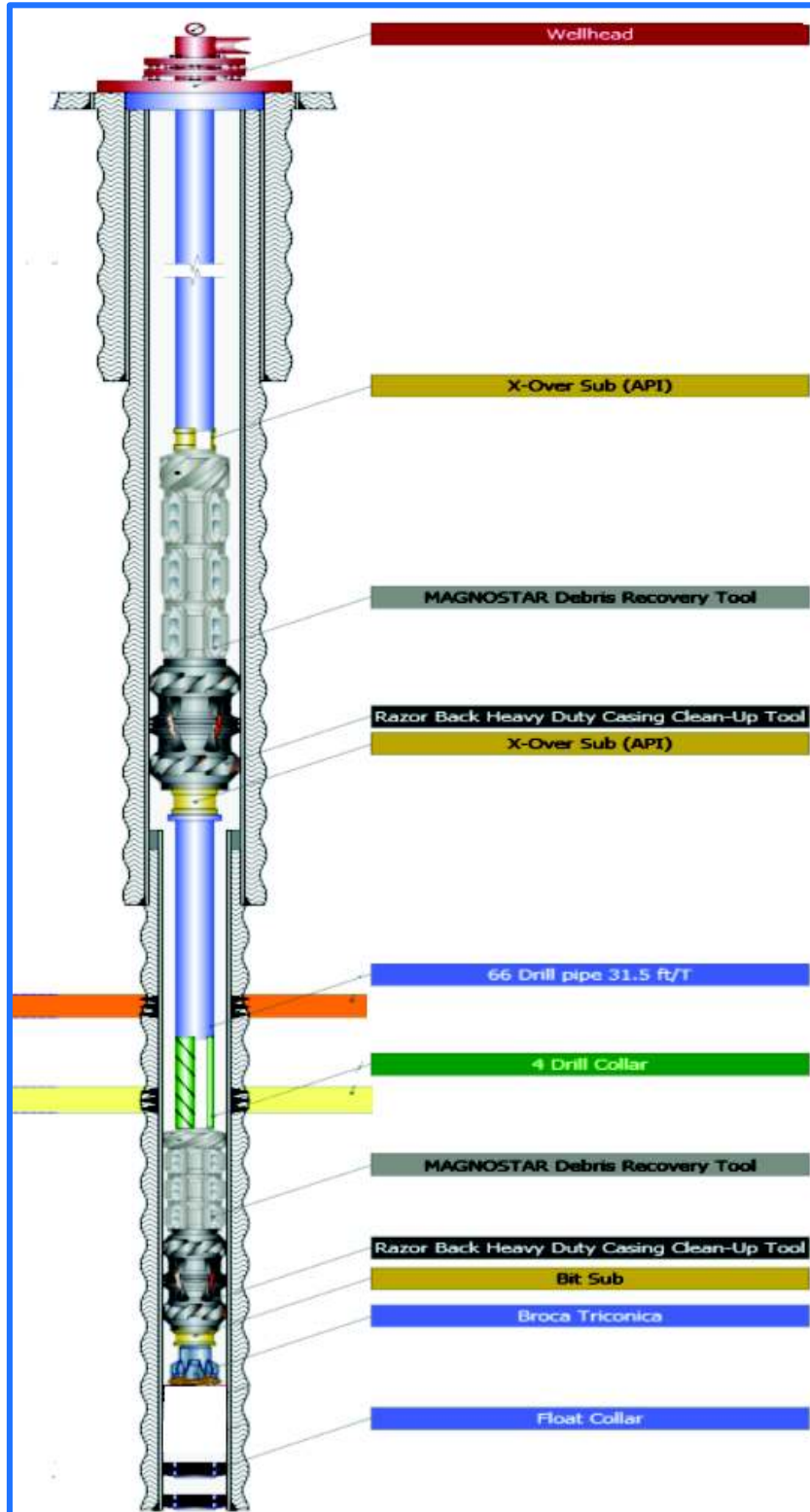


Figura 47. Arreglo de la sarta de limpieza No. 1.

7" Multiback + (2) 7" Magnostar, 9-5/8" Multiback + (2), 9-5/8" Magnostar + Wellpatroler

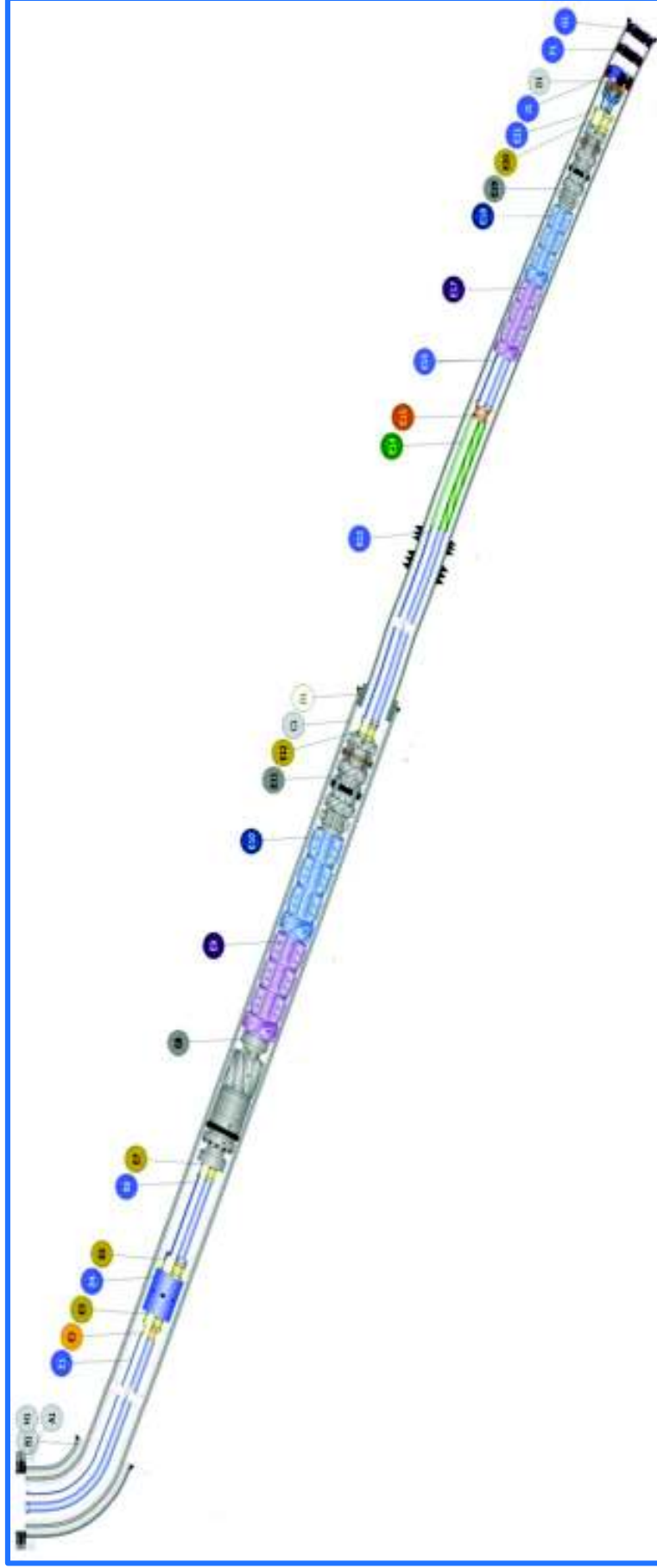


Figura 48. Arreglo de la sarta de limpieza No. 2.

7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + (2) 9-5/8" Magnostar

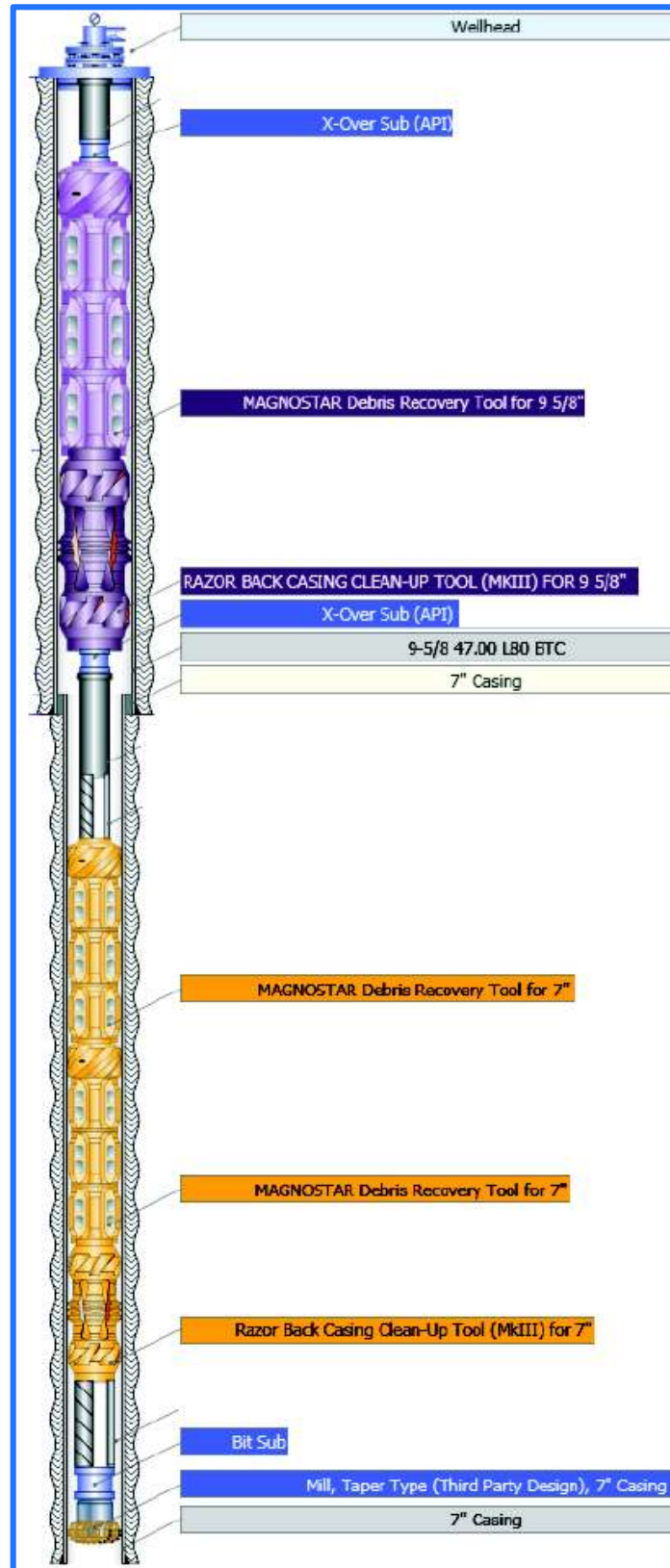


Figura 49. Arreglo de la sarta de limpieza No. 3.

7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, 9-5/8" Razor Back + 9-5/8" Magnostar + Wellpatroler

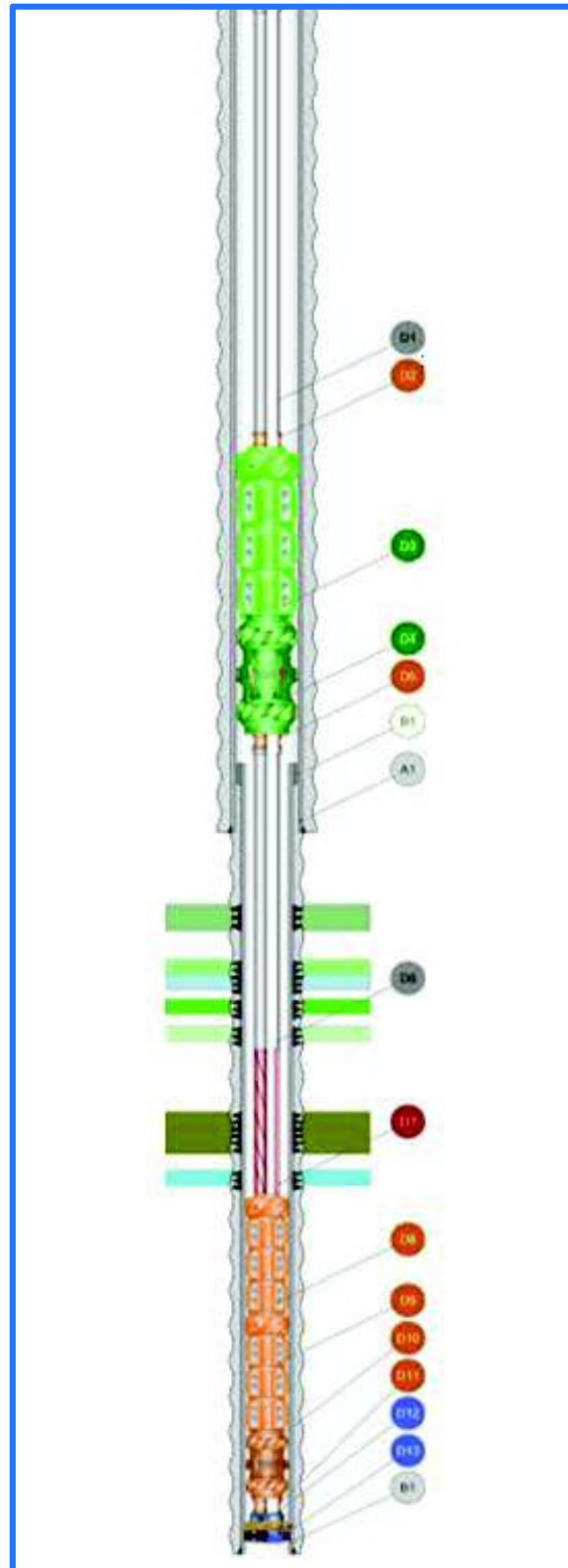


Figura 50. Arreglo de la sarta de limpieza No. 4.

7" Razor Back + (2) 7" Magnostar, (2) 9-5/8" Junk Basket + 9-5/8" Razor Back + (2) 9-5/8" Magnostar.

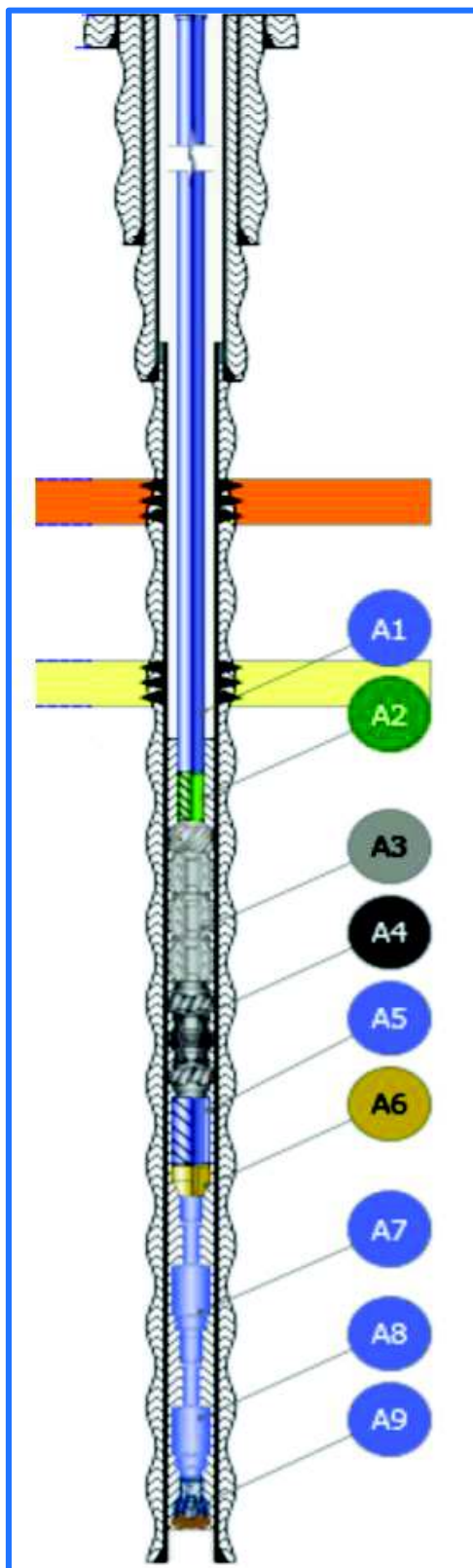


Figura 51. Configuración de la sarta de limpieza No. 5.

ANEXO No. 3

**PÍLDORAS VISCOSAS: PROCEDIMIENTO DE
PREPARACIÓN Y PRUEBA MBT**

PREPARACIÓN DE LAS PÍLDORAS VISCOSAS

Para las pruebas realizadas en este estudio se han realizado 5 barriles equivalentes de píldora viscosa con cada una de las concentraciones establecidas, para cada píldora se usó:

| Concentración (lb/bl) | Volumen Agua (mL) | Aditivo (gr) |
|-----------------------|-------------------|--------------|
| 2 | 1750 | 10 |
| 2,5 | 1750 | 12,5 |
| 3 | 1750 | 15 |
| 3,5 | 1750 | 17,5 |
| 4 | 1750 | 20 |
| 4,5 | 1750 | 225 |

1. Tomar un recipiente llenarlo con 1750 mL de agua.
2. Colocar el agua en la mezcladora con soporte.



Figura 44. Mezcladora con soporte

3. Encender la mezcladora.
4. Medir el peso en la balanza electrónica, el valor será el señalado en la tabla anterior.
5. Una vez medido el peso, se lo debe colocar el aditivo en el agua de manera muy lenta para evitar la formación de ojos de pescado o que el aditivo se quede en la parte superior del agua.
6. Dejar que se mezcle el agua con la goma xantana durante 30 minutos.
7. Sacar el recipiente con la píldora, en un principio se podrá ver la píldora con varias burbujas.



Figura 45. Píldora viscosa vista poco después de terminar su mezcla.

8. Dejar en reposo hasta que la cantidad de burbujas disminuya.
9. El resultado final es este.



Figura 46. Píldora viscosa lista para realizar las pruebas reológicas

PRUEBA DEL AZUL DE METILENO (MBT)

Esta prueba se realiza para comprobar el cambio de las propiedades de la píldora viscosa, para este estudio no se realizó ninguna prueba para la evaluación de píldoras degradadas, sin embargo, se adjunta el procedimiento.

La prueba de azul de metileno es un procedimiento de campo para determinar la capacidad de intercambio catiónico (CEC).

Los materiales necesarios son:

Jeringa de 3 mL y bureta de 10 mL, micropipeta de 0,5 mL, matraz Erlenmeyer, cilindro graduado de 50 mL, varilla de agitación, placa calentadora, papel filtro: 11 cm de diámetro, Whatman N° 1 o equivalente.

Los reactivos a usar durante esta prueba son:

Solución de azul de metileno, Peróxido de hidrógeno, solución al 3%, solución de ácido sulfúrico 5 N.

Procedimiento

1. Añadir 2 mL del fluido a 10 mL de agua en el matraz Erlenmeyer. Añadir 15 mL de peróxido de hidrógeno y 0,5 mL de la solución de ácido sulfúrico, y mezclar revolviendo antes de calentar. Hervir a fuego lento durante 10 minutos. Diluir con agua hasta obtener una solución de aproximadamente 50 mL.
2. Añadir la solución de azul de metileno, agregando cada vez una cantidad de 0,5 mL de la bureta o pipeta al matraz. Después de cada adición, introducir el tapón de caucho y agitar el contenido del matraz durante unos 30 segundos. Mientras que los sólidos están suspendidos, extraer una gota del matraz con una varilla de vidrio y colocarla sobre el papel filtro. Se alcanza el punto final de la valoración cuando el colorante aparece en la forma de un círculo azul verdoso alrededor de los sólidos teñidos.
3. Al detectar el color azul verdoso que se está propagando a partir del punto, agitar el matraz durante 2 minutos adicionales y añadir otra gota al papel filtro. Si se observa otro círculo azul verdoso, el punto final de la valoración ha sido alcanzado. Si el círculo no aparece, repetir la operación anterior hasta que una gota extraída después de agitar por 2 minutos muestre el color azul verdoso.
4. Registrar el volumen (mL) de solución de azul de metileno usado.
5. Calcular la capacidad de azul de metileno (MBC) del fluido MBC según el sistema inglés⁵⁶:

$$\frac{lb}{bl} = \frac{cm^3 \text{ azul de metileno}}{cm^3 \text{ de fluido}} \times 5$$

⁵⁶ (M-I SWACO, 2001)

ANEXO No. 4
SIMULACIONES DE DESPLAZAMIENTO DE FLUIDOS

POZO EDYA-054

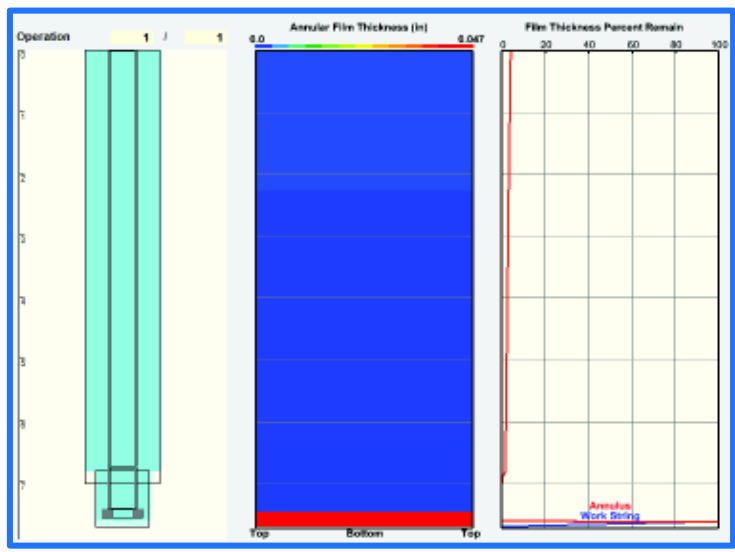


Figura 52. Simulación con reología de la píldora viscosa de 4,5 lb/bl.

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 4,5 lb/bl de concentración, 4BPM, píldora surfactante de 13% v/v, fluido de control con 1% v/v de surfactante ha sido circulado en directa. Como se puede determinar en la figura el espesor de la película remanente es del 3%. Este pozo tiene un ángulo de inclinación de 11,23° por lo cual es un indicativo de que una limpieza convencional puede funcionar, es por ello que una píldora tan pesada para el levantamiento de recortes no es necesaria.

Los datos de diseño y el comportamiento de la bomba pueden ser observados en la siguiente figura.

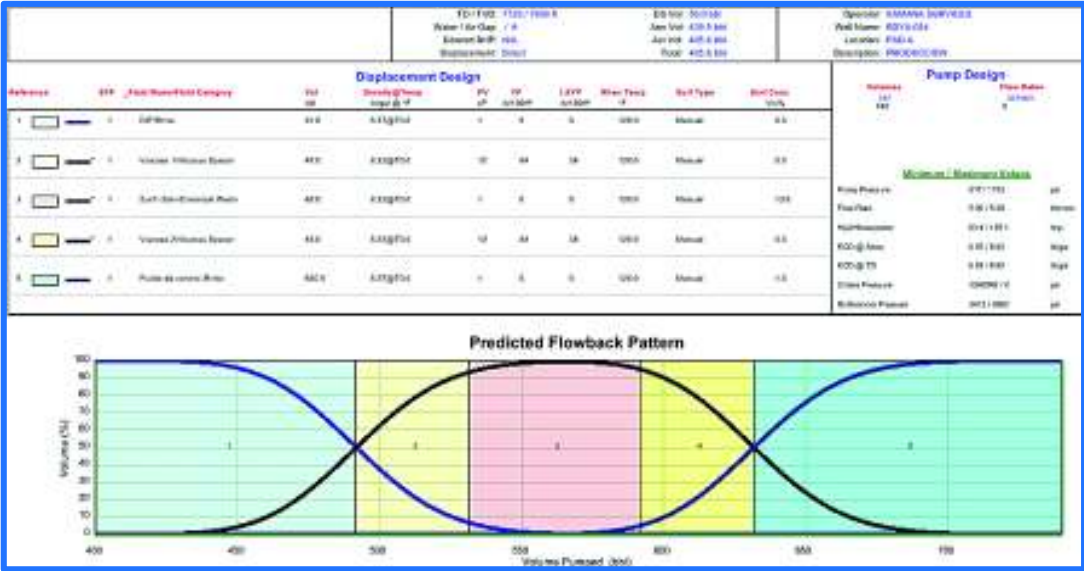


Figura 53. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 4 lb/bl.

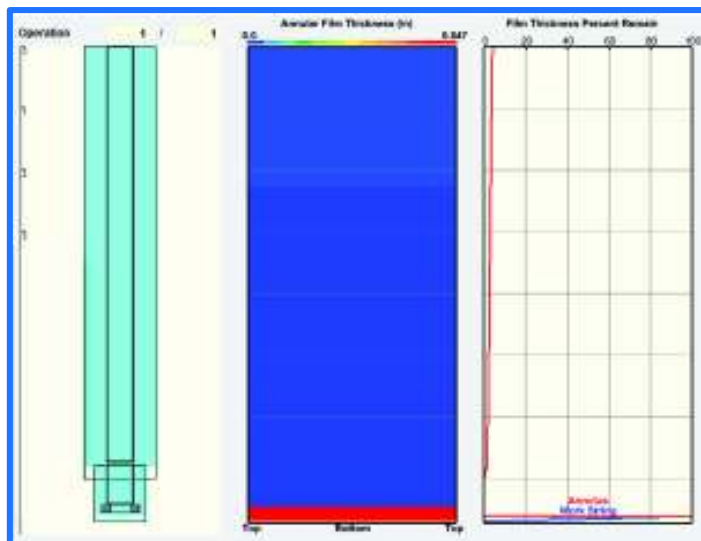


Figura 54. Simulación con reología de la píldora viscosa de 4 lb/bl.

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 4 lb/bl de concentración, el espesor de la película remanente tiene un valor mayor al 3%. Como ya se ha mencionado anteriormente por el bajo ángulo del pozo no se recomienda el uso de esta píldora ya que es muy pesada.

Los datos de diseño y el comportamiento de la bomba pueden ser observados en la siguiente figura.

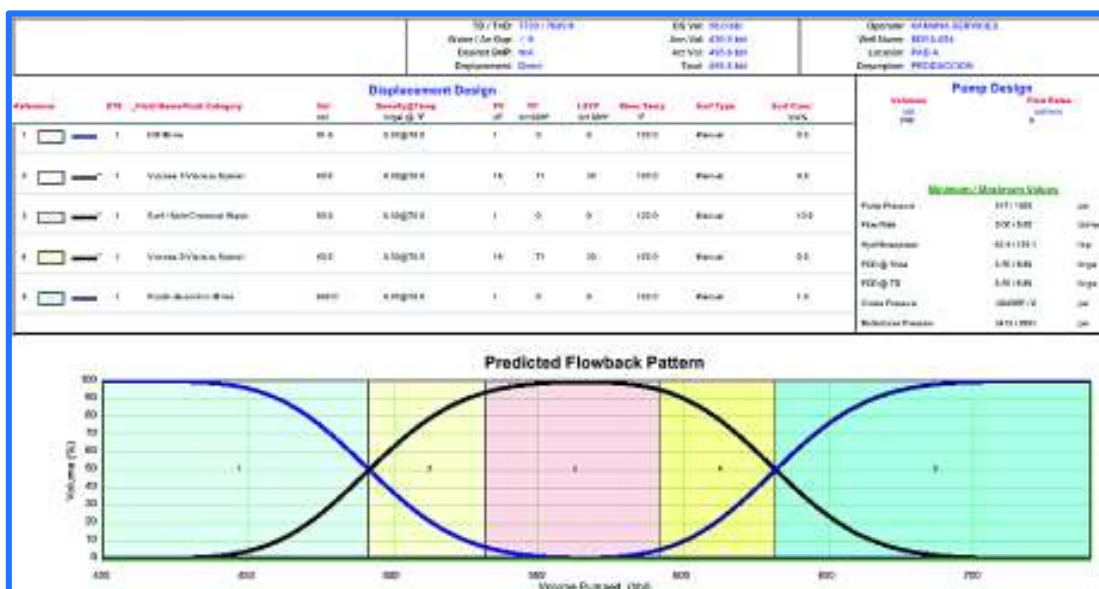


Figura 55. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 4 lb/bl.

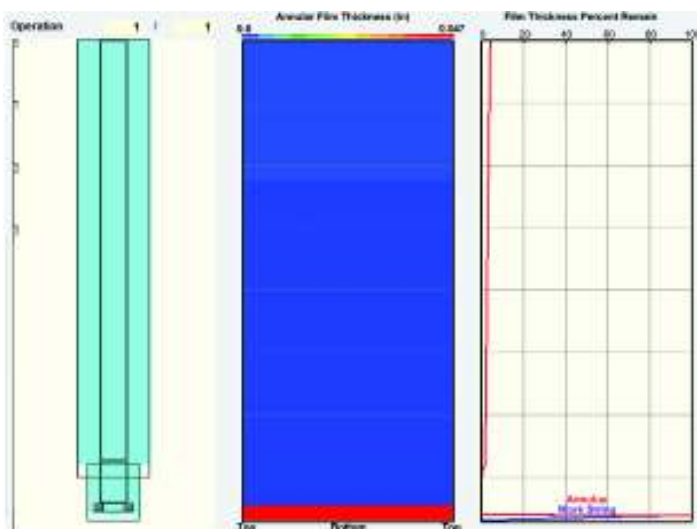


Figura 56. Simulación con reología de la píldora viscosa de 3,5 lb/bl.

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 3,5 lb/bl de concentración, el espesor de la película remanente tiene un valor del 4%. Como ya se ha mencionado anteriormente por el bajo ángulo del pozo no se recomienda el uso de esta píldora a menos que el caudal bombeado sea menor que 4BPM.

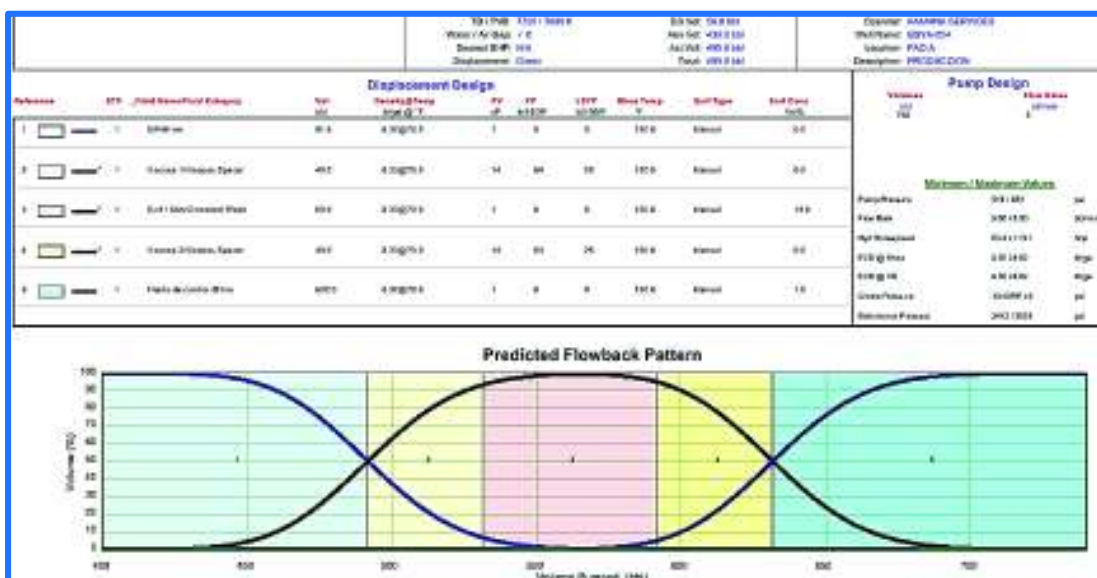


Figura 57. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 3,5 lb/bl.

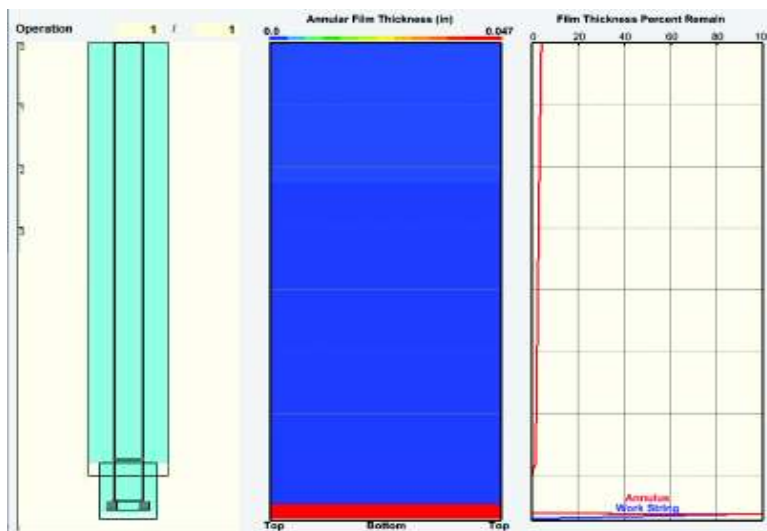


Figura 58. Simulación con reología de la píldora viscosa de 2,5 lb/bl.

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 2,5 lb/bl de concentración, el espesor de la película remanente tiene un valor mayor al 5%. Como ya se ha mencionado anteriormente por el bajo ángulo del pozo no se recomienda el uso de esta píldora a menos que el caudal bombeado sea menor que 5 BPM, sin embargo se debe mencionar que las píldoras con esta concentración no pueden asegurar un buen levantamiento de escombros.

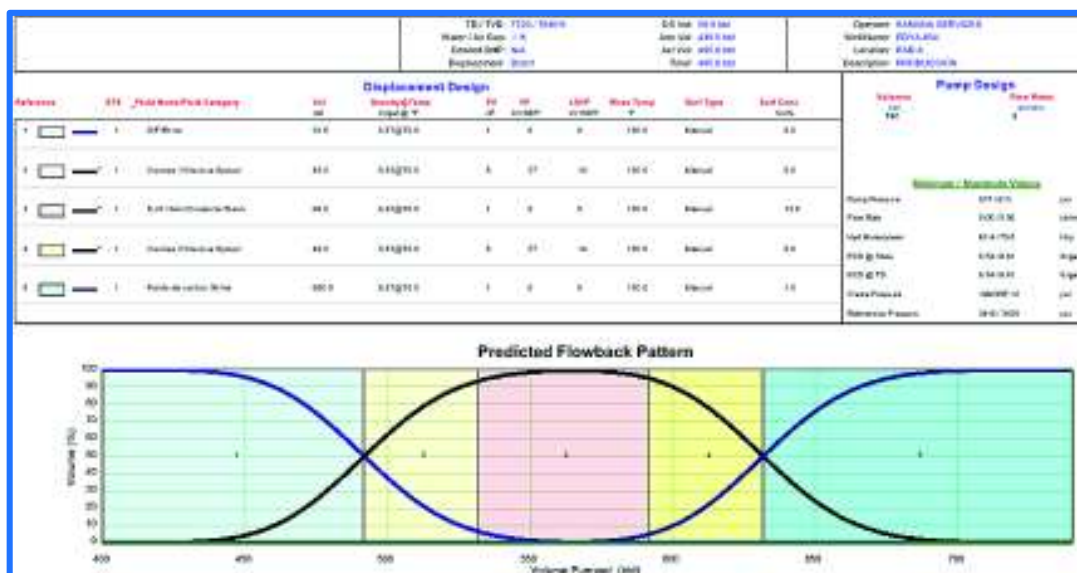


Figura 59. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 2,5 lb/bl.

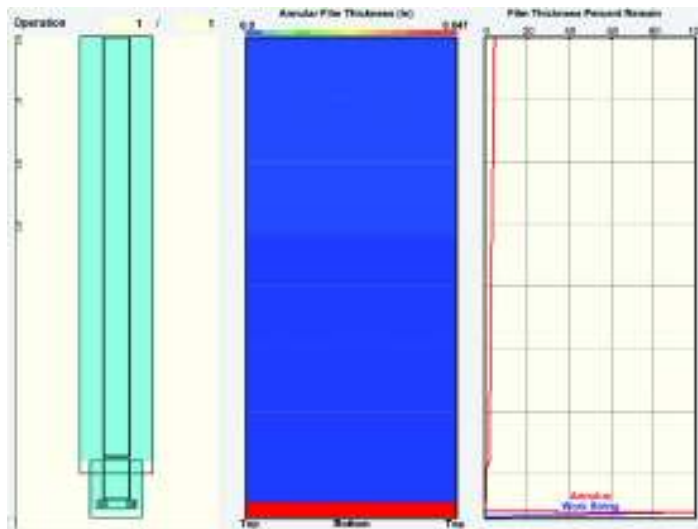


Figura 60. Simulación con reología de la píldora viscosa de 2 lb/bl.

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 2 lb/bl, el espesor de la película remanente es 6%. Al igual que con la píldora anterior no se puede asegurar que el levantamiento de recortes será efectivo.

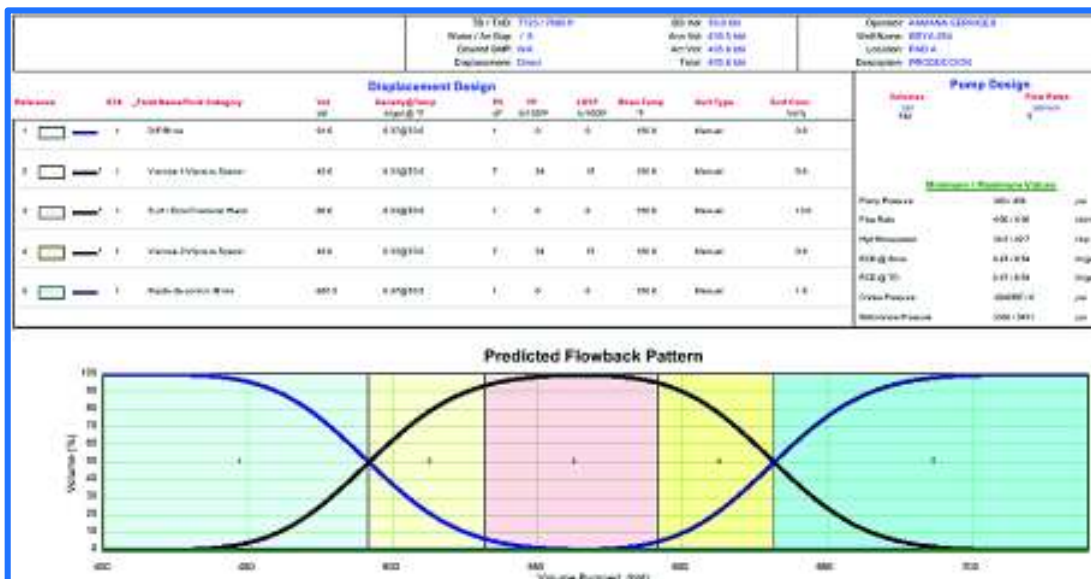


Figura 61. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 2 lb/bl.

POZO EDYT-158H

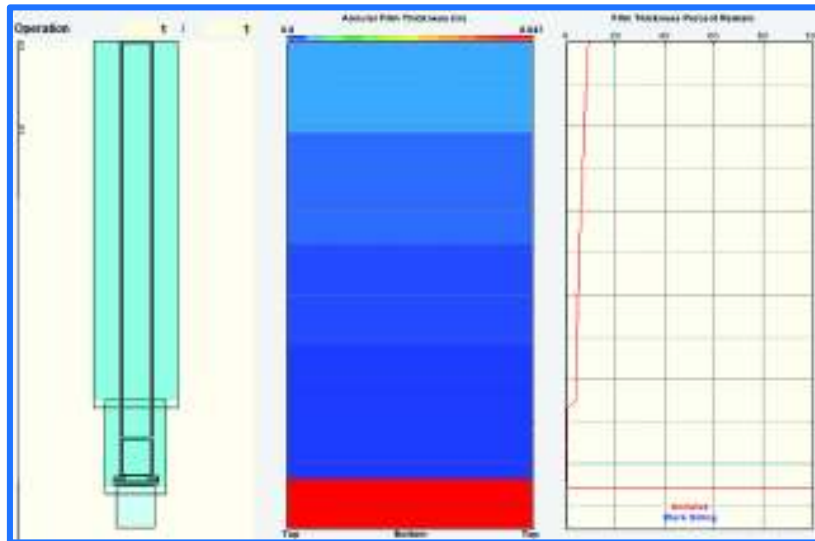


Figura 62. Simulación con reología de la píldora viscosa de 4,5 lb/bl.

De la figura 63 se puede concluir que la limpieza se ha realizado buena forma, el espesor de la costra formada en el casing está prevista en 0,0047 in lo cual equivale aproximadamente al 10% del espesor inicial. Si se quiere mejorar la limpieza los parámetros de circulación deben ser cambiados y bombear el arreglo a mínimo 5 BPM.

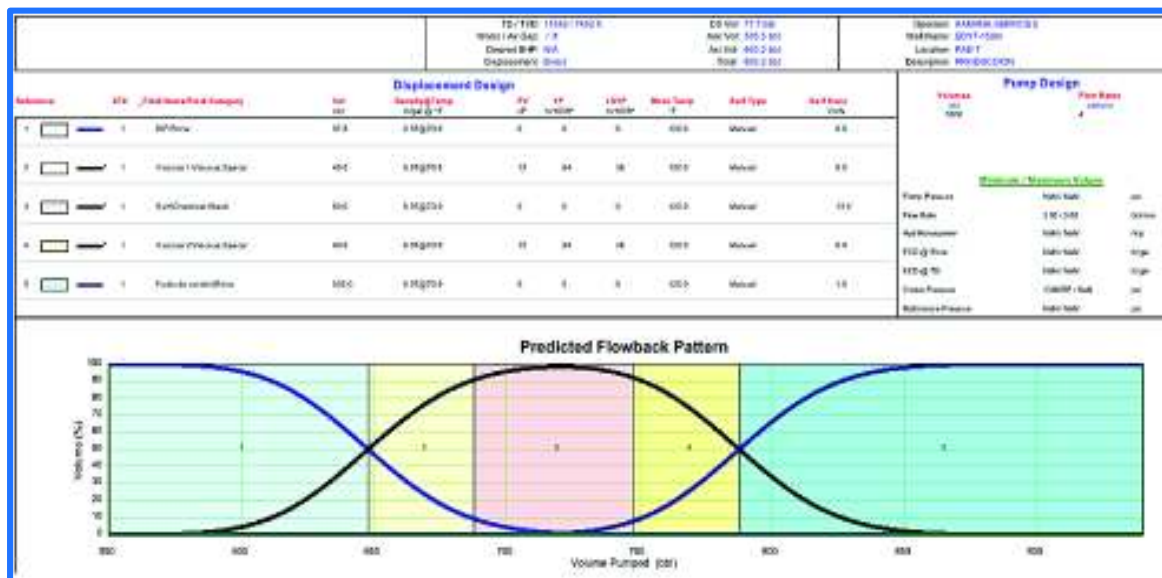


Figura 63. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 4,5 lb/bl.

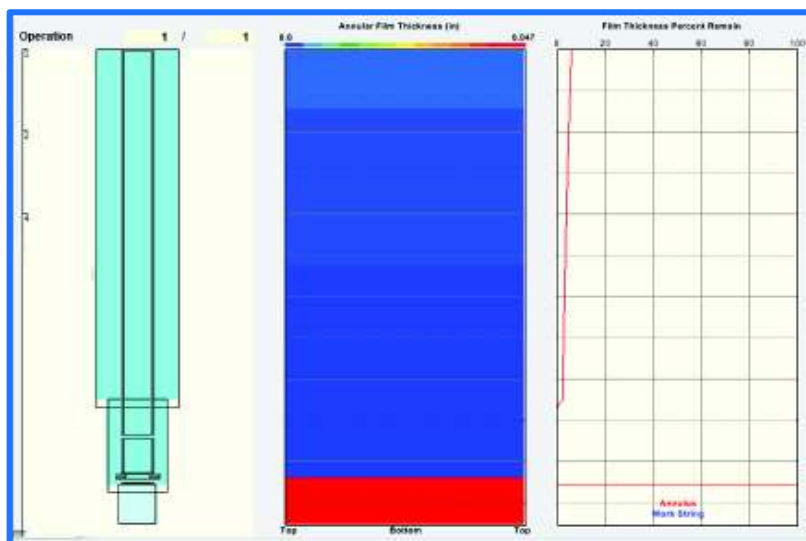


Figura 64. Simulación con reología de la píldora viscosa de 4 lb/bl.

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 4 lb/bl de concentración, el espesor de la película remanente tiene un valor de 6%. Este es un pozo horizontal con una gran cantidad de sólidos de formación por el tramo a hueco abierto que presenta el pozo. Esta píldora también puede ser usada para la limpieza del pozo sin embargo el caudal debe ser de 5 BPM para alcanzar estos resultados, si este caudal disminuye el espesor de la película remanente sería mayor al 10%.

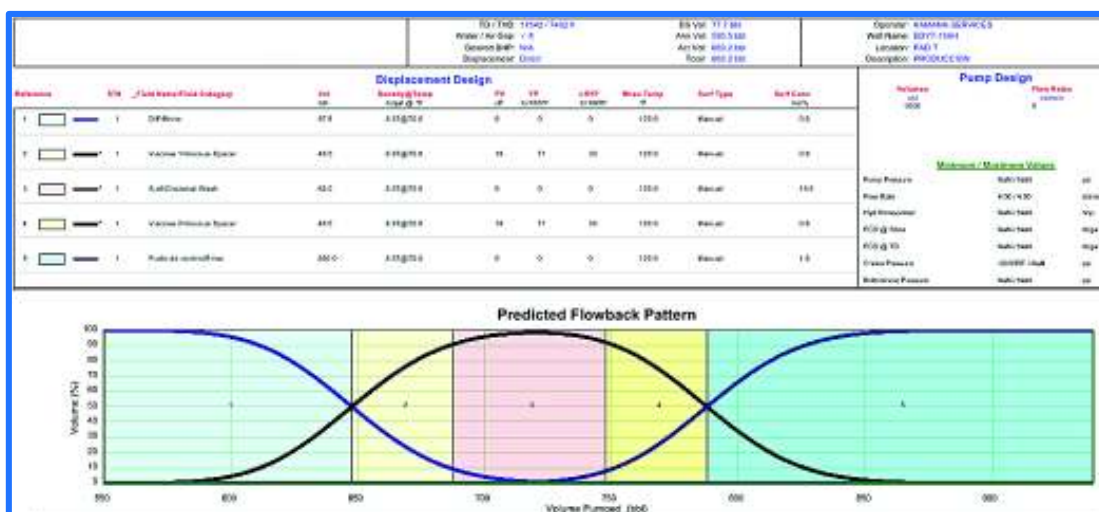


Figura 65. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 4 lb/bl.

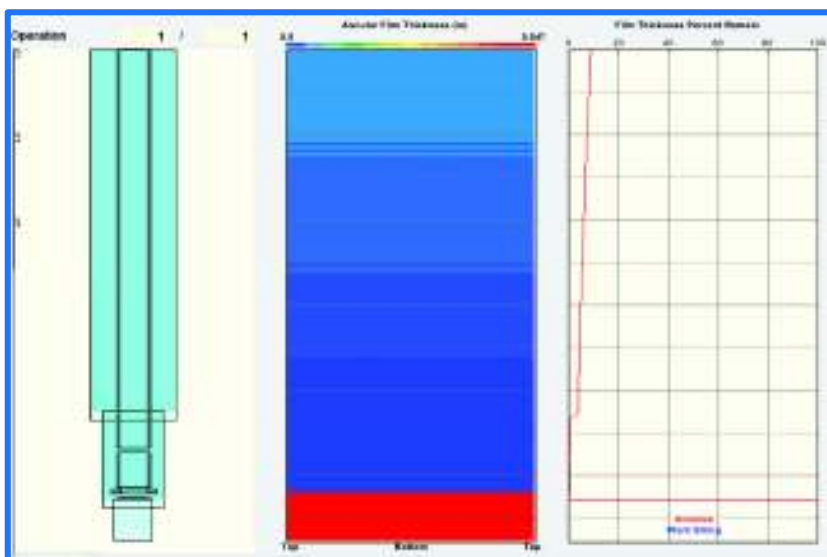


Figura 66. Simulación con reología de la píldora viscosa de 3,5 lb/bl

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 3,5 lb/bl de concentración, el espesor de la película remanente tiene un valor del 10%. La píldora tendrá buenos resultados de limpieza siempre y cuando el caudal de bombeo sea mínimo de 5 BPM.

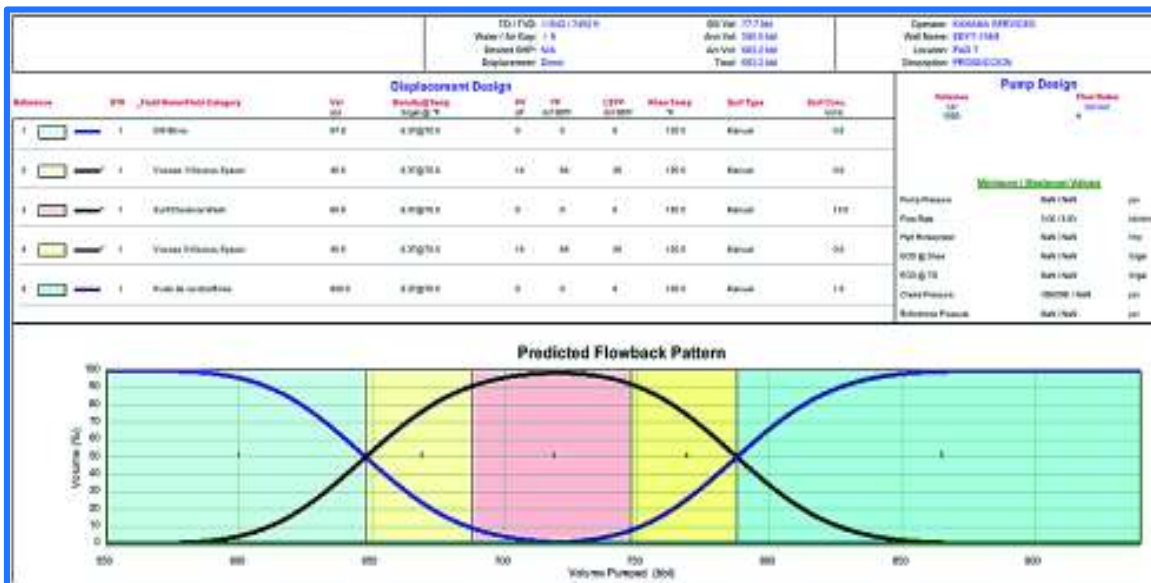


Figura 67. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 3,5 lb/bl.

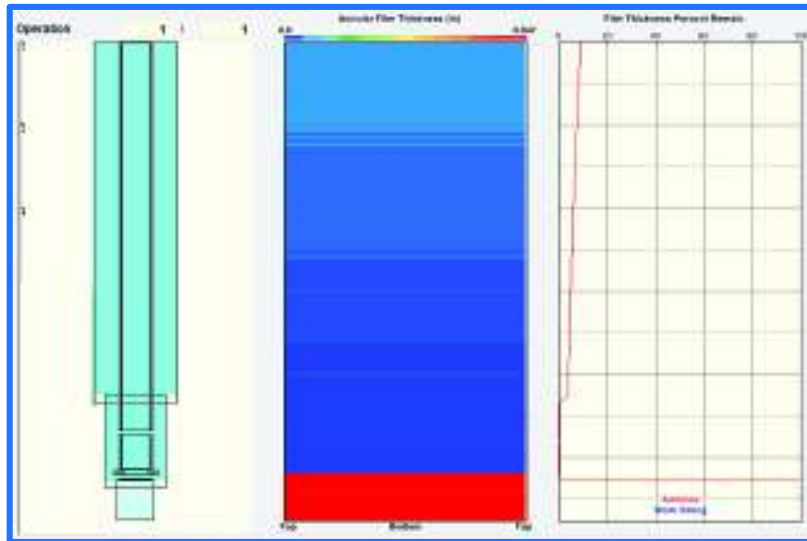


Figura 68. Simulación con reología de la píldora viscosa de 2,5 lb/bl.

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 2,5 lb/bl de concentración, el espesor de la película remanente tiene un valor del 11%. Se diría que lo más probable es que la píldora no pueda manejar la cantidad de sólidos presentes en este tipo de pozos, por lo cual no se recomienda su uso.

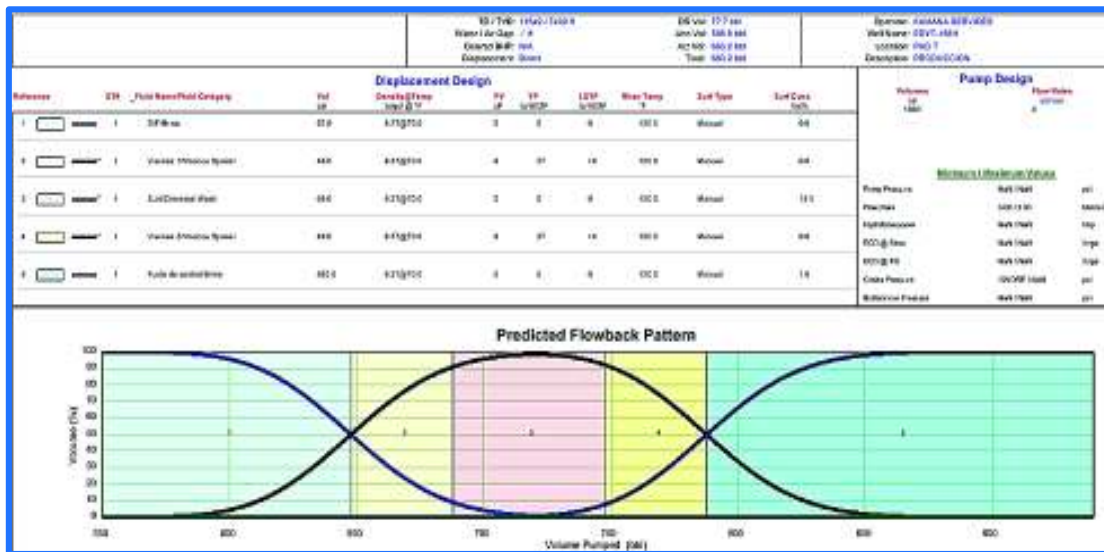


Figura 69. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 2,5 lb/bl.

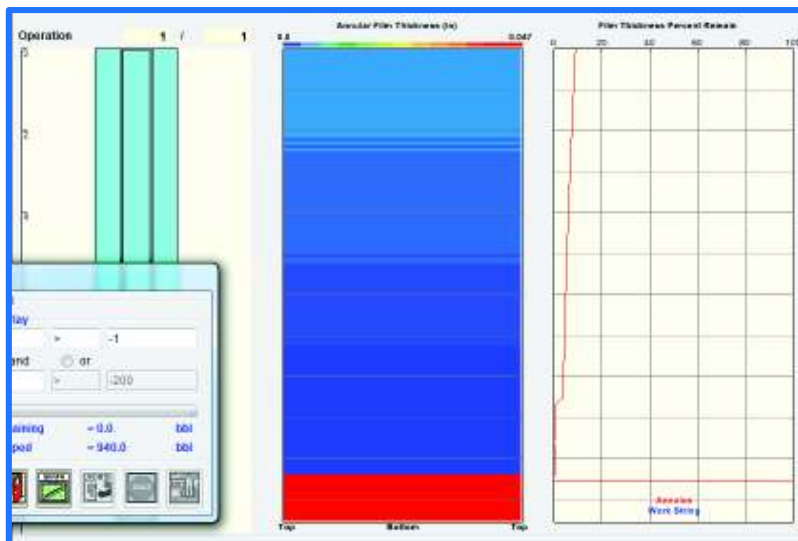


Figura 70. Simulación con reología de la píldora viscosa de 2 lb/bl.

En esta figura se observa que la limpieza del pozo con una píldora viscosa de 2 lb/bl de concentración, el espesor de la película remanente tiene un mayor al 11%. Lo más probable es que la píldora no pueda manejar la cantidad de sólidos presentes en este tipo de pozos, por lo cual no se recomienda su uso durante los trabajos de limpieza. Si se usa esta píldora se terminaría haciendo un segundo viaje de limpieza.

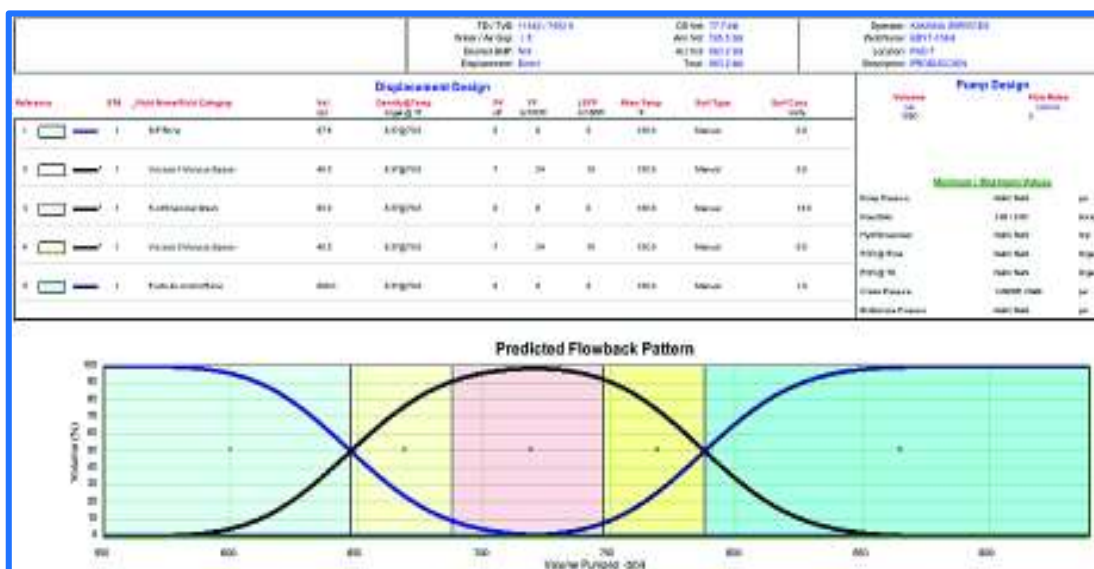


Figura 73. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 2 lb/bl.

POZO EDYF-105A

La limpieza de este pozo es muy compleja debido a los altos ángulos que presenta en la mayoría de su estructura. Aquí se van a formar grandes camas de recortes es por ello que para este pozo se debe realizar operaciones adicionales como se mencionó en el capítulo 4.

La píldora viscosa seleccionada para este pozo fue la de concentración de 3,5 lb/bl, es la mejor opción para levantar la mayor cantidad de recortes asentados en el revestidor sin aumentar la presión en las líneas de flujo, es por ello que para este pozo solo se incluirán las figuras restantes sin una descripción particular, ya que, las recomendaciones y el análisis adecuado se han realizado con anterioridad.

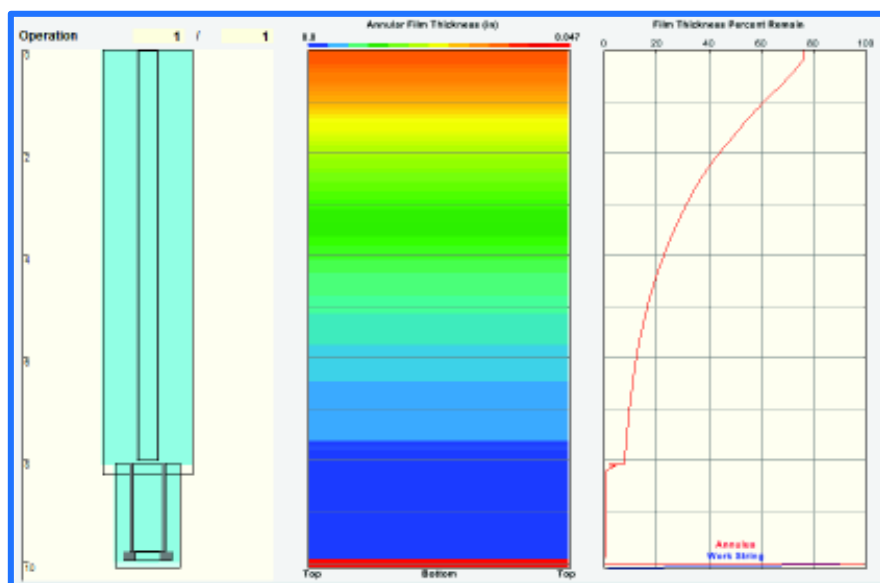


Figura 74. Simulación con reología de la píldora viscosa de 4,5 lb/bl.

Como se observa en la figura 74 la limpieza del pozo no se ha realizado en su totalidad, especialmente en la parte inicial del pozo. Esto se debe a los altos ángulos de inclinación que posee el pozo. También se observa que la limpieza dentro del liner se lleva a cabo en su totalidad si se utilizan los parámetros fijados.

Los datos de diseño y el comportamiento de la bomba pueden ser observados en la siguiente figura:

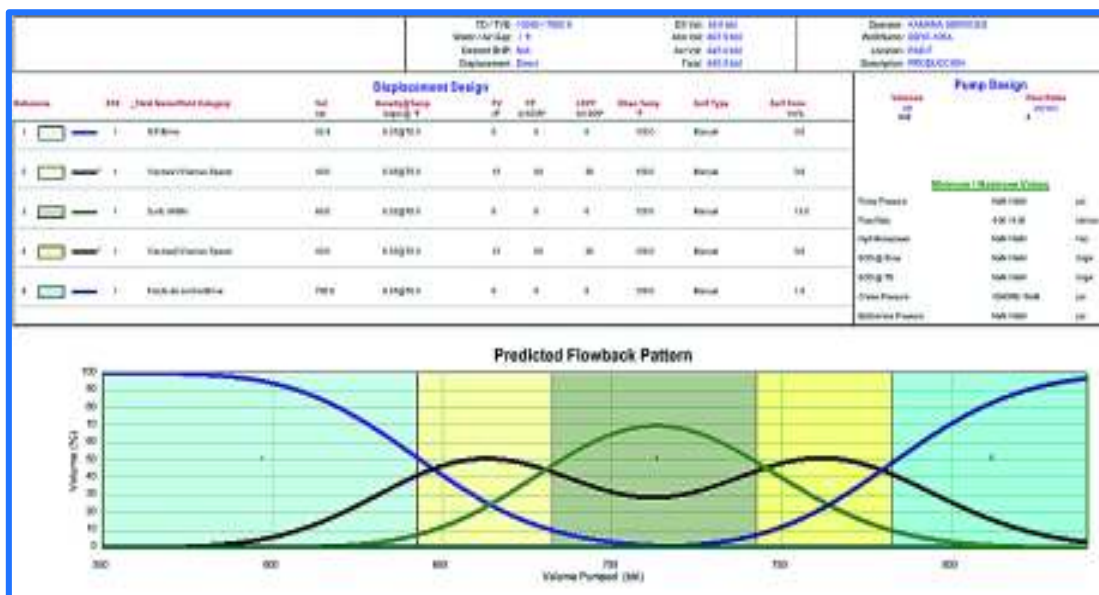


Figura 75. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 4,5 lb/bl.

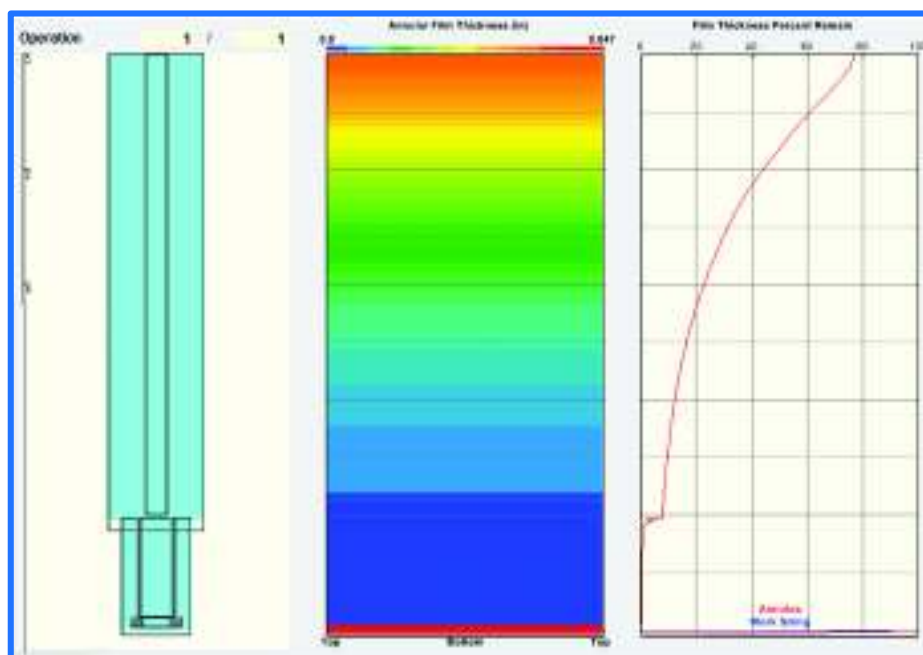


Figura 76. Simulación con reología de la píldora viscosa de 4 lb/bl.

Los datos de diseño y el comportamiento de la bomba pueden ser observados en la siguiente figura.

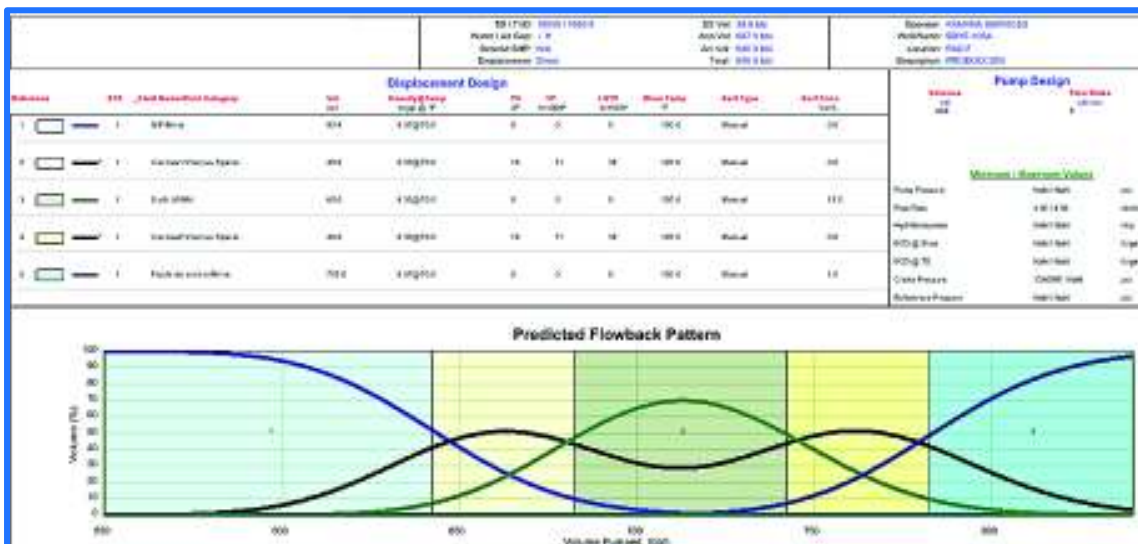


Figura 77. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 4 lb/bl.

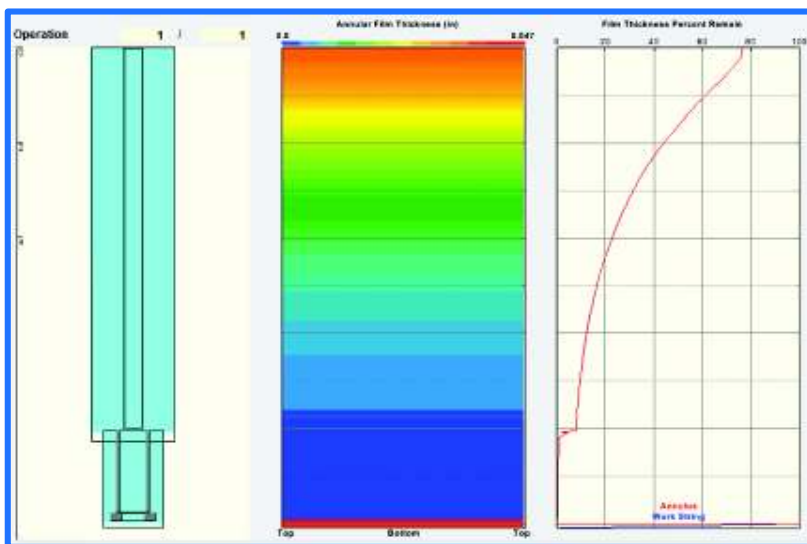


Figura 78. Simulación con reología de la píldora viscosa de 3 lb/bl.

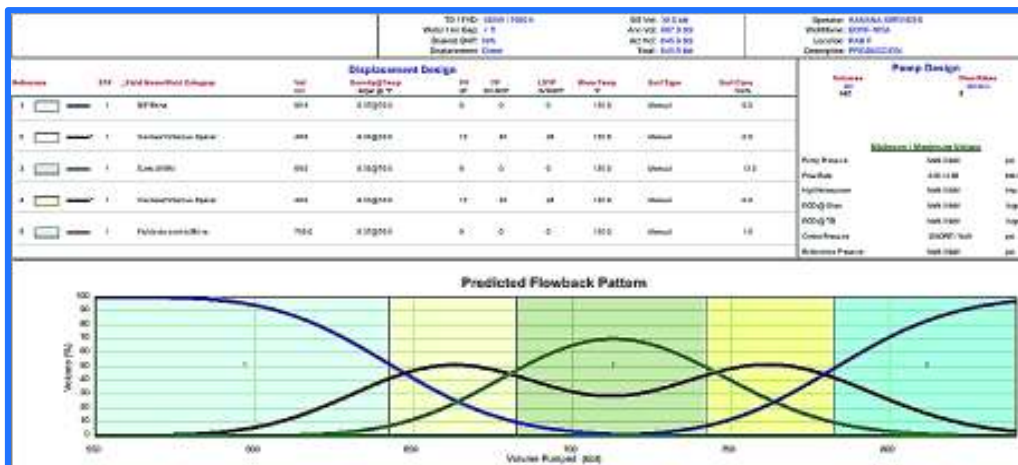


Figura 79. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 3 lb/bl.

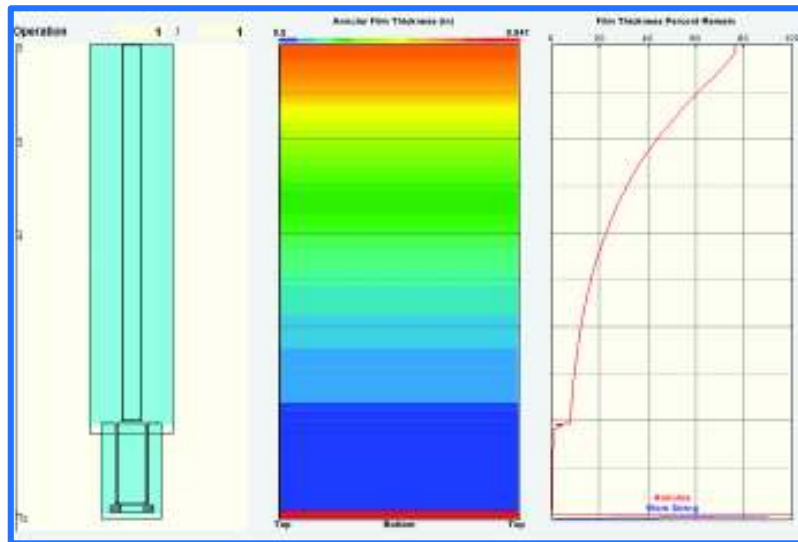


Figura 80. Simulación con reología de la píldora viscosa de 2,5 lb/bl.

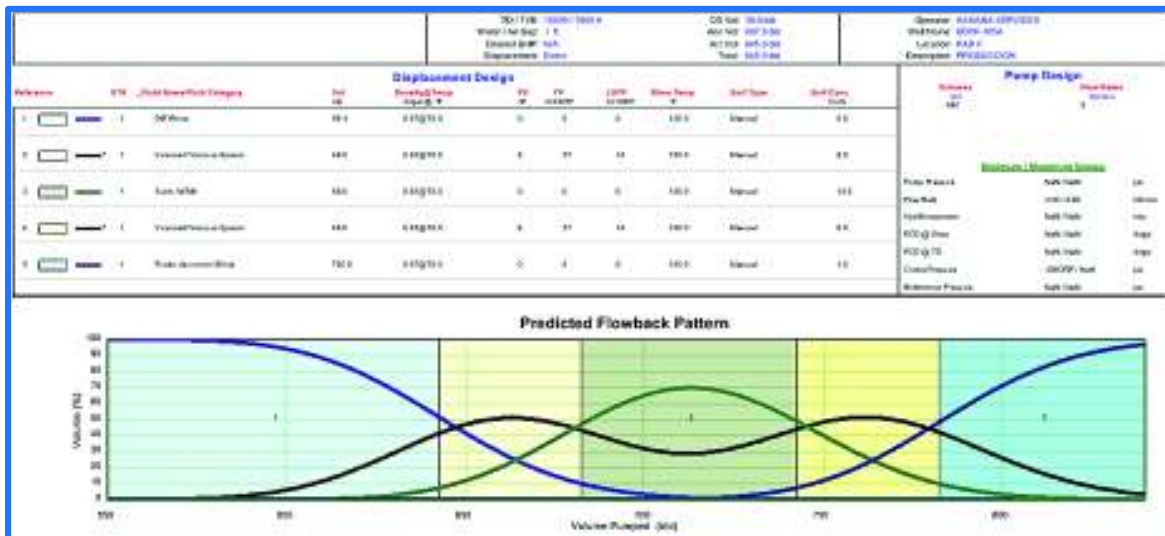


Figura 81. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 2,5 lb/bl.

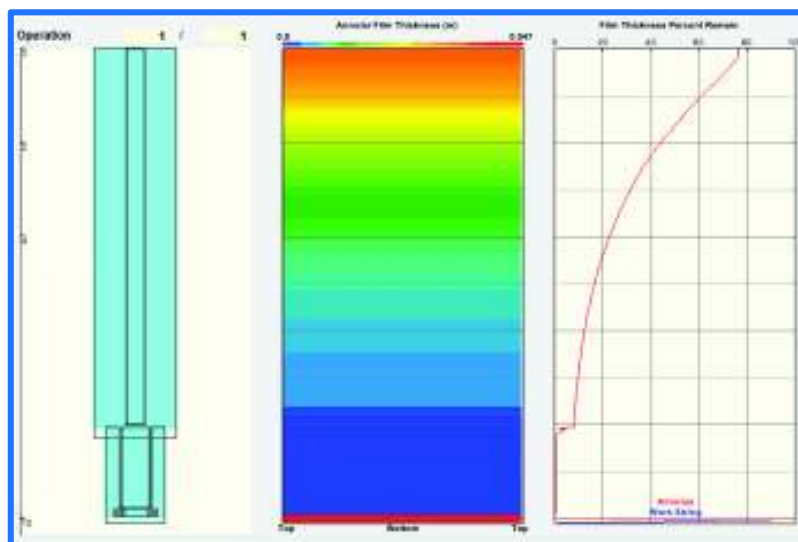


Figura 82. Simulación con reología de la píldora viscosa de 2 lb/bl.

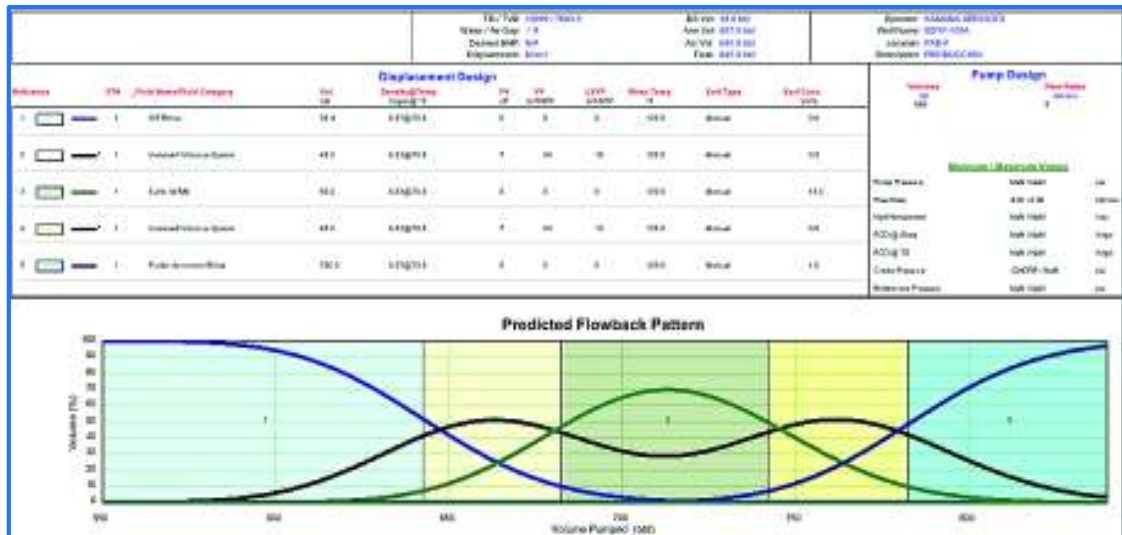
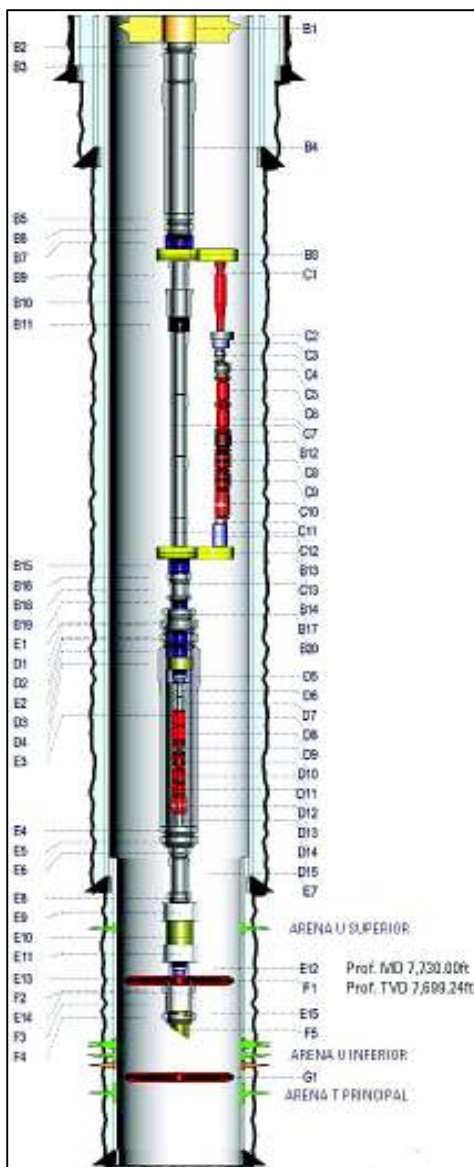


Figura 83. Gráfica FBP de la simulación con reología de la píldora viscosa de 2 lb/bl

ANEXO No. 5

**DIAGRAMAS MECÁNICOS DE LOS POZOS
SELECCIONADOS EN LOS CASOS DE ESTUDIO**



| TUBING HEAD - 11" x 2.78" | | J# | Type MD | Type TVD | Longitud | OD Int | Descripción |
|---------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|--------|--|
| A1 | 1 | 37.00 | 37.00 | 0.72 | 11.00 | | TUBING HANGER 11" x 2.78" |
| A2 | 1 | 37.72 | 37.72 | 1.38 | 2.88 | | X-COVER 2.78" 6.5# EUE. PIN UP X 2.78" 4.8 TSH-BLUE PIN DOWN |
| A3 | 3 | 38.10 | 38.10 | 17.66 | 2.88 | | PUP JOINTS 2.78" 17.6# TSH-BLUE BOX X PIN L-40 |
| A4 | 210 | 50.96 | 50.96 | 8,280.81 | 2.88 | | INNER PRODUCTION TUBING 2.78" 4.8# TSH-BLUE BOX X PIN L-40 1% CI |
| A5 | 1 | 6,337.79 | 6,337.15 | 2.18 | 2.88 | | X-COVER 2.78" 6.5# TSH-BLUE BOX UP X 2.78" 6.5# EUE PIN DOWN |
| A6 | 1 | 6,339.65 | 6,339.21 | 3.25 | 3.50 | | 2.78" 6.5# EUE Box X Pin Sealing Sleeve SLFV 2.125 (Open Up) (CLOGG) |
| A7 | 1 | 6,343.25 | 6,343.25 | 68.10 | 3.50 | | PUP JOINT 2.78" EUE PUP JOINT |
| A8 | 1 | 6,353.30 | 6,352.66 | 0.91 | 3.45 | | X-COVER 2.78" EUE BOX X 2.38" NU PIN |
| A9 | 1 | 6,354.21 | 6,353.57 | 14.71 | 2.40 | | PUP JOINT 2.38" NU BOX X PIN |
| A10 | 1 | 6,368.92 | 6,338.28 | 4.86 | 2.72 | | 2.75" STINGER ASSEMBLY 3.38" NU BOX UP CON NOGO 1.81" |

| TUBING HEAD - 11" x 2.78" | | J# | Type MD | Type TVD | Longitud | OD Int | Descripción |
|---------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|--------|--|
| B1 | 1 | 37.00 | 37.00 | 0.96 | 11.00 | | TUBING HANGER 11" x 5-1/2" BTC |
| B2 | 1 | 37.96 | 37.96 | 3.58 | 6.29 | | X-COVER 5-1/2" 17# BTC PIN UP X 5-1/2" 17# TSH-BLUE PIN DOWN |
| B3 | 2 | 41.54 | 41.54 | 14.54 | 5.50 | | PUP JOINTS 5-1/2" 17# TSH-BLUE BOX X PIN |
| B4 | 185 | 56.38 | 56.38 | 8,297.54 | 5.50 | | TUBING 5-1/2" 17# L-40 1% CI TSH-BLUE BOX X PIN |
| B5 | 1 | 6,353.63 | 6,352.88 | 4.24 | 5.50 | | X-COVER 5-1/2" 17# TSH-BLUE BOX X 5-1/2" 17# BTC PIN |
| B6 | 1 | 6,357.86 | 6,357.23 | 1.17 | 5.50 | | X-COVER 5-1/2" 17# BTC BOX UP X 4-1/2" 12.6# PMU BOX DOWN |
| B7 | 1 | 6,369.03 | 6,358.39 | 8.33 | 6.06 | | 4-1/2" PMU PIN X PIN HANDLING SUB. |
| B8 | 1 | 6,367.36 | 6,359.72 | 1.56 | 8.80 | | 6.5# FLOW X-COVER ASSY 3-1/2" 9.2# PMU BOX UP X BOX DOWN |
| B9 | 1 | 6,368.92 | 6,338.28 | 1.00 | 3.50 | | 3-1/2" 9.2# PMU PIN UP X PIN DOWN ADAPTER |
| B10 | 1 | 6,369.92 | 6,338.28 | 3.95 | 4.50 | | 3-1/2" 9.2# PMU PIN UP X PIN DOWN 2.78" PIN (POLISHED BORE REST PATELLE) |
| B11 | 1 | 6,373.87 | 6,343.23 | 3.44 | 4.56 | | ADJUSTABLE UNION CAV PUP JOINT 3-1/2" PMU BOX UP X 2.78" 8.8# STL PIN DOWN |
| B12 | 8 | 6,377.31 | 6,346.67 | 106.06 | 2.88 | | PIV PASS TUBING SET 2.78" 8.8# STL BOX UP X PIN DOWN |
| B13 | 1 | 6,477.37 | 6,448.73 | 3.25 | 2.88 | | BYPASS TUBING X-COVER 2.78" 8.8# STL BOX X 2.78" VAM P.U. PIN |
| B14 | 1 | 6,480.97 | 6,449.33 | 1.12 | 8.13 | | PUMP SUPPORT SUB 6.125 X 5-1/2" PMU BOX X 2.78" VAM P.U. BOX |
| B15 | 1 | 6,481.05 | 6,451.05 | 5.57 | 4.50 | | LOWER HANDLING SUB, 3-1/2" 9.2# PMU BOX UP X 3-1/2" 9.2# EUE PIN DOWN |
| B16 | 1 | 6,487.26 | 6,456.62 | 1.89 | 4.50 | | CROSSOVER 3 1/2" EUE BOX X 3 1/2" TSH-BLUE PIN |
| B17 | 2 | 6,489.19 | 6,458.51 | 83.13 | 3.50 | | TUBING 3-1/2" 9.2# L-40 TSH-BLUE |
| B18 | 1 | 6,552.28 | 6,521.64 | 1.84 | 4.50 | | CROSSOVER 3 1/2" TSH-BLUE BOX X 3 1/2" EUE PIN |
| B19 | 1 | 6,554.12 | 6,523.48 | 10.00 | 3.50 | | UPPER HANDLING SUB, 3-1/2" 9.2# EUE BOX UP X 3-1/2" 9.2# PMU PIN DOWN |
| B20 | 1 | 6,564.12 | 6,533.48 | 0.72 | 6.00 | | HANGER ABOVE THE 7" POOL 3-1/2" PMU BOX |

| PUP JOINTS | | J# | Type MD | Type TVD | Longitud | OD Int | Descripción |
|------------|---|----------|----------|----------|----------|--------|--|
| C1 | 1 | 6,369.92 | 6,338.28 | 11.52 | 3.50 | | 3-1/2" 9.2# PMU PIN UP X 3-1/2" 9.2# EUE PIN DOWN PUMP SUB |
| C2 | 1 | 6,380.44 | 6,349.80 | 1.00 | 4.50 | | 3-1/2" 9.2# EUE BOX X PIN, NO GO NIPPLE 2.125" PROFILE CON STANDING VALVE |
| C3 | 1 | 6,381.46 | 6,350.82 | 0.38 | 3.50 | | 3-1/2" 9.2# EUE BOX X PIN, FLOW COUPLING |
| C4 | 1 | 6,387.84 | 6,357.20 | 0.58 | 3.50 | | HEAD BOX ON DISCHARGE PMP 3 1/2" EUE RLOY |
| C5 | 1 | 6,388.42 | 6,357.78 | 0.75 | 1.13 | | DISCHARGE PHOENIX PRESSURE FLANGE RLOY |
| C6 | 1 | 6,389.17 | 6,358.53 | 11.52 | 3.38 | | BOMBA S8000 CR-RLOY-ES-TT-INC-AFLAS 63 etapas SN: 29567763000 |
| C7 | 1 | 6,406.89 | 6,376.05 | 17.52 | 5.38 | | BOMBA S8000 CR-RLOY-ES-TT-INC-AFLAS 63 etapas SN: 29567763000 |
| C8 | 1 | 6,424.21 | 6,383.57 | 1.17 | 5.13 | | INTAKE-RLOY-ARZ RLOY-INC SN: RD567769330 |
| C9 | 1 | 6,426.36 | 6,394.74 | 8.02 | 3.13 | | PROTECTOR SPMSL-UT-RLOY-AFL-AMAX-RLOY-AFLAS-KTSH-4. SN: 3F56K769847 |
| C10 | 1 | 6,436.38 | 6,403.86 | 8.02 | 4.50 | | PROTECTOR SPMSL-UT-RLOY-AFL-AMAX-RLOY-AFLAS-KTSH-4. SN: 3F56K769847 |
| C11 | 1 | 6,443.23 | 6,412.58 | 34.45 | 6.02 | | MOTOR RA-S-RLOY-MAX-RLOY-AFLAS 2530 V / 46.5 Amp / 1800-RPM SN: 1156K7763005 |
| C12 | 1 | 6,477.67 | 6,447.03 | 1.87 | 4.80 | | SENSOR XT190 TYPE 1 SN: S133KA1696207 |
| C13 | 1 | 6,479.54 | 6,448.90 | 1.03 | 0.33 | | SPEAR 2.38" EUE PIN UP |

| PUP JOINTS | | J# | Type MD | Type TVD | Longitud | OD Int | Descripción |
|------------|---|----------|----------|----------|----------|--------|---|
| D1 | 1 | 6,564.84 | 6,534.20 | 0.66 | 6.29 | | HANGER BELOW THE 7" POOL 3-1/2" PMU BOX |
| D2 | 1 | 6,565.50 | 6,534.86 | 5.70 | 3.50 | | LOWER HANDLING SUB, 3-1/2" 9.2# PMU BOX UP X 3-1/2" 9.2# EUE PIN DOWN |
| D3 | 1 | 6,571.29 | 6,540.65 | 10.01 | 3.50 | | LOWER EXTENSION SUB, 3-1/2" 9.2# EUE BOX X PIN DOWN |
| D4 | 1 | 6,581.29 | 6,550.67 | 6.42 | 4.50 | | 3-1/2" 9.2# EUE BOX X PIN, FLOW COUPLING |
| D5 | 1 | 6,587.63 | 6,556.99 | 1.01 | 4.50 | | 3-1/2" 9.2# EUE BOX X PIN, NO GO NIPPLE 2.125" PROFILE |
| D6 | 1 | 6,588.64 | 6,558.00 | 0.58 | 4.00 | | Head Box On Discharge PMP 3 1/2" EUE RLOY |
| D7 | 1 | 6,589.22 | 6,558.58 | 0.75 | 4.00 | | DISCHARGE PHOENIX PRESSURE FLANGE RLOY |
| D8 | 1 | 6,599.87 | 6,569.23 | 21.61 | 4.00 | | BOMBA DM1750 CR-RLOY-ES-TT-INC-AFLAS 12# etapas SN: 2F56L767299 |
| D9 | 1 | 6,617.78 | 6,587.14 | 27.81 | 4.00 | | BOMBA DM1750 CR-RLOY-ES-TT-INC-AFLAS 12# etapas SN: 2F56L767299 |
| D10 | 1 | 6,633.59 | 6,602.95 | 0.35 | 4.00 | | AGH-D5-21 CR-RLOY-ES-TT-INC-AFLAS 32 etapas SN: RD567761010 |
| D11 | 1 | 6,634.94 | 6,603.30 | 1.00 | 4.00 | | INTAKE-RLOY-ARZ RLOY-INC SN: RD567774807 |
| D12 | 1 | 6,640.94 | 6,610.30 | 8.03 | 4.00 | | PROTECTOR SPMSL-UT-RLOY-AFL-AMAX-RLOY-AFLAS-KTSH-4. SN: 3F56K769847 |
| D13 | 1 | 6,646.28 | 6,615.64 | 8.03 | 4.50 | | PROTECTOR SPMSL-UT-RLOY-AFL-AMAX-RLOY-AFLAS-KTSH-4. SN: 3F56K769847 |
| D14 | 1 | 6,657.00 | 6,626.36 | 21.00 | 4.50 | | MOTOR RA-S-RLOY-MAX-RLOY-AFLAS 2530 V / 46.5 Amp / 1800-RPM SN: 1C56L763300 |
| D15 | 1 | 6,675.90 | 6,645.26 | 1.87 | 4.80 | | SENSOR XT190 TYPE 1 SN: S133KA1696231 |

| DISCHARGE | | J# | Type MD | Type TVD | Longitud | OD Int | Descripción |
|-----------|----|----------|----------|----------|----------|--------|---|
| E1 | 1 | 6,564.84 | 6,534.20 | 2.22 | 7.00 | | 7" BTC PIN DOWN POOL ELVUE |
| E2 | 1 | 6,567.00 | 6,536.45 | 5.68 | 7.00 | | CROSSOVER 7" BTC Box x 7" TSH-Blue pin |
| E3 | 3 | 6,572.77 | 6,542.13 | 138.29 | 7.00 | | CASING JOINT 7" 26.0# 8" TSH-Blue Box x Pin Down |
| E4 | 1 | 6,714.97 | 6,684.33 | 4.28 | 7.00 | | CROSSOVER 7" TSH-BLUE BOX X 7" BTC PIN |
| E5 | 1 | 6,716.25 | 6,685.61 | 0.97 | 7.00 | | POD BOTTOM CROSSOVER 7" BTC BOX X 3-1/2" EUE PIN |
| E6 | 1 | 6,717.22 | 6,686.58 | 1.89 | 4.00 | | CROSSOVER 3-1/2" EUE BOX X 3-1/2" TSH-BLUE PIN |
| E7 | 15 | 6,719.07 | 6,688.43 | 488.06 | 3.50 | | TUBING 3-1/2" 9.2# L-40 TSH-BLUE 1% CR BOX X PIN |
| E8 | 1 | 7,187.12 | 7,156.48 | 1.94 | 4.50 | | CROSSOVER 3 1/2" TSH-Blue box up x 3 1/2" EUE pin |
| E9 | 1 | 7,189.07 | 7,158.43 | 1.23 | 6.00 | | 3-1/2" EUE Box x Pin INTERNAL CENTRALISER |
| E10 | 1 | 7,190.30 | 7,159.65 | 30.15 | 4.50 | | 3-1/2" EUE BOX X PIN BLAST JOINT |
| E11 | 1 | 7,220.45 | 7,188.78 | 1.23 | 6.00 | | 3-1/2" EUE Box x Pin INTERNAL CENTRALISER |
| E12 | 1 | 7,230.88 | 7,200.01 | 1.06 | 4.45 | | 3-1/2" EUE BOX X PIN NOGO 2.75 R |
| E13 | 1 | 7,231.73 | 7,201.06 | 0.42 | 4.50 | | 3-1/2" EUE BOX X 3.625" STUB ACME PIN PREMIUM LOCATOR SEAL ASSEMBLY |
| E14 | 1 | 7,232.15 | 7,201.48 | 13.00 | 4.00 | | 3.625" STUB ACME BOX X PIN PREMIUM SEAL UNITS 4" OD |
| E15 | 1 | 7,240.07 | 7,215.43 | 1.00 | 3.97 | | 3.625" STUB ACME BOX UP SPECIAL MALLE SHOE |

| DISCHARGE | | J# | Type MD | Type TVD | Longitud | OD Int | Descripción |
|-----------|---|----------|----------|----------|----------|--------|--|
| F1 | 1 | 7,232.15 | 7,201.48 | 5.04 | 6.00 | | QUANTUM PROKER (28-29), 4140, NITRILE (R), 4.307-5 STUB ACME PIN |
| F2 | 1 | 7,237.19 | 7,206.62 | 0.55 | 6.02 | | CENTRIC COLLARING STUB ACME BOX UP X 4.625" STUB ACME BOX DOWN |
| F3 | 1 | 7,237.74 | 7,207.07 | 0.54 | 5.05 | | SEAL BORE EXTENSION 4.625-5 STUB ACME PIN X PIN |
| F4 | 1 | 7,247.28 | 7,216.61 | 0.54 | 6.00 | | TAIL PIPE ADAPTER 4" ID BORE X 2.78" EUE 6.5# PIN |
| F5 | 1 | 7,247.82 | 7,217.15 | 0.67 | 3.00 | | BOX MALLE SHOE 2.78" EUE 6.5# |

| TAPON | | J# | Type MD | Type TVD | Longitud | OD Int | Descripción |
|-------|---|----------|----------|----------|----------|--------|-------------------|
| G1 | 1 | 7,488.70 | 7,457.88 | 2.55 | 5.75 | | TAPON COPPER-HEAD |

| INTERVALOS CARROBONDOS | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|------------------|--------------------------|-------|-------------|------------|------------|----------|---------------------|
| Formación | Type MD (ft) | Type TVD (ft) | Base MD (ft) | Base TVD (ft) | Longitud (ft) | Densidad (g/cm³) | Comp. | Fase | Perforación | Dilatación | Pedra | Estado | Comentarios |
| ARENA U SUPERIOR | 7,200.00 | 7,186.33 | 7,217.00 | 7,196.33 | 17.00 | 5.00 | POWER JET CARGA 4505 HMX | 72.00 | 9.43 | 0.49 | 02/05/2017 | OPEN | 15 BALAS PUNE |
| ARENA U INFERIOR | 7,294.00 | 7,279.32 | 7,299.00 | 7,274.32 | 11.00 | 5.00 | POWER JET CARGA 4505 HMX | 72.00 | 9.43 | 0.49 | 02/05/2017 | OPEN | 8 PFT DE PROPILENTA |
| ARENA U INFERIOR | 7,297.00 | 7,278.32 | 7,296.00 | 7,273.32 | 9.00 | 5.00 | POWER JET 4505 | | 59.29 | 0.43 | 11/03/2008 | SQUEEZED | |
| ARENA U INFERIOR | 7,299.00 | 7,278.32 | 7,294.00 | 7,263.32 | 16.00 | 5.00 | POWER JET 4505 | | 59.29 | 0.43 | 11/03/2008 | SQUEEZED | |
| ARENA T PRINCIPAL | 7,307.00 | 7,478.28 | 7,528.00 | 7,497.28 | 21.00 | 5.00 | POWER JET 4505 | | 59.29 | 0.43 | 11/03/2008 | OPEN | |
| ARENA T PRINCIPAL | 7,532.00 | 7,561.27 | 7,540.00 | 7,509.27 | 8.00 | 5.00 | POWER JET 4505 | | 59.29 | 0.43 | 11/03/2008 | OPEN | |
| ARENA T INFERIOR | 7,300.00 | 7,298.32 | 7,304.00 | 7,273.32 | 4.00 | 5.00 | POWER JET 4505 | | 59.29 | 0.43 | 10/09/2008 | SQUEEZED | |
| ARENA T PRINCIPAL | 7,507.00 | 7,478.28 | 7,530.00 | 7,466.78 | 13.00 | 5.00 | | | | | 12/05/2008 | OPEN | |
| ARENA T PRINCIPAL | 7,520.00 | 7,489.78 | 7,528.00 | 7,497.28 | 7.50 | 5.00 | | | | | 12/05/2008 | OPEN | |
| ARENA T PRINCIPAL | 7,532.00 | 7,561.27 | 7,590.00 | 7,519.27 | 18.00 | 5.00 | | | | | 12/05/2008 | OPEN | |

| DETALLE CASING | | | | | | |
|---------------------|--------------|---------|-------|------|-------------|--|
| Numero | Base MD (ft) | OD (in) | Staco | Pesa | Comentarios | |
| CONDUCTOR CASING | 82.0 | 30.000 | N-85 | 94 | | |
| SURFACE CASING | 2,560.0 | 13.375 | N-85 | 88 | | |
| INTERMEDIATE CASING | 7,022.0 | 6.025 | N-80 | 47 | | |
| LINER | 7,720.0 | 7.000 | P-110 | 26 | | |

| COMPONENTES ULTIMO CASING LINER | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|---------|--------------|---------------|-------------|--|--|--|--|
| Numero | Base MD (ft) | OD (in) | Type MD (ft) | Base TVD (ft) | Comentarios | | | | |
| LANDING COLLAR | | | 7.000 | 7,823.00 | 7,824.61 | | | | |
| FLUOT SHOE | | | 7.000 | 7,716.00 | 7,719.97 | | | | |
| FLUOT COLLAR | | | 7.000 | 7,670.00 | 7,671.30 | | | | |

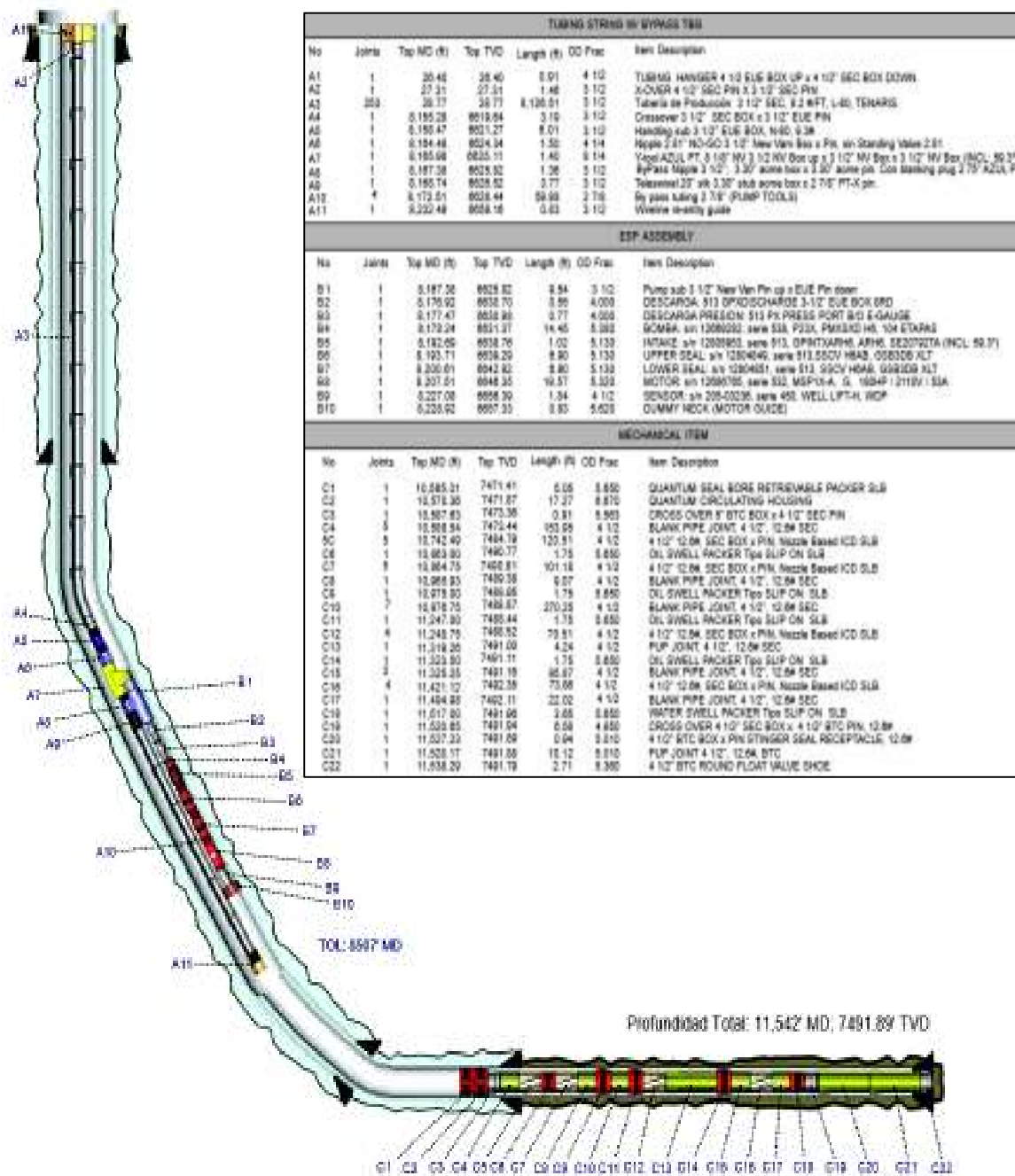
| EL MACHO | | | |
|-----------------|----------------|-----------|--------|
| Numero | Dirección (ft) | Is Defect | Tamaño |
| ORIGINAL KB | 710.00 | Y | None- |
| GROUND LEVEL | 676.00 | N | None- |
| Reference (EAB) | 37.00 | | |

| MATERIALES USADOS EN EL POZO | | | |
|------------------------------|---------------------------|--------|---------------|
| Tipo | Modelo | Marcas | Presión (psi) |
| Tubo | CUAL CONCENTRICA | | |
| Materiales | MISSION PETROLEUM | | |
| Materiales | CARE-AMERSONPETROLEUM S.A | | |
| Presión (psi) | 3,000.00 | | |
| Tamaño (in) | 11.00 | | |

| | | | | | | |
|---|---|--------------------------|---|-----------------------------|---|------------------------------------|
| | Poso: EDYA-054 | Fecha Inicio: 02/05/2017 | Preparado por: LUIS MARTINEZ (SCHLUMBERGER) | Aprobado por: MARIO SALGADO | Max Ang. Dev. & Max DLS: 11.23° @ 13,109.00 MD & 1.38°/1000 @ 11,908.148 MD | Fecha Fin Perforación: 12/03/2018 |
| | Tipo de Pozo: Diraccional Tipo 5 | | | | | Fecha Fin Completación: 12/06/2018 |
| | No. Trabajo: 54 | | | | | |
| | Evento: WORKOVER | Fecha Fin: 03/06/2017 | Revisado por: DAVID JACQUE | Fecha Aprobación: | Taladro en Operación: SINOPEC SINOPEC-065 | |
| Completación: DUAL ENCAPSULAD PURL | | | | | | |

Fuente: KAMANA SERVICES.

Figura 84. Diagrama mecánico del pozo EDYA-054.

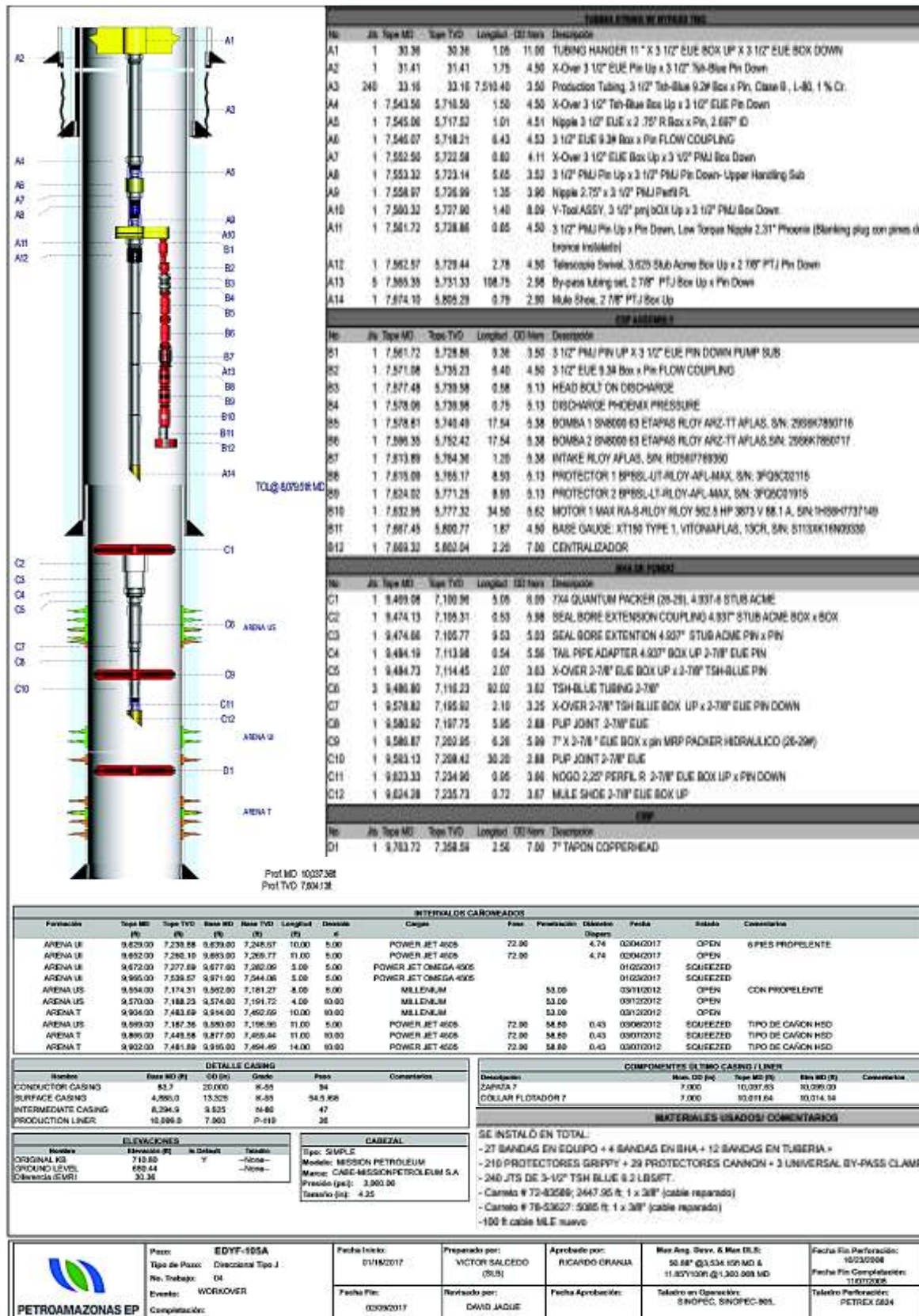


| CASINO STRINGS | | | | | WELLHEAD | | | ELEVACIONES | | |
|---------------------|--------------|---------|-------|-------------|----------|---------------|----------------|---------------|------------------|----------------|
| Name | Base MD (ft) | OD (in) | Grade | Weight | Wellhead | Design Press. | Wellhead Model | Wellhead Size | Name | Elevation (ft) |
| CONDUCTOR CASING | 76.00 | 20.000 | K-55 | 94 | SIMPLE | 3,000.00psi | 80CT MULTIBOUL | 13.50" x 3000 | GROUND LEVEL | 677.30 |
| SURFACE CASING | 5,662.00 | 13.375 | K-55 | 88 / 54.5 # | | | | | ORIGINAL KB | 783.73 |
| INTERMEDIATE CASING | 8,707.00 | 9.625 | N-80 | 47 | | | | | DIFERENCIA (EMR) | 26.43 |
| LINER | 10,755.00 | 7.000 | P-110 | 26 | | | | | | |
| TUBERIA PERFORADA | 11,541.00 | 4.500 | | 12.6 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|-------------|------------|----------------|----------------|---------------|----------------|-------------------------|------------|-----------------------|------------|
| Job No: | COM | Fecha Inic: | 02/08/2013 | Preparado por: | BLADIMIR PERA | Aprobado por: | CRINAL BERNICO | Max. Ang. Desc. B | Max. 04.5 | Fecha de Perforación: | 02/26/2013 |
| Tipo de Pozo: | Horizontal | Fecha Fin: | 31/03/2013 | Supervisor: | DANIEL ESPARZA | Fecha Apob: | 31/07/2013 | Fecha Fin Completación: | 03/02/2013 | Taladro: | H&P 121 |

Fuente: KAMANA SERVICES

Figura 85. Diagrama mecánico del pozo EDYT-158H.



Fuente: KAMANA SERVICES

Figura 86. Diagrama mecánico del pozo EDYF-105A