



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INSTITUTO DE
POSTGRADO**

TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE POZOS DESVIADOS MEDIANTE
MODELADO GEOMECÁNICO EN EL CAMPO SANTA CLARA

AUTOR

PACHECO ALEJANDRO ERICK PATRICIO

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del grado académico en
MAGISTER EN PETRÓLEO

TUTOR

Ing. Romel Erazo Bone, MSc.

**Santa Elena, Ecuador
Año 2022**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INSTITUTO DE
POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **PACHECO ALEJANDRO ERICK PATRICIO**, como requerimiento para la obtención del título de Magister en Petróleo.

TUTOR

Ing. Romel Erazo Bone, MSc.

08 días del mes de abril del año 2022



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INSTITUTO DE
POSTGRADO**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

**Yo, PACHECO ALEJANDRO ERICK PATRICIO
DECLARO QUE:**

El trabajo de Titulación, (Análisis de estabilidad de pozos desviados mediante modelado geomecánico en el campo Santa Clara) previo a la obtención del título en Magister en Petróleo, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Santa Elena, a los 08 días del mes de abril del año 2022

EL AUTOR

PACHECO ALEJANDRO ERICK PATRICIO



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INSTITUTO DE
POSTGRADO**

AUTORIZACIÓN

Yo, PACHECO ALEJANDRO ERICK PATRICIO

Autorizo a la Universidad Estatal Península de Santa Elena a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, (Análisis de estabilidad de pozos desviados mediante modelado geomecánico en el campo Santa Clara) cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Santa Elena, a los 08 días del mes de abril del año 2022

EL AUTOR

PACHECO ALEJANDRO ERICK PATRICIO



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INSTITUTO DE
POSTGRADO**

CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación denominado (Análisis de estabilidad de pozos desviados mediante modelado geomecánico en el campo Santa Clara), presentado por el estudiante, **PACHECO ALEJANDRO ERICK PATRICIO** fue enviado al Sistema Antiplagio URKUND, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 4%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

| | |
|--------------|--|
| Document | RESUMEN-URKUN-ERICK PACHECO.docx (D128493461) |
| Submitted | 2022-02-21 12:44 (-05:00) |
| Submitted by | Romel Erazo (raerazo@upse.edu.ec) |
| Receiver | raerazo.upse@analysis.arkund.com |
| | 4% of this approx. 21 pages long document consists of text present in 5 sources. |

TUTOR

Ing. Romel Erazo Bone, MSc.

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento de este proyecto va dirigido primero a Dios por su amor incondicional y sus bendiciones infinitas, también para mi tutor de proyecto Romel Erazo quien me ha dado el soporte y apoyo incondicional en base a su conocimiento y experiencia, a mi mamá a mi papá y mi hijo Erick Pacheco quienes han estado pendientes de mi y son pilares fundamentales en mi vida y a mis compañeros con quienes he compartido el conocimiento en las aulas durante esta maestría.

Erick Patricio Pacheco Alejandro

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a todas las personas que han formado parte de mi desarrollo profesional, a mi novia a mi mamá a mi papá y de manera especial a mi hijo, quienes han participado incondicionalmente brindándome su apoyo y su amor en todo momento.

A mis maestros a quienes con su tiempo y conocimiento me han dejado la enseñanza y sabiduría y fueron parte esencial en la culminación de este proyecto.

Erick Patricio Pacheco Alejandro.



UPSE

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA
DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA INSTITUTO DE
POSTGRADO**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Q.F. Rolando Calero Mendoza, PhD.
DIRECTOR DEL INSTITUTO DE POSTGRADO

MARJORIE
ALEXANDRA
CORONEL SUAREZ

Firmado digitalmente
por MARJORIE
ALEXANDRA CORONEL
SUAREZ

Ing. Marjorie Coronel Suarez, Mgti
COORDINADORA DEL PROGRAMA

Ing. Erica Lorenzo García, PhD.
DOCENTE ESPECIALISTA

ROMEL
ANGEL
ERAZO BONE

Firmado digitalmente
por ROMEL ANGEL
ERAZO BONE
Fecha: 2022.04.08
13:55:32 -05'00'

Ing. Romel Erazo Bone, MSc.
DOCENTE TUTOR

Ab. Victor Coronel Ortiz, MSc.
SECRETARIO GENERAL UPSE

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| TITULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN..... | I |
| CERTIFICACIÓN | II |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD..... | III |
| AUTORIZACIÓN | IV |
| CERTIFICACIÓN DE ANTIPLAGIO | V |
| AGRADECIMIENTO | VI |
| DEDICATORIA..... | VII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XI |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XI |
| RESUMEN | XII |
| ABSTRACT | XII |
| INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 3 |
| OBJETIVO GENERAL: | 4 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS:..... | 4 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 4 |
| HIPÓTESIS..... | 4 |
| CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| 1.1. ASPECTOS GEOLÓGICOS DEL CAMPO SANTA CLARA | 6 |
| 1.1.1. Ubicacion del campo de estudio | 6 |
| 1.1.2. Yacimientos Productores | 6 |
| 1.1.3. Geología del campo Santa Clara..... | 7 |
| CAPITULO 2: METODOLOGÍA..... | 13 |
| 2.1 MODELO GEOMECÁNICO 1D PARA ESTABILIDAD DE POZO..... | 14 |
| 2.2. SELECCIÓN DE POZOS..... | 19 |
| 2.2.1. REGISTROS DISPONIBLES | 19 |
| 2.3. INFORMACIÓN DE PERFORACIÓN..... | 21 |
| 2.4. ENSAYOS DE LABORATORIO | 22 |
| 2.5. OTRAS INFORMACIONES | 22 |
| 2.6. ANÁLISIS DE EVENTOS DE PERFORACIÓN..... | 22 |
| 2.7. CORRELACIÓN DE REGISTROS Y GENERACIÓN DE SINTÉTICOS | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 2.8. CONSTRUCCION DEL MODELO GEOMECÁNICO | 26 |
| 2.8.1. Facies Mecánicas – Estratigrafía Mecánica | 26 |
| 2.9. MODELO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA | 29 |
| 2.9.1. Propiedades Elásticas de la Roca..... | 29 |
| 2.10. RESISTENCIA DEL MATERIAL ROCOSO | 30 |
| 2.11. ESFUERZO VERTICAL | 32 |
| 2.12. PRESIÓN DE POROS | 34 |
| 2.13. DIRECCIÓN DE ESFUERZOS HORIZONTALES..... | 35 |
| 2.14. MAGNITUD DE ESFUERZOS HORIZONTALES | 37 |
| 2.14.1. Magnitud del Esfuerzo Horizontal Mínimo (Sh)..... | 37 |
| 2.14.2. Magnitud del Esfuerzo Horizontal Máximo (SH)..... | 37 |
| CAPITULO 3: ANALISIS DE RESULTADOS Y PROGNOSIS..... | 39 |
| 3.1. CALIBRACIÓN DEL CAMPO DE ESFUERZOS HORIZONTALES..... | 39 |
| 3.2. VERIFICACIÓN DEL MODELO GEOMECÁNICO (1D-MEM)..... | 40 |
| 3.3. PROGNOSIS DE EVENTOS DURANTE LA PLANEACIÓN DE LA PERFORACIÓN DE UN POZO DIRECCIONAL. | 44 |
| 3.3.1. PROGNOSIS PARA LA SECCIÓN SUPERFICIAL HOYO DE 16 PULGADAS | 45 |
| 3.3.2. PROGNOSIS PARA LA SECCIÓN SUPERFICIAL HOYO DE 12 ^{1/4} PULGADAS..... | 46 |
| 3.3.3. PROGNOSIS PARA LA SECCIÓN SUPERFICIAL HOYO DE 8 1/2 PULGADAS | 47 |
| CONCLUSIONES | 49 |
| RECOMENDACIONES | 51 |
| REFERENCIAS..... | 53 |
| APÉNDICE | 55 |
| APÉNDICE A. EJEMPLO DE ANÁLISIS DE REGISTROS PARA AUDITORÍA DE DATOS | 55 |
| APÉNDICE B. MONTAJE DE REGISTROS | 56 |
| APÉNDICE C. PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LA ROCA..... | 57 |
| APÉNDICE D. PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LA ROCA | 58 |
| APÉNDICE E. RESUMEN DE EVENTOS..... | 60 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 1 Columna Estratigráfica Cuenca Oriente..... | 8 |
| Fig. 2 Flujo de Trabajo para construcción de 1D MEM | 14 |
| Fig. 3 Elementos estructurales principales del Campo Santa Clara | 15 |
| Fig. 4 Ubicación de los pozos preseleccionados del Pad DRRD con respecto al intrusivo | 15 |
| Fig. 5 Fallas alrededor de la región del pozo | 16 |
| Fig. 6 Modelo geomecánico MEM (Mechanical Earth Model)..... | 17 |
| Fig. 7 Ejemplo de Montaje de registros para selección de pozos de análisis..... | 20 |
| Fig. 8 Análisis de eventos de perforación pozo SC-05 | 21 |
| Fig. 9 Ejemplo de Eventos de Perforación Campo Santa Clara– pozo SC-05..... | 24 |
| Fig. 10 Ejemplo de respuestas anómalas en registros y resultado de reconstrucción | 25 |
| Fig. 11 Definición de estabilidad de pozo (WBS) | 26 |
| Fig. 12 Facies mecánicas y comportamiento mecánico de facies grano – soportadas y arcillo soportadas | 27 |
| Fig. 13 Estratigrafía Mecánica SC-05..... | 28 |
| Fig. 14 Naturaleza bimodal (dos tipos) del comportamiento esfuerzo – deformación de la roca..... | 29 |
| Fig. 15 Densidad extrapolada en Campo Santa Clara– SC-055S1 | 33 |
| Fig. 16 Estimación del perfil de presión de poros para el pozo SC-055S1 | 35 |
| Fig. 17 Dirección regional de SH del pozo SC-03, en el campo Santa Clara..... | 36 |
| Fig. 18 Esquema del procedimiento para estimar la magnitud de SH | 38 |
| Fig. 19 Esquema del procedimiento para estimar la magnitud de los esfuerzos | 39 |
| Fig. 20 Modelo geomecánico y ventana de estabilidad para el pozo SC-05..... | 41 |
| Fig. 21 Análisis de FMI (Fullbore Formation Microimager) pozo SC-002 fallas de pozo, campo Santa Clara..... | 43 |
| Fig. 22 Plan direccional y pronosis de topes formacionales para el pozo DRRD-045 | 44 |
| Fig. 23 Ventana de estabilidad SC-04, sección de 16” y riesgos asociados..... | 45 |
| Fig. 24 Ventana de estabilidad SC-04, sección de 12 ¼” y riesgos asociados | 46 |
| Fig. 25 Ventana de estabilidad SC-04, sección de 8 ½” y riesgos asociados..... | 47 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Resumen de los datos necesarios para construir un modelo geomecánico y un análisis de estabilidad del pozo | 18 |
|---|----|

RESUMEN

Mediante este estudio aplicado en el campo Santa Clara ubicado en el Oriente Ecuatoriano, se busca mitigar mediante la generación del modelo geomecánico 1D el efecto de la inestabilidad del hoyo durante el proceso de perforación de un pozo, el cual genera pérdida de equipos en el fondo del pozo, daños en la tubería de revestimiento por efecto de colapso.

Durante el desarrollo del estudio se construyó un Modelo Geomecánico 1D, Mediante el uso de los registros de porosidad del pozo SC-05 y SC-02, y los modelos matemáticos correspondiente a las propiedades mecánicas de la roca se procedió a estimar la ventana operativa de perforación utilizando el software DRILLMAP® y desarrollar la prognosis de eventos para perforar nuevos pozos

Mediante la ventana operativa obtenida en el modelo geomecánico 1D, se estableció que la mayor sobrepresión alcanza 9.25 ppg en los shales de Napo es decir el Mín MW usado 8.9, max. 10.8 ppg.

Palabra claves: registros de pozo, modelo geomecánico, esfuerzos

ABSTRACT

Through this study applied at Santa Clara oilfield located in the Ecuadorian East, it is sought to mitigate through the generation of the 1D geomechanical model the effect of the instability of the hole during the drilling process of a well, which generates loss of equipment at the bottom of the well, damage to the casing due to collapse.

During the development of the study, a 1D Geomechanical Model was built, using the porosity logs of the SC-05 well, and the mathematical models corresponding to the mechanical properties of the rock, the drilling operating window was estimated using the software DRILLMAP®.

Through the operating window obtained in the 1D geomechanical model, no areas of high overpressure were found. The highest overpressure reaches 9.25 ppg in the Napo shales, that is, the Min MW used is 8.9, max. 10.8 ppg.

Keywords: well-logg, Geomechanical Model, stress

INTRODUCCIÓN

Durante el diseño del programa para el desarrollo de campos de petróleo y gas, es importante crear el modelo geomecánico del campo petrolero, sin embargo, lo mismo se aplica a los campos de producción de gas. El modelo geomecánico de yacimientos petrolíferos incluye la distribución cuantitativa del tensor mecánico de esfuerzo y deformación dentro del volumen de roca.

Considerando la teoría de la mecánica continua, así como de las observaciones de objetos geológicos reales se conoce que las magnitudes de tensión en un medio poroso dependen sustancialmente de la presión del fluido intersticial. La presión intersticial dentro del campo petrolero sufre cambios significativos durante el proceso de producción de hidrocarburos. Por lo tanto, los cambios de presión intersticial durante la producción deben tenerse en cuenta para calcular y actualizar las cargas geomecánicas. Es por esto que el modelado acoplado es de interés: la mecánica de rocas porosas y la hidrodinámica de fluidos porosos.

La generación de un modelo geomecánico permitirá perforar un pozo em condiciones seguras y ayudará a disminuir los tiempos no productivos, los cuales incrementan el costo del proyecto.

El desarrollo de este trabajo ha sido distribuido en tres capítulos: en el capítulo uno se desarrolla el marco teórico del tema estudiado, se muestran los principales aportes científicos que han realizado los investigadores alrededor del mundo sobre el tema de geomecánica, además, se expone las condiciones geológicas del campo Santa Clara. En el capítulo dos se presenta la metodología aplicada para generar el modelo geomecánico del campo Santa Clara. En el capítulo tres se expone los resultados obtenidos a partir de la generación del modelo geomecánico.

El marco contextual considera el uso de artículos científicos relacionados con estabilidad de pozos publicados en la base de datos de Onepetro, además se utilizará el libro Reservoir Geomechanics de Marck Zoback.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El campo Santa Clara se encuentra ubicado al noreste de la Cuenca Oriente, aproximadamente a 23 Km de la población de Tarapoa. El campo inició las perforaciones con el pozo SC1 y SanCen1 los años 1972 y 1979, respectivamente; y desde entonces, se han perforado 93 pozos; los cuales abarcan a productores, re - inyectores y cerrados (INFORME ANUAL DEL POTENCIAL HIDROCARBURÍFERO DEL ECUADOR, 2019).

Durante el proceso de perforación y construcción de un pozo es importante asegurar la integridad del pozo.

Considerando la información disponible del campo Santa Clara se determinó que en los pozos SC-05 y SC-02 de acuerdo al Anexo E a diferentes profundidades se presentan los siguientes problemas: existen puntos apretados, presencia de alto torque y arrastre, incremento de presión, pérdida de circulación parcial, pérdida total de circulación y colapso del pozo los cuales generan problemas durante la perforación y bajada de casing, incrementando los tiempos no productivos NPT del proyecto alterando la integridad del pozo.

De acuerdo con Widad Al-Wardy et al, 2010, la geomecánica tiene un rol importante en la evaluación de la estabilidad de un pozo durante la perforación. Mediante el modelo geomecánico 1D se puede obtener una ventana operacional la cual permita establecer el peso del lodo adecuado que permita perforar un pozo de acuerdo al plan de perforación.

El principal problema que se busca estudiar es el efecto de la integridad del hoyo durante el proceso de perforación de un pozo.

OBJETIVO GENERAL:

Generar un modelo geomecánico mediante la información disponible de los pozos SC-05 y Sc-02, para realizar la prognosis de estabilidad durante la perforación del pozo SC-45 en el campo Santa Clara.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Seleccionar los pozos candidatos para obtener la información de los registros de porosidad.
2. Crear el modelo geomecánico.
3. Realizar la prognosis de eventos durante la perforación en cada una de las secciones del pozo.

JUSTIFICACIÓN

La importancia de la construcción del modelo geomecánico se busca asegurar la integridad durante la perforación de los pozos en el campo Santa Clara, con la finalidad de evitar problemas técnicos, operacionales ayudando a disminuir los tiempos no productivos durante el proceso de perforación.

Debido a la falta de un modelo geomecánico se plantea la necesidad de crear un modelo geomecánico en el campo Santa Clara, se busca predecir mediante la determinación del comportamiento de esfuerzos en el subsuelo, determinar la tendencia de fracturas, derrumbes o cavernas, colapso del pozo, pega de tuberías que se pueden presentar durante el proceso de perforación de pozo, estos problemas se buscan mitigar mediante la aplicación de criterios de falla.

HIPÓTESIS

Mediante el modelado geomecánico se busca asegurar la estabilidad del pozo mediante la selección óptima del peso del lodo.

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

Como afirma Ezhov, Arsibekov, & Dubinya, 2017 en su estudio establece que el uso de los registros geofísico de pozos es una fuente importante de información sobre el estado de tensión-deformación de la corteza terrestre superior. Existen métodos matemáticos para la estimación de propiedades mecánicas alrededor del pozo. Sin embargo, la estimación cuantitativa del máximo esfuerzo horizontal (SH) sigue siendo bastante problemático.

Además los estudios geomecánicos han demostrado ser una fuente de información valiosa, no solo relacionado con el estado de tensión-deformación, sino también con la productividad potencial de la formación. El análisis geomecánico puede aumentar la eficiencia de muchas tareas relacionadas con nuestra industria tales como: operaciones de perforación, optimización de la fracturación hidráulica, gestión de la producción de arena, etc Mylnikov, Melnichuk, Korelskiy, Petrakov, & Sobolev, 2020.

Para el desarrollo de un modelo geomecánico existen limitantes tales como: el complejo de datos es condicionalmente suficiente para el modelado geomecánico. Al inicio no se cuenta con datos del comportamiento esfuerzo-deformación del yacimiento (ensayos de fugas, resultados de fracturación hidráulica) y estudios de núcleo confiables en el tema de propiedades mecánicas, sin embargo, los estudios necesarios pueden ayudar a especificar un modelo aproximado de acuerdo con Ganaeva & Rn-sakhalinnipimorneft, 2019, recomienda realizar estudios especiales de núcleos en volumen suficiente (alrededor de 100 muestras) en el yacimiento y los intervalos de sellado e incluyeron la determinación de porosidad y permeabilidad bajo condiciones de presión, módulos elásticos dinámicos y estáticos, resistencias a la compresión ya la tracción. Los resultados obtenidos permitieron construir dependencias de correlación para la restauración de las propiedades elásticas y de resistencia de las rocas en la sección de huecos, que luego fueron utilizadas en el modelado geomecánico unidimensional y tridimensional.

Con el avance de las investigaciones acerca de la generación de nuevas metodologías para generar un modelo geomecánico 4D (Renli, Helstrup, Ke, Thompson, & Asa, 2019), (Ouenes, Bachir, Paryani, & Smaoui, 2015) plantean en su estudio un nuevo flujo de trabajo que utiliza la deformación derivada del modelado geomecánico de fracturas

hidráulicas que interactúan con fracturas naturales. El mapa de deformación derivado se utiliza para estimar las longitudes medias asimétricas que se ingresan en cualquier software de diseño de fracturas capaz de incorporar esta nueva información. El diseño simple simétrico se revisa ajustando el coeficiente de fuga, la tasa de inyección y la concentración de apuntalante, lo que da como resultado longitudes medias asimétricas que no superan las longitudes proporcionadas por el mapa de tensión.

Uno de los principales problemas durante el proceso de perforación de un pozo es el colapso de la formación de acuerdo con lo planteado por (Sirat et al., 2014) en yacimientos donde no se ha mantenido la presión durante el agotamiento puede causar reducción de la permeabilidad, daños en la terminación y fallas en los pozos, interrumpiendo la producción y afectando la recuperación final del yacimiento. El problema es particularmente agudo en áreas severamente agotadas en el campo.

En este estudio se llevó a cabo la construcción de modelo geomecánicos de tierra (MEM) 1D en utilizando la información de 2 pozos existentes.

1.1. Aspectos geológicos del campo Santa Clara

1.1.1. Ubicación del campo de estudio

El campo Santa Clara se encuentra ubicado en la Cuenca Sedimentaria de la Región Amazónica, en la Provincia de Orellana aproximadamente a 55 Km al sur del cantón Francisco de Orellana (Coca). Limita al Suroeste del Campo Auca, al Noreste del Campo Tiguino, al Este del Río Napo y al Suroeste de la subcuenca cretácico Napo. en la Amazonía ecuatoriana (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

1.1.2. Yacimientos Productores

Los principales yacimientos productores son Hollín de edad Aptiano-Albiano Inferior, arenisca "T" de Albiano Superior y arenisca "U" del Cenomaniano, todos integrados por areniscas cuarzosas en partes glauconíticas, las mismas que hacia el este de la Cuenca se formaron en medios predominantemente fluviales, evolucionando en dirección oeste a estuarios en unos casos y deltas en otros con influencia de mareas, culminando en un ambiente de plataforma marina. El 95% de la producción del Campo Santa Clara se originó de la formación Hollín especialmente de la arenisca Hollín inferior conocida

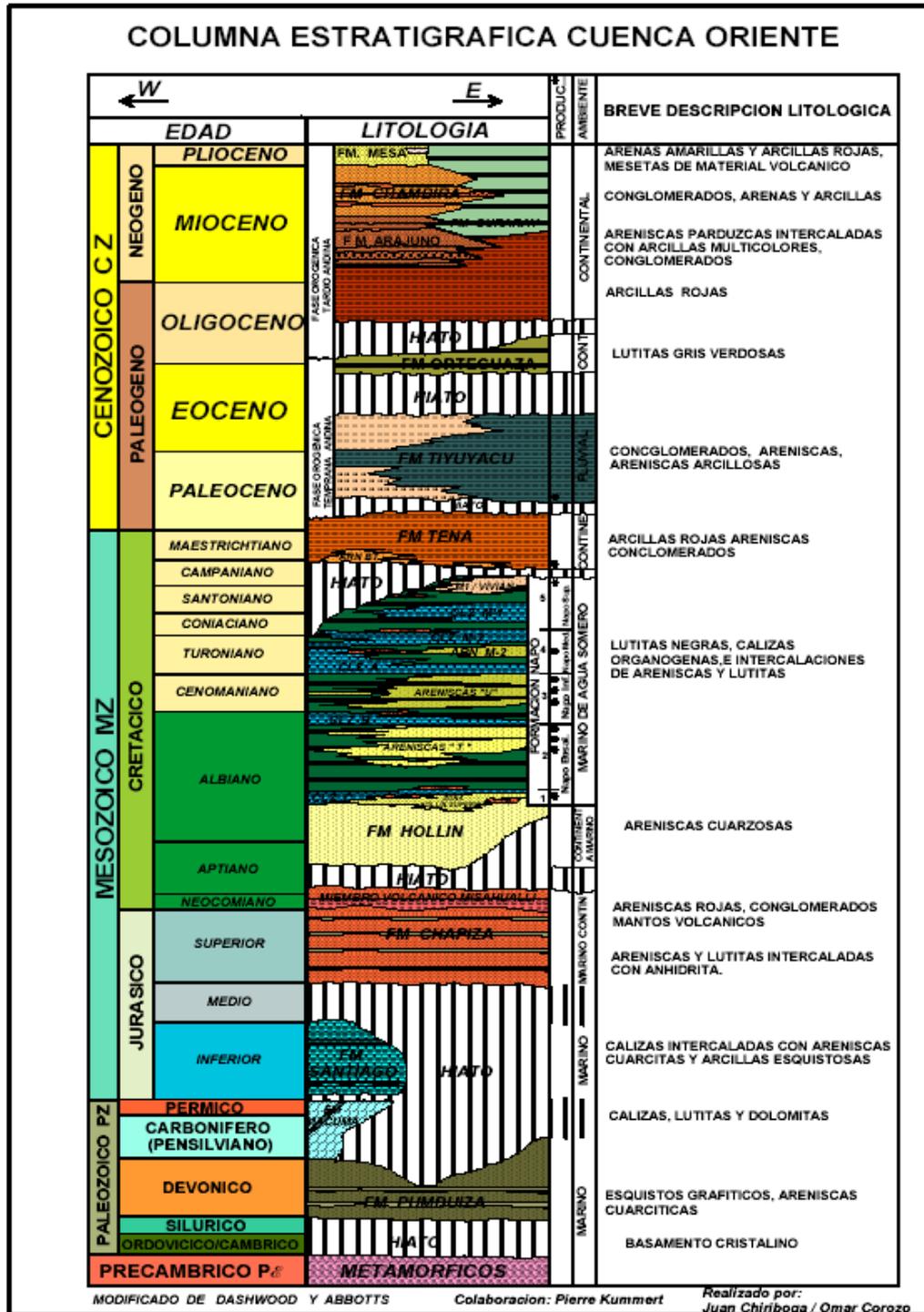
también como Hollín principal, mientras que el 5% restante de los yacimientos “U” y “T” de la formación Napo. Reservorios arenosos de menor importancia son “M-1” del Campaniano y Basal Tena del Maastrichtiano. Reservorios marginales constituyen las calizas “B” y “A” del Cenomaniano y Turoniano respectivamente. La figura 3.2 muestra el mapa Estructural del Campo Santa Clara (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

1.1.3. Geología del campo Santa Clara

Geológicamente este campo se encuentra en el lado levantado de una falla inversa, ubicado a la izquierda de la falla, constituye un anticlinal asimétrico de dirección preferencial Noreste-Suroeste de 10 Km de largo por 2 Km de ancho promedio, con un cierre vertical de 227 pies, siendo la parte más ancha la parte central y la más angosta al Norte; cierra al Oeste contra una falla inversa sin sedimentos de alto buzamiento que originándose en el basamento se reactivó en más de una ocasión llegando hasta la base de la formación Tena, tiene aproximadamente 300 pies de salto en el centro del campo y disminuye hacia los flancos. El espesor de la formación Hollín Inferior se mantiene de 55-60 pies, la arenisca Hollín Superior tiene un espesor de 10-30 pies, la arenisca “U” tiene un espesor que varía de 6-12 pies, y la arenisca “T” un espesor de 15-35 pies (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004)..

De manera general el campo Santa Clara presenta una estratigrafía similar al de toda la Cuenca Oriente, es decir, formaciones que se depositan sobre el basamento cristalino del escudo Guayanés y que van desde el paleozoico con la formación Pumbuiza hasta el cuaternario con los resientes aluviales. La figura 1 muestra la estratigrafía del Campo Santa Clara.

Fig. 1 Columna Estratigráfica Cuenca Oriente



Fuente: Baby et. Al, 2004

1.1.3.1. Formación Hollín (Aptiano- Albiano Inferior)

A nivel de cuenca ésta formación aflora a lo largo del río Hollín que desemboca en el río Misahuallí, a 8 Km al Oeste de la ciudad del Tena. Está constituida principalmente por areniscas cuarzosas de color blanco transparente a gris verdoso, de grano fino a grueso en

la base, de angular a subangular, de mediano a bien clasificado con cemento y matriz silíceas y buena porosidad. En la base se tiene presencia de carbón, ámbar y caolín, típico de un ambiente continental. Hacia el tope se encuentra intercalada con lentes de caliza y lutita, y con presencia de glauconita y clorita, evidenciando un ambiente de depósito con influencia marina (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

En general, la formación se encuentra bien distribuida en toda la Cuenca Oriental Ecuatoriana, aflora en algunas partes del levantamiento Napo y en la montañas de Cutucú. Tiene un espesor variable de 80 a 240 metros, suprayace angularmente a la formación Chapiza e infrayace concordantemente a la formación Napo.

Está constituida por dos miembros:

- Hollín Inferior
- Hollín Superior

1.1.3.1.1. Arenisca Hollín Inferior

Arenisca de color blanco a café claro, translúcida, de grano grueso a medio, subangular, regular clasificación, matriz arcillosa, cemento calcáreo, asociada con arenisca cuarzosa blanca de grano grueso, dura a muy dura, ocasionalmente con manchas de hidrocarburos, corte lento.

1.1.3.1.2. Arenisca Hollín Superior

Arenisca cuarzosa translúcida, de color blanco a gris oscuro, de grano muy fino, subangular a subredondeada, regular clasificación, matriz arcillosa, cemento calcáreo con glauconita, fluorescencia natural amarillo opaco, corte rápido, en algunos pozos se encuentra bioturbada (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004)..

1.1.3.2. Formación Napo (Cenomaniano-Campaniano)

Esta descansa en concordancia sobre la formación Hollín. La litología: Lutitas y calizas con intercalaciones de areniscas.

La formación Napo es fácilmente reconocible es sísmica por la presencia de reflectores fuertes que corresponden a secuencias marinas de aguas poco profundas (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

1.1.3.3. Formación Napo Basal (Albiano inferior-Albiano superior)

Incluye la arenisca basal, las lutitas negras de la Napo inferior de Tschopp (1953), Bristow y Hoffstetter (1977) y la arenisca “T”.

Su base está definida por el último banco arenoso masivo de la formación Hollín, y su tope lo constituye el tope del último banco arenoso masivo de la arenisca “T”. Por lo tanto la formación Napo Basal es equivalente a la Napo inferior de Bristow y Hoffstetter (1977), excepto que ellos incluyen las lutitas de la caliza “B” en la Napo inferior (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004)..

1.1.3.4. Formación Napo Inferior (Albiano superior Cenomaniano sup.)

La formación Napo Basal está sobreyacida por la formación Napo inferior, que incluye la caliza “B”, las lutitas y la arenisca “U”. Su base está definida por el tope del último banco arenoso masivo de la arenisca “T”. El Tope de la formación Napo inferior lo constituye la base del banco calcáreo masivo de la caliza A (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004)..

ARENISCA “T Inferior”

Arenisca cuarzosa de color café a café oscuro, de grano fino a muy fino, subredondeada, moderadamente consolidada, matriz y cemento arcilloso, regular saturación de hidrocarburos, corte rápido (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

ARENISCA “T Superior”

Arenisca cuarzosa de color café claro, subtransparente a subtranslúcida, de grano muy fino a fino, con regular clasificación, matriz arcillosa, cemento no visible, glauconítica sin hidrocarburo (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

CALIZA “B”

Caliza de color marrón a crema moteada con gris, dura a muy dura (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

ARENISCA “U Inferior”

Es una arenisca cuarzosa de color café claro, de grano fino a muy fino, friable-moderadamente consolidada, subredondeada, matriz arcillosa, con manchas de hidrocarburo, fluorescencia natural amarillo verdoso, corte moderadamente rápido (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

ARENISCA “U Superior”

Es una arenisca cuarzosa de color gris claro, de grano fino a medio, subangular, de matriz arcillosa, cemento ligeramente calcáreo, con inclusiones de glauconita y piritita, regular saturación de hidrocarburos, fluorescencia amarillo blanquecina, corte rápido.

1.1.3.5. Formación Napo Medio (Turoniano inferior-Coniaciano basal)

La base está definida por el banco calcáreo masivo de la caliza “A” y el tope por el banco masivo de la caliza “M-2” (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004).

CALIZA “A”

Es una caliza de color gris oscuro, blanquecina cremosa, de dura a muy dura, en menor proporción asociada con glauconita y láminas de calcita (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004)..

CALIZA “M-2”

Caliza de color crema, gris, gris moteada con crema, moderadamente firme a dura.

1.1.3.6. Formación Napo Superior (Coniaciano inf. Campaniano medio)

Incluye la caliza “M-1” de la zona subandina y lutitas, la base de la formación Napo superior está definida por el tope del último banco calcáreo de la caliza “M-2”, mientras que su tope es la discontinuidad erosiva mayor de la base de la formación Tena, localmente expresada por la arenisca Basal Tena.

CALIZA “M-1”

Caliza de color café moteado con crema y gris a gris oscuro, moderadamente dura (Baby Patrice, Rivadeneira Marco, 2004)

CAPITULO 2: METODOLOGÍA

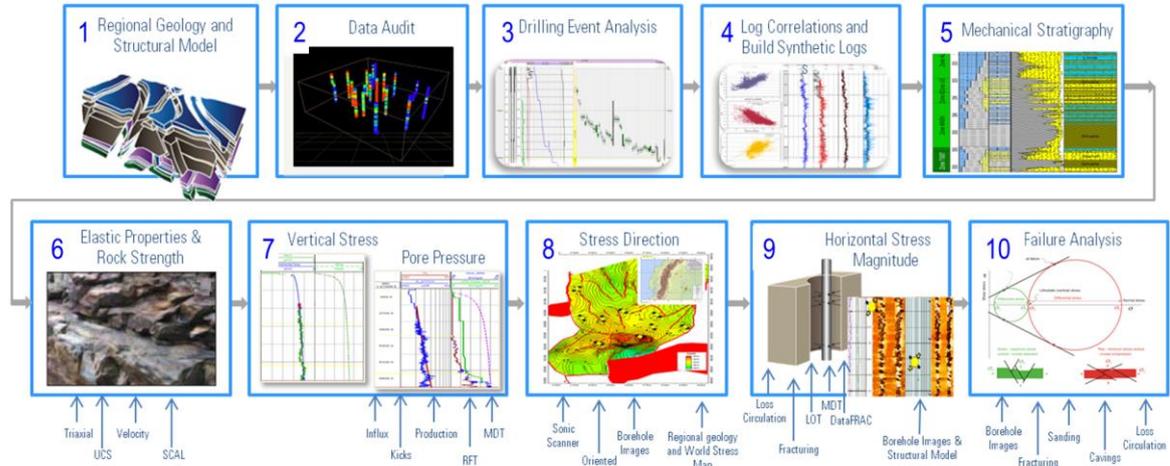
La metodología que se implementará en este estudio será con un enfoque cuantitativo de tipo correlacional.

La metodología aplicada para la construcción del MEM y realizar un pronóstico de estabilidad de pozo, consta principalmente de los siguientes pasos:

- Obtener información de perforación en el área.
- Compilar la información geocientífica (Geología, Petrofísica, etc.) asociada al campo. Esto incluye imágenes eléctricas, datos de presión de poros, registros en hueco abierto, etc.
- Revisar la información de perforación en pozos previos. Esto incluye los reportes finales de pozo, reportes diarios de perforación, registro de brocas, etc.
- Revisar la información para determinar la naturaleza de los problemas previos de perforación y sus causas probables.
- Construcción del 1D-MEM.
- Calibrar el modelo mediante el retro-análisis de un pozo cercano de correlación.
- Aplicar el modelo para obtener un Pronóstico de Estabilidad de pozo.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará la siguiente metodología dividida en diez etapas generales, a fin de construir un modelo geomecánico unidimensional (1D-MEM Mechanical Earth Modelling) como se aprecia en la Figura 2 dichos pasos serán descritos en detalle a lo largo de las secciones subsiguientes

Fig. 2 Flujo de Trabajo para construcción de 1D MEM

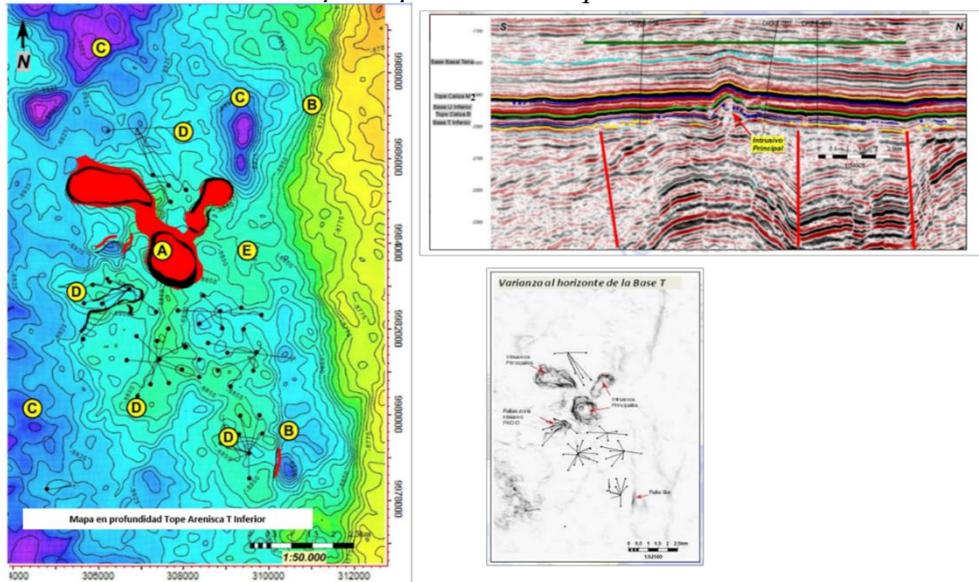


Fuente: DRILLMAP SOFTWARE

2.1 Modelo geomecánico 1D para estabilidad de pozo

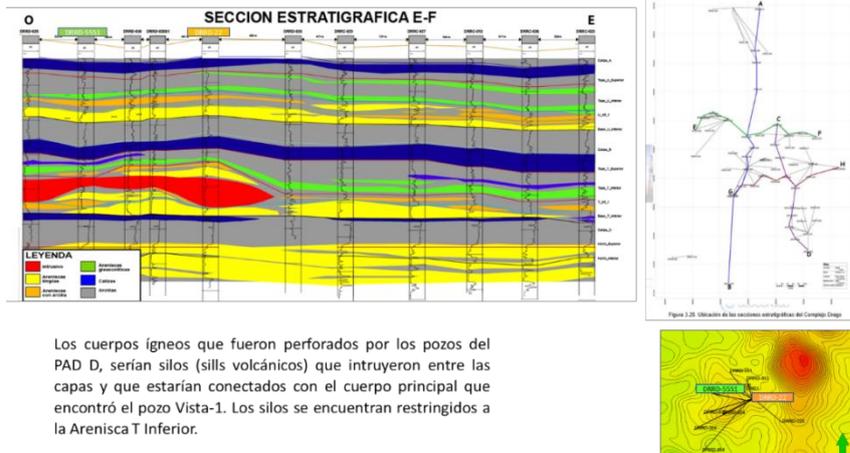
Desde el punto de vista geomecánico, la perforación y la inestabilidad del pozo le han costado a la industria mucho tiempo y dinero, aproximadamente \$8 mil millones cada año y la mayoría de estos problemas están relacionados con la geomecánica de acuerdo con (Al-Wardy & Urdaneta, 2010). El posible efecto del cuerpo intrusivo en la dirección de los esfuerzos in-situ actuales puede evaluarse a partir del análisis la orientación de las ovalizaciones registrados en calipers orientados y/o registros de imágenes; con respecto a la magnitud de los esfuerzos in-situ para pozos en cercanías al cuerpo intrusivo masivo principal sus efectos pueden caracterizarse a partir de mediciones de Sonic scanner/3D aniso/resultados de fracturamientos, para ser incorporadas en un modelamiento 3D fuera del scope de este trabajo, por otro lado los pozos a perforarse en las plataformas SC1 y SC2 están fuera de este cuerpo intrusivo principal (Figura 3).

Fig. 3 Elementos estructurales principales del Campo Santa Clara



Fuente Autor

Fig. 4 Ubicación de los pozos preseleccionados del Pad DRRD con respecto al intrusivo



Fuente Autor

Teniendo en cuenta las consideraciones expresadas por De Gennaro et al., 2014 el modelado unidimensional, el cálculo de las tensiones horizontales in situ, se realiza utilizando la formulación poroelástica clásica. Esto constituye la base del Modelado Mecánico de la Tierra (MEM) 1D y el Análisis de Estabilidad del Pozo (WBS) que se describen en la siguiente sección.

Para rocas con un comportamiento elástico lineal e isotrópico, el cálculo de la tensión horizontal utilizando la poroelasticidad involucra el módulo de Young, la relación de

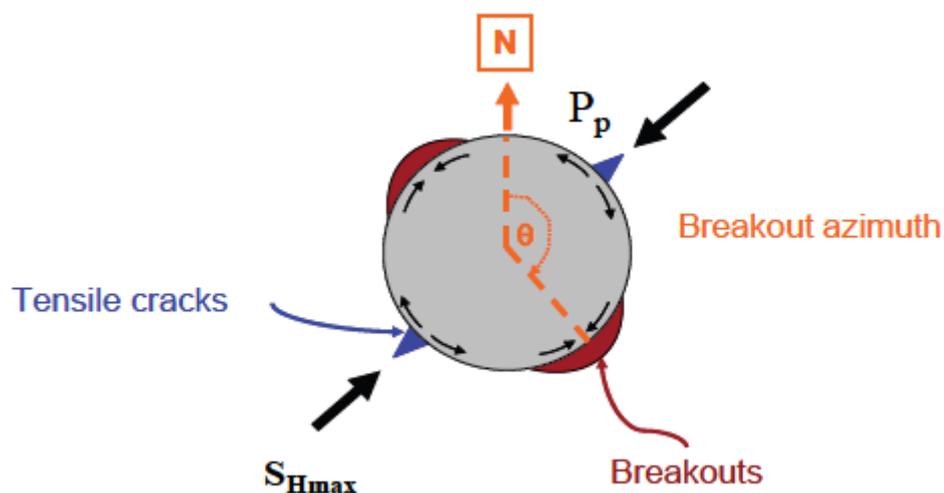
Poisson, la constante de Biot, la tensión litostática vertical (sobrecarga), la presión intersticial P_p , las deformaciones horizontales mínima y máxima (también llamadas tensiones tectónicas).

En general, el desafío de mantener la estabilidad del pozo consiste en encontrar el peso de lodo mínimo para garantizar que la condición del pozo no ponga en peligro las operaciones de perforación, revestimiento o cementación, y proporcione un buen pozo para la caracterización del yacimiento mediante la adquisición de registros.

La estabilidad de un pozo se determina mediante la integración de datos como las tensiones in situ (verticales y horizontales), la presión del yacimiento y del pozo, las propiedades mecánicas de la roca y del fluido de perforación, lo que da como resultado un modelo geomecánico completo para el análisis de la estabilidad del pozo.

Dos tipos de fallas alrededor de la región del pozo: rupturas cuando las tensiones ejercidas por el fluido de perforación superan la resistencia a la compresión de la roca y fracturas por tracción cuando las tensiones superan la resistencia a la tracción de la roca.

Fig. 5 Fallas alrededor de la región del pozo



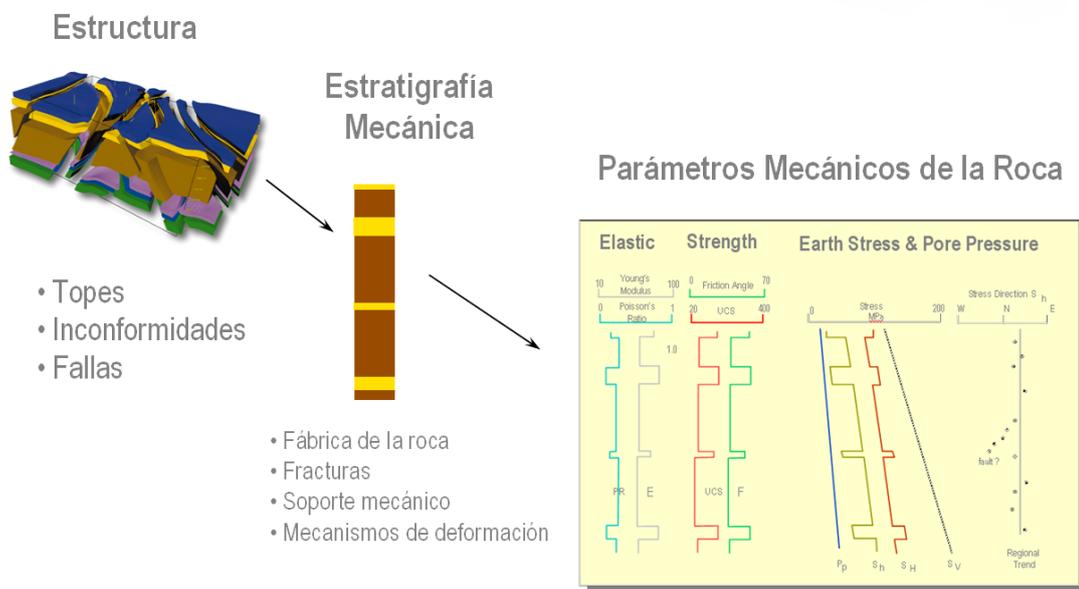
Fuente: (Al-Wardy & Urdaneta, 2010)

El Modelo Geomecánico de Subsuelo (Mechanical Earth Model, MEM, por sus siglas en inglés) (Dennis, Bernard, David, & Huiping, 2007) es una descripción explícita de los datos geomecánicos que son relevantes para la perforación de pozos; entre estos datos se

encuentran la presión de poros, el estado de los esfuerzos in situ y las propiedades mecánicas de la litología atravesada por cada pozo. Adicionalmente, el modelo captura información relacionada con la composición de la roca y con la estructura geológica, importantes para la estabilidad del hueco.

En síntesis, el modelo geomecánico (MEM) es una representación de las propiedades de resistencia y deformación de las rocas y de los esfuerzos a que éstas se encuentran sometidas. La Figura 6 muestra esta síntesis en forma esquemática.

Fig. 6 Modelo geomecánico MEM (*Mechanical Earth Model*)



Fuente: DRILLMAP Software

En la figura 6 describe el flujo de trabajo para construir un modelo de estabilidad de pozo para perforar en el campo Santa Clara. Esto se puede utilizar como un flujo de trabajo típico para cualquier análisis de estabilidad de pozo. Comienza con la recopilación del conjunto adecuado de datos necesarios para el análisis. Antes de utilizar los datos, se debe comprobar su calidad con respecto a los estándares definidos. Luego, los datos se utilizan para construir el modelo geomecánico. Luego, los parámetros del modelo se utilizan como entrada en una herramienta de análisis de estabilidad del pozo. El resultado será un modelo de estabilidad del pozo que se calibrará con las observaciones de campo.

La siguiente tabla 1 de flujo de trabajo (Curtis, Eslinger, Nickerson, Nookala, & Boyle, 2020) describe el conjunto ideal de datos necesarios para iniciar el análisis de estabilidad

del pozo. Sin embargo, no todos los datos están siempre disponibles, por lo que se hacen aproximaciones y suposiciones cuando es posible. Las primeras seis filas de la tabla describen los datos necesarios para construir un modelo geomecánico básico que incluya las tensiones in situ (magnitud y dirección), la presión intersticial y la resistencia de la roca. El resto se utiliza para resumir las observaciones de perforación que se utilizan para la calibración del modelo.

Tabla 1 *Resumen de los datos necesarios para construir un modelo geomecánico y un análisis de estabilidad del pozo*

| Información requerida | Descripción | Parámetro Calculado/ Propósito |
|------------------------------|---|---|
| Registros de densidad | Idealmente, se necesitarán registros desde la superficie hasta la formación de interés. | Tensión vertical, S_v |
| Registros DSI | Velocidades de compresión y de corte | Propiedades elásticas y resistencia de la roca (dinámica) |
| Minifracción/XLOT | Evaluar la presión de cierre de la fractura | Tensión horizontal mínima, S_{hmin} y tensión horizontal máxima, S_{Hmax} |
| Registros de imágenes de BHI | Para identificar brotes y fracturas por tracción, si las hubiere. | Orientación de los esfuerzos |
| Pruebas de laboratorio | SCU y TCT | Propiedades elásticas y resistencia de la roca (estática) |
| Presión del poro | Presión inicial y actual del yacimiento (datos RFT) | Presión del poro |
| Peso del lodo | Fluido de perforación | Calibrar el peso del lodo del modelo |
| Informes de perforación | Para identificar cualquier problema ocurrido durante la perforación | Calibrar modelo con falla ocurrida antes |

| | | |
|------------------|-------------------------------|------------------------|
| Bien trayectoria | Ángulo de buzamiento y acimut | Calibración del modelo |
|------------------|-------------------------------|------------------------|

Fuente: (Curtis et al., 2020)

2.2. SELECCIÓN DE POZOS

2.2.1. Registros disponibles

Para el Campo Santa Clara, los criterios utilizados para establecer los pozos para el análisis fueron los presentados a continuación, a partir de los cuales se seleccionaron 2 pozos (SC-05 Y SC-02) de 62 (incluyendo los ST) para el estudio geomecánico 1D bajo los siguientes criterios:

- Pozos con set de registros completos, en especial aquellos pozos con registros sísmico compresivo/cizalla.
- Pozos con registro sísmico dipolar.
- Pozo(s) cercano(s) al cuerpo intrusivo.
- Pozos que atraviesen silo(s) intrusivo(s) provenientes del cuerpo intrusivo principal.
- Pozos con sidetrack
- Pozos con perfiles de velocidad de intervalo (VSP/Check Shot).
- Pozos con disponibilidad de reportes diarios/finales de perforación.
- Pozos cercanos a los Pad SC1 y SC2 de acuerdo al Plan de Perforación.
- Disponibilidad de información para calibración:
 - Reportes de perforación
 - Reportes de lodo
 - Ensayos de laboratorio
 - LOT , XLOT, Minifrac, etc

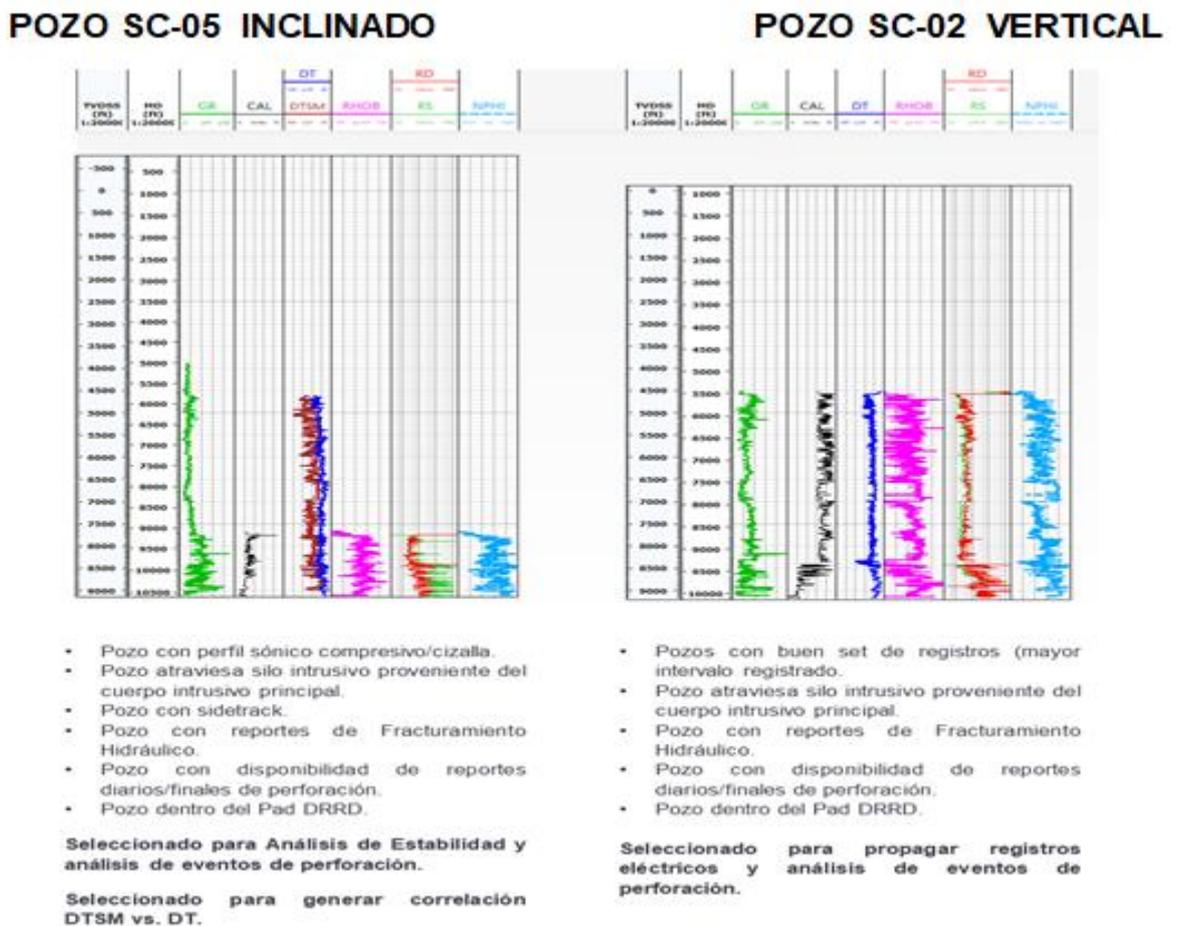
Tomando en cuenta los criterios antes mencionados, se determinó que los pozos con un set de registros suficientes para construir un modelo geomecánico son SC-05 y SC-02. Es importante mencionar que en la selección de los pozos para el análisis no sólo influyó la

disponibilidad de la información, sino también la calidad de la misma y la cobertura para caracterizar la columna estratigráfica.

La Figura 7, es un ejemplo del montaje de registros, usados como datos de entrada, para el modelamiento geomecánico. Además, referenciados a la profundidad MD se encuentran el estado mecánico del pozo, el registro de rayos gamma (GR), el caliper (CALI), los registros sínicos compresional (DT) y de cizalla (DTSM), la densidad (RHOB), Resistividades, Porosidad neutrón.

Los pozos de correlación que presentan buena cobertura de registros desde la formación Ortegaza hasta el TD son el SC-05,SC-02. El pozo SC-05 cuenta con registro sínico de cizalla con mayor cobertura, entre los pozos suministrados.

Fig. 7 Ejemplo de Montaje de registros para selección de pozos de análisis



Fuente: Autor

No se dispone de un set completo de registros para las formaciones Indiferenciado y Chalcana, se identificó el pozo SC-01 con información tomada en estas formaciones (GR-

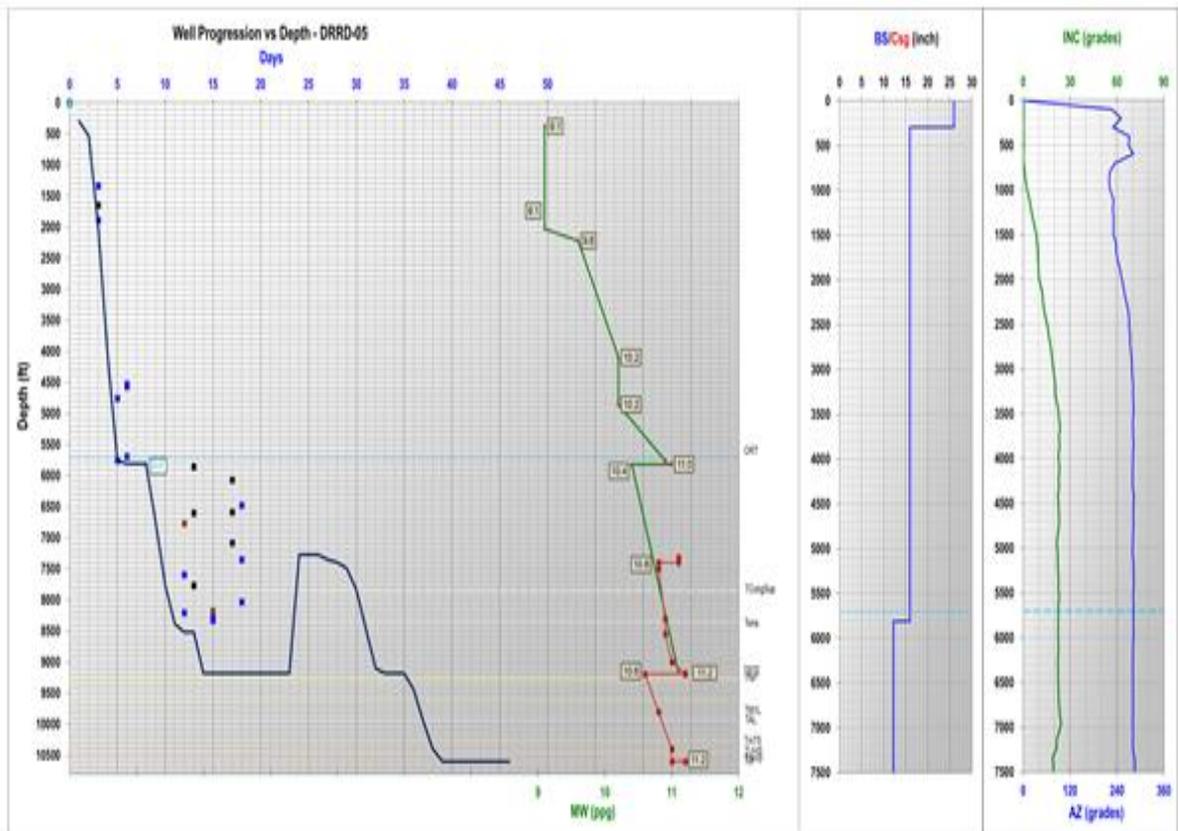
DTCO y RHOB), por lo cual se recomendo solicitar la misma para la construcción del modelo desde estas formaciones, no se tuvo éxito, por lo que se plantea construir el modelo desde Orteguaza.

2.3. Información de perforación

La empresa administradora del campo suministró la información de perforación existente en el campo Santa Clara. Se contó con reportes diarios de perforación, reportes finales de perforación, reportes de lodo y reportes finales de geología de los pozos de análisis, que incluía el registro de evaluación de las formaciones ó Masterlog.

Se realizó el análisis de los pozos seleccionados en cuanto a eventos durante la perforación, resumiéndose los resultados en los event maps presentado en la Figura 8.

Fig. 8 *Análisis de eventos de perforacion pozo SC-05*



Fuente: Autor

2.4. Ensayos de laboratorio

Existen cores extraídos de los pozos SC-05, SC-02, sin embargo, no se tiene información de ensayos de laboratorio para poder calibrar las propiedades elásticas (módulo de Young y relación de Poisson) y de resistencia de la roca resistencia no confinada de la roca, resistencia a la tracción y ángulo de fricción interna); en consecuencia, se utilizarán correlaciones internas y/o standards de la industria basadas en registros sísmico y de densidad principalmente.

2.5. Otras informaciones

No se tienen reportes de pruebas LOT (Leak off Test) ó XLOT (X Leak off Test), se cuenta con reportes de fracturamiento hidráulico para calibración del esfuerzo horizontal mínimo. También se utilizó información de presión de yacimiento (perforando y de build ups) lo cual permitió calibrar la curva de presión de poros.

2.6. Análisis de eventos de perforación

El objetivo es analizar y clasificar los eventos ocurridos durante la perforación, permitiendo tanto la calibración del modelo geomecánico como la identificación de los riesgos.

La información de los eventos de perforación fue extraída de los reportes diarios de perforación, finales de perforación y finales de geología. A partir de esta revisión (Figura 9) se tienen los siguientes hallazgos por sección a partir de los pozos SC-05, SC-02:

- **Sección de 26”**

- Perforada entre 200-250ft con broca tricónica para cubrir intervalos de conglomerados superficiales.
- No se registran eventos de pérdidas superficiales, generalmente no se presentan eventos de gumbo y/o taponamiento de flowline.
- MW rango entre 8.4-8.6ppg.

- **Sección de 16"**

- Se perfora hasta ~50-100ft dentro Ortegua (lutitas), no se registran eventos de influjos o pérdidas de circulación en esta sección con rango de MW al TD entre 10.7-11.0ppg para INC entre 15-25deg.
- Restricciones puntuales en los viajes y en las corridas de casing principalmente después de los 4000ft.
- Se perfora con broca tricónica de 16" ~400ft para pasar intervalos de conglomerados.
- En el DRRA-014 influjo entre casing de 20" y 13 3/8" después de la cementación del casing de 13 3/8".

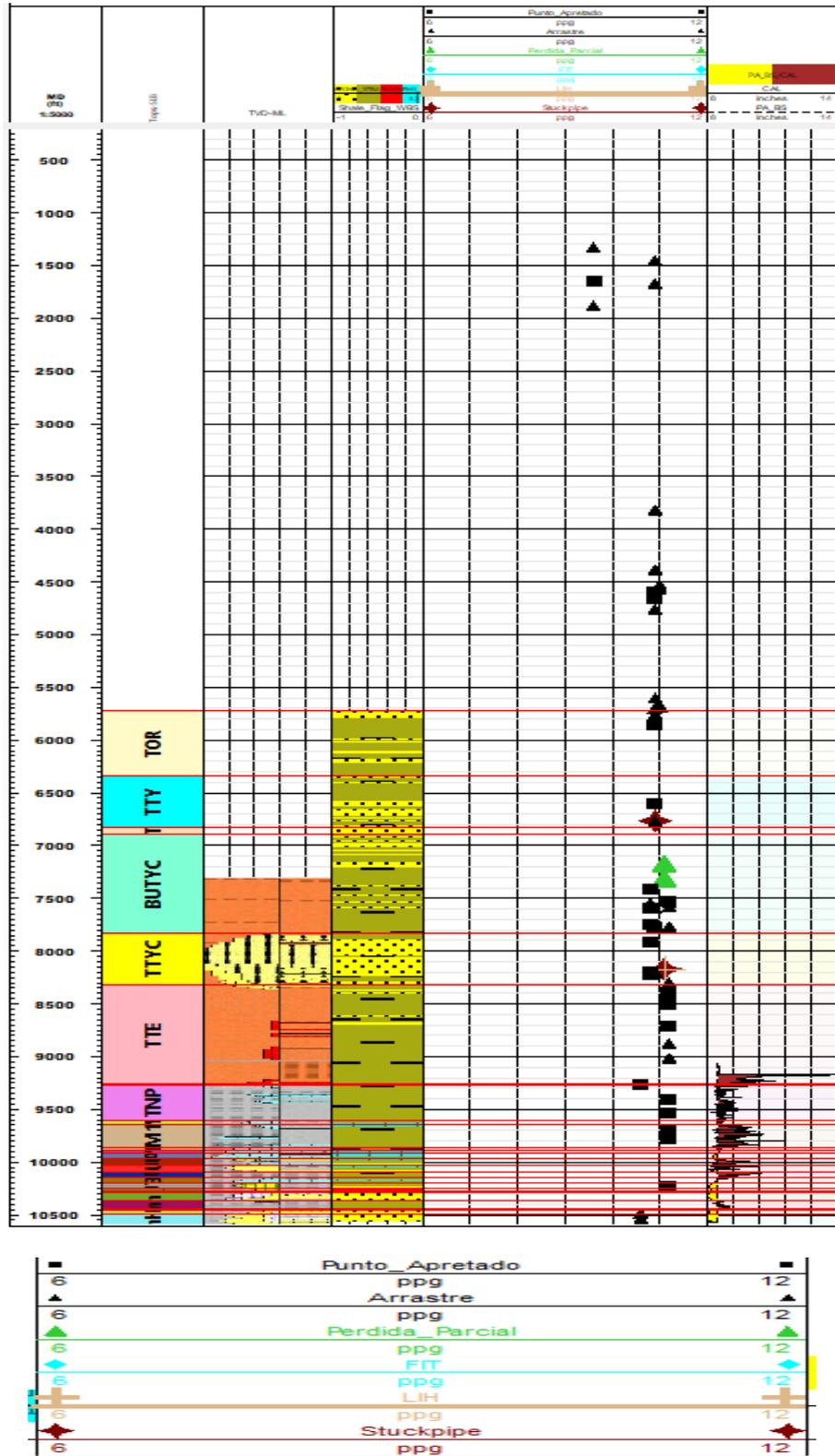
- **Sección de 12 1/4"**

- Se perfora desde Ortegua hasta la base de Tena, pasando los Conglomerados Superior e Inferior de Tiyuyacu
- Se registró un stuck pipe que termino en LIH y Sidetrack del SC-05, realizando viaje de calibración al alcanzar el TD de la sección, se presentó restricción dentro del Conglomerado Inferior, trabajó sarta sin éxito, (INC 20deg).
- Rango de MW (Mud Weight) usado al TD entre 10.8-11.2ppg (pound per gallons)
- No se registran eventos de gumbo y/o taponamiento de flowline.

- **Sección de 8 1/2"**

- Se perfora desde la base de Tena hasta Hollín principal con MW al TD entre 10.6-11.2ppg en función de la inclinación de la sección.
- Evento de Sidetrack en el SC-03, sacando quacombo queda herramienta pegada frente a la arenisca T Inferior, realiza operaciones de pesca sin éxito, recupera pescado parcialmente. MW 10.8-11.2ppg.
- Evento de Sidetrack en el SC-01, problema mecánico con el setting tool luego de la cementación del Liner de 7" no fue posible liberarlo, conllevando a realizar punto libre y Sidetrack para la sección de 8 1/2".

Fig. 9 Ejemplo de Eventos de Perforación Campo Santa Clara– pozo SC-05

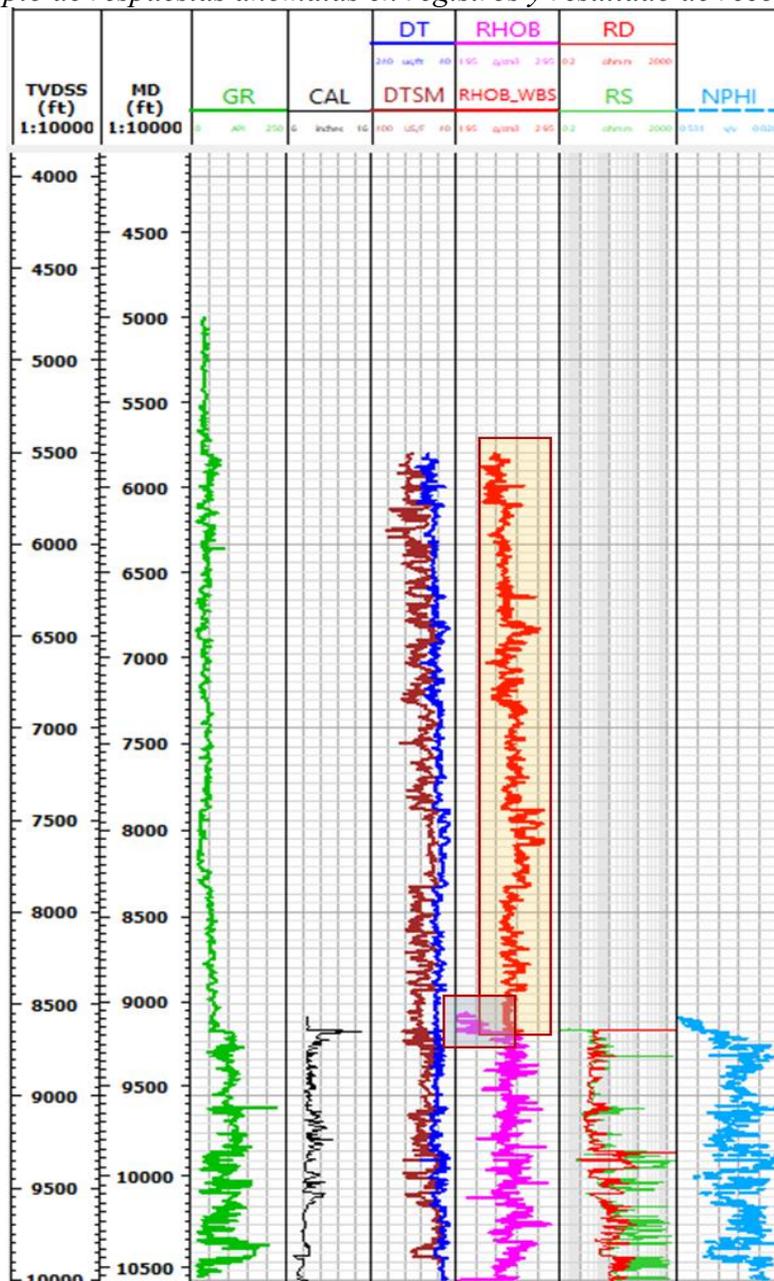


Fuente: Autor

2.7. Correlación de registros y generación de sintéticos

Se realizó el QC (Quality Control) y completo el set de los registros para el pozo SC-05 (Figura 10). Identificándose algunos intervalos con respuestas anómalas por lecturas de casing en RHOB, también fue necesario completar estos registros por ejemplo RHOB en intervalo registrado en cased hole. En la figura 10 se observa un ejemplo de reconstrucción del registro RHOB para el SC-05.

Fig. 10 Ejemplo de respuestas anómalas en registros y resultado de reconstrucción



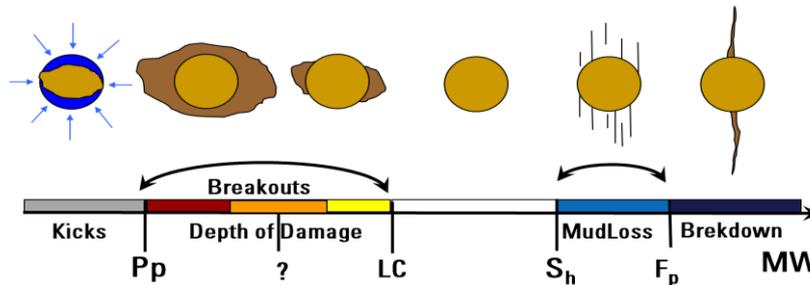
Fuente: Autor

2.8. Construcción del Modelo Geomecánico

La construcción de modelos geomecánicos según Páramo Sepulveda, 2016 “permite analizar la inestabilidad del pozo durante la perforación causa problemas sustanciales en todas las áreas del mundo. Un problema de estabilidad es un ejemplo de lo que los perforadores se refieren como “hueco apretado” o incidente de “pega de tubería”. Existen muchas posibles razones para que ocurra una pega de tubería, pero en la mayoría de los casos de campo reportados, la razón fundamental es el colapso mecánico del pozo. La mayoría de las inestabilidades de importancia práctica ocurren en shales o lodolitas; predominantemente en el overburden, pero algunas veces también dentro del yacimiento”. A menudo, el colapso mecánico del pozo se combina con la falta de capacidad de limpieza del pozo.

La Figura 11 define la estabilidad de pozo de acuerdo con la densidad de lodo usado durante la perforación.

Fig. 11 Definición de estabilidad de pozo (WBS)



Fuente: Páramo Sepulveda, 2016

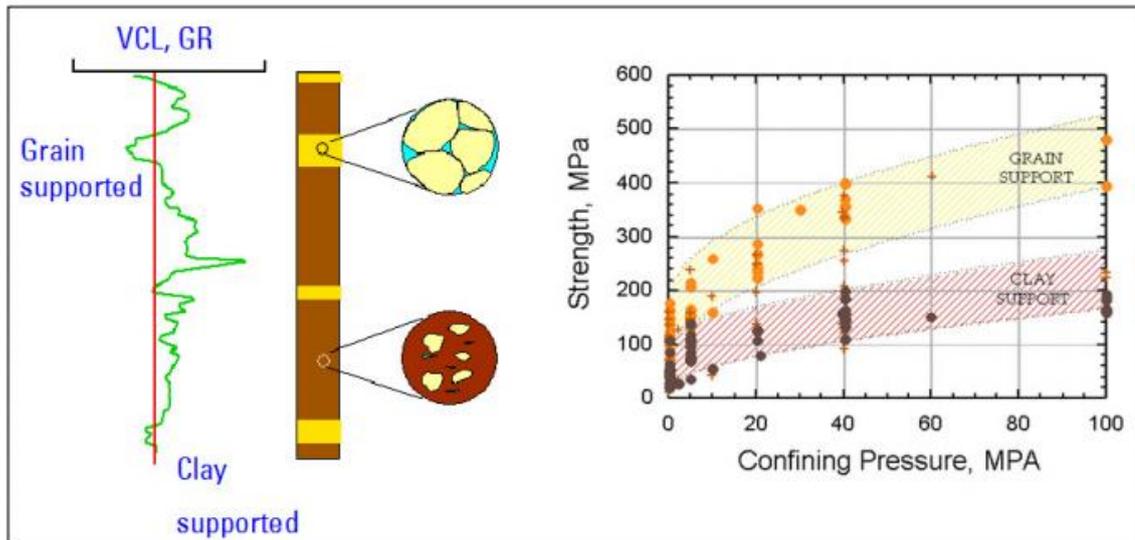
2.8.1. Facies Mecánicas – Estratigrafía Mecánica

La estratigrafía mecánica consiste en agrupar intervalos de roca según su comportamiento mecánico (Figura 12), esto con fines de modelamiento. Generalmente, desde el punto de vista geomecánico, las rocas pueden ser clasificadas por su competencia en arcillo-soportadas, grano-soportadas y carbonatos, ya que poseen comportamientos mecánicos distintos ante la acción de los esfuerzos.

En la definición de facies mecánicas, se intenta representar la litología reportada en masterlogs y reportes geológicos, utilizando cálculos sencillos basados en registros convencionales. Dado que la evaluación petrofísica disponible está enfocada en intervalos yacimiento, y desde el punto de vista geomecánico necesitamos modelar toda la columna

estratigráfica de rocas, fue necesario realizar, internamente, cálculos petrofísicos básicos (volumen de arcilla) a fin de generar facies mecánicas en todo el intervalo con registros disponibles desde TD-Hollin hasta Formación Orteguaza.

Fig. 12 *Facies mecánicas y comportamiento mecánico de facies grano – soportadas y arcillo soportadas*

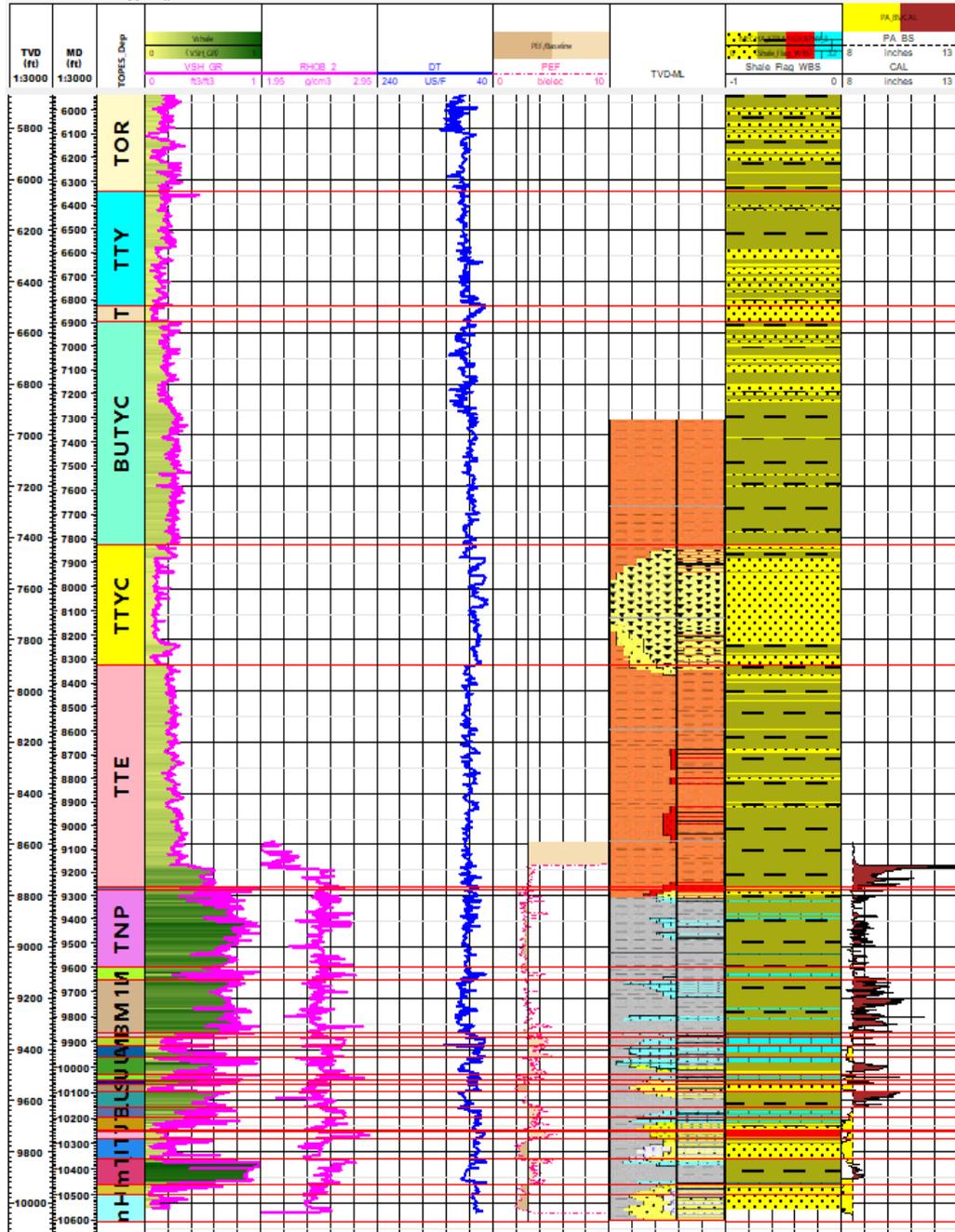


El criterio utilizado para establecer la estratigrafía mecánica en el campo Santa Clara, utilizó como dato de entrada el volumen de arcilla y DTCCO y la densidad (Figura 13). A continuación, se detalla:

- Si el contenido de arcilla es igual o superior al 35% entonces corresponde a una roca arcillo-soportada.
- Si el contenido de arcilla es menor al 35% corresponde a una roca grano-soportada
- Si la roca es grano-soportada y el PEF volumétrico U es mayor a 7 entonces corresponde a un carbonato, de lo contrario es areno-soportada.

Es importante mencionar que se realizó una comparación entre las facies mecánicas y las facies provenientes del modelo petrofísico (disponible sólo en sección de 8 ½) obteniendo muy buena correspondencia en los pozos evaluados en este estudio. Otro punto que resaltar está referido a la calibración y control de calidad, para lo cual se utilizó el registro de evaluación de formación o Masterlog.

Fig. 13 Estratigrafía Mecánica SC-05



Fuente: Autor

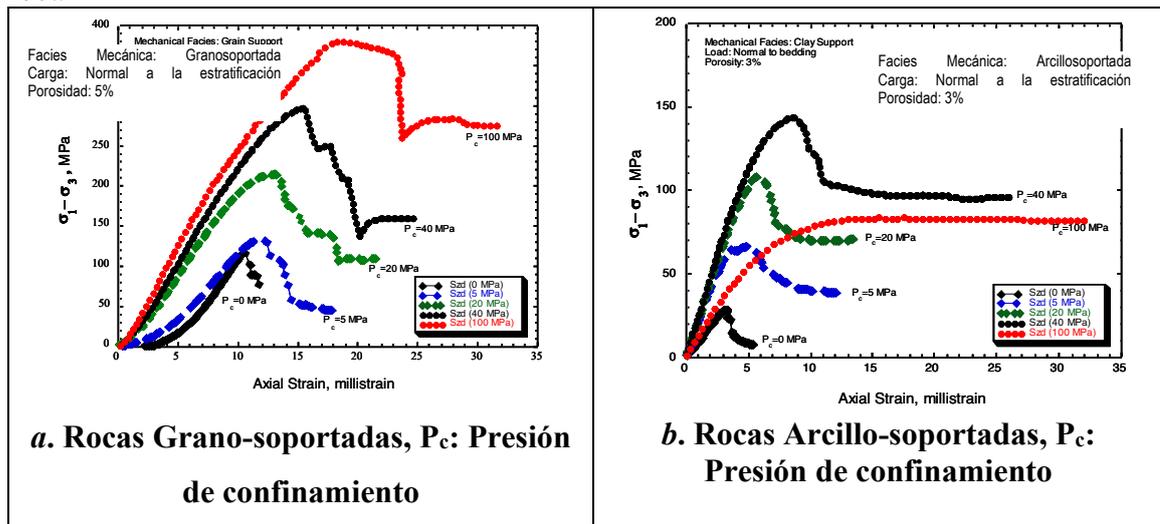
2.9. Modelo de Propiedades Mecánicas de la Roca

2.9.1. Propiedades Elásticas de la Roca

Los parámetros elásticos describen el comportamiento *esfuerzo – deformación* de una roca, estos parámetros son sumamente útiles al momento de realizar un análisis de estabilidad de hoyo, así como para la determinación de los esfuerzos in-situ. Para materiales elásticos isotrópicos, la relación esfuerzo – deformación puede ser descrita por dos parámetros: El módulo de *Young (YME)* y la relación de *Poisson (PR)*. Para realizar los cálculos de estas propiedades se utilizaron las ecuaciones de elasticidad disponibles en el software Techlog y los registros de densidad, sónico compresional y sónico de cizalla (Torres M, et.al 2010).

El comportamiento esfuerzo – deformación depende del tipo de roca y presenta igualmente una naturaleza al menos bimodal entre las facies grano-soportadas y las facies arcillo-soportadas, como puede demostrarse a partir de resultados de pruebas de laboratorio en núcleos de diferentes tipos de roca (Figura 14), nótese la diferencia en la escala vertical en *a* y en *b*)

Fig. 14 Naturaleza bimodal (dos tipos) del comportamiento esfuerzo – deformación de la roca



Fuente: (Torres M, et.al 2010).

Las propiedades elásticas calculadas a partir de registros de pozo de denominan dinámicas, y luego deben aplicarse varias correlaciones empíricas para estimar el valor

de las propiedades elásticas en condiciones estáticas (por ejemplo, Morales, Lacy, etc). Estas propiedades estáticas son las que se emplean en los modelos de estabilidad de pozo y las demás aplicaciones principales del MEM.

Los correspondiente valores de las propiedades mecánicas que se mencionaran a continuación ya han sido determinadas por el laboratorio de mecánica de rocas de EP PETROECUADOR.

2.9.2. Módulo de Young Estático (YME)

El valor más alto del Módulo de Young se encuentra en la formación Napo, especialmente en la Caliza A, Caliza T e sill intrusivo con variación entre 3.3 y 5.50 Mpsi, con valores mínimo y máximo de 0.08 y 5.5Mpsi. El valor promedio del Módulo de Young es 0.86 Mpsi, con una desviación de ± 0.52 Mpsi.

2.9.3. Relación de Poisson (PR)

La relación de Poisson presenta valores máximos en las formaciones Orteguaza, Tiyuyacu, Tena, Napo y Hollin, con valores que varían entre 0.33 – 0.40, con valores mínimo y máximo entre 0.054 a 0.46. El valor promedio de la relación de Poisson es de 0.34, con una desviación de ± 0.049 .

2.10. Resistencia del Material Rocoso

Las propiedades de resistencia de la roca están representadas por el ángulo de fricción interna (FANG) por la resistencia a la tracción (TSTR) y por la resistencia a la compresión uniaxial (UCS).

La resistencia a la compresión uniaxial de la roca (UCS, unconfined compressive strength) se usa en la determinación de la falla de las paredes del pozo durante la perforación, y la producción de arena debida al diferencial de presión entre la formación y el pozo (drawdown). El valor de UCS se calcula típicamente a partir de registros de pozos. Los ensayos de laboratorio de resistencia a la compresión uniaxial en núcleos de roca pueden ofrecer un método de calibración puntual para los registros continuos obtenidos de los pozos. Varias ecuaciones empíricas existen igualmente para calcular el

valor de UCS a partir de registros, por ejemplo, Plumb (1994), Horsrud (2001), entre otras.

El modelo de resistencia determinado para el campo Santa Clara, permite obtener valores estimados de resistencia a la compresión uniaxial (UCS), a partir de registros sísmicos de los pozos SC-05 Y SC-02. En este método de estimación se tiene en cuenta la naturaleza bimodal de la resistencia de la roca. La resistencia de la roca a la tracción (TSTR) fue estimada como una fracción de la resistencia a la compresión uniaxial (UCS).

El ángulo de fricción (FANG), es un parámetro que permite representar en algunos modelos geomecánicos el aumento en la resistencia del material, dependiente del nivel de confinamiento de la roca. Algunas relaciones empíricas se han desarrollado para calcular el ángulo de fricción a partir de registros. Para obtener valores experimentales del ángulo de fricción, se requiere disponer de los resultados de una serie de ensayos de compresión en núcleos del mismo tipo de roca, realizados a diferentes niveles de presión de confinamiento (compresión triaxial o ensayos de compresión confinada). Estos resultados pueden utilizarse como puntos de calibración para los perfiles continuos de FANG derivados a partir de registros.

UCS

La resistencia a la compresión uniaxial (UCS) muestra valores máximos en la Caliza A (TAL) de la Formación Napo e intrusivo, los que varían entre 17000 a 37681 psi. El promedio de UCS es de 6712 psi, con una desviación promedio de ± 3146 psi.

No se cuenta con ensayos de laboratorio de mecánica de rocas en el Campo Santa Clara.

TSTR

La Resistencia a la Tracción (TSTR) presenta valores altos en la Formación Napo, especialmente en la Caliza A e intrusivo igneo, el valor promedio de la resistencia a la tracción es 939 psi con una desviación de ± 440.5 psi.

FANG

El Ángulo de Fricción (FANG) muestra valor promedio de 32.2° y una desviación de ± 4.07 .

2.11. Esfuerzo Vertical

Uno de los esfuerzos principales considerado dentro de un modelo geomecánico es el provocado por la carga litostática, que ejerce el peso de los estratos superpuestos sobre el área de una roca que se encuentra a cierta profundidad, resistiendo el esfuerzo ejercido por dicha sobrecarga. Se estima que el eje de la carga se encuentra en el plano vertical y su magnitud se calcula al integrar la densidad en función de la profundidad, como se presenta en la siguiente ecuación:

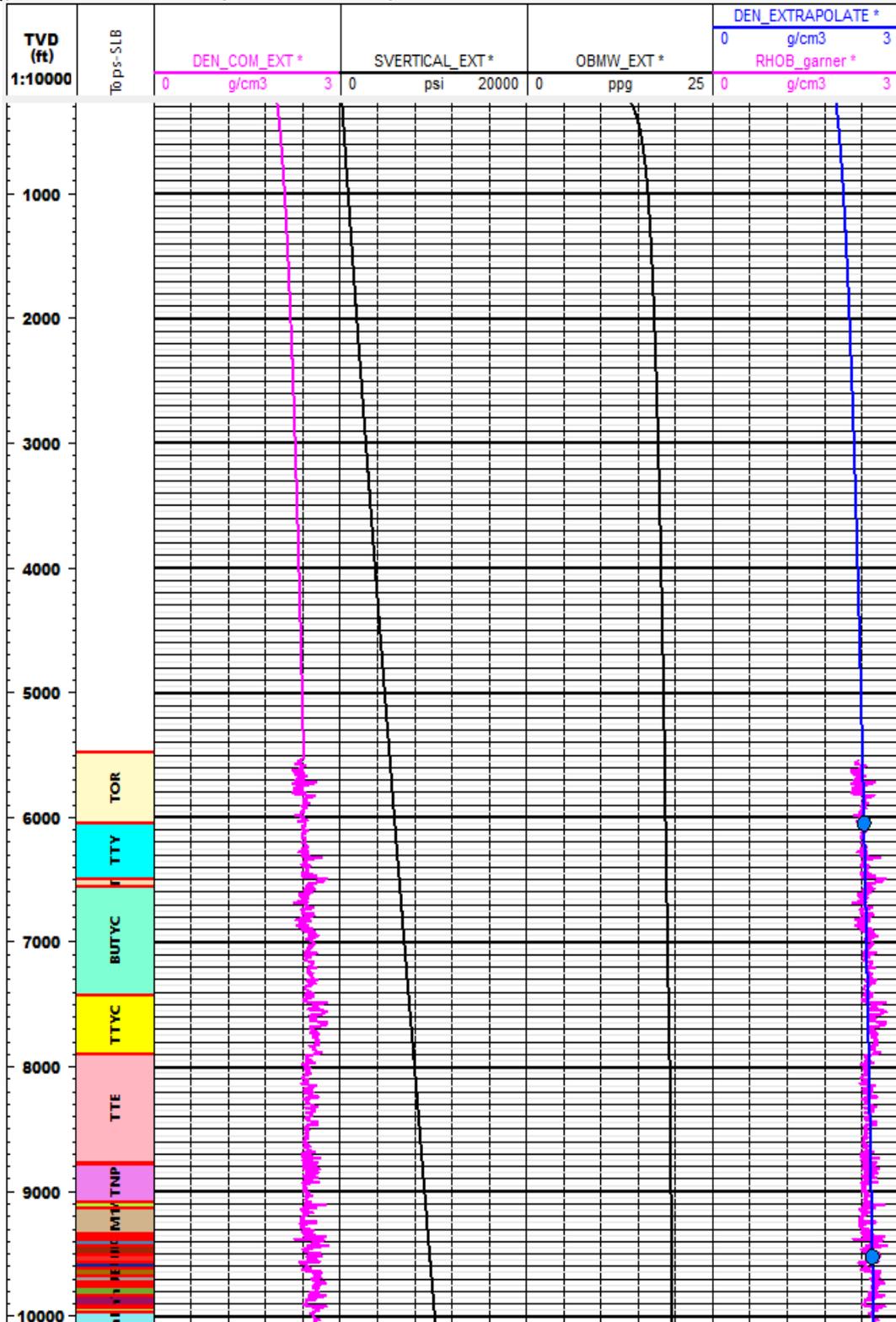
$$\sigma_z = \int_0^z \rho(z) \cdot g \cdot dz \quad \text{Ec. 1}$$

Los valores de densidad que se requieren para dicho cálculo son normalmente obtenidos a partir de mediciones directas de densidad en muestras de núcleo o ripios de perforación, o por medidas indirectas en registros de hueco abierto, como los obtenidos con el registro de densidad (RHOB).

Para los pozos en el campo Santa Clara, el registro de densidad generalmente se encuentra desde la base de la formación Tena hasta la profundidad del pozo. Se identificó el pozo SC-02 con registros desde Indiferenciado-Chalcana pero no fue suministrada la información.

Para modelar el intervalo más superficial, correspondiente al indiferenciado, que no presenta datos de ningún registro, fue utilizado el método de extrapolación disponible en Techlog para completar la curva de densidad (Figura 15). Como resultado, se obtuvo un registro sintético de densidad, este registro es utilizado para calcular el perfil de esfuerzo vertical SVERTICAL, o gradiente de sobrecarga. El gradiente de SVERTICAL a nivel de Hollin es de 1.01 psi/ft.

Fig. 15 Densidad extrapolada en Campo Santa Clara– SC-055S1



Fuente: Autor

2.12. Presión de Poros

El modelo de presión de poros P_p está basado en los pesos de lodos de pozos vecinos, mediciones directas de presiones de poros en las arenas y en la estimación de presiones de poros en lutitas a partir del registro sísmico compresional (Figura 16).

El primer paso en la determinación de presiones de poros fue recopilar la información de presiones disponible, en este sentido se utilizaron los valores promedio por arena, adquiridos con XPT.

El segundo paso consiste en estimar un perfil de presión de poros en las lutitas, con mediciones indirectas basadas en registros petrofísicos. Se utilizó el registro sísmico del pozo SC-05 con la metodología de Eaton para calcular sobrepresiones. La determinación de presiones de poros utilizando el registro sísmico arroja resultados que sugieren un gradiente hidrostático de presiones, con ligeras sobrepresiones a nivel de las lutitas de Orteguaza 3600pies aproximadamente hasta de 9.0ppg, en las lutitas de la base de la caliza M1 hasta de 9.6ppg.

Es importante señalar que, en la revisión de los reportes de perforación, no se evidenciaron eventos de control de pozo y/o flujo que evidencien la presencia de zonas de mayor sobre-presurización a las estimadas.

En el paso anterior se utiliza como límite la información de los pesos de lodos de los pozos vecinos como calibración en caso no haber ocurridos eventos de flujos y/o control de pozo. Considerando que los pozos no fueron perforados en condición bajo balance, los valores de densidad de lodo utilizados corresponden a límites superiores para el perfil de presión de poros, concordante con el perfil estimado.

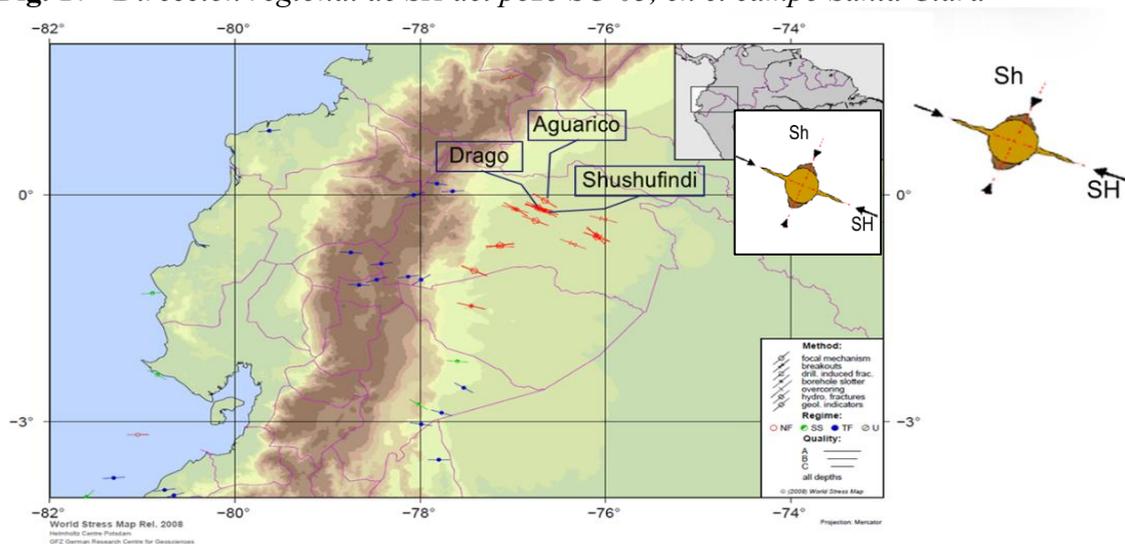
orientación del esfuerzo máximo horizontal utilizada para la construcción del modelo geomecánico fue de 115 ± 5 grados obtenida a partir de fracturas inducidas, las cuales son consistentes con la orientación de los breakouts. En la figura 16 se muestra la ubicación del campo Santa Clara en el contexto del Mapa Mundial de Esfuerzos y los resultados de un FMI del pozo SC-02.

Se identificó la toma de registros de imagen en los siguientes pozos, sin embargo, no se tiene disponible esta información entre la recibida, esta información es de suma importancia para evaluar la posible variabilidad de la dirección de los esfuerzos horizontales de manera areal debido a la presencia de intrusivo en el campo:

- SC-03 (FMI, 2011)
- SC-01 (XRMI, 2013)
- SC-07 (XRMI, 2014)
- SC-09 (XRMI, 2013)
- SC-10 (XRMI, 2013)
- SC-31 (FMI, 2011)

Del reporte del FMI del SC-03 se obtuvo una dirección para el esfuerzo horizontal máximo de $N115^{\circ}E \pm 5^{\circ}$ (Figura 17).

Fig. 17 Dirección regional de SH del pozo SC-03, en el campo Santa Clara



Fuente: (Heidbach, et al. 2016, www.world-stress-map.org).

2.14. Magnitud de Esfuerzos Horizontales

2.14.1. Magnitud del Esfuerzo Horizontal Mínimo (Sh)

Se aplicó un modelo poro-elástico para estimar de manera simultánea la magnitud de los esfuerzos horizontales máximo y mínimo. Para este modelamiento se tiene el esfuerzo vertical como uno de los esfuerzos principales in situ, consideración válida para la Cuenca Oriente.

Para la calibración del esfuerzo mínimo horizontal in situ, se utilizó la presión de cierre resultante del análisis del fracturamiento hidráulico realizado en la arena U Inferior en el pozo SC-05.

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} (\sigma_v - \alpha P_p) + \alpha P_p + \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_h + \frac{\nu E}{1-\nu^2} \varepsilon_H \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

$$\sigma_h = \text{esfuerzo horizontal}$$

ν =relación de Poisson's

α = coeficiente de Biot

E = modulo de Young's

ε_h = deformación horizontal mínima

ε_H = deformación horizontal máxima

2.14.2. Magnitud del Esfuerzo Horizontal Máximo (SH)

La magnitud del esfuerzo horizontal máximo puede ser estimado por medio de la modelación geomecánica, sujeta a las evidencias de falla en las paredes del pozo que pueden ser observadas en los registros de imágenes, de la geometría del pozo de los calipers. La falla por esfuerzos de corte (breakouts) y la falla por tracción (fractura inducidas) son utilizadas para estimar la magnitud de SH, como presentado en la Figura 18.

$$\sigma_H = \frac{\nu}{1-\nu} (\sigma_v - \alpha P_p) + \alpha P_p + \frac{\nu E}{1-\nu^2} \varepsilon_h + \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_H \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

$$\sigma_h = \text{esfuerzo horizontal}$$

ν =relación de Poisson's

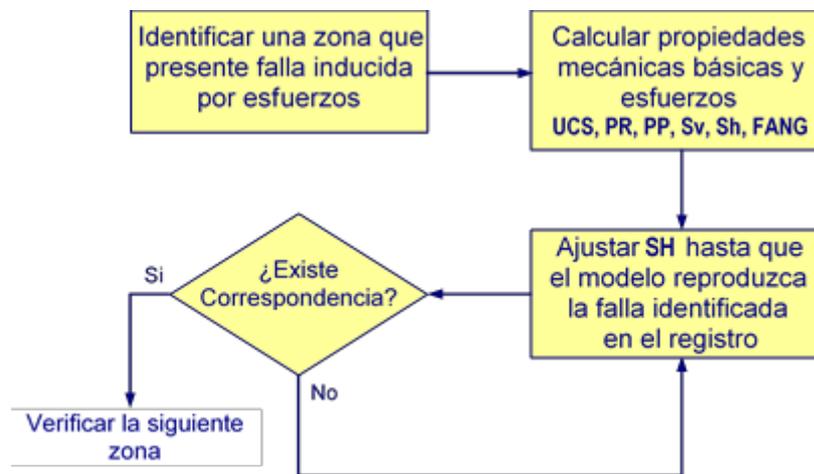
α = coeficiente de Biot

E = modulo de Young's

ε_h = deformación horizontal mínima

ε_H = deformación horizontal máxima

Fig. 18 Esquema del procedimiento para estimar la magnitud de SH



CAPITULO 3: ANALISIS DE RESULTADOS Y PROGNOSIS

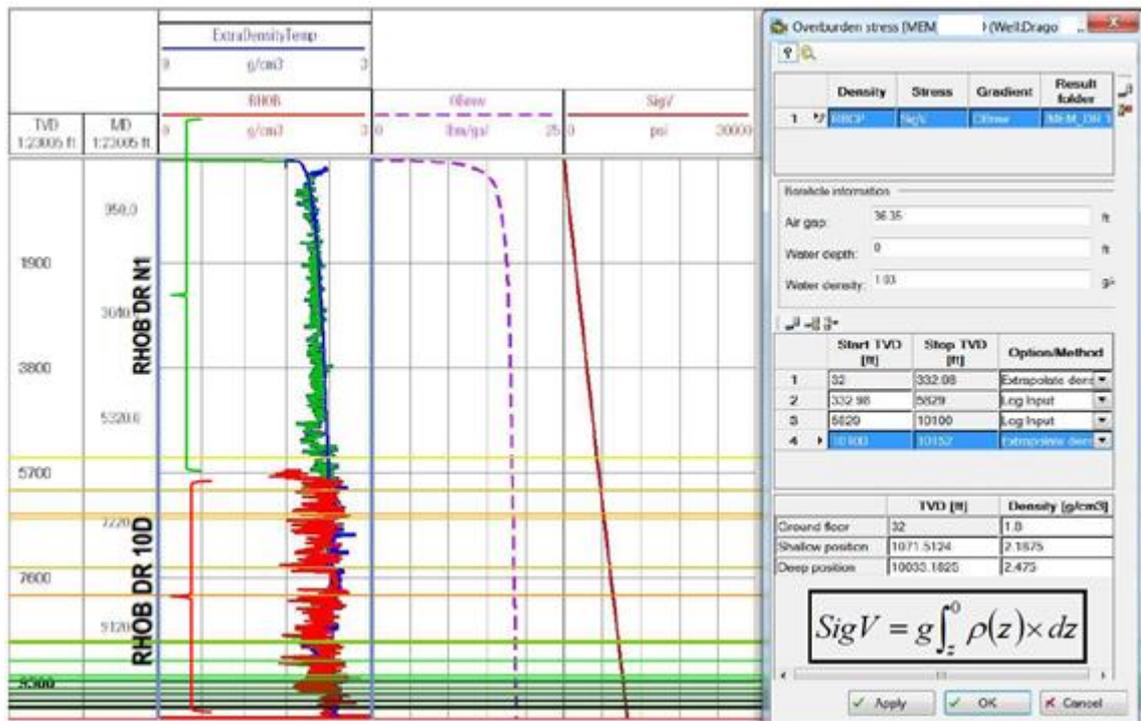
3.1. Calibración del Campo de Esfuerzos Horizontales

El proceso de calibración de los esfuerzos horizontales consistió en aplicar el modelo poroelástico. La calibración se consigue al buscar la combinación más adecuada de los parámetros de deformación ϵ_h^e y ϵ_H^e , que definen el campo de esfuerzos consistente con el comportamiento geomecánico de los pozos perforados en el Campo Santa Clara.

La verificación de los resultados obtenidos, en especial la magnitud del esfuerzo horizontal mayor se logra mediante la modelación geomecánica de estabilidad de pozo utilizando los parámetros derivados del MEM.

Se ha determinado entonces un régimen normal de esfuerzos en que $SV > SH > Sh$ con variaciones en las rocas de mayor rigidez, como las calizas y algunas areniscas, debido a su alta rigidez de acuerdo a la figura 19.

Fig. 19 Esquema del procedimiento para estimar la magnitud de los esfuerzos



Análisis: Mediante el procesamiento de los datos correspondiente a los registros de porosidad (density log) se procedió a obtener la magnitud del esfuerzo vertical tal como se muestra en la figura 19, determinándose claramente que la curva de color rojo

corresponde al esfuerzo vertical, se observa como se incrementa dicho esfuerzo en función de la profundidad multiplicada por la densidad de la matriz expresada mediante la curva entrecortada de color púrpura. La magnitud del esfuerzo alcanzada al TD del pozo fue alrededor de 6800psi.

3.2. Verificación del Modelo Geomecánico (1D-MEM)

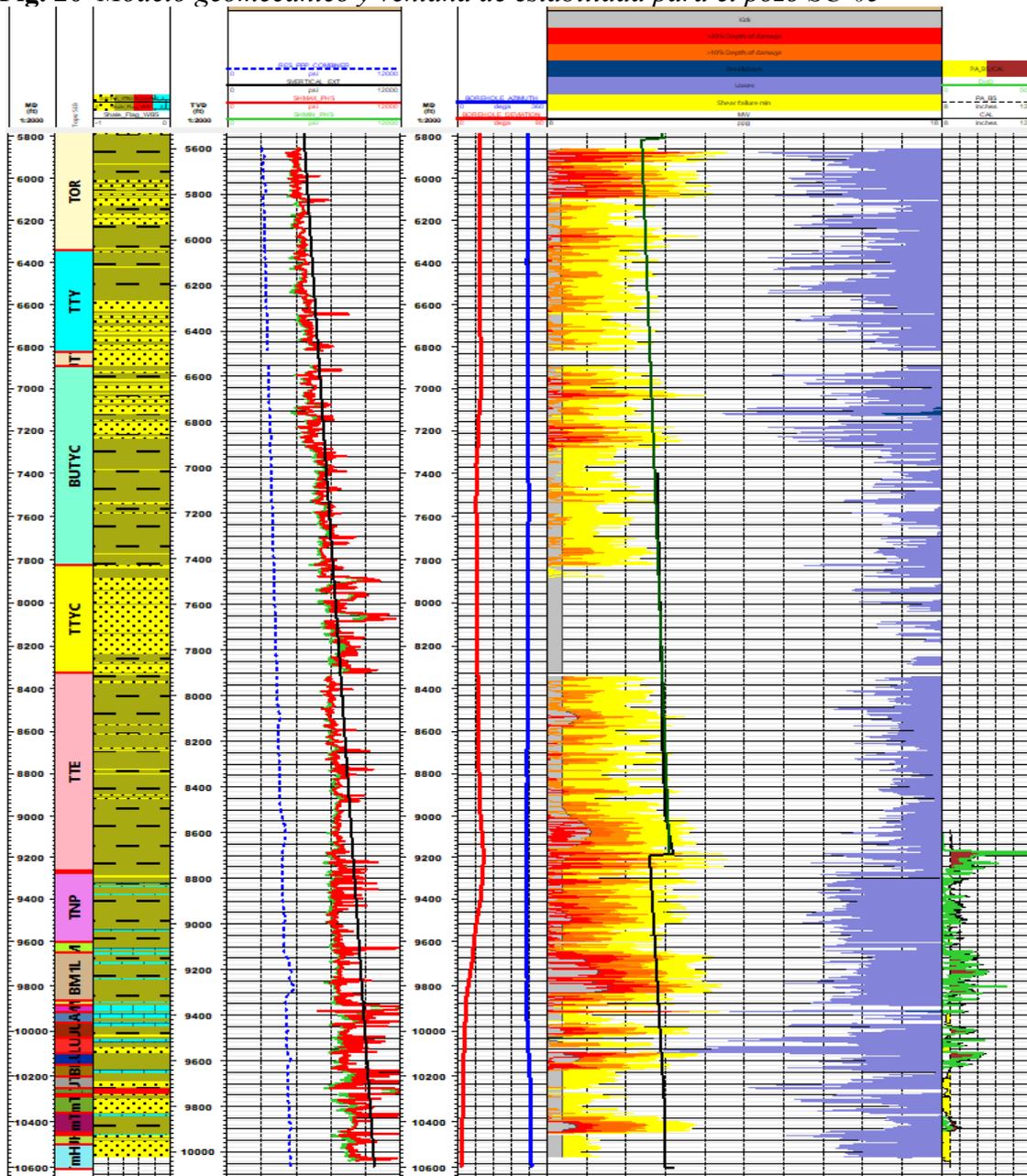
La mejor estrategia para calibrar el 1D-MEM construido para el campo Santa Clara es verificar la predictibilidad de la estabilidad de cada pozo. El 1D-MEM debe reproducir todos los eventos de estabilidad observados en los pozos perforados previamente; para esto se utilizan las propiedades de la roca y los perfiles de esfuerzos obtenidos del modelo. El análisis de estabilidad de pozo involucra el cálculo de los gradientes de colapso y breakdown de la formación. El gradiente de colapso es equivalente al mínimo peso de lodo necesario para prevenir el inicio de la falla por corte o breakout. El gradiente de breakdown es el peso de lodo máximo que es posible alcanzar antes de generar fracturas hidráulicas durante la perforación y pérdidas de lodo. Los gradientes calculados en el análisis de estabilidad de pozo fueron comparados con la densidad de lodo utilizada en la perforación.

Esto permite verificar la magnitud de los esfuerzos horizontales, revisando que el modelo geomecánico describa de forma adecuada las características de estabilidad de pozo observadas.

En la Figura 20, se incluyen el back-análisis de estabilidad del pozo SC-05; de acuerdo con el análisis de estabilidad determinado para los pozos de correlación, se observó que el modelo reproduce de forma razonable las evidencias de estabilidad de cada pozo. Esto permitió verificar la relación entre los esfuerzos y las propiedades de resistencia de la roca obtenidos a partir del modelo geomecánico construido para el campo Santa Clara.

Por lo tanto, actualmente se cuenta con un modelo geomecánico calibrado, que podrá ser aplicado a futuros pozos a perforarse en el campo Santa Clara.

Fig. 20 Modelo geomecánico y ventana de estabilidad para el pozo SC-05



Fuente: Autor

Análisis: El modelo geomecánico de acuerdo a la figura 20 muestra dos tren, los cuales comprenden lo siguiente: el primer tren describe el comportamiento de los esfuerzos verticales, horizontales máximos y mínimos. La curva de color azul corresponde al comportamiento de la presión de formación obtenida a partir de los registros de porosidad de los pozos analizados, la curva de color negro corresponde al comportamiento del esfuerzo vertical, la curva de color rojo corresponde al esfuerzo horizontal máximo y la curva de color verde corresponde a la curva de esfuerzo horizontal mínimo. De acuerdo al comportamiento de los esfuerzos en este pozo matemáticamente se establece la

siguiente relación $S_v > S_H > S_h$, es decir se ajusta un patrón de régimen normal de esfuerzos.

En el segundo tren que se muestra en la figura 20 se establece el modelo geomecánico mediante la creación de una ventana operativa de perforación entre la presión de formación (curva de color rojo) y la presión de fractura (curva de color verde). A partir de esta ventana operativa de perforación se puede estimar las respectivas profundidades de asentamiento del casing, y por lo tanto establecer la respectiva densidad del lodo de perforación que se utilizará para asegurar la integridad de cada una de las secciones perforadas. Además mediante el uso del software Drillmap se puede estimar las zonas de posible presencia de kick (influjos), este nos indica que a partir de 9000 pies existe un comportamiento abnormal en la presión de poro, esta se incrementa bruscamente, por lo que para atravesar esta zona es importante utilizar una densidad de lodo mucho mayor que la densidad de formación.

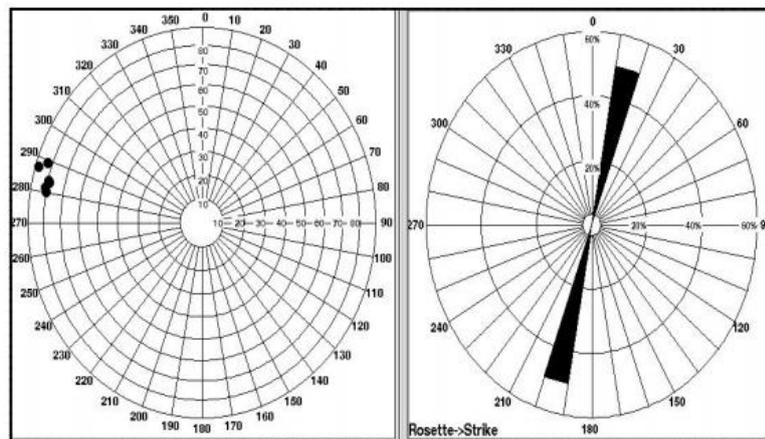
Mediante el uso de este modelo geomecánico podemos estimar la densidad a la cual la formación tiende a crear fracturas mostrada en la curva de color azul, para estas secciones es importante que la densidad del lodo no exceda a la densidad de corte de la formación, con la finalidad de evitar las pérdidas de circulación (curvas de color púrpura).

Entonces para asegurar la integridad de cada una de las secciones del pozo se debe cumplir la siguiente relación matemática $P_f < P_H < P_{fr}$, es decir que la presión hidrostática debe ser mayor que la presión de formación y menor que la presión de fractura. Asegurando esta relación matemática durante las operaciones de campo se pueden mitigar los problemas mencionados anteriormente (puntos apretados, presencia de alto torque y arrastre, incremento de presión, pérdida de circulación parcial, pérdida total de circulación y colapso del pozo los cuales generan problemas durante la perforación y bajada de casing).

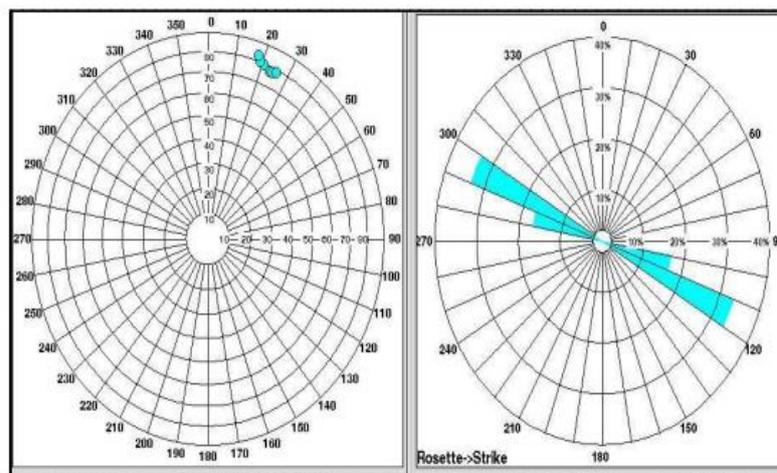
Es decir, un correcto modelo geomecánico ayuda a realizar la prognosis y prevención de problemas operativos durante la perforación de un pozo, reduciendo los NPT del proyecto.

Fig. 21 Análisis de FMI (Fullbore Formation Microimager) pozo SC-002 fallas de pozo, campo Santa Clara

a) Roseta de rumbos de todos los breakout interpretados.



b) Roseta de rumbos de fracturas inducidas



Considerando el campo caso estudio, el pozo de correlación SC-02 contaba con registros de imagen, estos se analizaron en búsqueda de breakouts, los cuales están alineados con el esfuerzo horizontal mínimo, y fracturas inducidas las cuales están alineadas con el esfuerzo horizontal máximo y mínimo, estos resultados se presentan en la figura 21.

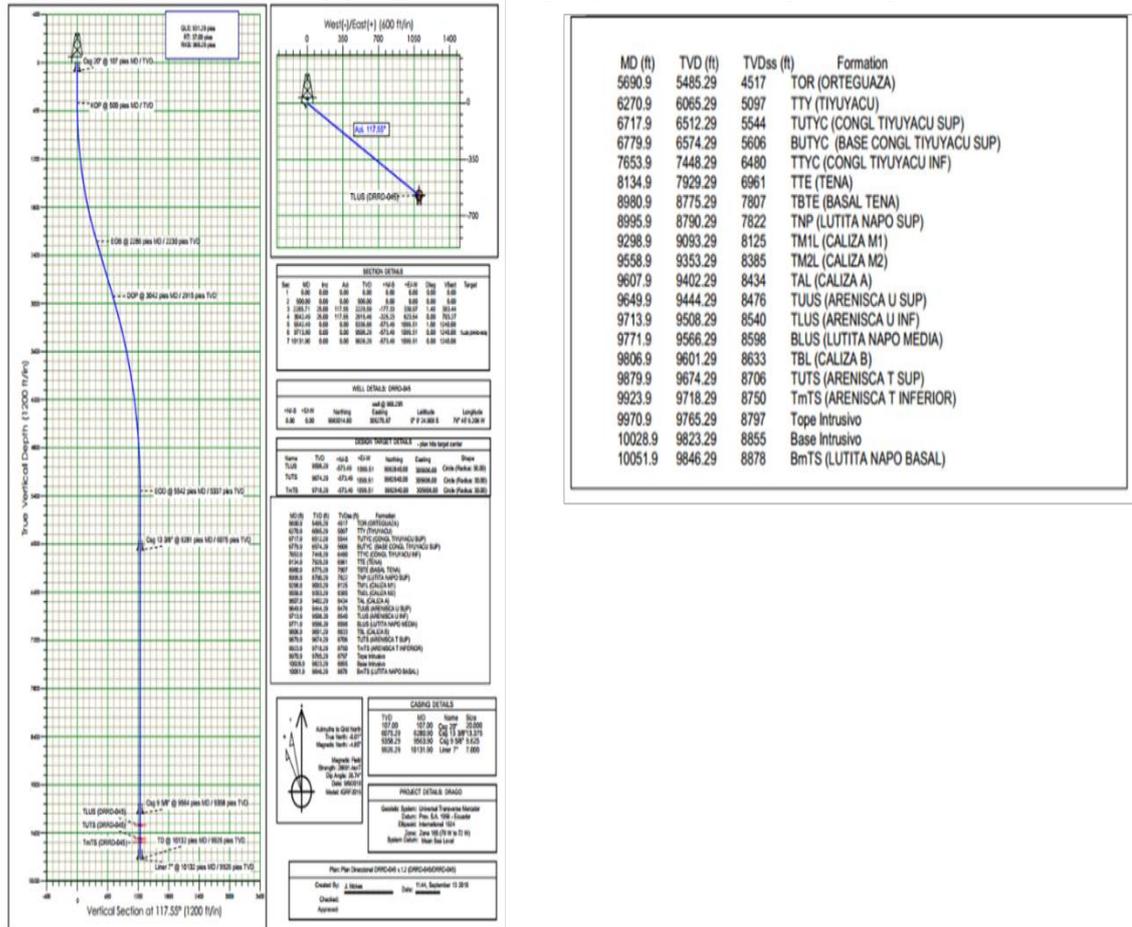
Análisis. Mediante el uso de registros FMI y utilizando la metodología de las rosetas se estableció que la orientación de breakouts considerando el esfuerzo horizontal mínimo es

de aproximadamente: $20^{\circ} \pm 4$ del breakouts, además, analizando el comportamiento del esfuerzo horizontal máximo se puede determinar la orientación de las fracturas inducidas es aproximadamente $120^{\circ} \pm 10$, tal como se muestra en la figura 21 .

3.3. Prognosis de eventos durante la planeación de la perforación de un pozo direccional.

Una vez construido y calibrado el modelo geomecánico de subsuelo (MEM) según la figura 20 para el campo Santa Clara, se realizó la predicción de estabilidad de pozo para la prognosis de topos formaciones y el plan direccional del pozo SC-04 tipo S, tal como se muestra en la figura 22.

Fig. 22 Plan direccional y prognosis de topos formacionales para el pozo DRRD-045



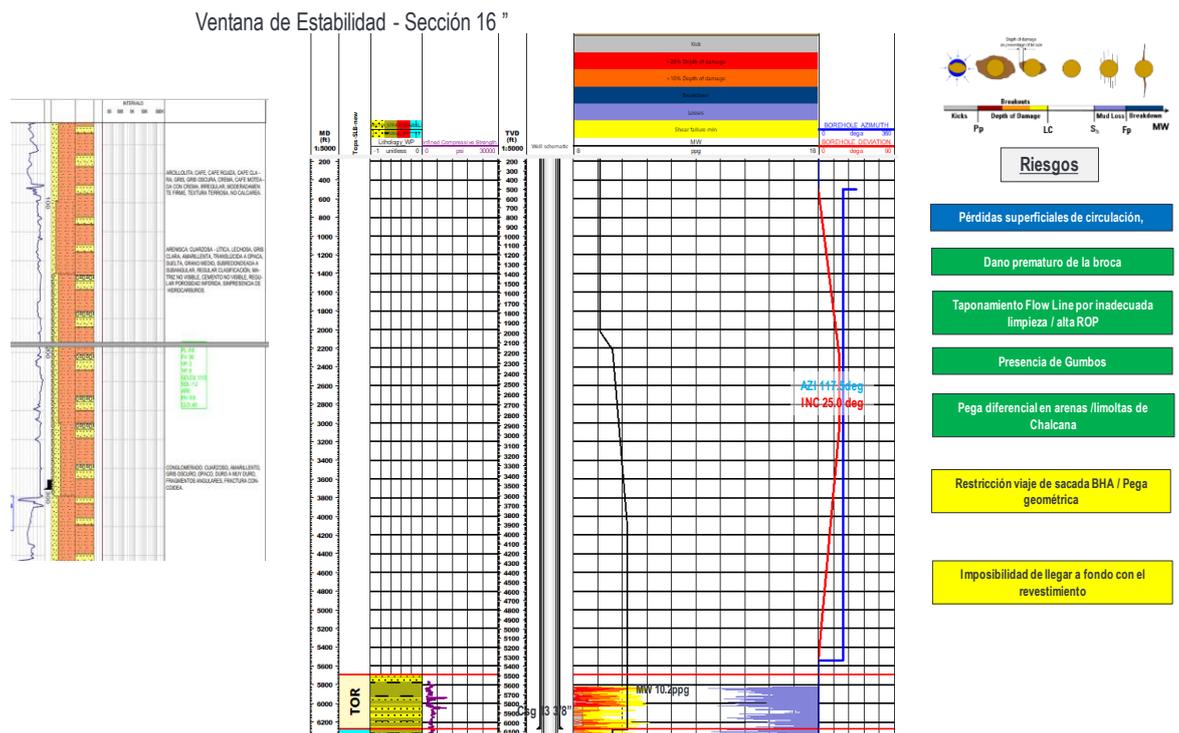
Fuente: Autor

El modelo mecánico de subsuelo (MEM) construido para el Campo Santa Clara fue aplicado a la prognosis de topos y plan direccional de acuerdo a la figura 21 para el pozo SC-04 para la obtención del pronóstico de estabilidad para este pozo.

De acuerdo al modelo geomecánico generado se ha establecido que para el diseño de casign se establecerán 4 secciones, las cuales se mencionan a continuación: sección conductora, sección superficial, sección intermedia y sección de producción.

3.3.1. Prognosis para la sección superficial hoyo de 16 pulgadas

Fig. 23 Ventana de estabilidad SC-04, sección de 16" y riesgos asociados



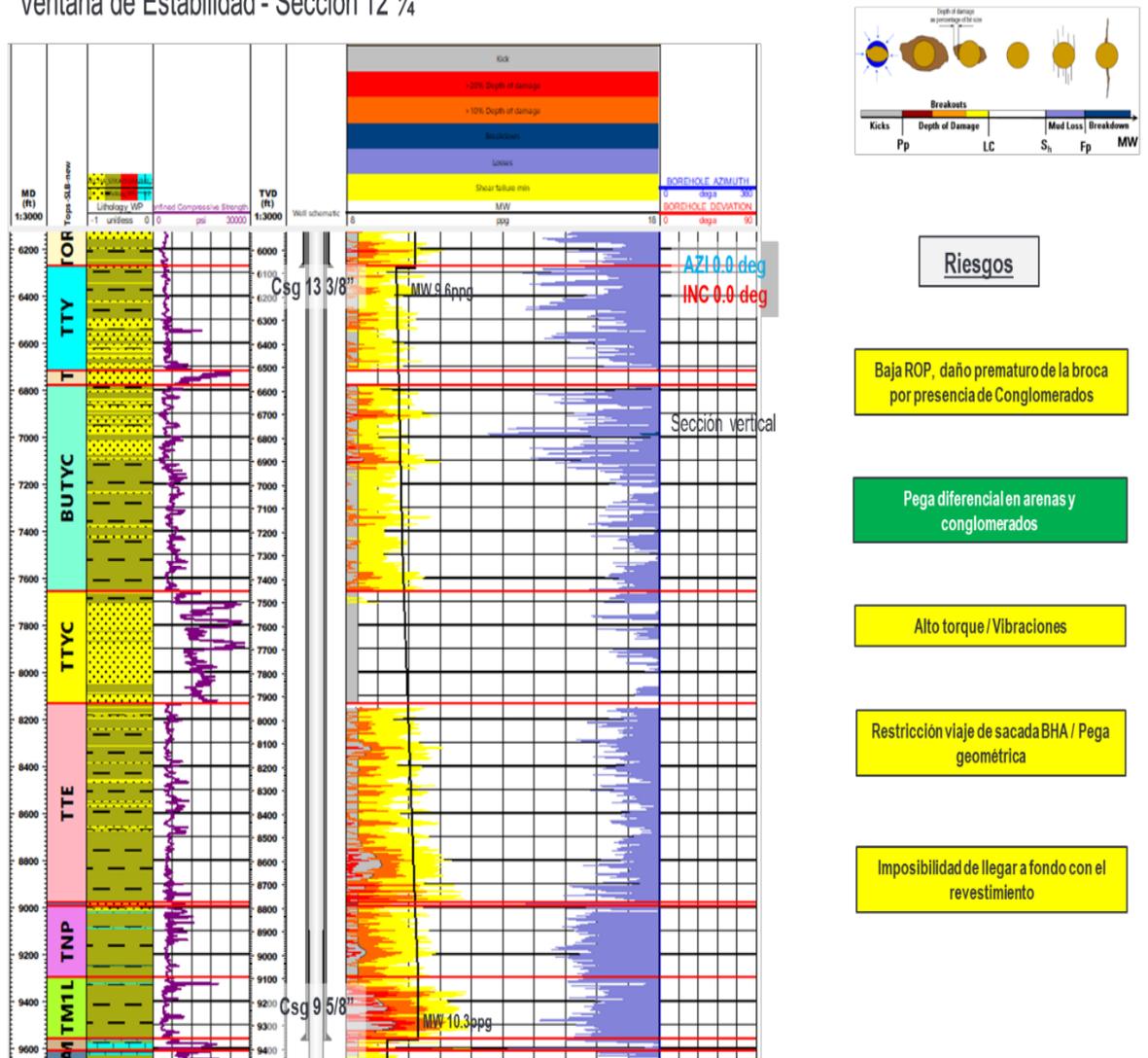
Fuente: Autor

En la Figura 23 presenta el pronóstico de estabilidad para la sección de 16". La sección esta comprendida desde 170ft en indiferenciado (formaciones someras) hasta 6280ft MD en Tiyuyacu. En esta sección se realizará el trabajo direccional: construcción hasta 25 grados a 2285ft, mantener tangente hasta 3042ft, y drop off para verticalizar el pozo a 5542ft en Orteguaza, mantener la verticalidad hasta el TD. La densidad del fluido de perforación recomendada se incrementará en concordancia con la profundidad, comenzando en 8.5 ppg y terminando la sección con 10.2 ppg; con la cual se espera controlar potenciales influjos como minimizar el riesgo de pérdidas de circulación. En la figura se resaltan los principales riesgos geomecánica-perforación para la sección, estos son: perdidas de circulación, daño de la broca, taponamiento de las líneas de flujo,

limpieza inadecuada del hoyo y altas ROP, presencia de embolamiento, pega diferencial, pega geométrica y la imposibilidad de asentar tubería de revestimiento.

3.3.2. Prognosis para la sección superficial hoyo de 12 1/4 pulgadas

Fig. 24 Ventana de estabilidad SC-04, sección de 12 1/4" y riesgos asociados
Ventana de Estabilidad - Sección 12 1/4"



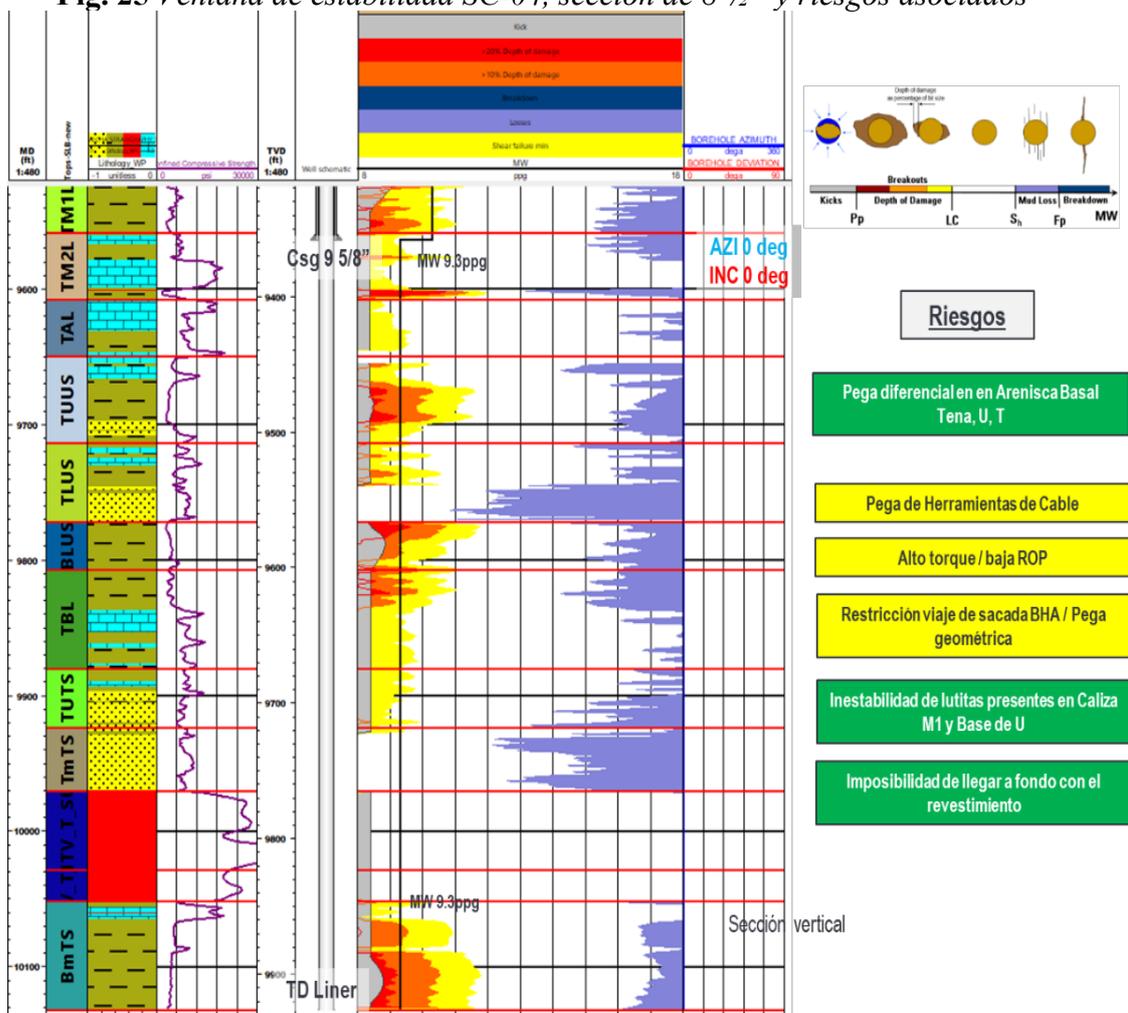
Fuente: Autor

La Figura 24 presenta el pronóstico de estabilidad para la sección de 12 1/4". La sección esta comprendida desde 6280ft en Tiyuyacu hasta 9563.9ft MD en la Caliza M2 en Napo. En esta sección se mantendrá la verticalidad hasta el TD del pozo. La densidad del fluido

de perforación recomendada irá aumentando paulatinamente con la profundidad, comenzando en 9.6 ppg y terminando la sección con 10.3 ppg de acuerdo al modelo presentado en la figura 20; con la cual se espera controlar potenciales influjos como minimizar el riesgo de pérdidas de circulación, y minimizar la inestabilidad de las lutitas presentes en Napo. En la figura 23 se resaltan los principales riesgos geomecánicos durante la perforación de la sección de 16 pulgadas. Los principales riesgos para esta sección de pozo son: puntos apretados en los conglomerados de Tiyuyacu, las intercalaciones entre calizas y lutitas que podrían conllevar a pega geométrica; pega diferencial en los conglomerados de Tiyuyacu.

3.3.3. Prognosis para la sección superficial hoyo de 8 1/2 pulgadas

Fig. 25 Ventana de estabilidad SC-04, sección de 8 1/2" y riesgos asociados



Fuente: Autor

La Figura 25 presenta el pronóstico de estabilidad para la sección de 8 ½". La sección esta comprendida desde 9563.9ft MD en la Caliza M2 en Napo hasta 10131.9ft en la Lutita Napo Basal. En esta sección se mantendrá la verticalidad hasta el TD. La densidad del fluido de perforación recomendada para la sección de 9.3 ppg flat para la perforacion, toma de registros y corrida de revestidor; con la cual se espera controlar potencial riesgo de inestabilidad de las lutitas. En la figura 24 se resaltan los principales riesgos geomecánica-perforación para la sección, es recomendable realizar el análisis integrado de los mismos para definir las medidas de prevención y mitigación para cada uno de ellos.

Los principales riesgos para esta sección de pozo son: puntos apretados en las intercalaciones entre calizas y lutitas que podrian conllevar a pega geometricas; pega diferencial en las Arenas de U (overbalance: 3320psi MW 9.3ppg, presion de formacion de 1300psi) y T (overbalance: 2190psi MW 9.3ppg, presion de formación de 2500psi) debido al diferencial de presión existente.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a los datos obtenidos en los registros de pozos SC-05,SC-02 se estableció el modelo geomecánico para poder realizar pronóstico de posibles eventos que se puedan presentar durante la perforación de nuevos pozos en el campo Santa Clara.
- Considerando los eventos durante la perforación de acuerdo a los modelos presentados en las figuras 20, 21, 22, 23, y 24 se determinó que: En la sección de 26" se han reportado eventos de formación de gumbo. Para la sección de 16" los eventos detectados corresponden a puntos apretados y resistencias. La sección de 12 ¼" concentra la mayor cantidad de eventos, y están referidos a baja ROP, alto torque y vibraciones vinculados a la presencia del conglomerado inferior de Tiyuyacu, también son comunes los puntos apretados y resistencias. En la sección de 8 ½" los eventos reportados corresponden a pega de herramientas de registros de cable, derrumbes y vibraciones. No hubo kicks dentro de los pozos analizados.
- Según el modelo obtenido en la figura 20 no se identificaron zonas de alta sobrepresión. La mayor sobrepresión alcanza 9.25 ppg en las lutitas de la formación Napo. La densidad de lodo mínima utilizada fue de 8.9 ppg y la máxima de 10.8 ppg. No se evidenciaron eventos relacionados con presión de poros como kicks o cortes de peso de lodo.
- Se contó con la interpretación del FMI del pozo SC-03 a partir del cual se tiene una dirección de 115deg +/-5deg del esfuerzo horizontal máximo, consistente con la dirección regional de esfuerzos. El régimen de esfuerzos modelado es normal: $S_v > S_H > S_h$, con un bajo contraste de esfuerzos horizontales.
- El gradiente de sobrecarga (SVERTICAL) se determinó a partir de los registros de densidad y tiene una magnitud aproximada de 1.01psi/ft (a nivel de Hollin), y se presenta de forma consistente a lo largo de la estructura. La densidad fue estimada utilizando una combinación de densidad registrada en los pozos y método de extrapolación.

- Para la presión de poro, se consideró inicialmente un modelo basado en la tendencia de la velocidad de onda compresiva y consistente con las densidades de lodos utilizado para perforar los pozos del campo. El gradiente de presión es cercano al hidrostático, con ligeras sobrepresiones a nivel de las lutitas de Orteguaza y las lutitas de la Base de la Caliza M1, por otro lado, se tiene subpresiones (debido al depletamiento) en los reservorios Napo T y Napo U a partir de las mediciones de presión hechas en el pozo SC-05.
- El esfuerzo horizontal mínimo (S_h) fue calibrado utilizando la presión de cierre del fracturamiento hidráulico realizado en la arena U Inferior en el pozo SC-05. Los esfuerzos horizontales mínimo (S_h) y máximo (S_H) fueron estimados usando un modelo poroelástico de deformación. La magnitud de los esfuerzos in-situ sigue la relación $S_h < S_H < S_V$ para un régimen normal; con variaciones a nivel de rocas de alta rigidez como calizas, e intrusivo. El azimut del esfuerzo horizontal máximo es de $115\text{deg} \pm 5\text{deg}$, a partir de registro de fallas de pozos identificadas en registro de imágenes, el cual es consistente con la dirección regional de los esfuerzos en la cuenca Oriente y con el Mapa Mundial de Esfuerzos.
-
- Finalmente, se desarrolló un modelo de propiedades mecánicas de la roca, y estabilidad de agujero, para la secuencia estratigráfica en el Campo Santa Clara, el cual fue aplicado al pozo propuesto SC-04 como soporte a la planificación de la perforación.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar el análisis integrado de los mismos para definir las medidas de prevención y mitigación para cada uno de ellos.
- Seguir el perfil de densidades de lodo y los incrementos sugeridos de acuerdo a la Ventana de Estabilidad de pozo.
- Se recomienda realizar un análisis de Riesgos Integrado Geomecánica-perforación con el equipo de perforación (lineas involucradas) para la perforación del pozo SC-04.
- En los reservorios de la formación Napo se tiene el riesgo de pega diferencial, por tanto, se recomienda realizar análisis de puenteo con el fin de minimizar este riesgo, como el impacto en el daño de formación
- Es recomendable la toma de registros de imágenes o de caliper orientados para verificar la posible variación de la orientación de los esfuerzos horizontales debido a la presencia de cuerpos de intrusivos en el campo.
- Se recomienda realizar pruebas de ELOT extendidas en los zapatos de 16” y 12 ¼” con el objetivo de validar/calibrar el perfil de esfuerzo horizontal mínimo.
- Toma de puntos de presión en los yacimientos para calcular/actualizar datos de sobrebalance con el objetivo de minimizar el riesgo de pega diferencial.
- Incorporar sensor APWD que permita monitorear en ECD en tiempo real a fin de anticipar eventos no deseados.
- Adquisición de registros avanzados (Sonic Scanner), para la determinación de los niveles de anisotropía, caracterización del mecanismo de anisotropía predominantes y determinación de la magnitud y orientación de los esfuerzos horizontales mínimo y máximo. El registro sónico dipolar adquirido en sección de 16” es recomendable para la construcción de un modelo en estas formaciones.

- Se recomienda el servicio de monitoreo de la perforación en tiempo real con el fin de mitigar/reducir los riesgos asociados a la perforación y acelerar la curva de aprendizaje del equipo.
- Para validar/calibrar las estimaciones de las propiedades mecánicas de la roca se recomienda realizar análisis de núcleos (Ensayos de mecánica de rocas) en pozos del Campo Santa Clara.
- Se recomienda realizar **análisis post-drill** para la actualización de los modelos 1D-MEM, conforme a las nuevas informaciones adquiridas y/o eventos de perforación para su utilización en la planeación de los siguientes pozos a ser perforados.
- Se recomienda la construcción de un modelo-3D geomecánico para evaluar el efecto del cuerpo intrusivo masivo (no sills) con respecto a la magnitud de los esfuerzos in-situ cuando se planearan para pozos en cercanías a estos cuerpos.

REFERENCIAS

- Al-Wardy, W., & Urdaneta, P. (2010). Geomechanical modeling for wellbore stability during drilling Nahr Umr shales in a field in Petroleum Development Oman. *Society of Petroleum Engineers - 14th Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2010, ADIPEC 2010*, 3(Figure 1), 1668–1678. <https://doi.org/10.2118/138214-ms>
- Baby Patrice, Rivadeneira Marco, B. R. (2004). LA CUENCA ORIENTE: GEOLOGIA Y PETROLEO. In *octubre 2004* (Vol. 1). ECUADOR.
- Curtis, A. A., Eslinger, E., Nickerson, R., Nookala, S., & Boyle, F. (2020). Lithologically controlled pore pressure prediction and geomechanical modelling using probabilistic multivariate clustering analysis and an expert system. *SPE/AAPG/SEG Unconventional Resources Technology Conference 2020, URTeC 2020*, 1–20. <https://doi.org/10.15530/urtec-2019-1002>
- De Gennaro, V., Amri, R., Brignoli, M., Kallel, N., Wielemaker, E., & El Ayeb, S. (2014). Integrated unconventional gas evaluation workflow: From anisotropic geomechanical modelling to completion design. *Society of Petroleum Engineers - European Unconventional Resources Conference and Exhibition 2014: Unlocking European Potential, 1*(Figure 1), 456–471. <https://doi.org/10.2118/167735-ms>
- Dennis, C., Bernard, T., David, T., & Huiping, M. (2007). *Coupled Hydro-Geomechanical Modelling of the Cold Production Process*. <https://doi.org/10.2523/69719-ms>
- Ezhov, K., Arsibekov, A., & Dubinya, N. (2017). Application of special well logging techniques for geomechanical model improvement in naturally fractured reservoirs. *Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference 2017*. <https://doi.org/10.2118/187821-ms>
- Ganaeva, M., & Rn-sakhalinnipimorneft, L. L. C. (2019). *SPE-196996-MS The Sakhaling Offshore Field 4D Geomechanical Modeling for Fracturing Planning Perspectives of MSHF on the Sakhalin shelf. Risk and uncertainty analysis*.
- Mylnikov, D., Melnichuk, D., Korelskiy, E., Petrakov, Y., & Sobolev, A. (2020). Optimization of stress & strain tensors computational algorithm while constructing 3d geomechanical model of the field. *Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference 2020, RPTC 2020*, m.

<https://doi.org/10.2118/201973-ms>

- Ouenes, A., Bachir, A., Paryani, M., & Smaoui, R. (2015). Estimation of propped volume permeability using strain from geomechanical modeling of interacting hydraulic and natural fractures - Application to the Eagle Ford. *Society of Petroleum Engineers - SPE/CSUR Unconventional Resources Conference*. <https://doi.org/10.2118/175971-ms>
- Páramo Sepulveda, L. M. (2016). *Análisis geomecánico y de estabilidad de Pozo #3 del campo "caso estudio*. 94. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/53310/>
- Renli, L., Helstrup, O. A., Ke, G., Thompson, N., & Asa, E. (2019). *SPE-195606-MS Fast 4D Geomechanical Modeling with Multiple Applications*. (May).
- Sirat, M., Ammari, K. Al, Masoud, R., Hashemi, H. A. L., Zhang, X., Chen, Y., & Povstyanova, M. (2014). *Prediction of Reservoir Formation Collapse in a Carbonate Gas Field in*. 1–9.

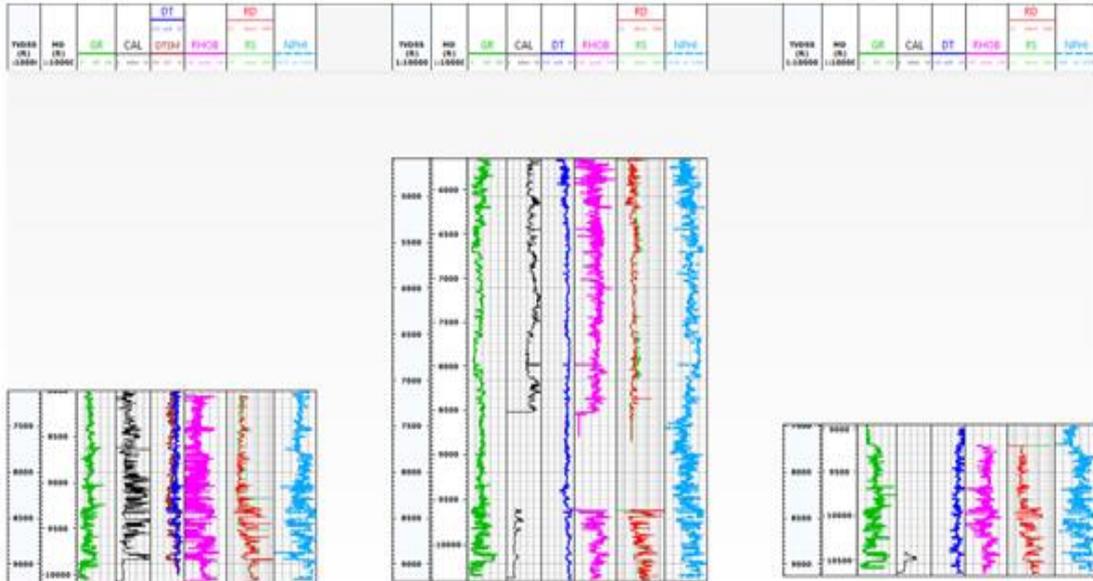
APÉNDICE

APÉNDICE A. EJEMPLO DE ANÁLISIS DE REGISTROS PARA AUDITORÍA DE DATOS

| Pad | Well | GR | | CAL | | DTC | | RHOB | | DTS | | RD | | RS | | NPHI | | PEF | | |
|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| | | From | To | From | To | From | To | From | To | From | To | From | To | From | To | From | To | From | To | |
| DRRD | DRRD-022 | 5451 | 10057.5 | 5451 | 10113.5 | 5451 | 10079 | 5451 | 10072 | | | 5451 | 10079 | 5451 | 10137 | 5451 | 10064.5 | 5451 | 10073.25 | |
| | DRRD-024 | 5000 | 10577.25 | 5000 | 10633.25 | 5000 | 10598.5 | 5000 | 10591.75 | | | 5074.75 | 10598.75 | 5074.75 | 10598.75 | 5000 | 10584.25 | 5000 | 10592.75 | |
| | DRRD-026 | 8423 | 10351 | | | 8456.5 | 10385.5 | 8827 | 9467.5 | | | 8829 | 9469.5 | | | 8430.5 | 10357.5 | | | |
| | DRRD-028 | 9350 | 10805.5 | 9350 | 10852.75 | 9350 | 10855.25 | 9350 | 10850.25 | | | 9350 | 10883.75 | 9350 | 10883.75 | 9350 | 10843 | 9350 | 10851.5 | |
| | DRRD-030 | 9078 | 10372.5 | 9459 | 10402 | 9416 | 10422.5 | 9460.5 | 10405 | | | 8964 | 10444 | 8964 | 10444 | 8908.5 | 10392 | 9460.5 | 10405 | |
| | DRRD-030SI | 8549 | 10459 | | | | | | | | | | | | 8535.5 | 10445.5 | 8535 | 10445.5 | | |
| | DRRD-051 | 9021.5 | 10453.5 | 9814 | 10454 | 9750 | 10488 | 9814 | 10454 | | | 9010.5 | 10454 | 9010.5 | 10454 | 9814 | 10454 | 9814 | 10454 | |
| | DRRD-053 | 8854.75 | 10346.5 | 8871.5 | 10368.5 | 8888.5 | 10365.5 | 8872.5 | 10363.75 | | | 8903.25 | 10402 | 8903.25 | 10402 | 8897.5 | 10353.5 | 8872.5 | 10363.75 | |
| | DRRD-055SI | 5000 | 10557.75 | 9087.5 | 10598.25 | 5800 | 10577.25 | 9064.25 | 10573.5 | 5800 | 112.596 | 9160 | 10598.5 | 9160 | 10598.5 | 9087.5 | 10584.75 | 9064.25 | 10573.5 | |
| | DRRD-056 | 9853 | 11283 | 9853 | 11285.5 | 9853 | 11320 | 9853 | 11302.75 | | | 9853 | 11335.25 | 9853 | 11335.25 | 9853 | 11293.25 | 9853 | 11302.75 | |
| DRRD-059 | 10180 | 11907.5 | 10180 | 11948 | 10180 | 11926.75 | 10180 | 11922.25 | | | 10180 | 11955.25 | 10180 | 11955.25 | 10180 | 11914.5 | 10180 | 11923 | | |
| DRRA | DRRA-001 | 8000 | 10050 | 8000 | 10076 | 8000 | 10005.5 | 8050 | 10074.75 | 8000 | 10005.5 | 8050 | 10085.5 | 8050 | 10085.5 | 8000 | 10065.25 | 8050 | 10074.75 | |
| | DRRA-003 | 5900.5 | 10692 | 9080 | 10692 | | | | | | | 9216 | 10692 | 9216 | 10692 | 5900.5 | 10692 | 9216 | 10692 | |
| | DRRA-006 | 5800 | 10616 | 5800 | 10616 | 5800 | 10616 | 5800 | 10610 | | | 5800 | 10616 | 5800 | 10616 | 5800 | 10616 | 5800 | 10610 | |
| | DRRA-011 | 8980 | 10366.5 | 8980 | 10410.75 | 8980 | 10377.25 | 8980 | 10409.25 | | | 8980 | 10425 | 8980 | 10425 | 8980 | 10399.75 | 8980 | 10409.25 | |
| | DRRA-014 | 5648 | 10349.5 | 5648 | 10367 | 5648 | 10391.5 | 5648 | 10377 | | | 5648 | 10394.25 | 5648 | 10394.25 | 5648 | 10367.25 | 5648 | 10377 | |
| | DRRA-014SI | 8850 | 10280.5 | 8955.5 | 10300 | | | 8940.5 | 10304 | | | 8940.5 | 10328.5 | 8940.5 | 10328.5 | 8940.5 | 10295 | 8940.5 | 10304 | |
| | DRRA-015 | 9010 | 10476.25 | 9010 | 10503.75 | 9010 | 10463.25 | 9010 | 10502.75 | | | 9010 | 10513.25 | 9010 | 10513.25 | 9010 | 10492.75 | 9010 | 10502.75 | |
| | DRRA-020 | 9160 | 10699.25 | 9160 | 10727 | 9160 | 10686.25 | 9160 | 10725.5 | | | 9160 | 10736.5 | 9160 | 10736.5 | 9160 | 10716 | 9160 | 10725.5 | |
| | DRRA-034 | 5530 | 10301 | | | 5530 | 10336.5 | 5530 | 10327 | | | 9620 | 10362 | 5530 | 10356 | 5530 | 10318.5 | 9620 | 10327 | |
| | DRRA-035 | 8941 | 10803 | 10411.5 | 10635.5 | 8992 | 10648.5 | 9190 | 10637.5 | | | 9190 | 10668.5 | 9190 | 10668.5 | 8968 | 10628.5 | 9190 | 10637.5 | |
| DRRA-035SI | 9160 | 10669.25 | 9160 | 10693.25 | | | 9160 | 10686 | | | 9160 | 10679.75 | 9160 | 10679.75 | 9160 | 10676.25 | 9160 | 10686.75 | | |
| DRRA-042 | 9020.5 | 10720.75 | 9037.25 | 10742.75 | 9053.25 | 10740 | 9038.25 | 10738 | | | 9141.75 | 10768.5 | 9141.75 | 10768.5 | 9063.25 | 10727.75 | 9038.25 | 10738 | | |
| DRRA-043 | 10100 | 10854.25 | 10100 | 10910.25 | 10100 | 10875.5 | 10100 | 10869 | | | 10100 | 10875.75 | 10100 | 10875.75 | 10100 | 10861.25 | 10100 | 10869.75 | | |
| DRRA-048 | 5000 | 10148.25 | 8823 | 10170.75 | 8823 | 10209.25 | 8823 | 10169.5 | | | 8830.5 | 10228 | 8823 | 10228 | 5000 | 10158.25 | 8823 | 10169.5 | | |
| DRRC | DRRC-013 | 3000 | 10061.5 | 9265 | 10066 | 3000 | 10066 | 4998 | 10066 | | | 4998 | 10066 | 4998 | 10066 | 4998 | 10066 | 4998 | 10066 | |
| | DRRC-021 | 5320.458 | 10486.96 | | | | | | | | | 9712.458 | 10542.96 | 9712.458 | 10542.96 | 5320.458 | 10509.46 | | | |
| | DRRC-023 | 5659.5 | 10622.25 | 5659.5 | 10678.25 | 5659.5 | 10643.5 | 5659.5 | 10637.75 | 9220 | 10660 | 5711.75 | 10643.75 | 5711.75 | 10643.75 | 5659.5 | 10629.25 | 5659.5 | 10637.75 | |
| | DRRC-025 | 9519.25 | 10175.5 | 9519.25 | 10192.75 | 9519.25 | 10196.75 | 9519.25 | 10189.75 | | | 9519.25 | 10197 | 9519.25 | 10197 | 9519.25 | 10182.5 | 9519.25 | 10191 | |
| | DRRC-027 | 5844.75 | 10415.25 | 5844.75 | 10471.25 | 5844.75 | 10436.5 | 5844.75 | 10413.25 | 9553 | 10462.5 | 5844.75 | 10436.75 | 5844.75 | 10436.75 | 5844.75 | 10422.25 | 5844.75 | 10430.75 | |
| | DRRC-029 | 5810 | 10664.5 | 5812.5 | 10680 | | | 5810 | 10682 | | | 5810 | 10713 | 5810 | 10713 | 5810 | 10673 | 5810 | 10682 | |
| | DRRC-036 | 5783.5 | 10345 | 5783.5 | 10377 | 5783.5 | 10388.5 | 5783.5 | 10379.5 | | | 5783.5 | 10406.5 | 5783.5 | 10406.5 | 5783.5 | 10371 | 5783.5 | 10379.5 | |
| | DRRC-049 | 10240 | 10853.75 | 10240 | 10821 | 10240 | 10903.75 | 10240 | 10873.25 | | | 10240 | 10918.75 | 10240 | 10918.75 | 10240 | 10863.5 | 10240 | 10873.25 | |
| | DRTA-01 | 8100.257 | 10131.76 | | | | | | | | | 9414.257 | 9754.757 | | | 8093.757 | 10141.76 | | | |
| | DRTA-05 | 6080 | 10461 | 6080 | 10501.5 | 6080 | 10480 | 6080 | 10476 | | | 6080 | 10524 | 6080 | 10524 | 6080 | 10468 | 6080 | 10476.5 | |
| DRTA-08 | 8900.5 | 10666.5 | 8900.5 | 10666.5 | 8900.5 | 10666.5 | 8900.5 | 10661.5 | | | 8900.5 | 10666.5 | 8900.5 | 10666.5 | 8900.5 | 10666.5 | 8900.5 | 10661.5 | | |
| DRTA-09 | 8653.25 | 10376.5 | 8673 | 10397.25 | 8698 | 10413.75 | 8683.25 | 10396 | | | 8713.75 | 10428 | 8713.75 | 10428 | 8663.5 | 10386.25 | 8683.25 | 10396 | | |
| DRTA-010 | 5700 | 10559.25 | 5700 | 10598 | 5700 | 10553.25 | 5700 | 10596.5 | | | 5700 | 10613.75 | 5700 | 10613.75 | 5700 | 10587 | 5700 | 10596.5 | | |
| DRTA-012 | 8697.25 | 10789.5 | 8714 | 10811.5 | 8731 | 10808.5 | 8716.75 | 10804.25 | | | 8818.5 | 10837.25 | 8818.5 | 10837.25 | 8740 | 10796.5 | 8715.75 | 10805 | | |
| DRTA-013 | 5000 | 10287.25 | 8714.75 | 10305.25 | 8762.5 | 10339 | 8720.5 | 10304 | | | 8855 | 10359.5 | 8855 | 10359.5 | 5000 | 10293.75 | 8719.75 | 10303.75 | | |
| DRTA-014 | 8925 | 10324.5 | 8925 | 10345.5 | 8925 | 10362.5 | 8925 | 10344.25 | | | 8925 | 10377 | 8925 | 10377 | 8925 | 10334.75 | 8925 | 10344.25 | | |
| DRTA-036P | 5611.5 | 10545.5 | 5611.5 | 10540 | | | 5611.5 | 10541.5 | | | 5611.5 | 10535.5 | 5611.5 | 10535.5 | 5611.5 | 10533.5 | 5611.5 | 10541.5 | | |
| DRRE | DRRE-004 | 5287.299 | 10383.48 | 5313.799 | 9432.763 | 5337.299 | 9455.145 | 5315.799 | 9434.752 | | | 5356.299 | 9478.024 | 5356.299 | 9478.024 | 5307.299 | 9423.81 | 5315.799 | 10412.98 | |
| | DRRE-007 | 10622.75 | 12390.25 | 10636.75 | 12490.75 | 10612 | 12441.75 | 10627.75 | 12410 | | | 10639.75 | 12486.75 | 10639.75 | 12486.75 | 10622.75 | 12400.25 | 10627.75 | 12410 | |
| | DRRE-019 | 5584.976 | 10635.19 | 5610.888 | 10659.14 | 5636.144 | 10670.62 | 5613.184 | 10661.43 | | | 5654.512 | 10683.41 | 5654.512 | 10683.41 | 5604 | 10653.23 | 5613.184 | 10661.43 | |
| | DRRE-038 | 9755.5 | 11760 | 10219 | 11781.25 | 9822.5 | 11798.25 | 10219 | 11780 | | | 10203.25 | 11812.75 | 10203.25 | 11812.75 | 9765.5 | 11770 | 10219 | 11780 | |
| | DRRE-039 | 9400 | 10803.25 | 9400 | 10859.25 | 9400 | 10824.5 | 9400 | 10817.5 | | | 9400 | 10824.75 | 9400 | 10824.75 | 9400 | 10810.25 | 9400 | 10818.75 | |
| | DRRE-044 | 10676 | 12076 | 10676 | 12097 | 10676 | 12015 | 10676 | 12095.5 | | | 10676 | 12128.5 | 10676 | 12128.5 | 10676 | 12086 | 10676 | 12095.5 | |
| | DRRE-062 | 10826 | 11523.75 | 10826 | 11544.75 | 10826 | 11561 | 10826 | 11543.25 | | | 10826 | 11576.25 | 10826 | 11576.25 | 10826 | 11533.75 | 10826 | 11543.25 | |
| | DRRB-002 | 5000 | 9988.25 | 5000 | 8868 | 5000 | 10000 | 5000 | 8866.5 | | | 5000 | 8899 | 5000 | 8899 | 5000 | 9998.25 | 5000 | 8866.5 | |
| | DRRB-0021 | 5600.5 | 10742 | 5780.5 | 10766 | 5780.5 | 10777.5 | 5780.5 | 10768.5 | | | 5780.5 | 10795.5 | 5780.5 | 10795.5 | 5780.5 | 10760 | 5780.5 | 10768.5 | |
| | DRRB-016 | 500 | 10523 | | | 4715 | 10544.5 | 5719 | 10538 | | | 5809.5 | 10565 | 5809.5 | 10565 | 4720 | 10530 | 5588.5 | 10538.5 | |
| DRRB-017 | 4922 | 10526.5 | 6410.5 | 10556.5 | 4966 | 10568 | 6410 | 10558.5 | | | 6410.5 | 10585.5 | 6410.5 | 10585.5 | 4980.5 | 10524.5 | 6410.5 | 10558.5 | | |
| DRRB-018 | 9920 | 10635.25 | 9920 | 10656.25 | | | 9920 | 10654.75 | | | 9920 | 10672 | 9920 | 10672 | 9920 | 10645.25 | 9920 | 10654.75 | | |
| DRRB-031 | 5000 | 10934 | 5000 | 10934 | | | 5000 | 10934 | | | 5000 | 10934 | 5000 | 10934 | 5000 | 10934 | 5000 | 10934 | | |
| DRRB-032 | 5690 | 10122 | 5690 | 10135.5 | 5690 | 10065 | 5690 | 10138 | | | 5690 | 10167 | 5690 | 10167 | 5690 | 10129 | 56 | | | |

APÉNDICE B. MONTAJE DE REGISTROS

Pozos seleccionados Pad Sc-1



- Pozo con perfil sónico compresivo/cizalla.

Seleccionado para generar correlación DTSM vs. DT.

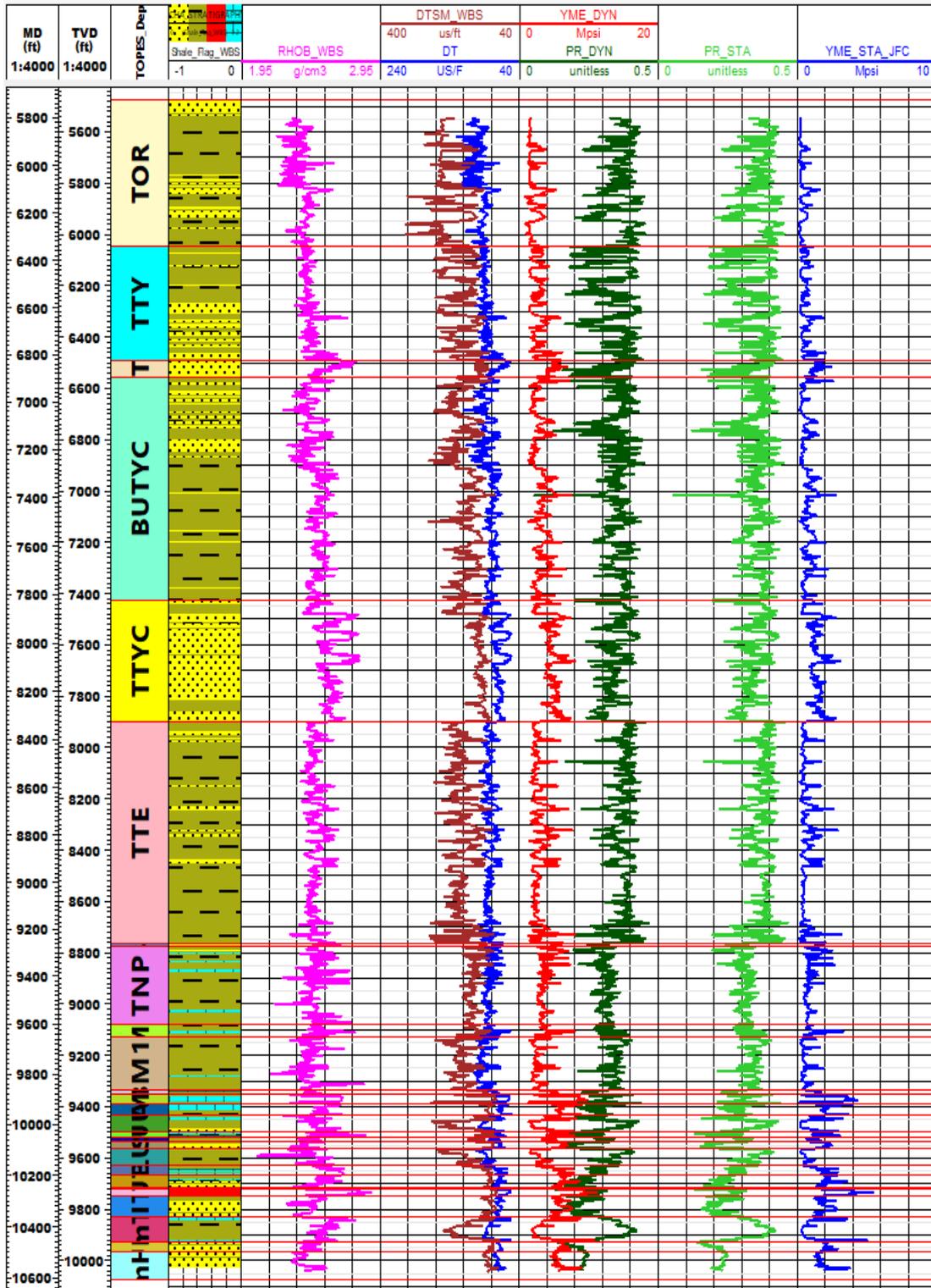
- Pozos con buen set de registros (mayor intervalo registrado).
- Pozo con registros de imagen/ dpolar (*no disponible).
- Pozo con sidetrack.
- Pozo con disponibilidad de reportes diarios/finales de perforación.

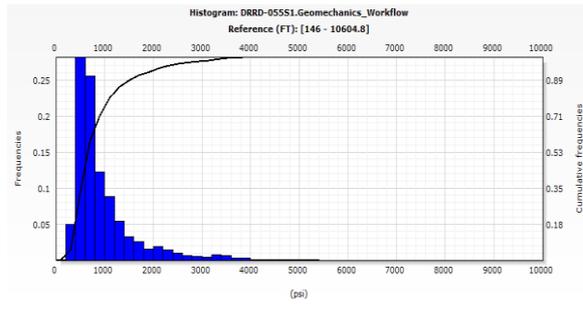
Seleccionado para propagar registros eléctricos y análisis de eventos de perforación.

- Pozo con sidetrack.
- Pozo con reportes de Fracturamiento Hidráulico.
- Pozo con disponibilidad de reportes diarios/finales de perforación.

Seleccionado para Análisis de Estabilidad y análisis de eventos de perforación.

APÉNDICE C. PROPIEDADES ELÁSTICAS DE LA ROCA

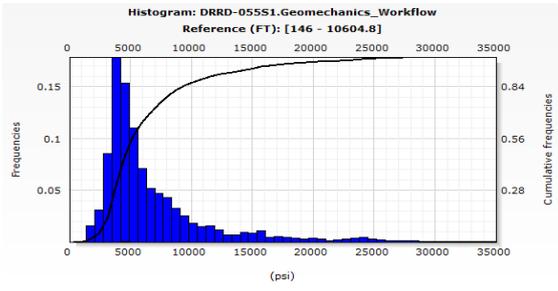




Variables:
TSTR: [146 - 10604.8]

Statistics:

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Mode: 579.246 | Median: 714.945 |
| Arithmetic mean: 539.799 | Possible values: 41836 |
| Average deviation: 440.575 | Standard deviation: 633.212 |
| Number of missing values: 22726 | Variance: 400958 |
| Minimum value: 179.429 | Maximum value: 5275.36 |
| Skewness: 2.26205 | Kurtosis: 5.91001 |



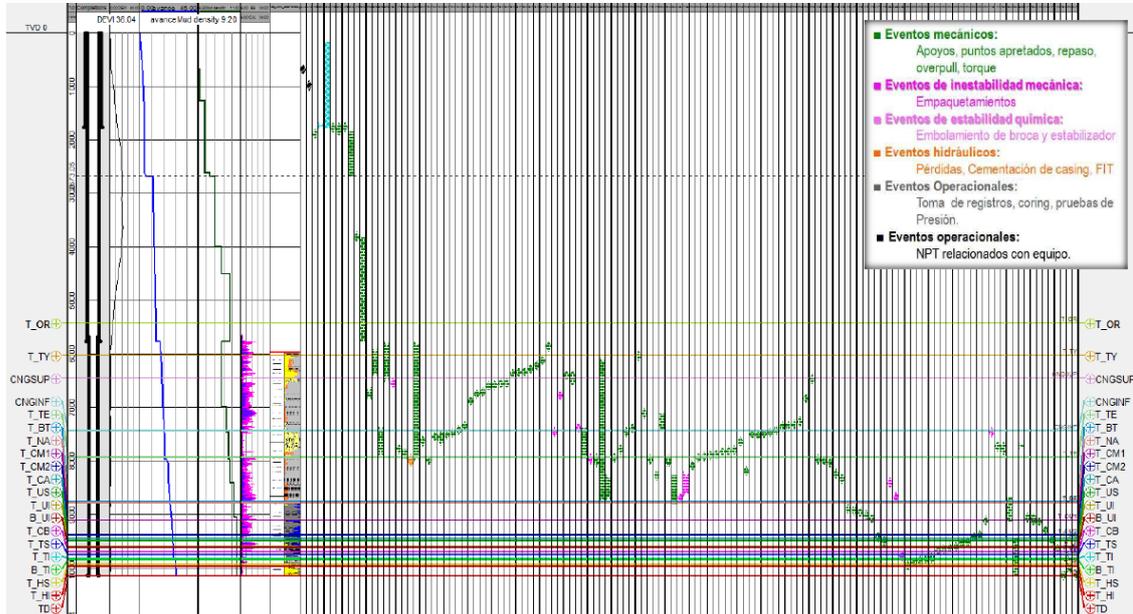
Variables:
UCS_COM: [146 - 10604.8]

Statistics:

| | |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Mode: 4050.09 | Median: 5106.75 |
| Arithmetic mean: 6712.85 | Possible values: 41836 |
| Average deviation: 3146.95 | Standard deviation: 4522.94 |
| Number of missing values: 22726 | Variance: 2.0457e+07 |
| Minimum value: 1281.64 | Maximum value: 37681.1 |
| Skewness: 2.26206 | Kurtosis: 5.91008 |

Apéndice E. Resumen de eventos

Eventos ocurridos durante la perforación del pozo SC-05



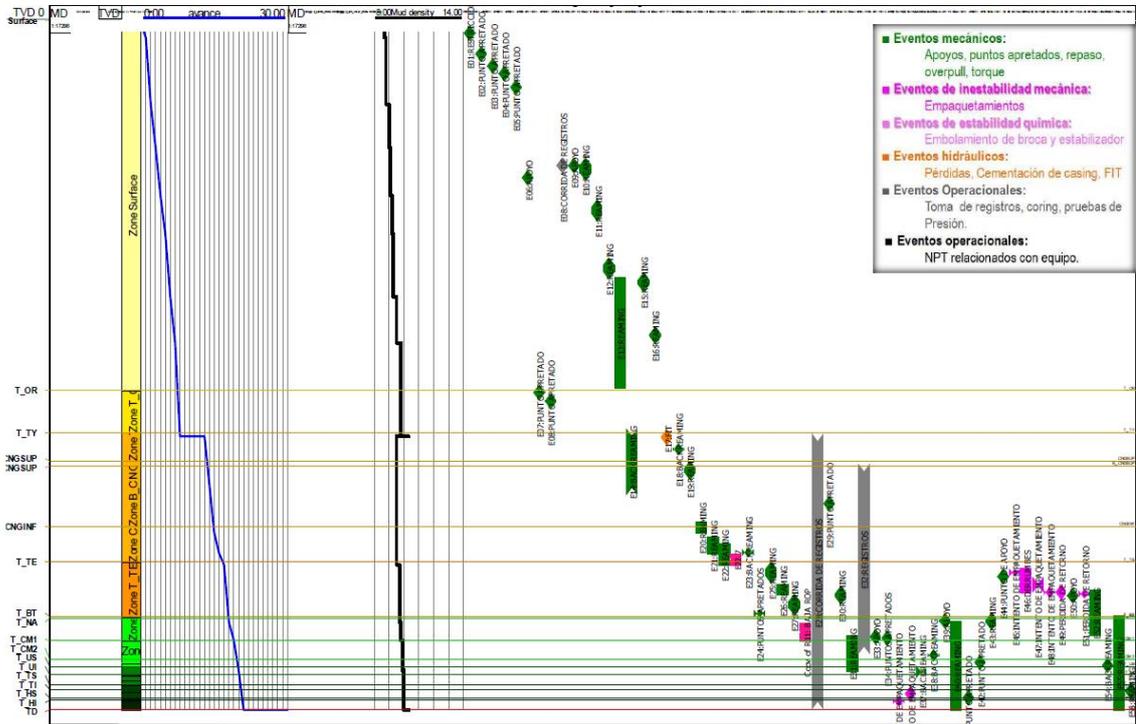
Detalle de eventos durante la perforación.

| Name | Category | Hole start MD (ft) | Hole end MD (ft) | Severity | Probability | Summary | Details |
|---------------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------|-------------|--|--|
| E01:FALLA EQUIPO | Equipment failure | 600 | 600 | Serious | Probable | Se halla fallas en el modulo de salida del PLC. MW 8.6 | 2/6/2009. Se saca hasta superficie sin problemas, se cambia BHA, se prueba y se intenta orientar, se halla fallas en el modulo de salida del PLC. |
| E02:FALLA EQUIPO | Equipment failure | 903 | 905 | Serious | Probable | Se repara repara conexión eléctrica de alimentación, sistema de sopladores y lubricación del top drive. MW 8.9 | 2/6/2009. Se circula pozo mientras CIA, PDVSA repara conexión eléctrica de alimentación, al sistema de sopladores y lubricación del top drive. Continua perforando hasta 128T. |
| E03:APOYO | Mechanical | 1646 | 1647 | Light | Probable | se viaja a fondo, encontrando punto de apoyo . MW 9.2 | 2/11/2009. Se continúa perforando hasta 2882', se saca a superficie sin problema, se viaja a fondo, encontrando punto de apoyo @ 1647' con 40Klbs. Se intenta pasar con bomba retornando flujo por el contrapozo en su totalidad. |
| E04:RETORNO EN CONTRAPOZO | Casing | 1857 | 1888 | Serious | Probable | retorna flujo por el contrapozo en su totalidad. MW 9.2 | 2/11/2009. Se intenta pasar con bomba retornando flujo por el contrapozo en su totalidad. Se intenta circular @ 1857' y @ 1888' por flowline sin éxito. (2hr) se envían 100 Bls de píldora sellante, se observan retornos de lodo por la fosa. (5 hr) Se saca arena sedimentada en la fosa, limpiando con Vacuum, se observa piso roto del contrapozo. (4hr) Se preparan 100 bbls de píldora sellante y se bombeo @ 1888' y se achica celler. |
| E05:RETORNO EN CONTRAPOZO | Casing | 180 | 1817 | Major | Probable | retornos totales por contrapozo MW 9.2 | 2/12/2009. Continúa desplazando píldora sellante con KWICK SEAL y se intenta circular por flowline saliendo todo por contrapozo. Se saca BHA a superficie. Se arma BHA #3 liso, con broca tricónica, se baja hasta 180' se envía píldora sellante y se observa retornos totales por el contrapozo. Se continua bajando hasta punto de apoyo @ 1817', se intenta pasar con bombas observando retornos totales por contrapozo. Se repasa el intervalo 1817'-1866' prenden bombas intermitentemente por retornos totales por contrapozo. Se saca sarta y se decide bajar CSG 13.366' por no poseer condiciones seguras para la perforación del pozo. Se hace viaje de acondicionamiento a superficie y se baja fondo sin problemas. |
| E06:APOYO | Mechanical | 1817 | 1818 | Light | Probable | Punto de apoyo. MW 9.2 | 2/12/2009. Se arma BHA #3 liso, con broca tricónica, se baja hasta 180' se envía píldora sellante y se observa retornos totales por el contrapozo. Se continua bajando hasta punto de apoyo @ 1817', se intenta pasar con bombas observando retornos totales por contrapozo. |
| E07:REAMING | Mechanical | 1817 | 1869 | Light | Probable | Se repasa intervalo. MW 9.2 | 2/12/2009. Se repasa el intervalo 1817'-1866' prenden bombas intermitentemente por retornos totales por contrapozo. |
| E08:APOYO | Mechanical | 1808 | 1809 | Light | Probable | Baja CSG hasta 1808' donde se encuentra restricción. MW 9.2 | 2/13/2009. Se baja CSG hasta 1808' donde se encuentra restricción, y se procede a enviar lechada; no se observa retorno en superficie, se envía un exceso del 25%. |
| E09:REAMING | Mechanical | 1891 | 2882 | Light | Probable | Repasa intervalo. MW 9.5 | 2/17/2009. Baja BHA direccional hasta 1891' se repasa hasta 2882' y se perfora 2882'-451f |
| E10:APOYO | Mechanical | 4290 | 4292 | Light | Probable | Se encuentra restricción. MW 10.4 | 2/17/2009. Se baja con BHA de acondicionamiento hasta 4290' donde se encuentra restricción. |
| E11:REAMING | Mechanical | 4290 | 6398 | Light | Probable | Repasa intervalo. MW 10.4 | 2/17/2009. Se baja con BHA de acondicionamiento hasta 4290' donde se encuentra restricción. Se repasa con bomba y rotación intervalo 4290'-6398'. Se saca tubería sin problema. |
| E12:ARRASTRE | Mechanical | 7515 | 7237 | Light | Probable | arrastre de 40Klbs MW 10.2 | 2/24/2009. se hace viaje corto hasta zapato, en el viaje se observa arrastre de 40Klbs en 7515'-7237'. |
| E13:BACKREAMING | Mechanical | 7081 | 6515 | Light | Probable | Saca Sarta con backreaming. MW 10.3 | 2/25/2009. Saca sarta con backreaming @ 7081-6515', por observarse arrastre de 40 Klbs. |
| E14:BACKREAMING | Mechanical | 8593 | 7961 | Light | Probable | Saca Sarta con bomba y rotaria. MW 10.4 | 2/27/2009. Saca con bomba y rotaria 8593'-7961' por arraste de 50Klbs. |
| E15:BACKREAMING | Mechanical | 7188 | 6393 | Light | Probable | Saca Sarta con bomba y rotaria. MW 10.4 | 2/27/2009. Saca con bomba y rotaria 7188'-6393' por arraste de 50Klbs. |
| E16:PACKING ATTEMPT | Wellbore stability | 7188 | 7183 | Light | Probable | Se evidencia intento de empaquetamiento. MW 10.4 | 2/27/2009. @ 7188' se evidencia intento de empaquetamiento, incremento de presión 500 psi, TQ 12-18 Klbs.ft. |
| E17:APOYO | Mechanical | 8414 | 8415 | Light | Probable | Punto de apoyo. MW 10.4 | 2/28/2009. Continúa bajando hasta 8414' donde observa punto de apoyo. |

| Name | Category | Hole start MD (ft) | Hole end MD (ft) | Severity | Probability | Summary | Details |
|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------|-------------|--|--|
| E18:REAMING | Mechanical | 844 | 8593 | Light | Probable | Se rima intervalo. MW 10.4 | 2/28/2009. Continúa bajando hasta 844' donde observa punto de apoyo. Se pasa rimando 844'-8593' |
| E19:BAJA ROP | Bit | 8596 | 8655 | Light | Probable | Baja ROP, por embolamiento. 10.4 | 2/28/2009. Se perfora 8596'-8655' y se levanta por baja ROP, se trabaja la sarta, y se envió 80 Bls de píldora antiembolamiento. |
| E20:BACKREAMING | Mechanical | 8655 | 8393 | Light | Probable | Saca con backreaming. MW 10.4 | 2/28/2009. se envía píldora viscosa y se inicia viaje a superficie; con backreaming 8655'-8393' |
| E21:PUNTO APRETADO | Mechanical | 8270 | 8268 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado @8270' |
| E22:PUNTO APRETADO | Mechanical | 8625 | 8623 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 8625'. |
| E23:PUNTO APRETADO | Mechanical | 8184 | 8183 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 8184'. |
| E24:PUNTO APRETADO | Mechanical | 8180 | 8258 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 8180'. |
| E25:PUNTO APRETADO | Mechanical | 8150 | 8149 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 8150'. |
| E26:PUNTO APRETADO | Mechanical | 8120 | 8119 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 8120'. |
| E27:PUNTO APRETADO | Mechanical | 8080 | 8061 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 8080'. |
| E28:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7982 | 7980 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7982'. |
| E29:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7515 | 7513 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7515'. |
| E30:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7382 | 7380 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7382'. |
| E31:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7353 | 7351 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7353'. |
| E32:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7236 | 7234 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7236'. |
| E33:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7225 | 7223 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7225'. |
| E34:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7190 | 7188 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7190'. |
| E35:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7184 | 7182 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7184'. |
| E36:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7010 | 7008 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 7010'. |
| E37:PUNTO APRETADO | Mechanical | 6985 | 6983 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 6985'. |
| E38:PUNTO APRETADO | Mechanical | 6975 | 6973 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 6975'. |
| E39:PUNTO APRETADO | Mechanical | 6921 | 6919 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 6921'. |
| E40:PUNTO APRETADO | Mechanical | 6853 | 6851 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 6853'. |
| E41:PUNTO APRETADO | Mechanical | 6759 | 6757 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 6759'. |
| E42:PUNTO APRETADO | Mechanical | 6500 | 6498 | Light | Probable | Punto apretado MW 10.4 | 2/28/2009. Se observa punto apretado, 6500'. |
| E43:PACKING ATTEMPT | Wellbore stability | 8102 | 8100 | Light | Probable | Se evidencia intento de empaquetamiento. MW 10.4 | 2/28/2009. Se presenta intento de empaquetamiento a 8102 |
| E44:PACKING ATTEMPT | Wellbore stability | 7415 | 7413 | Light | Probable | Se evidencia intento de empaquetamiento. MW 10.4 | 2/28/2009. Se presenta intento de empaquetamiento a 7415 |
| E45:APOYO | Mechanical | 7045 | 7046 | Light | Probable | Se encuentra punto de apoyo. MW 10.6 | 3/1/2009. Continúa bajando hasta 7045' donde se encuentra apoyo de 50 Kbls |
| E46:REAMING | Mechanical | 7045 | 7148 | Light | Probable | Se rima intervalo. MW 10.6 | 3/1/2009. Continúa bajando hasta 7045' donde se encuentra apoyo de 50 Kbls. Repasa 7045'-7148' |
| E47:PACKING ATTEMPT | Wellbore stability | 8018 | 8020 | Light | Probable | Se observa intento de empaquetamiento. MW 10.6 | 3/1/2009. Baja libre hasta 8018' donde se encuentra punto de apoyo de 40Kbls y intento de empaquetamiento, trabaja sarta arriba y abajo con 80 Kbls de Slackoff y 150 Kbls de Overpull, aplica rotación hasta liberar; libera. |

Eventos ocurridos durante la perforación del pozo SC-02

Eventos ocurridos durante la perforación del pozo SC-02



| Name | Category | Hole start MD (ft) | Hole end MD (ft) | Severity | Probability | Summary | Details |
|--------------------------|------------|--------------------|------------------|----------|-------------|---|--|
| E01:RESTRICCION | Mechanical | 210 | 211 | Light | Probable | Se conectan paradas de HWD P y se topa a 211. MW 8.7 Ppg | 5/24/2009. Inicia perforación desde 71 hasta 271. Se bombea píldora de limpieza y se observa abundante ripio en las zarandas. Se conectan paradas de HWD P y se topa a 211'. Se intenta pasar sin éxito. Se reciproca sarta en fondo y se circula para limpieza del hoyo. |
| E02:PUNTO APRETADO | Mechanical | 519 | 54 | Light | Probable | Puntos apretados. MW 9.0 | 5/26/2009. POOH LIBRE. RIH. PUNTOS APRETADOS 513', 600', 800', 1000'. Se perfora hoyo hasta 1888' |
| E03:PUNTO APRETADO | Mechanical | 660 | 601 | Light | Probable | Puntos apretados. MW 9.0 | 5/26/2009. POOH LIBRE. RIH. PUNTOS APRETADOS 513', 600', 800', 1000'. Se perfora hoyo hasta 1888' |
| E04:PUNTO APRETADO | Mechanical | 800 | 801 | Light | Probable | Puntos apretados. MW 9.0 | 5/26/2009. POOH LIBRE. RIH. PUNTOS APRETADOS 513', 600', 800', 1000'. Se perfora hoyo hasta 1888' |
| E05:PUNTO APRETADO | Mechanical | 1000 | 1001 | Light | Probable | Puntos apretados. MW 9.0 | 5/26/2009. POOH LIBRE. RIH. PUNTOS APRETADOS 513', 600', 800', 1000'. Se perfora hoyo hasta 1888' |
| E06:APOYO | Mechanical | 2321 | 2322 | Light | Probable | Apoyo. MW 9.2 | 5/28/2009. POOH LIBRE. Se cambia Broca a broca tricónica #2 de 12 1/4. @2321 se encuentra punto de apoyo de 25-30 Kbls. Se baja con rotación y bombas. |
| E07:PUNTO APRETADO | Mechanical | 5456 | 5457 | Light | Probable | Puntos apretados. MW 9.9 ppg | 6/1/2009. POOH libre. RIH con puntos apretados de 59 Kbls @ 5456 y 5582'. Se pasa con circulación. Se bombean 100 bbls de píldora pesada para dejar en fondo. Se Saca tubería libre desde 6105' hasta superficie. |
| E08:PUNTO APRETADO | Mechanical | 5582 | 5583 | Light | Probable | Puntos apretados. MW 9.9 ppg | 6/1/2009. POOH libre. RIH con puntos apretados de 59 Kbls @ 5456 y 5582'. Se pasa con circulación. Se bombean 100 bbls de píldora pesada para dejar en fondo. Se Saca tubería libre desde 6105' hasta superficie. |
| E08:CORRIDA DE REGISTROS | Other | 2140 | 2145 | Light | Probable | Puntos apretados. MW 9.9 ppg | 6/1/2009. Se aman herramientas de registros. Inducción/D-N/CAL/GR espectral/DT/Microlog/MSFL/SP. |
| E09:APOYO | Mechanical | 2145 | 2146 | Light | Probable | Apoyo. MW 10.1 | 6/2/2009. RIH herramienta de registros. Punto de apoyo @ 2145' no es posible atravesar dicho punto. Se suspenden toma de registros. |
| E10:REAMING | Mechanical | 2138 | 2250 | Light | Probable | Se baja con tubería con bombas y rotación el intervalo. MW 10.1 | 6/2/2009. Se baja con tubería con bombas y rotación los intervalos 2138-2250', 2750'-2845', 3599'-3690' y 3777'-5390'. Bajando con rotación y bombas hasta 6105'. se bombean píldoras y se observa alto material en las zarandas. |
| E11:REAMING | Mechanical | 2750 | 2845 | Light | Probable | Se baja con tubería con bombas y rotación el intervalo. MW 10.1 | 6/2/2009. Se baja con tubería con bombas y rotación los intervalos 2138-2250', 2750'-2845', 3599'-3690' y 3777'-5390'. Bajando con rotación y bombas hasta 6105'. se bombean píldoras y se observa alto material en las zarandas. |
| E12:REAMING | Mechanical | 3599 | 3690 | Light | Probable | Se baja con tubería con bombas y rotación el intervalo. MW 10.1 | 6/2/2009. Se baja con tubería con bombas y rotación los intervalos 2138-2250', 2750'-2845', 3599'-3690' y 3777'-5390'. Bajando con rotación y bombas hasta 6105'. se bombean píldoras y se observa alto material en las zarandas. |
| E13:REAMING | Mechanical | 3777 | 5390 | Light | Probable | Se baja con tubería con bombas y rotación el intervalo. MW 10.1 | 6/2/2009. Se baja con tubería con bombas y rotación los intervalos 2138-2250', 2750'-2845', 3599'-3690' y 3777'-5390'. Bajando con rotación y bombas hasta 6105'. se bombean píldoras y se observa alto material en las zarandas. |
| E14:BACKREAMING | Mechanical | 6655 | 5685 | Light | Probable | POOH con backreaming. MW 10.1 | 6/2/2009. POOH con backreaming @6655-5685'. |
| E15:REAMING | Mechanical | 3815 | 3880 | Light | Probable | RIH Tubería con rotación y bombas el intervalo. MW 10.3 | 6/3/2009. RIH Tubería con rotación y bombas los intervalos 3815'-3880', 4605'-4837'. POOH libre. Alistan herramientas para corrida de casing 9 5/8. Bajando Casing libre. |
| E16:REAMING | Mechanical | 4805 | 4837 | Light | Probable | RIH Tubería con rotación y bombas el intervalo. MW 10.3 | 6/3/2009. RIH Tubería con rotación y bombas los intervalos 3815'-3880', 4605'-4837'. POOH libre. Alistan herramientas para corrida de casing 9 5/8. Bajando Casing libre. |
| E17:FIT | Hydraulic | 6105 | 6115 | Light | Probable | se realiza prueba de Integridad de formación FIT MW 9.5 | 6/6/2009. RIH BHA #4 direccional. Hasta tope de cemento @5981'. Perfora 10'de formación. Se cambia fluido de perforación de G-NITRATO 10.3 PPG a MAGDRILL-G 9.5 PPG. @6115 se realiza prueba de Integridad de formación FIT con 1100 psi y ECD=13 PPG. SE Perfora hasta 6807'. |

| Name | Category | Hole start MD (ft) | Hole end MD (ft) | Severity | Probability | Summary | Details |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------|-------------|--|---|
| E9:BACKREAMING | Mechanical | 6310 | 6256 | Light | Probable | se viaja a superficie con backreaming el intervalo. MW 9.5 | 6/7/2009. se perfora desde 6807 hasta 7510, se bombea pldora viscosa, y se viaja a superficie con backreaming el intervalo 6310-6258. |
| E9:REAMING | Mechanical | 6564 | 6621 | Light | Probable | se viaja a fondo, con rotación y bombas el intervalo. MW 9.5 | 6/8/2009. Se cambia a Broca tricónica, se viaja a fondo, con rotación y bombas los intervalos 6564-6621, 7348-7510'. Se perfora el intervalo 7510'-7812' y se inicia viaje superficie para cambio de broca. |
| E20:REAMING | Mechanical | 7348 | 7510 | Light | Probable | se viaja a fondo, con rotación y bombas el intervalo. MW 9.5 | 6/8/2009. Se cambia a Broca tricónica, se viaja a fondo, con rotación y bombas los intervalos 6564-6621, 7348-7510'. Se perfora el intervalo 7510'-7812' y se inicia viaje superficie para cambio de broca. |
| E21:REAMING | Mechanical | 7567 | 7812 | Light | Probable | se viaja a fondo, con rotación y bombas el intervalo. MW 9.5 | 6/9/2009. Bajando con BHA #6 libre hasta 7567', y con bomba y rotación hasta 7812'. Se perfora rotando desde 7812'-7980'. ROP 12 ft/hr. Se saca por Baja ROP. |
| E22:REAMING | Mechanical | 7660 | 7980 | Light | Probable | RIH BHA #7 rotando MW 9.7 | 6/10/2009. RIH BHA #7 rotando 7660'-7980'. Se perfora el intervalo 7980'-8820'. |
| E23:BACKREAMING | Mechanical | 7840 | 7745 | Light | Probable | Se saca por Baja ROP y formación con backreaming. MW 9.8 | 6/11/2009. Perforando 8820'-9083'. Se saca por Baja ROP y formación, backreaming 7840'-7745'. Se cambia broca. |
| E24:PUNTOS APRETADOS | Mechanical | 8740 | 8630 | Light | Probable | TD. POOH intervalo apretado. MW 10 | 6/13/2009. Perforando 9620'-10102'. TD. POOH, intervalo apretado @8740'-8630' con Overpull de 30-40 Klbs. Saca con bomba y rotación 7790'-7658'. |
| E25:REAMING | Mechanical | 8035 | 8132 | Light | Probable | Rotando y con circulación intervalo. MW 10.2 | 6/14/2009. RIH, rotando y con circulación los intervalos 8035'-8132'. 8255'-8413', 8506'-8600'. POOH tubería. |
| E26:REAMING | Mechanical | 8255 | 8413 | Light | Probable | Rotando y con circulación intervalo. MW 10.2 | 6/14/2009. RIH, rotando y con circulación los intervalos 8035'-8132'. 8255'-8413', 8506'-8600'. POOH tubería. |
| E27:REAMING | Mechanical | 8506 | 8600 | Light | Probable | Rotando y con circulación intervalo. MW 10.2 | 6/14/2009. RIH, rotando y con circulación los intervalos 8035'-8132'. 8255'-8413', 8506'-8600'. POOH tubería. |
| E28:CORRIDA DE REGISTROS | Other | 10080 | 6058 | Light | Probable | Corriendo registros. MW 10.2 | 6/14/2009. RIH herramientas de Registros Hal. ACRT-DSN-SLD-CSNG-ISAT-GR-SP-MEL-PE-JAR. |
| E29:PUNTO APRETADO | Mechanical | 7080 | 7079 | Light | Probable | La herramienta se sobretensiona. MW 10.2 | 6/15/2009. Registrando intervalo 10080'-6058'. @7080 la herramienta se sobretensiona hasta 10.5 Klbs. Se baja BHA para acondicionar Hueco, rotando y con bomba los intervalos 8393'-8440', 9007'-9532'. |
| E30:REAMING | Mechanical | 8393 | 8440 | Light | Probable | Rotando y con circulación intervalo MW 10.2 | 6/15/2009. Registrando intervalo 10080'-6058'. @7080 la herramienta se sobretensiona hasta 10.5 Klbs. Se baja BHA para acondicionar Hueco, rotando y con bomba los intervalos 8393'-8440', 9007'-9532'. |
| E31:REAMING | Mechanical | 9007 | 9532 | Light | Probable | Rotando y con circulación intervalo. MW 10.2 | 6/15/2009. Registrando intervalo 10080'-6058'. @7080 la herramienta se sobretensiona hasta 10.5 Klbs. Se baja BHA para acondicionar Hueco, rotando y con bomba los intervalos 8393'-8440', 9007'-9532'. |
| E32:REGISTROS | Other | 9274 | 6500 | Light | Probable | corriendo registros. MW 10.4 | 6/16/2009. POOH tubería hasta superficie. RIH herramienta de registros, DLL-MSFL-SLD-PE-MEL-CAL-GR-SP-JAR. Punto de apoyo @9274' no es posible pasar dicho punto. Arma BHA de acondicionamiento. |
| E33:APOYO | Mechanical | 9023 | 9024 | Light | Probable | punto de apoyo. 10.4 | 6/16/2009. POOH tubería hasta superficie. RIH herramienta de registros, DLL-MSFL-SLD-PE-MEL-CAL-GR-SP-JAR. Punto de apoyo @9274' no es posible pasar dicho punto. Arma BHA de acondicionamiento. |
| E34:PUNTOS APRETADOS | Mechanical | 9043 | 9040 | Light | Probable | intervalo apretado. 10.4 | 6/17/2009. RIH libre hasta TD. POOH, @9043'-9040', Overpull de 50Klbs, se libera con bombas. |
| E35:INTENTO DE EMPAQUETAMIENTO | Wellbore stability | 10000 | 9930 | Light | Probable | Se observa incremento de presión, pérdida de circulación MW 10.4 | 8/18/2009. Arman Htas de WTF, se baja CSG en hueco abierto desde 5959 hasta 10000' donde se presenta incremento de presión, pérdida de circulación parcial, pérdida total de circulación. |
| E36:INTENTO DE EMPAQUETAMIENTO | Wellbore stability | 9859 | 9850 | Light | Probable | Retornos Parciales de circulación MW 10.4 | 8/18/2009. CSG no baja, se quiebran dos tubos y se intenta recuperar circulación, sin éxito, se quiebran dos tubos más hasta 9859' y se intenta recuperar circulación, sin éxito, retornos parciales. |

| Name | Category | Hole start MD (ft) | Hole end MD (ft) | Severity | Probability | Summary | Details |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------|-------------|---|--|
| E37:BACKREAMING | Mechanical | 9625 | 9445 | Light | Probable | Sacando con bombas y rotación intervalo. MW 10.4 PPG | 8/18/2009. Sacando CSG hasta superficie, con bombas los intervalos 9625'-9445', 9320'-9266'. |
| E38:BACKREAMING | Mechanical | 9320 | 9266 | Light | Probable | Sacando con bombas y rotación intervalo. MW 10.4 PPG | 8/18/2009. Sacando CSG hasta superficie, con bombas los intervalos 9625'-9445', 9320'-9266'. |
| E39:APOYO | Mechanical | 8790 | 8795 | Light | Probable | punto de apoyo. 10.4 | 6/20/2009. RIH, tubería de acondicionamiento, @8795 apoyo, Max Slack Off 30Klbs. Bajando con rotación y bomba 8795'-10100', para acondicionar hueco. |
| E40:REAMING | Mechanical | 8795 | 10100 | Light | Probable | Bajando con rotación y bombas. MW 10.4 PPG | 6/20/2009. RIH, tubería de acondicionamiento, @8795 apoyo, Max Slack Off 30Klbs. Bajando con rotación y bomba 8795'-10100', para acondicionar hueco. |
| E41:PUNTO APRETADO | Mechanical | 9915 | 9912 | Light | Probable | punto de apoyo. 10.4 | 6/20/2009. POOH, con puntos apretados @9913' y 9400'. Overpull 35 Klbs. |
| E42:PUNTO APRETADO | Mechanical | 9400 | 9393 | Light | Probable | punto de apoyo. 10.4 | 6/20/2009. POOH, con puntos apretados @9913' y 9400'. Overpull 35 Klbs. |
| E43:REAMING | Mechanical | 8780 | 8815 | Light | Probable | Bajando con rotación y bombas. MW 10.4 PPG | 6/21/2009. RIH con bombas y rotación, 8780'-8815'. |
| E44:PUNTO DE APOYO | Mechanical | 8143 | 8145 | Light | Probable | punto de apoyo. 10.4 | 6/22/2009. Bajando CSG hasta 8145' donde se encuentra punto de apoyo de 40 Klbs. |
| E45:INTENTO DE EMPAQUETAMIENTO | Wellbore stability | 8145 | 8027 | Light | Probable | Intento de empaquetamiento. MW 10.4 PPG | 6/22/2009. Bajando CSG hasta 8145' donde se encuentra punto de apoyo de 40 Klbs. Se conecta bombas y no se observa retorno en las zarandas, no hay inducción de lodo a la formación, únicamente presión incrementa y no permite circulación, se saca hasta 8027' donde se recupera circulación, se observa abundantes ríjoles en las zarandas, baja circulando hasta 8379' con Puntos de apoyo hasta de 50 Klbs. |
| E46:DERRUMBES | Wellbore stability | 8027 | 8379 | Light | Probable | Se observa abundantes ríjoles en las zarandas se observa abundantes ríjoles en las zarandas MW 10.4 PPG | 6/22/2009. Bajando CSG hasta 8145' donde se encuentra punto de apoyo de 40 Klbs. Se conecta bombas y no se observa retorno en las zarandas, no hay inducción de lodo a la formación, únicamente presión incrementa y no permite circulación, se saca hasta 8027' donde se recupera circulación, se observa abundantes ríjoles en las zarandas, baja circulando hasta 8379' con Puntos de apoyo hasta de 50 Klbs. |
| E47:INTENTO DE EMPAQUETAMIENTO | Wellbore stability | 8379 | 8145 | Light | Probable | Intento de empaquetamiento. MW 10.4 PPG | 6/22/2009. @ 8379' pérdida de circulación, se sacan 5 tubos hasta 8145' donde se recupera circulación. |
| E48:INTENTO DE EMPAQUETAMIENTO | Wellbore stability | 8410 | 8339 | Light | Probable | Intento de empaquetamiento. MW 10.4 PPG | 6/22/2009. Baja hasta hasta 8410' donde se pierde circulación, se saca hasta 8339' donde se recupera circulación. |
| E49:PERDIDA DE RETORNO | Wellbore stability | 8375 | 8370 | Light | Probable | Intento de empaquetamiento. MW 10.4 PPG | 6/23/2009. Baja CSG 7' desde 8339' a 8375' donde se pierde retorno a superficie, se decide sacar hasta superficie para acondicionar hueco. |
| E50:APOYO | Mechanical | 8422 | 8423 | Light | Probable | Punto de apoyo. MW 10.4 | 6/23/2009. Baja BHA #10RR hasta 8422' donde se apoya con 40Klbs. |
| E51:PERDIDA DE RETORNO | Wellbore stability | 8441 | 8351 | Light | Probable | Perdidas de retorno. MW 10.4 | 6/23/2009. Baja con bomba y rotación hasta 8441' donde pierde retorno, se saca una parada y se recupera circulación. |
| E52:REAMING | Mechanical | 8340 | 9000 | Light | Probable | Bajando con rotación y bombas. MW 10.4 PPG | 6/23/2009. Se baja con bomba y rotación 8340'-9000'. se presentan TQ altos. |
| E54:BACKREAMING | Mechanical | 9445 | 9438 | Light | Probable | Sacando con Backreaming. MW 10.4 PPG | 6/24/2009. POOH backreaming 9445'-9438'. |
| E55:REAMING | Mechanical | 8720 | 10100 | Light | Probable | Bajando con rotación y bombas. MW 10.4 PPG | 6/24/2009. RIH acondicionando con bombas y rotación 8720'-10100'. POOH Libre hasta zapato. |
| E56:REAMING | Mechanical | 9812 | 9820 | Light | Probable | Bajando con rotación y bombas. MW 10.4 PPG | 6/25/2009. RIH Con bombas y rotación, 9812'-9820', (Slack Off de 30Klbs), baja libre hasta 10100. Viaje a superficie, se desconecta broca y se aman Htas para comida de CSG. Se baja CSG hasta zapato. |

