



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Petrolero

P R E S E N T A N

Gordillo Guillén Erick Jair

Gutiérrez Hernández Juan Alberto

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Mario Rosas Rivero



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

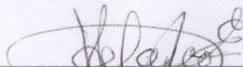
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA

Aceptación de Trabajo Escrito

DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA U.N.A.M.
Presente.

En relación con el Examen Profesional de **GORDILLO GUILLEN ERICK JAIR**, registrado con número de cuenta **307334431** en la carrera de **INGENIERÍA PETROLERA**, del cual hemos sido designados sinodales, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo escrito desarrollado por el citado alumno.

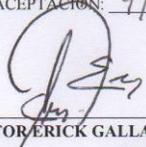
Atentamente.



ING. JOSE AGUSTIN VELASCO ESQUIVEL
FECHA DE ACEPTACIÓN: 9/7/2016



ING. MARIO ROSAS RIVERO
FECHA DE ACEPTACIÓN: 9/05/2016



ING. HECTOR ERICK GALLARDO FERRERA
FECHA DE ACEPTACIÓN: Mayo/18/16



ING. JUAN CARLOS SABIDO ALCANTARA
FECHA DE ACEPTACIÓN: 7/Mayo/2016



ING. MARÍA GUADALUPE MANZO MARTINEZ
FECHA DE ACEPTACIÓN: 17 Mayo/2016

FECHA DE EMISIÓN: 04 de Mayo de 2016

FEX-2
HEGF



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

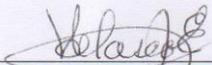
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA

Aceptación de Trabajo Escrito

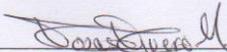
DR. CARLOS AGUSTÍN ESCALANTE SANDOVAL
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA U.N.A.M.
Presente.

En relación con el Examen Profesional de **GUTIERREZ HERNANDEZ JUAN ALBERTO**, registrado con número de cuenta **308023842** en la carrera de **INGENIERÍA PETROLERA**, del cual hemos sido designados sinodales, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo escrito desarrollado por el citado alumno.

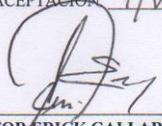
Atentamente.



ING. JOSE AGUSTIN VELASCO ESQUIVEL
FECHA DE ACEPTACIÓN: 9/v/2016



ING. MARIO ROSAS RIVERO
FECHA DE ACEPTACIÓN: 09/05/2016



ING. HECTOR ERICK GALLARDO FERRERA
FECHA DE ACEPTACIÓN: Mayo 18/16



ING. JUAN CARLOS SABIDO ALCANTARA
FECHA DE ACEPTACIÓN: 7/Mayo/2016



ING. MARIA GUADALUPE MANZO MARTINEZ
FECHA DE ACEPTACIÓN: 11 Mayo/2016

FECHA DE EMISIÓN: 04 de Mayo de 2016

FEX-2
HEGF

Agradecimientos

Erick Jair Gordillo Guillén

Agradezco a mi director de tesis al Ing. Mario Rosas Rivero por la supervisión, asesoría, apoyo, y tiempo dedicado durante la realización de este trabajo.

Agradezco al Ing. Héctor Erick Gallardo Ferrera por sus recomendaciones y puntos de vista para mejorar la calidad de este trabajo.

A mis sinodales les estoy muy agradecido por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, por sus correcciones, consejos y recomendaciones.

A mi madre por su amor incondicional apoyo, comprensión y ayuda, ya que gracias a ti he podido llegar hasta aquí. Hemos superado tiempos muy difíciles y se podremos superar cualquier adversidad contando el uno con el otro.

A mi novia Abril por el amor, cariño y apoyo moral que siempre he recibido de ti y gracias a tu constante apoyo, inspiración y ayuda que fueron parte esencial para poder realizar este trabajo.

A mi compañero y amigo Juan quien gracias a su colaboración fue que pudimos realizar este trabajo.

Gracias a todos mis amigos que me han acompañado en la carrera, brindándome su amistad y apoyo.

A mi querido amigo Kliffo gracias por tu amistad, apoyo y compañía que me has brindado todos estos años.

Agradezco infinitamente a la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería. Por haberme brindado los medios y los recursos para estudiar y culminar mi carrera profesional.

Juan Alberto Gutiérrez Hernández

*Primero quiero agradecer a **Dios** por haberme permitido cumplir esta meta que me propuse hace tiempo.*

*Para mi madre **Mónica** y mi padre **Juan** que son parte fundamental de mi formación como persona y me enseñaron valores, a ser responsable, respetuoso, agradecido, humilde, a valorar lo que tengo, sin su ayuda no lo hubiera logrado. Mi madre que nunca dudo de mí y siempre estuvo apoyándome, desvelándose y a lo largo de mi carrera me impulso cuando las cosas no me salían bien dándome aliento para seguir adelante y no darme por vencido. Mi padre que siempre estuvo con nosotros trabajando para que nunca nos faltara nada. Los amo demasiado a los dos. MUCHAS GRACIAS este trabajo es para ustedes.*

*Para mi esposa **Abi** que es mi compañera de vida, ayudándome en la parte final de la carrera teniéndome paciencia te agradezco por esperar a que terminara este proyecto, doy gracias por conocerte te amo.*

*Para mis hijos **Aline** e **Iker** mis pequeños motores que tanto amo, el que ustedes estén en mi vida es una bendición y es lo mejor que me pudo pasar. Me enseñaron que soy capaz de lograr todo lo que me proponga.*

*Para mi hermana **Monze** te agradezco por los momentos tan divertidos cuando éramos niños, los consejos y la ayuda que me brindaste, te amo.*

*Para mis **Familiares**, mis abuelos, tíos, tías, primos, primas de los que he aprendido grandes cosas y siempre me han brindado su amistad y su apoyo, gracias.*

*Para la **Universidad Nacional Autónoma de México** por la formación como ingeniero, su excelente enseñanza, es un orgullo ser egresado de la mejor universidad del país.*

*Para el **Ing. Mario Rosas Rivero** gracias por su tiempo, su apoyo, sus consejos, su enseñanza y disposición. Fue pieza clave para poder realizar este proyecto.*

*Para **Erick** que además de ser mi compañero en la carrera es un gran amigo, apoyándome en la elaboración de este trabajo.*

*Para mis amigos; **Héctor, Rubén, Alejandro** les agradezco por brindarme su amistad, hicieron que mi paso por la universidad fuera divertido y con su ayuda un poco menos pesada la carrera. A todos mis compañeros de la carrera que no mencione de los cuales aprendí muchas cosas.*

*Para mis **Profesores** de la facultad de ingeniería que fueron muy importantes ya que sus enseñanzas y ejemplo me formaron como profesionalista.*

*Para los sinodales; **Ing. Agustín Velazco, Ing. María Guadalupe Manzo, Ing. Erick Gallardo, Ing. Juan Carlos Sabido Alcántara**, gracias por su tiempo, aportaciones y consejos.*

Índice

Contenido	Página
Resumen	9
Summary.....	11
Introducción.....	13
Capítulo I: Conceptos generales y datos del pozo.	14
I.1 Conceptos generales.	14
I.1.1 ACR (análisis causa raíz).	14
I.1.1 Presión Hidrostática.	19
I.1.2 Presión de circulación.	20
I.1.3 Presión de sobrecarga.	20
I.1.4 Presión de formación.	21
I.1.5 Presión de Fractura.	24
I.1.6 Diferencial de presión.	26
I.1.7 Gradiente de presión.....	28
I.1.8 Inestabilidad del agujero.....	28
I.1.9 Perdida de circulación.	29
I.1.10 Atascamiento de la tubería de perforación.	33
I.2 Datos del Pozo.	36
I.2.1 Nombre del pozo.....	36
I.2.2 Ubicación.....	36
I.2.1 Objetivo.....	38
I.2.2 Profundidad programada.....	38
I.2.3 Situación estructural.	38
I.2.4 Columna geológica probable.....	40
I.2.5 Perfil de geopresiones.....	41
I.2.6 Estado mecánico propuesto.....	42
Capítulo II: Resumen de la perforación y problemática.....	45
II.1 1ª Etapa TR 13 3/8" BNA tricónica 17 ½".	45
II.1.1 (10/Enero/2013).....	45
II.1.2 (11/Enero/2013).....	45
II.1.3 (12/Enero/2013).....	46
II.1.4 (12/Enero/2013 a 14/Enero/2013).	47
II.2 2ª Etapa TR 9 5/8" BNA PDC 12 ¼".	47

II.2.1 (14/Enero/2013).....	47
II.2.2 (15/Enero/2013).....	47
II.2.3 (16/Enero/2013).....	48
II.2.4 (17/Enero/2103).....	49
II.2.5 (18/Enero/2013).....	49
II.2.6 (19/Enero/2013 a 22/Enero/2013).	50
II.3 3ª Etapa TR 7" BNA PDC de 8 ½"	50
II.3.1 (22/Enero/2013).....	50
II.3.2 (23/Enero/2013).....	51
II.3.3 (24/Enero/2013).....	52
II.3.4 (25/Enero/2013).....	53
II.3.5 (26/Enero/2013).....	54
II.3.6 (27/Enero/2013).....	54
II.3.7 (28/Enero/2013).....	55
II.3.8 (29/Enero/2013).....	56
II.3.9 (30/Enero/2013).....	56
II.4 Estado mecánico real.....	57
II.5 Tabla de fluidos de perforación.....	58
II.6 Condiciones del pozo rodador 1199	59
Capítulo III: ACR y medidas correctivas	63
III.1 ACR.....	63
III.2 Árbol causa raíz.	63
III.2.1 Árbol lógico general.	64
III.2.2 Árbol lógico de hipótesis subsecuentes.	65
III.2.3 Árbol lógico resultante.	66
III.3 Comprobación de hipótesis.	68
III.3.1 Evidencias.	69
III.4 Medidas correctivas:	79
III.4.1 (31 enero 2013).	79
III.4.2 (02 febrero 2013).	80
III.4.3 (03 febrero 2013).	80
III.4.4 (04 febrero 2013).	80
III.4.5 (05 febrero 2013 a 06 febrero 2013).	81
III.4.6 (07 febrero 2013).	81
III.4.7 (08 febrero a 11 febrero 2013).	81
III.4.8 (12 febrero 2013).	81
III.4.9 (13 febrero 2013 a 15 febrero 2013).	82
III.4.10 (16 febrero 2103).	82
III.4.11 (01 marzo 2013 a 23 marzo 2013).	82
III.4.12 (24 marzo 2013 a 03 abril 2013).	82

Capítulo IV: Medidas preventivas.	83
IV.1 Indicadores clave en la perforación del pozo Rodador 1199.....	86
IV.1.1 Puenteo y arrastre	87
IV.1.2 Perdidas parciales y/o continuas.	87
IV.1.3 Altos valores de torque.	89
IV.1.4 Poco recorte en superficie.	90
IV.2 Lista de verificación.....	91
IV.2.1 Lista.	92
Capítulo V: Análisis de datos.....	94
Conclusiones:	96
Recomendaciones:	99
Lista de tablas	100
Lista de figuras	101
Nomenclatura	102
Bibliografía.....	104

Resumen

En esta tesis se presenta el desarrollo de la metodología Análisis Causa Raíz (ACR) aplicado al pozo terrestre Rodador 1199 perforado en la región sur, del activo cinco presidentes en el estado de Tabasco, que tiene como objetivo acondicionarlo como pozo inyector de agua en el proyecto de recuperación secundaria de las arenas EN-17, EN-18 y EN-21, con una profundidad desarrollada de 3,152 metros.

Se busca como objetivo analizar a la problemática presentada, hacer un análisis de lo ocurrido y con la información recopilada determinar los errores que se presentaron durante la perforación haciendo en un futuro mejores prácticas operacionales. Este trabajo va dirigido a estudiantes, profesionistas y técnicos involucrados en el desarrollo de la perforación de pozos.

En este pozo se presentó el atrapamiento de la sarta ocasionado por la pérdida total del fluido de perforación a la profundidad de 2,930 metros, buscando determinar que provoco el atrapamiento, a través de la metodología ACR, es decir, identificar el origen del problema, relacionado con el personal, los procesos, las tecnologías y/o la organización, con el fin de eliminarlos y así llevar a cabo buenas prácticas en la perforación.

En este trabajo se presenta la recopilación de los datos de perforación para posteriormente llevar a cabo la jerarquización de los posibles problemas, lo que nos lleva al origen de la falla, una vez teniendo el origen se concluye en base a las evidencias analizadas si esta es de causa humana, física o de sistema, por

último se plantean las soluciones y se verifica que se cumplan con dichas soluciones.

En el caso de la perforación del pozo Rodador 1199 se identifican las causas de la problemática en base al análisis de los parámetros de perforación como son la tasa de penetración (ROP), el gasto de la bomba, densidad del lodo de perforación, etc., esto, en conjunto con una mala información de geopresiones de la formación; es una combinación que puede provocar dificultades o inclusive la pérdida del pozo, que se ve reflejado en grandes pérdidas económicas.

Finalmente se presenta una propuesta de medidas preventivas que se pueden llevar a cabo durante la perforación de pozos con características y propiedades similares al Rodador 1199 para tratar de evitar problemas similares que conllevan a tiempos no productivos y grandes pérdidas económicas.

Summary

In this thesis it presents the development of the processes of Root Cause Analysis (RCA) apply to the land well Rodador 1199, drilled in the southern region, the active Cinco Presidentes in the state of Tabasco, that have and objective of been a injector water well in the project of secondary oil recovery in the EN-17, EN-18 y EN-21 sands, with a depth of 3,152 m.

The objective search is analyze the problem presented, do a analyze on the events that happens with the information collected and determinate the mistakes could happened during the drilling making in the future better operational works. This work is aimed for the students, professional and technical that are related to the oil wells drilling.

What happens in this well is the entrapment of the drill pipe because of total loss of the mud drilling in the depth 2,930 m, the search is looking beside of the method RCA that is to say identify the origin of the problem, related with the personal, the process, the technologies and/or the organization, with the purpose to eliminate them and then carry out best drilling practices.

In this work presents the collection of the drilling data to further carry out the hierarchy of possible problems, which leads us to the origin of failure, once we have the origin it concludes in base on the analyze evidences if this is human cause, physical or the system, finally raised and verified solutions that comply with these solutions.

In the case of the well Rodador 1199 drilling it identify the causes of the problem base on the analysis on the parameters like the rate of penetration (ROP), pump spending, mud fluid density, etc., this combined with poor information geopressures training; it's a combination that can provoke difficulties or even the loss of the wells, which is reflected in big economic losses.

Finally a proposal of preventive measures is presented that can be carried out during the drilling of wells with similar characteristics and properties to the well Rodador 1199 to try avoid similar problems that lead to non-productive time and big economic losses.

Introducción

El campo Rodador, Perteneciente al Activo Integral Cinco Presidentes de la Región Sur, se localiza en la planicie costera del Golfo de México, en el Municipio de Cárdenas en el estado de Tabasco. Geológicamente pertenece a la provincia denominada Cuencas Terciarias del Sureste.

La Provincia Petrolera Sureste está localizada en la Planicie Costera del Golfo de México y la Plataforma Continental del sureste de México. Es la provincia petrolera más prolífica de aceite y gas del país, que incluye una porción terrestre y otra marina. La terrestre abarca el sur del estado de Veracruz, el norte del estado de Chiapas, casi todo el estado de Tabasco y el extremo suroccidental del Estado de Campeche.

El pozo Rodador 1199 inicio la perforación el día 10 de enero con el objetivo de acondicionarlo como pozo inyector de agua, para el proyecto de recuperación secundaria, el pozo mantendrá una dirección paralela al pozo Rodador 199 y teniendo como correlación dicho pozo así como el Rodador 298.

El propósito de este trabajo es hacer un análisis de la perforación del pozo Rodador 1199 con el fin de conocer la causa de la falla que origino el atrapamiento de la sarta para posteriormente realizar una lista con algunas medidas preventivas que servirían en problemas similares como el que se documenta.

Capítulo I: Conceptos generales y datos del pozo.

1.1 Conceptos generales.

Para el desarrollo del tema requerimos puntualizar el vocabulario y conceptos a utilizar.

1.1.1 ACR (análisis causa raíz).

Es una metodología de confiabilidad que emplea un conjunto de procesos y técnicas, para identificar factores causales de una falla. El origen de un problema definido, relacionado con los procesos, las tecnologías, la organización y el personal con el objetivo de identificar actividades o acciones que los eliminen.

Las causas de las fallas pueden ser físicas, humanas u organizacionales. En general, pueden ser derivadas de procesos de deterioro por razones físicas o químicas, defectos de diseño, malas prácticas operacionales o de mantenimiento, baja calidad de materiales o refacciones, u otras razones organizacionales, como presiones en los objetivos de producción, cambios en el contexto operacional, alta rotación del personal, falta de difusión o inexistencia, así como de ejecución de trabajos por personal no certificado, que conducen a la falla.

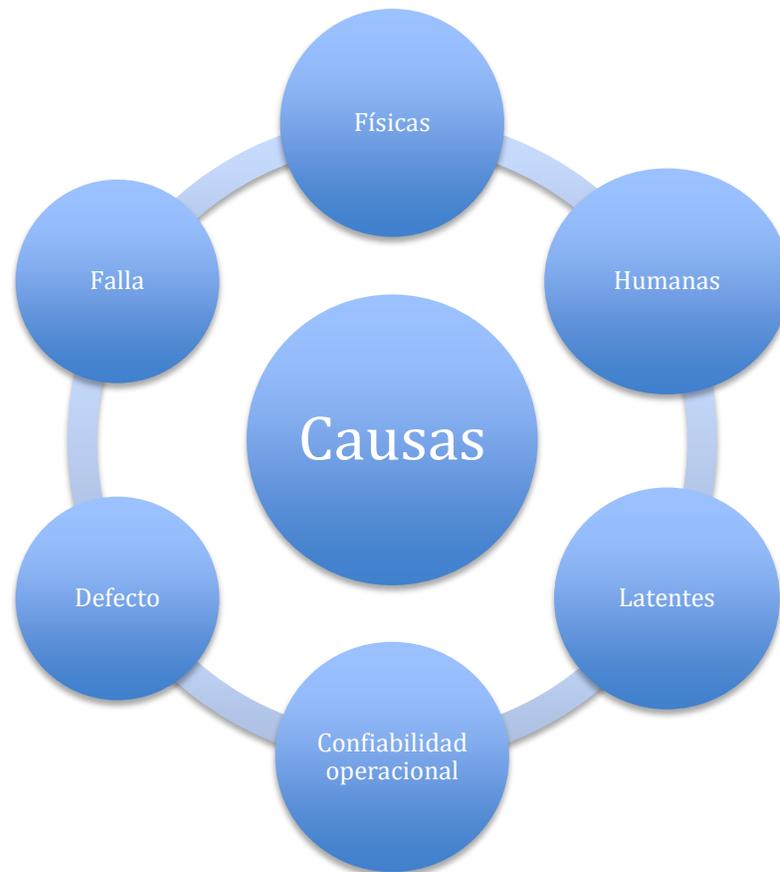


Figura 1. Causas
(Elaborado de "Metodología de análisis causa raíz (ACR)")

Causas Físicas: En los Análisis Causa Raíz, se refiere al mecanismo de falla del componente. Su solución resuelve las situaciones de falla.

Causas Humanas: En los Análisis de Causa Raíz, identifican las acciones humanas que provocan la problemática. Por ejemplo, la selección inadecuada del empacador y la instalación de sellos de forma inadecuada.

Causa latentes o de sistema: En los Análisis de Causa Raíz, representan las manifestaciones de los procesos organizacionales que explican la ocurrencia de las causas raíces humanas. Solo su erradicación garantiza que la falla no se repita en el equipo estudiado o en uno similar. Se basa en que el origen de todos los problemas son las decisiones u omisiones a nivel de sistema.

Confiabilidad operacional: Es la capacidad de un activo (representado por sus procesos, tecnología y gente) para cumplir sus funciones o el propósito que se espera de este, dentro de sus límites de diseño y bajo un Contexto Operacional determinado.

Defecto: Causa inmediata de una falla: desalineación, mal ajuste, fallas ocultas en sistemas de seguridad, entre otros.

Falla: Terminación de la habilidad de un ítem para ejecutar una función requerida.

Un ítem es un término específico usado para denotar cualquier equipo mantenible.

A continuación se presenta la metodología en etapas como un diagrama de flujo que representa gráficamente un proceso.



Figura 2. Metodología del Análisis causa raíz (Modificado de “Metodología de análisis causa raíz (ACR)”)

1.-Conformación del equipo natural de trabajo: Se selecciona el personal que formara parte del mismo siguiendo criterios establecidos en la Guía para conformación y operación de los equipos de trabajo de confiabilidad en Pemex exploración y producción

2.-Recopilación y tratamiento de datos: La recopilación de datos en el campo o lugar de la falla o problema de equipos y sus respectivos impactos asociados en seguridad, ambiente, producción y costos de mantenimiento; con el objetivo de jerarquizar las fallas mediante el empleo de histogramas que permitan realizar un tratamiento a los datos.

3.- Jerarquización de problemas: Este proceso requerirá determinar el impacto por cada modo de falla. Para calcularlo se suman los costos de reparación de cada falla y los costos de pérdida de oportunidad por la producción diferida. Con la ayuda del Diagrama de Pareto se debe determinar los modos de falla que sumen 80 % de los impactos, en un periodo determinado, con el fin de enfocar los esfuerzos en estos.

4.- Definir el problema: Se debe hacer una descripción breve, pero completa, del problema en estudio.

5.- Análisis causa-efecto: Se basa en el hecho de que en un evento de falla siempre tiene una causa, y está a su vez siente otra causa.

6.- Se establecen las causas del problema ya sean causas físicas o causas humanas.

7.- Planteamiento y evaluación de las soluciones: Se determinan las acciones que resolverá el problema de forma sustentable, de tal manera que éste no debe repetirse.

I.1.1 Presión Hidrostática.

Es la presión ejercida por el peso de una columna de fluido sobre una unidad de área. Se aplica solo cuando el fluido está en reposo. No importa cuál sea el área de la sección de la columna y se expresa de la siguiente manera:

$$P_h = \frac{\rho h}{10} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Dónde:

ρ : Densidad del fluido $\left[\frac{gr}{cm^3} \right]$

h: Altura del fluido [m]

La presión hidrostática es afectada por:

- Contenido de sólidos.
- Gases disueltos

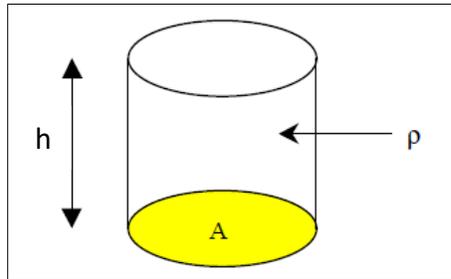


Figura 3. Presión hidrostática
(Modificado de “Un siglo de la perforación en México”)

I.1.2 Presión de circulación.

Es la presión necesaria para producir el movimiento del fluido de perforación o de terminación en el agujero, venciendo la resistencia generada por la fricción entre el fluido y la superficie por donde este circula. Puede ser calculado determinando la sumatoria de las caídas de presión que ocurren en todo el sistema de circulación, desde que el fluido es expulsado de la bomba hasta que regresa a los tanques de fluido de perforación.

Las presiones de circulación varían con la viscosidad y el punto cedente del fluido, la longitud y diámetro de la tubería, el tamaño del espacio anular y el régimen de circulación.

I.1.3 Presión de sobrecarga.

Es la presión ejercida por el peso de la matriz de la roca y los fluidos contenidos en los espacios porosos sobre una formación particular. La Figura 4 muestra la dirección en la que actúa el peso de sobrecarga sobre el espacio poroso y los fluidos contenidos en él.

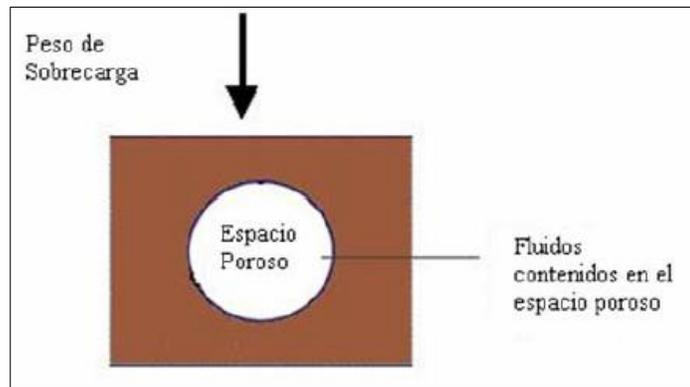


Figura 4. Presión de sobrecarga
(Modificado de "Un siglo de la perforación en México")

$$S = \text{peso de la matriz rocosa} + \text{peso fluido intersticial}$$

La presión de sobrecarga es función principalmente de las densidades tanto de los fluidos como de la matriz, así como también de la porosidad.

I.1.4 Presión de formación.

También llamada *presión de poro* (P_p), es aquella presión que ejercen los fluidos confinados en el espacio poroso de la formación sobre la matriz de roca; estos fluidos intersticiales son generalmente aceite, gas y agua salada. La presión de poro se clasifica de acuerdo a su gradiente de presión en subnormal, normal o anormal.

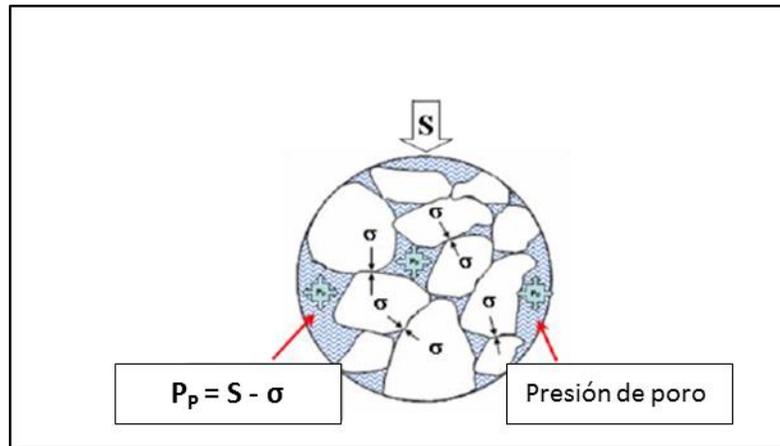


Figura 5. Modelo de presión de poro
(Modificado de "Abnormal Pressure While Drilling")

- **Presión subnormal:** Ocurre cuando la presión de la formación es menor que la presión normal, generalmente con gradientes menores a $0.433 \frac{\text{psi}}{\text{pie}}$. Pueden encontrarse en formaciones someras, parcial o completamente agotadas y en aquellas que afloran en superficie. Esto indica que estas presiones existen, ya sea, en áreas con bajas presiones de sobrecarga o en depósitos calcáreos. Formaciones con presiones subnormales pueden ser desarrolladas cuando la sobrecarga ha sido erosionada, dejando la formación expuesta a la superficie.

- **Presión normal:** Se dice que la presión de poro es normal cuando la formación ejerce una presión igual a la columna hidrostática de fluido contenido en los poros de la misma. Las presiones normales son causadas principalmente por el peso de la columna hidrostática de la formación que va desde el punto donde se ejerce presión hasta la superficie. La mayor

Además, deberán considerarse los siguientes problemas que se pueden derivar de las altas presiones:

- Brotes y descontrol de pozo.
- Pegaduras de la tubería por presión diferencial.
- Perdidas de circulación por usar lodos densos.
- Derrumbes de lutita.

I.1.5 Presión de Fractura.

La *presión de fractura* (P_F) es la presión que requiere la roca para iniciar a fracturarse. A través de experiencias de campo y laboratorio se ha encontrado que la presión que soporta una roca sin que se fracture, es función de su resistencia a la tensión y de los esfuerzos a los que se encuentra sometida en el subsuelo. Dependiendo de la magnitud de los esfuerzos principales, la fractura será vertical u horizontal, pero siempre se fracturara perpendicular al esfuerzo mínimo. Las figuras 7a y 7b muestran la dirección de la fractura dependiendo de la dirección del esfuerzo mínimo.

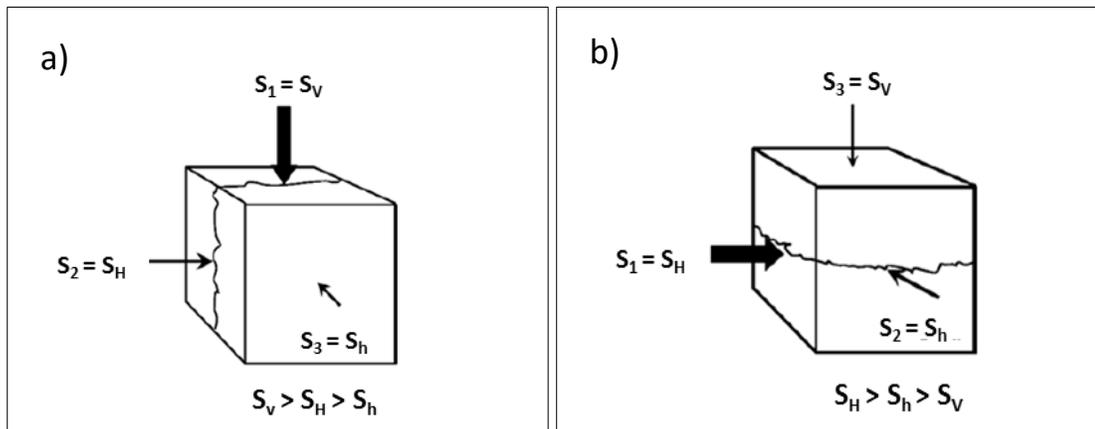


Figura 7. Dirección de fractura.

a) Fractura vertical cuando el esfuerzo mínimo es horizontal

b) Fractura horizontal cuando el esfuerzo mínimo es vertical

(Modificado de "Predicción de sobrepesiones a tiempo real para la perforación de pozos México")

Por lo tanto, si la presión ejercida por la columna de fluido es mayor que la presión de fractura de la formación esta se abrirá ocasionando la pérdida del fluido. Para que ocurra la fractura es necesario que la presión ejercida sobre la formación sea mayor al esfuerzo efectivo de ésta, es decir, debe ser mayor que la suma de la presión de poro más la componente horizontal de la presión de sobrecarga.

Es importante determinar la presión de fractura de una formación porque a través de ella se pueden conocer parámetros de control del pozo y planificar adecuadamente cualquier operación que se desee realizar en el mismo como por ejemplo desde la velocidad de los viajes de tuberías o el control de un brote. Algunas ventajas que pueden obtenerse al conocer la presión de fractura de una formación son:

- Determinar puntos de asentamiento de tuberías de revestimiento.
- Minimizar pérdidas de circulación.
- Determinar parámetros de control de bombeo y cementación.

I.1.6 Diferencial de presión.

Es la diferencia de presión entre la *presión hidrostática* (P_h) y la *presión de la formación* (P_p) ejercida por el fluido de perforación en el fondo del pozo. Se puede determinar utilizando la ecuación:

$$\Delta P = P_h - P_p$$

Se clasifican en:

- **Presión en Balance:** Se dice que la presión en el agujero está en balance cuando la presión hidrostática (P_h) ejercida sobre el fondo del pozo es igual a la presión de la formación (P_p) (ver Figura 8. a).

- **Presión en Sobrebalance:** Se dice que la presión en el pozo está en sobrebalance cuando la presión hidrostática ejercida en el fondo del pozo (P_h) es mayor que la presión de la formación (P_p) (ver Figura 8. b).

La mayoría de los pozos son perforados en condiciones de sobrebalance para evitar el flujo de fluidos desde el yacimiento hacia el pozo. De acuerdo con el Instituto Americano del Petróleo (*American Petroleum Institute* "API" por su siglas en inglés), el diferencial de presión (ΔP) debe estar en un rango de 200 a 500 [psi].

Existen efectos negativos al perforar un pozo sobrebalance, puesto que a pesar de ser necesario mantener un sobrebalance entre P_h y P_p para sostener las paredes del agujero y evitar la invasión de los fluidos al pozo, un valor excesivo de esta diferencia de presiones puede crear problemas que impidan la perforación de un pozo hasta su objetivo final como por ejemplo: disminución de la tasa de penetración, la posibilidad de atascamiento diferencial y pérdida de circulación del pozo.

- **Presión en bajobalance:** Se dice que la presión en el pozo está bajobalance si la presión hidrostática ejercida en el fondo del pozo (P_h) es menor que la presión de la formación (P_p) (Ver Figura 8. c).

Cuando se perfora un pozo en condiciones de bajobalance, las pérdidas de circulación se reducen al máximo, por lo que la posibilidad de fracturar la formación disminuye considerablemente; así mismo disminuye las posibilidades de daño.

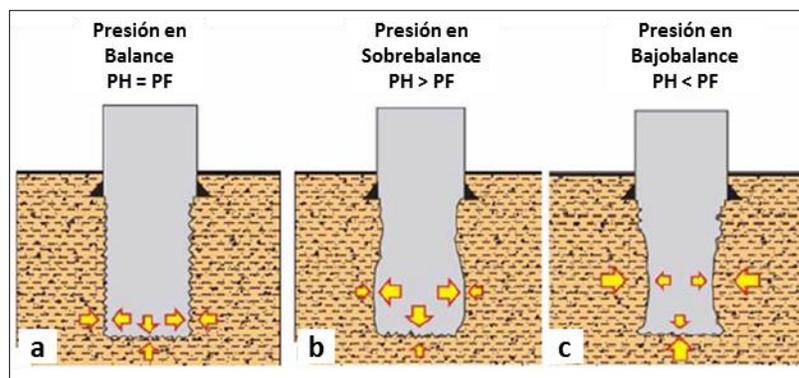


Figura 8. Diferencial de presión

I.1.7 Gradiente de presión.

Es la variación de la presión por unidad de profundidad o longitud. Generalmente se expresa en psi/pie, lo que es equivalente a la razón entre la presión hidrostática y la altura de la columna hidrostática como se muestra en la ecuación.

$$G_L = \frac{P_h}{h} \left[\frac{\text{psi}}{\text{pie}} \right]$$

Simplificando se obtiene:

$$G_L = 0.052 \times \rho$$

Dónde:

G_L : gradiente del líquido [psi/pie]

ρ : densidad del fluido [lb/gal]

I.1.8 Inestabilidad del agujero.

Cuando se perfora un pozo, cambia el estado inicial de los esfuerzos en la formación, ocasionando la redistribución de los mismos en la vecindad del pozo. Este estado de redistribución de los esfuerzos puede exceder la fuerza de la roca y ocasionar una falla. Adicionalmente cuando un agujero está cargado activamente (la presión hidrostática en el agujero es menor que la presión de la formación) o cargado pasivamente (la presión hidrostática en el agujero es

mayor que la presión de la formación) otros efectos de esfuerzo podrían causar fallas en la formación.

I.1.9 Pérdida de circulación.

La pérdida de circulación o pérdida de retorno está definida como la invasión de los fluidos de perforación y/o lechadas de cemento hacia la formación. El control y prevención de la pérdida de circulación de los fluidos de perforación es un problema frecuentemente encontrado durante la perforación de pozos de petróleo y gas.

La pérdida puede ser parcial o total, es decir, se puede perder una pequeña fracción de fluido generalmente manifestada por una disminución gradual del nivel del fluido de perforación en las presas o se puede perder el fluido de perforación que se encuentra en el pozo. Otros problemas como: colapso del agujero, atascamiento de tubería, imposibilidad de controlar el pozo, pérdida de tiempo durante las operaciones de perforación, daño a formaciones potencialmente productivas, arremetidas, reventones, derrumbe excesivo de las formaciones y costos asociados son otros efectos que contribuyen a hacer que el control y prevención de la pérdida de circulación sea considerado uno de los problemas más importantes en la industria petrolera y uno de los sucesos que más afecta la estabilidad del pozo.

Los tipos de formaciones o condiciones en el subsuelo que pueden ocasionar o son susceptibles de generar una pérdida de circulación en el pozo se clasifican en cuatro categorías:

- **Fracturas Naturales o Intrínsecas:** son aquellas creadas por los esfuerzos tectónicos, y los diferentes eventos geológicos ocurridos en una determinada zona. Se manifiestan por una discontinuidad que rompe los estratos de las rocas en bloques por medio de grietas o fisuras que pueden permitir el paso de los fluidos que se encuentran en el pozo solo si existe suficiente presión en el pozo capaz de exceder la de los fluidos de la formación y además el espacio creado por la fractura es tan grande como para permitir la entrada de los fluidos con esta presión (ver Figura 9. c).

- **Fracturas Creadas o Inducidas:** Son aquellas producidas durante las operaciones de perforación con el fin de estimular la formación para mejorar la producción (fracturamiento hidráulico y acidificación). Adicionalmente, muchas fracturas han sido creadas al tratar de mantener el peso de la columna hidrostática en el pozo por lo que esta operación también puede crear fracturas en la formación si se excede la densidad necesaria para mantener las paredes del pozo. Las fracturas inducidas o creadas se distinguen de las fracturas naturales principalmente por el hecho de que la pérdida del fluido de perforación hacia fracturas inducidas requieren la imposición de presión de una magnitud suficiente para romper o abrir una parte de la formación (ver Figura 9. d).

- **Fracturas Cavernosas:** las fracturas creadas en zonas cavernosas están generalmente relacionadas con formaciones volcánicas o de carbonatos (caliza y dolomita). Cuando estas formaciones fisuradas son perforadas, la columna de fluido de perforación puede caer libremente a través de la zona vacía creada por la fractura y producir rápidamente la pérdida del fluido de perforación.

Las formaciones cavernosas se diferencian de las fracturas naturales e inducidas en que las cavernas son probablemente el resultado de un fenómeno de disolución de la roca, es decir pueden aparecer durante el enfriamiento del magma o ceniza volcánica (ver Figura 9. b).

- **Pérdidas en Formaciones altamente Permeables o poco Consolidadas:** pueden tener una permeabilidad suficientemente alta para que el fluido de perforación invada la matriz de la formación, y generar así la pérdida de circulación de los fluidos del pozo. La alta permeabilidad también se encuentra frecuentemente en las arenas, grava, y formaciones que fueron arrecifes o bancos de ostras.

En general para que ocurra la pérdida de fluido hacia las formaciones permeables es necesario que los espacios intergranulares tengan suficiente tamaño para permitir la entrada del fluido de perforación, y como en el caso de las fracturas naturales y cavernosas, es necesario que exista una presión hidrostática que exceda la presión de la formación. Solo así podrá ocurrir la invasión (ver Figura 9. a).

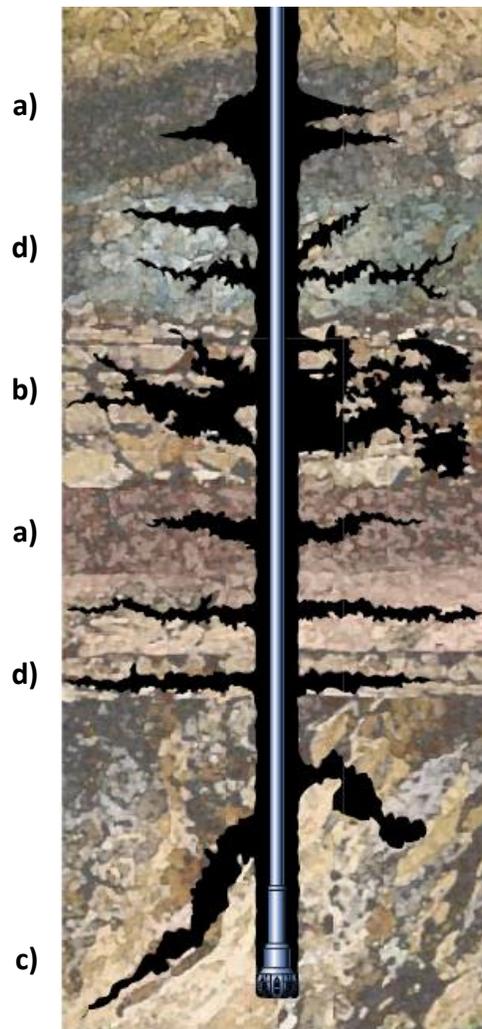


Figura 9. Zonas de pérdida de circulación

Zonas de pérdida de circulación:

- a) Arenas no consolidadas y de alta permeabilidad.
- b) Zonas cavernosas o fisuras en carbonatos (caliza o dolomía).
- c) Fracturas naturales, fallas y zonas de transición en carbonatos o lutitas duras.
- d) Fracturas inducidas por el exceso de presión.

I.1.10 Atascamiento de la tubería de perforación.

El atascamiento de tubería es un problema que ocurre cuando la sarta de perforación, el revestidor o una herramienta no puede ser movida hacia adentro o hacia afuera del agujero una vez insertada en éste y en algunos casos tampoco puede ser rotada.

La gravedad del problema puede variar desde un inconveniente menor a complicaciones mayores que pueden traer resultados considerablemente negativos, como la pérdida de la columna de perforación o la pérdida total del pozo. Un gran porcentaje de los casos de atascamiento de tubería terminan exigiendo la desviación del pozo alrededor de la sección donde se produjo el atascamiento y la perforación de un nuevo intervalo.

Cuando se presenta este problema durante la perforación del pozo deben emplearse operaciones especiales para lograr liberar la tubería. El procedimiento a emplear dependerá directamente del tipo de atascamiento y de las condiciones bajo las cuales ocurrió.

En muchos casos el atascamiento de tubería es considerado como uno de los problemas más costosos y que genera mayor pérdida de tiempo durante las operaciones de perforación.

El atascamiento de la tubería de perforación es causado por las condiciones del agujero y el diferencial de presión creado entre la columna de perforación y la formación, por lo que se clasifica en dos tipos: atascamiento diferencial y atascamiento mecánico. El porcentaje de incidentes en cada categoría depende del tipo de agujero y de las condiciones de la perforación.

- **Atascamiento diferencial:** El atascamiento de tubería debido a un diferencial de presión ocurre cuando la sarta se incrusta en un revoque sólido de fluido de perforación que se encuentra en una zona permeable y es retenida en ese lugar debido a una diferencia de presión creada por un sobrebalance en la columna hidrostática (ver Figura 10). Este tipo de atascamiento de tubería usualmente ocurre cuando la tubería está estacionaria en el agujero durante un periodo corto de tiempo, tal como cuando se hacen conexiones o se realizan registros y se identifica por la circulación libre del fluido de perforación alrededor de la zona de atascamiento y la ausencia de movimiento ascendente/descendente. Sólo se puede realizar estiramiento y torque de la tubería.

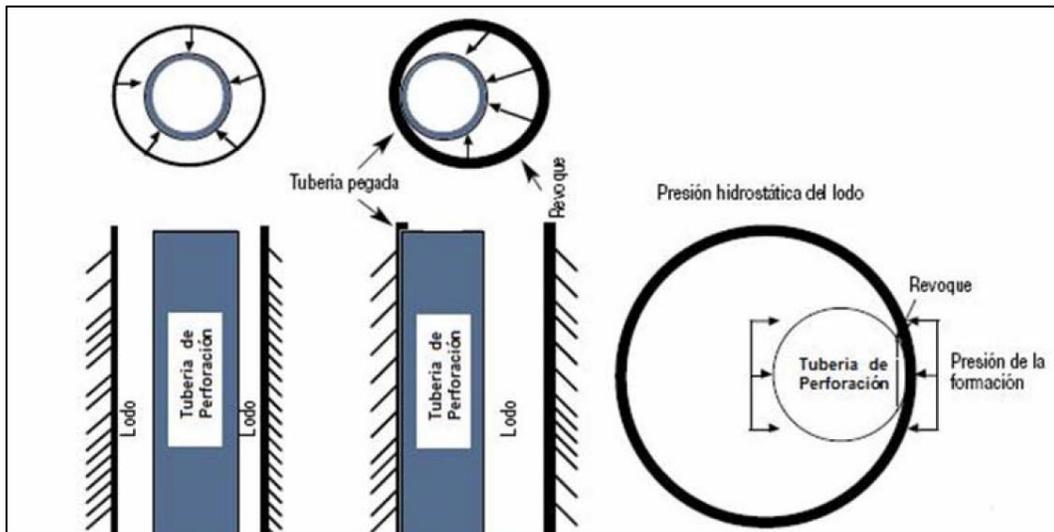


Figura 10. Atascamiento diferencial
(Modificado de "Guía de estudios para la materia Pozos I")

Los atascamientos por presión diferencial ocurren a cualquier profundidad pero sus riesgos se incrementan cuando se perfora en yacimientos agotados. Tradicionalmente los problemas de atascamiento diferencial están relacionados con la formación de un revoco grueso en las paredes del agujero, altas presiones de sobrebalance, fluidos de perforación de alta densidad, alto contenido de sólidos y el alto filtrado. Estos últimos factores especialmente aumentan el espesor del revoco y el coeficiente de fricción, haciendo que sea más difícil liberarla.

El atascamiento diferencial sólo puede ocurrir en formaciones de rocas permeables como areniscas, donde se forma el revoco del fluido de perforación. Esto no ocurre en formaciones de baja permeabilidad como las lutitas, donde normalmente el revoco del fluido de perforación no se forma.

- **Atascamiento mecánico:** El atascamiento mecánico es causado por una obstrucción o restricción física en el agujero. Ocurre generalmente durante el movimiento de la sarta y se manifiesta por la circulación restringida del fluido de perforación hacia superficie. Sin embargo se puede observar una cantidad limitada de movimiento ascendente/descendente o libertad de movimiento rotatorio.

1.2 Datos del Pozo.

1.2.1 Nombre del pozo.

Rodador con número de identificación 1199, es un pozo terrestre direccional tipo “S” perforado en la plataforma RODADOR 199.

1.2.2 Ubicación.

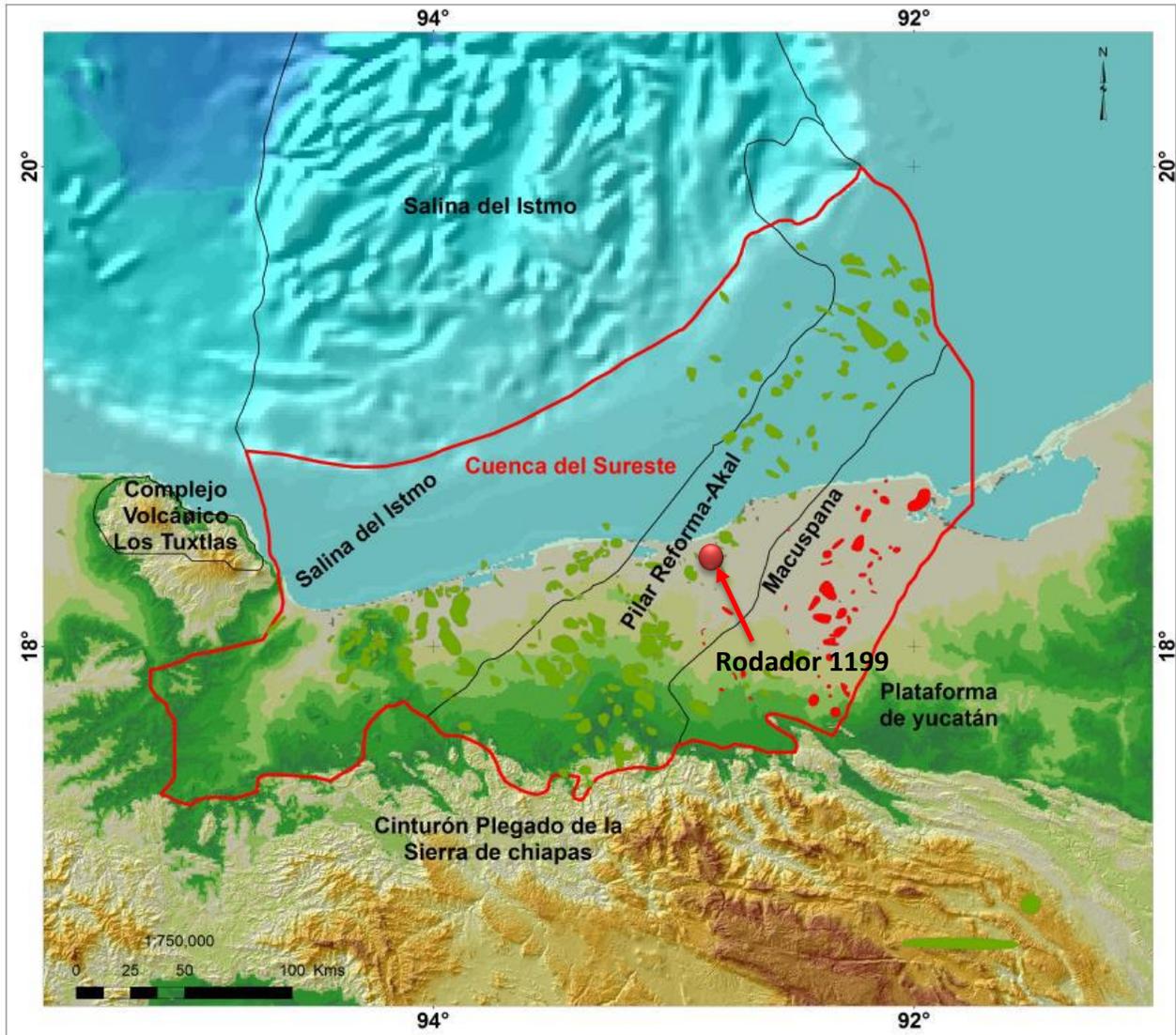
1.2.2.1 Datos de la ubicación superficial

Se ubica en el estado de Tabasco en el municipio de Huimanguillo, con una altura del terreno sobre el nivel del mar (m): 19.59 y una altura de la mesa rotaria sobre el terreno (m): 6.10.

Tabla 1. Ubicación del pozo Rodador 1199

Coordenadas UTM conductor		Coordenadas UTM a PT @ 3150 mv	
X	Y	X	Y
397,720.99	2,014,410.39	397,751.31	2,014,409.86

1.2.2.2 Plano de ubicación.



I.2.1 Objetivo.

Acondicionar como inyector de agua en el proyecto de Recuperación Secundaria las arenas EN-17; EN-18 y EN-21.

I.2.2 Profundidad programada

Tabla 2. Profundidad programada

	Profundidad Vertical (m.v.b.m.r)	Profundidad Desarrollada (m.d.b.m.r)
Primera opción	3150	3152

I.2.3 Situación estructural.

I.2.3.1 Descripción estructural.

En misma posición estructural que el pozo Rodador 199, más bajo con respecto a los pozos Rodador 298-R, Rodador 507, Rodador-515 y Rodador 518.

I.2.3.2 Secciones estructurales.

Con base a pozos o puntos geográficos Correlación entre los pozos Rodador 197 y Rodador 199.

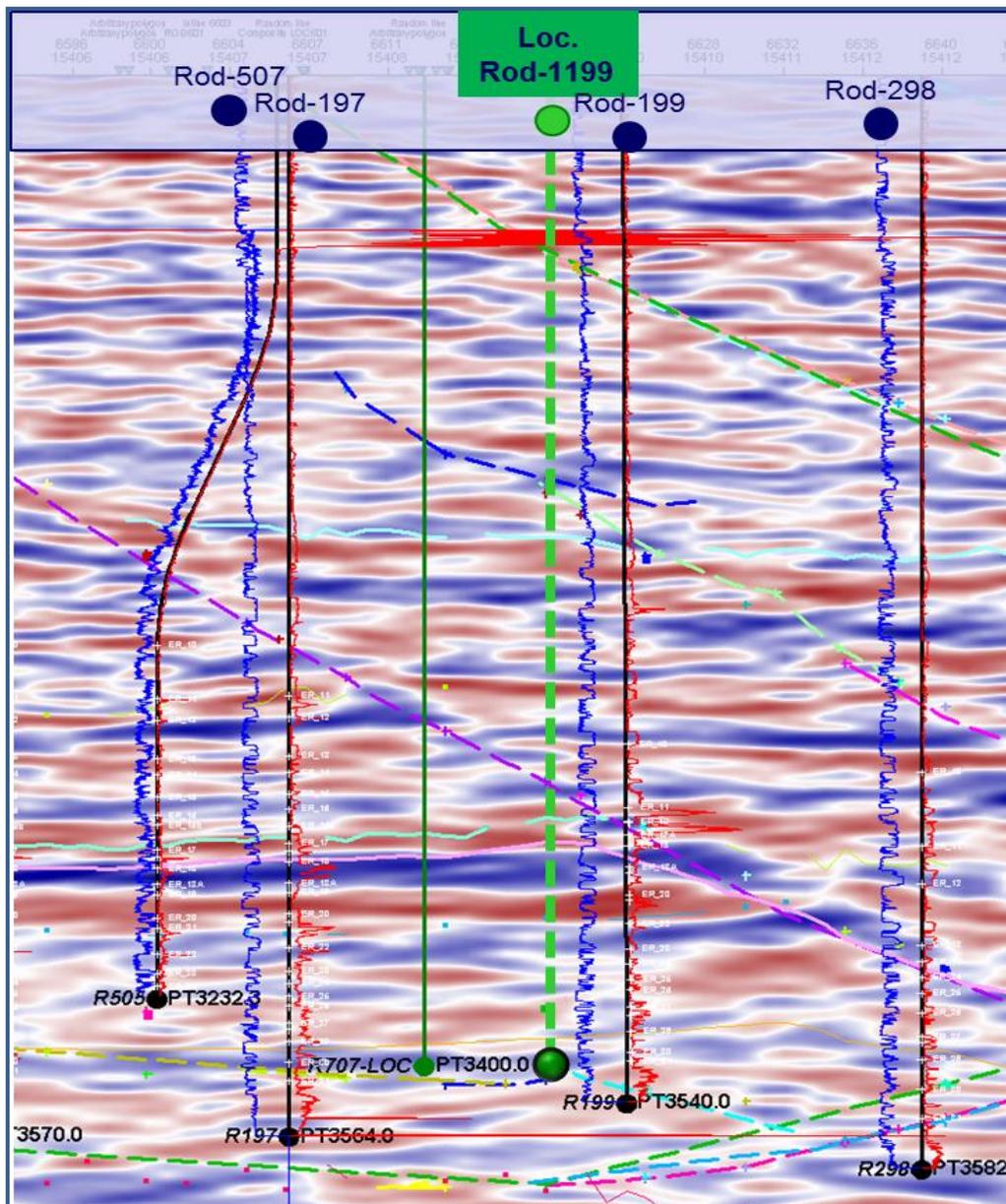


Figura 12. Secciones estructurales Rodador 197 y Rodador 199

I.2.4 Columna geológica probable.

Tabla 3. Columna geológica

Formación	Profundidad Vertical (m.v.b.m.r.)	Profundidad Desarrollada (m.d.b.m.r)	Espesor (m.v.)	Litología.
Reciente Cedral	Aflora		618	Arenas y lutitas
Paraje Solo	618	619	703	Arenas y lutitas
Filisola	1,321	1,323	446	Arenas y lutitas
Concepción Superior	1,767	1,769	248	Arenas y lutitas
Concepción Inferior	2,015	2,017	262	Arenas y lutitas
Encanto	2,277	2,279	873	Arenas y lutitas
Profundidad Total programada	3,150	3,152		Arenas y lutitas

I.2.5 Perfil de geopresiones.

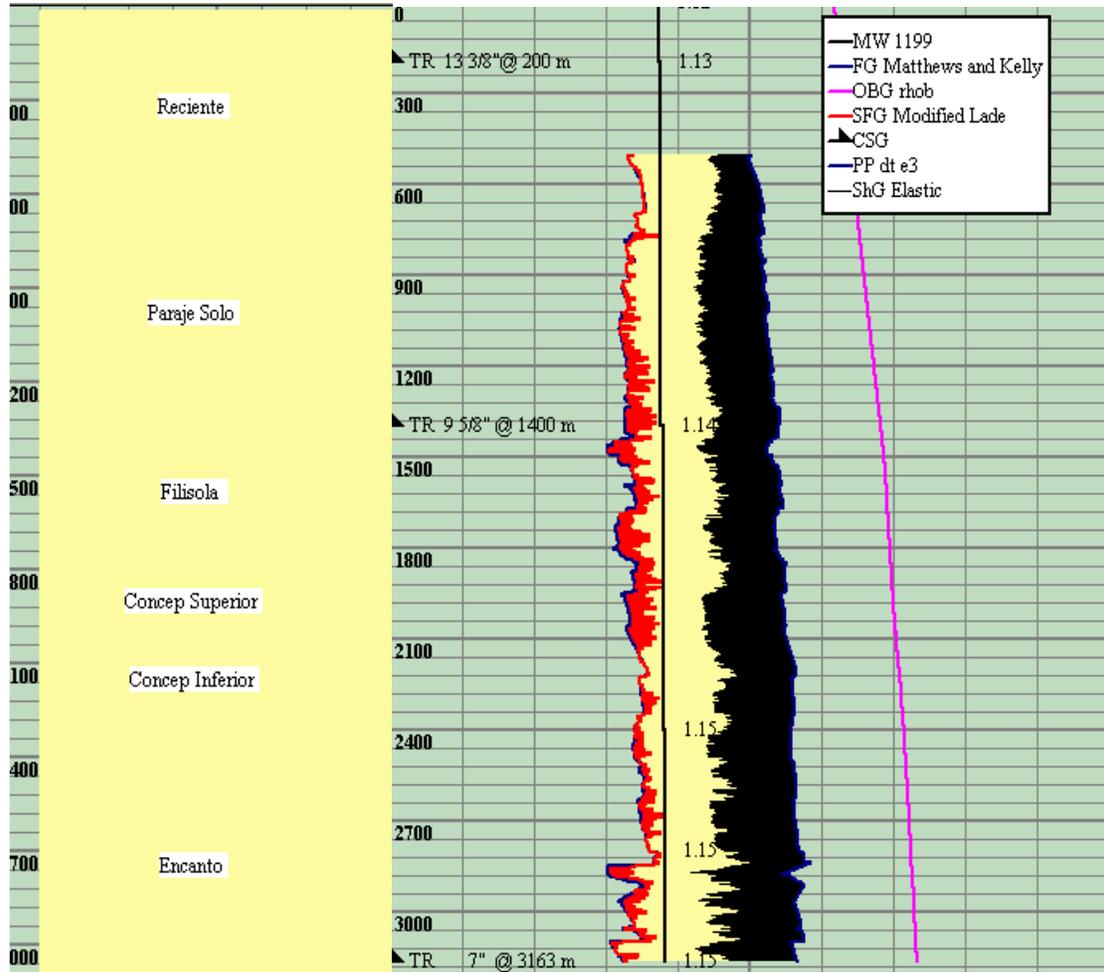


Figura 13. Perfil de geopresiones. Pozo Rodador 1199

I.2.6 Estado mecánico propuesto.

I.2.6.1 Representación gráfica.

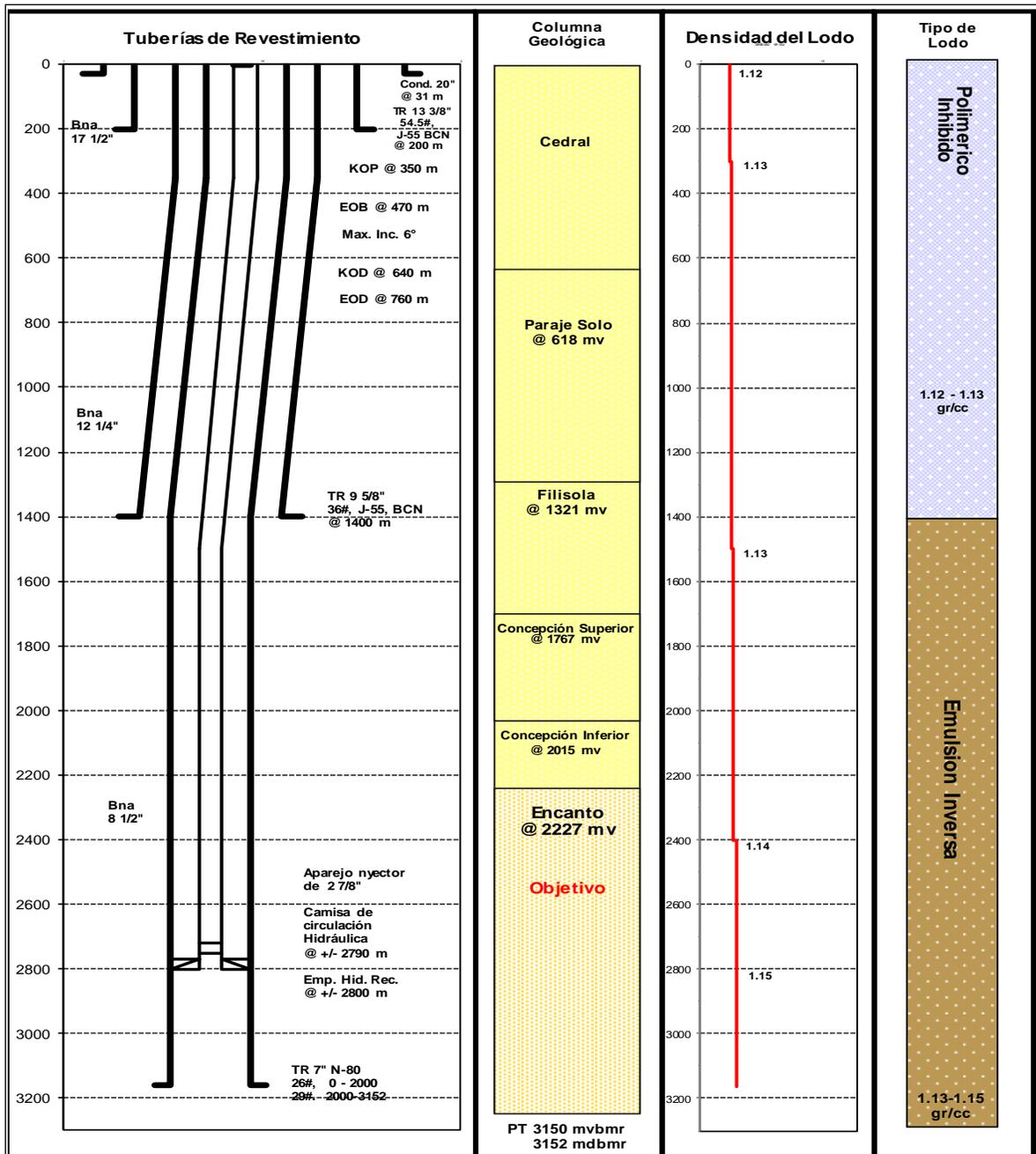


Figura 14. Estado mecánico propuesto. Pozo Rodador 1199

1.2.6.2 Objetivo de cada etapa.

Tabla 4. Objetivo de cada etapa

Etapa	Diámetro Barrena (pg)	Profundidad (m.v.b.m.r.)	Profundidad (m.d.b.m.r.)	Diámetro TR (pg)	Objetivo
1ª	17 ½"	200	200	13 3/8"	Aislar acuíferos superficiales, tener un medio de control para la circulación de fluido e instalar el cabezal de 13 5/8" 3M.
2ª	12 ¼"	1398	1400	9 5/8"	Aislar formaciones someras poco consolidadas y que nos permita llegar a PT con la densidad requerida en el agujero de producción.
3ª	8 ½"	3150	3152	7"	Inyectar agua a las arenas EN-17, EN-18 y EN-21 o en su caso previamente se explotarán selectivamente las arenas impregnadas, y después se acondicionará el pozo como inyector.

1.2.6.3 Programa de fluidos de perforación.

Tabla 5. Programa de fluidos de perforación

Intervalo [md]	Densidad [gr/cc]	Tipo de fluido
30 - 200	1.12	Polimérico inhibido
200 - 1400	1.12-1.13	Polimérico inhibido
1400 - 3152	1.13-1.15	Emulsión inversa

Capítulo II: Resumen de la perforación y problemática.

II.1 1^o Etapa TR 13 3/8" BNA tricónica 17 ½".

II.1.1 (10/Enero/2013).

Se inicia la perforación del pozo Rodador 1199, con barrena tricónica 17 ½" reconocieron tubería conductora a 31 [m] con circulación y rotación, perforaron de 31 a 40 [m] donde encontraron conglomerado y continuaron perforando de 40 a 65 [m].

Las condiciones son:

Metros perforados= 34 [m], PSB= 3 [Ton], Profundidad= 65 [md], EPM= 150, Q= 210 [gpm], ROP= 21.93 $\left[\frac{m}{hr}\right]$, ROP= 2.74 $\left[\frac{min}{m}\right]$, Torque= 50 [amp] y $\rho_{lodo} = 1.13 \left[\frac{gr}{cc}\right]$.

II.1.2 (11/Enero/2013).

Continuaron perforando de 65 a 197 [m]

Las condiciones son:

Metros perforados= 132 [m], PSB= 4 a 5 [Ton], Profundidad= 197 [md], EPM= 201, Q= 530 [gpm], ROP= 33.93 $\left[\frac{m}{hr}\right]$, ROP= 1.77 $\left[\frac{min}{m}\right]$, Torque= 70 [amp] y $\rho_{lodo} = 1.13 \left[\frac{gr}{cc}\right]$.

Bombean 20 [bls] de bache antipérdida COCO3 M-200 a la profundidad de 70, 150 y 197 [m] posteriormente bombean tren de baches hasta obtener retornos limpios.

Levantaron la barrena de 17 ½" de 197 a 31 [m] y volvieron a meter al fondo para un viaje de reconocimiento. Sacaron la sarta de perforación a superficie, llenaron con tanques de viaje el agujero y desconectando tramo por tramo.

Metieron TR de 13 3/8" J-55 de 54.5 $\left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}}\right]$ equipada con zapata guía y cople flotador, encontraron resistencia franca al introducirla, no lograron vencer la resistencia.

II.1.3 (12/Enero/2013).

Al no poder vencer la resistencia sacaron la TR de 13 3/8" tramo por tramo a superficie.

Armaron barrena tricónica de 17 ½" y bajaron a 145 [m] sin encontrar resistencia alguna, bombearon tren de baches y circularon hasta obtener retornos limpios.

Las condiciones son:

Metros perforados= 0 [m], Profundidad= 197 [md], EPM= 128, Q= 336 y $\rho_{\text{lodo}} = 1.16 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cc}}\right]$.

Levantaron barrena tricónica 17 ½" con sarta estabilizada de 197 a 31 [m] llenaron el agujero con tanques de viaje y metieron la TR de 13 3/8" J-55 de 54.5 $\left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}}\right]$ donde encontraron resistencias francas pero vencieron esas resistencias con con circulación de 157 a 197 [m].

Al checar el fondo observaron un represionamiento de 590 [psi].

II.1.4 (12/Enero/2013 a 14/Enero/2013).

Efectuaron cementación con cemento tipo H de $1.8 \left[\frac{g}{cc} \right]$. Esperaron el fraguado de cemento. Efectuaron corte y biselado, instalaron cabezal Slip Lock recuperable. Instalaron preventores de 13 5/8" 3M. Conectaron barrena PDC 12 ¼" con sarta estabilizada, bajaron barrena de 12 ¼" a tope de accesorios +/- 186 [m], circularon y probaron TR 13 3/8" con 1000 [psi] rebajaron cemento y accesorios de 183 a 197 [m].

II.2 2ª Etapa TR 9 5/8" BNA PDC 12 ¼".

II.2.1 (14/Enero/2013).

Perforaron agujero de 12 ¼" con sarta direccional con MWD de 197 a 416 [m]

Las condiciones son:

Metros perforados= 219 [m], PSB= 2 a 3 [Ton], Profundidad= 416 [md], EPM= 213, Q= 560 [gpm], ROP= $54.75 \left[\frac{m}{hr} \right]$, ROP= $1.09 \left[\frac{min}{m} \right]$, Torque= 65 [amp] y $\rho_{lodo} = 1.13 \left[\frac{gr}{cc} \right]$.

II.2.2 (15/Enero/2013).

Con barrena PDC de 12 ¼" y sarta navegable perforaron de 416 a 762 [m]

Las condiciones son:

Metros perforados= 565 [m], PSB= 3 a 5 [Ton], Profundidad= 762 [md], EPM= 210, Q= 556 [gpm], ROP= $38.15 \left[\frac{m}{hr} \right]$, ROP= $1.57 \left[\frac{min}{m} \right]$, Torque= 111 [amp] y $\rho_{lodo} = 1.13 \left[\frac{gr}{cc} \right]$.

II.2.3 (16/Enero/2013).

Con barrena PDC de 12 ¼" y sarta navegable perforaron de 762 a 800 [m].

Las condiciones son:

Metros perforados= 38 [m], Profundidad= 800 [md], ROP= $19 \left[\frac{m}{hr} \right]$, ROP= $3.16 \left[\frac{min}{m} \right]$, y $\rho_{lodo} = 1.13 \left[\frac{gr}{cc} \right]$.

Bombearon bache antiperdida CACO3 M-200 a la profundidad de 800 [m], posteriormente levantan la sarta hasta 197[m] donde observan la sarta libre, la vuelven a meter hasta 800 [m] sin observar ninguna resistencia.

Posteriormente perforan de 800 a 1033 [m]

Las condiciones son:

Metros perforados= 233 [m], Profundidad= 1033 [md], ROP= $15.03 \left[\frac{m}{hr} \right]$, ROP= $3.99 \left[\frac{min}{m} \right]$, y $\rho_{lodo} = 1.13 \left[\frac{gr}{cc} \right]$.

II.2.4 (17/Enero/2103).

Perforaron de 1033 a 1376 [m]

Las condiciones son:

Metros perforados= 343 [m], Profundidad= 1376 [md], ROP= 14.29 $\left[\frac{m}{hr}\right]$,
ROP= 4.2 $\left[\frac{min}{m}\right]$, y $\rho_{lodo} = 1.13 \left[\frac{gr}{cc}\right]$ aumentan la $\rho_{lodo} = 1.14 \left[\frac{gr}{cc}\right]$ a 1200 [m].

II.2.5 (18/Enero/2013).

Perforaron de 1376 a 1399 [m]

Las condiciones son:

Metros perforados= 23 [m], Profundidad= 1376 [md], ROP= 0.96 $\left[\frac{m}{hr}\right]$,
ROP= 62.5 $\left[\frac{min}{m}\right]$, y $\rho_{lodo} = 1.14 \left[\frac{gr}{cc}\right]$.

Bombearon tren de baches hasta observar retornos limpios.

Levantaron la sarta con barrena PDC 12 ¼" de 1399 a 1100 [m] donde se observaron arrastres puenteados a 1362-1333 [m], 1247-1218 [m], 1218-1189 [m], 1054-1025[m] y en el intervalo 1025-987 [m].

Metieron la sarta de 800 a 1380 [m] donde se encontraron resistencia franca, repasaron el intervalo de 1380 a 1399 [m], bombearon tren de baches y circularon hasta obtener retornos limpios, bombearon 25 [bls] de bache viscoso

a 1399 [m], posteriormente sacaron la sarta navegable a superficie y llenaron el agujero con tanques de viajes.

Metieron TR 9 5/8" 36 $\left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}}\right]$ J-55 hasta los 550 [m].

II.2.6 (19/Enero/2013 a 22/Enero/2013).

Metieron TR 9 5/8" 36 $\left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}}\right]$ J-55 de 550 [m] hasta la profundidad de 1399 [m] y realizaron la cementación con una lechada de llenado de densidad 1.6 $\left[\frac{\text{g}}{\text{cc}}\right]$ de 0 a 1100 [m] y una lechada de amarre con 1.9 $\left[\frac{\text{g}}{\text{cc}}\right]$ de 1100 a 1399 [m]. Esperaron fraguado de cemento. Recuperaron preventores 13 5/8" 3M. Cortaron y biselaron TR 9 5/8" e instalaron cabezal de 9 5/8". Instalaron arreglo de preventores de 11" 5M. Conectaron barrena PDC de 8 ½" con motor de fondo y sarta navegable, bajaron la barrena a tope con accesorios +/- 1383 [m]. Circularon y probaron TR 9 5/8" con 1000 [psi], rebajaron el cemento y accesorios de 1384 a 1399 [m].

II.3 3ª Etapa TR 7" BNA PDC de 8 ½".

II.3.1 (22/Enero/2013).

Con barrena PDC de 8 ½" y sarta navegable perforó agujero de 8 ½" de 1399 a 1405 [m] y circuló hasta observar retornos limpios.

Las condiciones son:

Metros perforados= 6 [m], PSB= 2 a 3 [Ton], Profundidad= 1405 [md], EPM= 130, Q= 230 [gpm], ROP= $4 \left[\frac{m}{hr} \right]$, ROP= $15 \left[\frac{min}{m} \right]$ y $\rho_{lodo} = 1.15 \left[\frac{gr}{cc} \right]$.

Con barrena de 8 ½" y sarta navegable perforaron de 1405 a 1556

Las condiciones son:

Metros perforados= 151 [m], Profundidad= 1556 [md], ROP= $10.41 \left[\frac{m}{hr} \right]$, ROP= $5.76 \left[\frac{min}{m} \right]$ y $\rho_{lodo} = 1.15 \left[\frac{gr}{cc} \right]$.

II.3.2 (23/Enero/2013).

Con barrena de 8 ½" y sarta navegable perfora de 1556 a 1609 [m], se observa pérdida parcial de $4 [m^3]$ de lodo en el intervalo de 1580 a 1597 [m].

Las condiciones son:

Metros perforados= 53 [m], Profundidad= 1609 [md], EPM= 190, Q= 338 [gpm], ROP= $13.25 \left[\frac{m}{hr} \right]$, ROP= $4.53 \left[\frac{min}{m} \right]$ y $\rho_{lodo} = 1.15 \left[\frac{gr}{cc} \right]$.

Continuaron perforando de 1609 a 1663 bombearon baches y recuperaban muestras de canal cada 5 [m]

Las condiciones son:

Metros perforados= 54 [m], Profundidad= 1663 [md], ROP= 12 $\left[\frac{m}{hr}\right]$,
ROP= 5 $\left[\frac{min}{m}\right]$ y $\rho_{lodo} = 1.15 \left[\frac{gr}{cc}\right]$.

Circularon limpiando el agujero y continuaron perforando de 1663 a 1729 [m] sin observar perdidas de parciales.

Las condiciones son:

Metros perforados= 66 [m], Profundidad= 1729 [md], ROP= 9.43 $\left[\frac{m}{hr}\right]$,
ROP= 6.36 $\left[\frac{min}{m}\right]$ y $\rho_{lodo} = 1.15 \left[\frac{gr}{cc}\right]$.

Circularon limpiando el agujero y continuaron perforando de 1729 a 1816 [m]

Las condiciones son:

Metros perforados= 87 [m], Profundidad= 1816 [md], ROP= 12.43 $\left[\frac{m}{hr}\right]$,
ROP= 4.83 $\left[\frac{min}{m}\right]$ y $\rho_{lodo} = 1.15 \left[\frac{gr}{cc}\right]$.

II.3.3 (24/Enero/2013).

Continuaron perforando de 1816 a 2069 [m] rotando y deslizando la sarta de perforación

Las condiciones son:

Metros perforados= 253 [m], PSB= 4 a 5 [Ton], Profundidad= 2069 [md], EPM= 192, Q= 336 [gpm], ROP= 10.54 $\left[\frac{m}{hr}\right]$, ROP= 5.69 $\left[\frac{min}{m}\right]$, Torque= 72 a 116 [amp] y $\rho_{lodo} = 1.15 \left[\frac{gr}{cc}\right]$.

II.3.4 (25/Enero/2013).

Continuaron perforando de 2081 a 2201 bombeando baches hasta que obtubieran retornos limpios.

Las condiciones son:

Metros perforados= 120 [m], Profundidad= 2201 [md], EPM= 128, Q= 225 [gpm], ROP= 10.91 $\left[\frac{m}{hr}\right]$, ROP= 5.5 $\left[\frac{min}{m}\right]$ y $\rho_{lodo} = 1.15 \left[\frac{gr}{cc}\right]$.

Bombean un bache ecológico de 1.39 $\left[\frac{g}{cc}\right]$, realizan viaje corto de 2201 a 1399 [m] (zapata), llenan el volumen de acero con tanque de viajes y observan arrastre a 2097 [m] de 13.7 [klbs].

Repasan el intervalo hasta que observan la sarta libre meten de nuevo la sarta de 1399 a 1730 [m].

II.3.5 (26/Enero/2013).

Cuando vuelven a meter la sarta de 1730 a 2201 [m] y al llenar la TP observan una pérdida parcial de 2 [m³] durante su introducción.

Continuaron perforando de 2201 a 2375 [m] y repasaron 2 veces cada flecha, en este intervalo tienen perdidas continuas de +/- 0.426 $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}\right]$.

Las condiciones son:

Metros perforados= 174 [m], PSB= 4 a 5 [Ton], Profundidad= 2375 [md], EPM= 193, Q= 338 [gpm], ROP= 8.28 $\left[\frac{\text{m}}{\text{hr}}\right]$, ROP= 7.25 $\left[\frac{\text{min}}{\text{m}}\right]$, Torque= 98 a 104 [amp] y $\rho_{\text{lodo}} = 1.15 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cc}}\right]$.

II.3.6 (27/Enero/2013).

Continuaron perforando de 2375 a 2538 [m], repasaban cada flecha y otuvieron pérdidas continuas de 0.125 $\left[\frac{\text{m}}{\text{hr}}\right]$, y en el intervalo 2463 a 2469 al deslizar la sarta de perforación observaron otra pérdida parcial de 1.5 [m³].

Las condiciones son:

Metros perforados= 163 [m], PSB= 4 a 5 [Ton], Profundidad= 2538 [md], EPM= 188 , Q= 333 [gpm], ROP= 6.79 $\left[\frac{\text{m}}{\text{hr}}\right]$, ROP= 8.84 $\left[\frac{\text{min}}{\text{m}}\right]$, Torque= 109 a 160 [amp] y $\rho_{\text{lodo}} = 1.15 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cc}}\right]$.

II.3.7 (28/Enero/2013).

Circularon tiempo de atraso y observaron retornos limpios, continuaron perforando de 2538 a 2627 [m], observaron valores de torque de hasta $490 \left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}} \right]$, en ese momento se regresaron las vueltas de golpe.

Intentaron continuar perforando pero encontraron resistencias de hasta 15 [klbs] aunque la sarta hacia arriba se encontraba libre en ese momento. Eliminaron 2 tramos por resistencias en 2600 a 2627 [m] y circularon hasta obtener retornos limpios, observaron salir poco recorte en las temblorinas sin ningun derrumbe. Continuaron repasando el intervalo 2600 a 2627 [m] por persisteir la resistencia.

Las condiciones son:

Metros perforados= 89 [m], PSB= 4 a 6 [Ton], Profundidad= 2627 [md], EPM= 194 , Q= 340 [gpm], ROP= $5.56 \left[\frac{\text{m}}{\text{hr}} \right]$, ROP= $10.79 \left[\frac{\text{min}}{\text{m}} \right]$ y $\rho_{\text{lodo}} = 1.15 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cc}} \right]$.

Continuaron perforando de 2627 a 2668 [m] donde tuvieron pérdidas continuas de $0.375 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]$, despues de haber incrementado la densidad del lodo de perforación.

Las condiciones son:

Metros perforados= 41 [m], Profundidad= 2668 [md], ROP= $5.12 \left[\frac{\text{m}}{\text{hr}} \right]$, ROP= $11.72 \left[\frac{\text{min}}{\text{m}} \right]$ y $\rho_{\text{lodo}} = 1.16 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cc}} \right]$.

II.3.8 (29/Enero/2013).

Continuaron perforando de 2668 a 2817, repasaron cada flecha y siguieron observando pérdidas continuas de $0.333 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]$.

El volumen perdido en 24 horas fue de $8 \text{ [m}^3\text{]}$ y el volumen perdido acumulado fue = $38 \text{ [m}^3\text{]}$.

Las condiciones son:

Metros perforados= 149 [m], PSB= 3 a 6 [Ton], Profundidad= 2817 [md], EPM= 183, Q= 323 [gpm], ROP= $6.2 \left[\frac{\text{m}}{\text{hr}} \right]$, ROP= $9.68 \left[\frac{\text{min}}{\text{m}} \right]$, Torque= 78 a 88 [amp] y $\rho_{\text{todo}} = 1.16 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cc}} \right]$.

II.3.9 (30/Enero/2013).

Continuaron perforando 2817 a 2930 donde observaron la pérdida total de fluido de perforación y el atrapamiento de la sarta.

Las condiciones son:

Metros perforados= 113 [m], PSB= 4 a 6 [Ton], Profundidad= 2930 [md], EPM= 193 , Q= 323 [gpm], ROP= $9.41 \left[\frac{\text{m}}{\text{hr}} \right]$, ROP= $6.37 \left[\frac{\text{min}}{\text{m}} \right]$, Torque= 112 a 132 [amp] y $\rho_{\text{todo}} = 1.16 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cc}} \right]$.

II.4 Estado mecánico real.

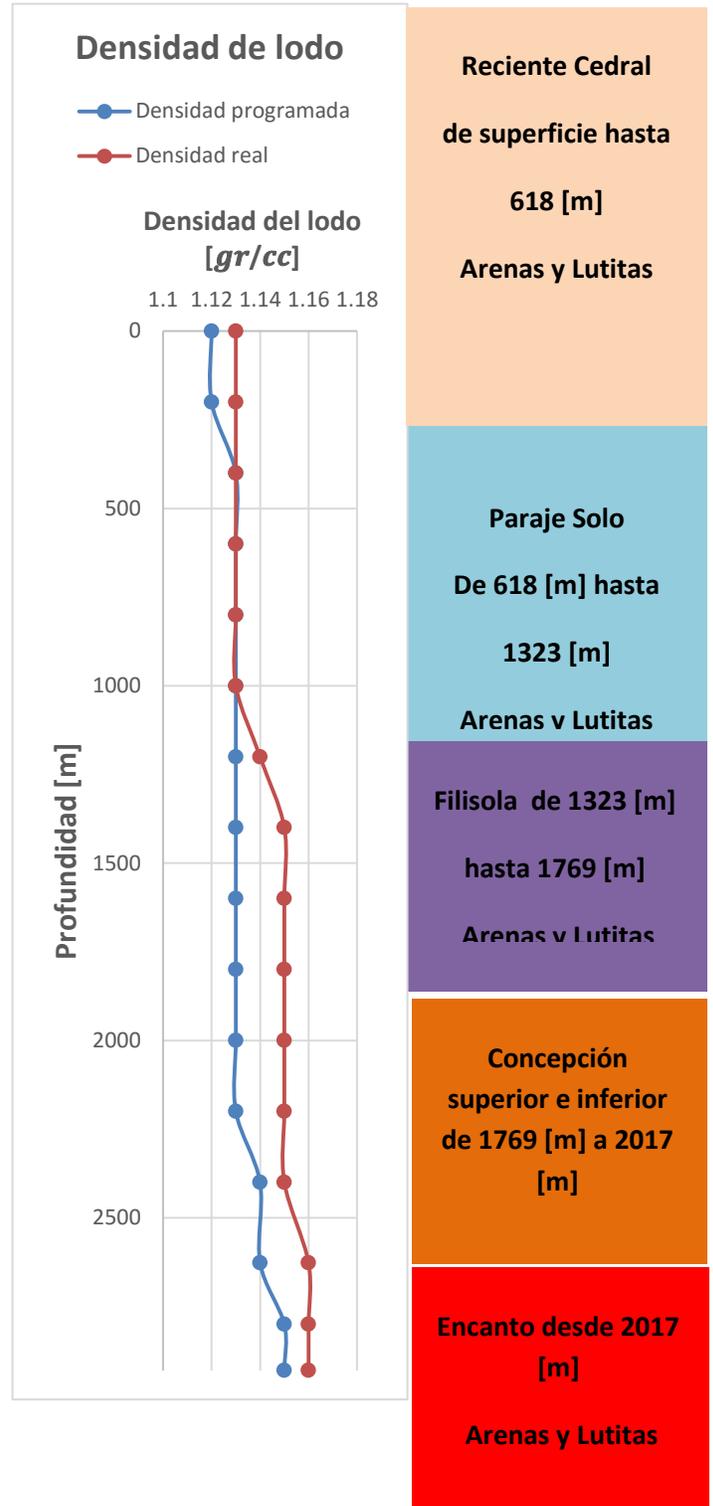
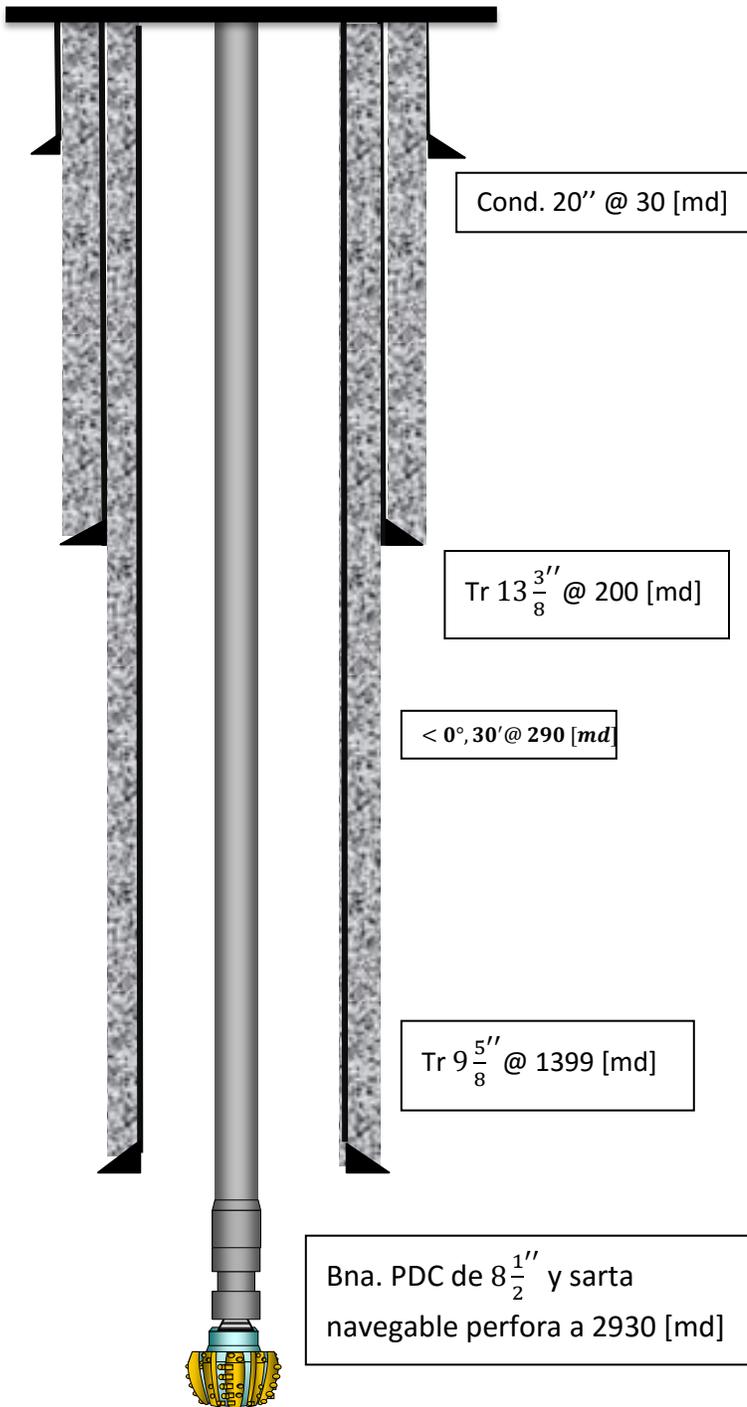


Figura 15. Estado mecánico real. Pozo Rodador 1199

II.5 Tabla de fluidos de perforación.

Tabla 6.Comparación de densidad programada y real

Programada		Real	
Intervalo [md]	Densidad [gr/cc]	Intervalo [md]	Densidad [gr/cc]
0 a 200	1.12	0 a 1200	1.13
200 a 1400	1.12 - 1.13	1200 a 1400	1.14
14000 a 3152	1.13 – 1.15	1400 a 2400	1.15
		2400 a 2930	1.16

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

II.6 Condiciones del pozo rodador 1199

Tabla 7. Condiciones operativas

Barrena	PSB [Ton]	Profundidad [md]	EPM	Q [gpm]	Pbba [PSI]	ROP $\left[\frac{m}{hr}\right]$	ROP $\left[\frac{min}{m}\right]$	Torque [amp]	$\rho_{lodo} \left[\frac{gr}{cc}\right]$	Observaciones
17 ½"	3	20 a 31	80	210		21.93	2.74	50	1.13	Inician las operaciones de perforación
17 ½"	3	31 a 40	80	210		21.93	2.74	50	1.13	Encontró conglomerado
17 ½"	2-3	40 a 65	150	395	215	21.93	2.74	50	1.13	
17 ½"	4-5	65 a 197	201	530	530	33.93	1.77	70	1.13	Se bombea bache antipérdida
12 ¼"	2-3	197 a 416	213	560	1335	54.75	1.09	65	1.13	
12 ¼"	3-5	416 a 762	210	556	1290	38.15	1.57	111	1.13	

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

Barrena	PSB [Ton]	Profundidad [md]	EPM	Q [gpm]	Pbba [PSI]	ROP $\left[\frac{m}{hr}\right]$	ROP $\left[\frac{min}{m}\right]$	Torque [amp]	$\rho_{lodo} \left[\frac{gr}{cc}\right]$	Observaciones
12 ¼"		762 a 800				19	3.16		1.13	Bombeo bache viscoso y bache antipérdida
12 ¼"		800 a 1,399				15.03	3.99		1.14	Se observan arrastres puenteados
8 ½"	2-3	1,399 a 1,405	130	230	1,000	4	15		1.15	Prueba de integridad con DEC= 1.25 [g/cc]
8 ½"		1,405 a 1,556				10.41	5.76		1.15	Recupera muestras de fondo
8 ½"		1,556 a 1,609	190	338	1,135	13.25	4.53		1.15	Pérdida parcial de 4 [m ³]
8 ½"		1,609 a 2,069				9.43 – 12.4	6.36 – 4.83		1.15	
8 ½"	4-5	2,069 a 2,081	192	336	1,303	10.54	5.69	72	1.15	

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

Barrena	PSB [Ton]	Profundidad [md]	EPM	Q [gpm]	Pbba [PSI]	ROP $\left[\frac{m}{hr}\right]$	ROP $\left[\frac{min}{m}\right]$	Torque [amp]	$\rho_{lodo} \left[\frac{gr}{cc}\right]$	Observaciones
8 ½"		2,081 a 2,100	128	225		10.91	5.5		1.15	
8 ½"		2,100 a 2,201	128	225	1,071	10.91	5.5		1.15	Se observa arrastre puentado a 2097 [m] Pérdida parcial de 2 $\left[\frac{m^3}{hr}\right]$ durante la introducción
8 ½"	4-5	2,201 a 2,375	193	338	1,442	8.28	7.25	98 – 104	1.15	Pérdida parcial de 0.428 $\left[\frac{m^3}{hr}\right]$.
8 ½"	4-5	2,375 a 2,538	188	333	1,456	6.79	8.84	109-160	1.15	Pérdida parcial de 0.125 $\left[\frac{m^3}{hr}\right]$.
8 ½"	4-6	2,538 a 2,600		333	1,456			490	1.15	Se observa torque de 490 [lbs/pie]
8 ½"	4-6	2,600 a 2,627	194	340	1,380	5.56	10.79		1.15	Poco recorte en temblorinas.

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

Barrena	PSB [Ton]	Profundidad [md]	EPM	Q [gpm]	Pbba [PSI]	ROP $\left[\frac{m}{hr}\right]$	ROP $\left[\frac{min}{m}\right]$	Torque [amp]	$\rho_{lodo} \left[\frac{gr}{cc}\right]$	Observaciones
8 ½"		2,627 a 2,631							1.16	Por encontrar resistencia de hasta 15 [klbs] incrementa densidad a 1.16 [g/cc]
8 ½"	4-5	2,631 a 2,668	192	336	1,552	5.12	11.72	97-116	1.16	Pérdida parcial de 0.375 $\left[\frac{m^3}{hr}\right]$.
8 ½"	3-6	2,668 a 2,817	183	323	1,460	6.2	9.68	78 – 88	1.16	Pérdida parcial de 0.333 $\left[\frac{m^3}{hr}\right]$.
8 ½"	4-6	2,817 a 2,930	193	323-340	1,727	9.41	6.37	112-132	1.16	Pérdida total de fluido y atrapamiento de sarta.

Capítulo III: ACR y medidas correctivas

III.1 ACR.

Durante la perforación de la etapa de 8 ½", a la profundidad de 2930 m, se observó pérdida total de circulación y atrapamiento repentino de la sarta de perforación.

Trabajó la sarta de perforación, atrapada a 2930 [m], sin circulación, con tensiones de hasta 150 [klbs] arriba de su peso (peso de la sarta 200 [klbs]), sin éxito, ni observar activación del martillo.

Para determinar las causas que originaron el atrapamiento de la sarta del pozo RODADOR 1199, se aplicó la metodología Análisis Causa Raíz, a fin de identificar las causas físicas, humanas y de sistema, que originaron este evento.

III.2 Árbol causa raíz.

A continuación se muestran el desarrollo del Árbol de Causas, que originaron el Atrapamiento de la sarta de perforación con barrena PDC 8 ½" a 2930 [m], en el pozo RODADOR 1199, así como las hipótesis que pudieron ser causales y sus hipótesis subsecuentes.

III.2.1 Árbol lógico general.

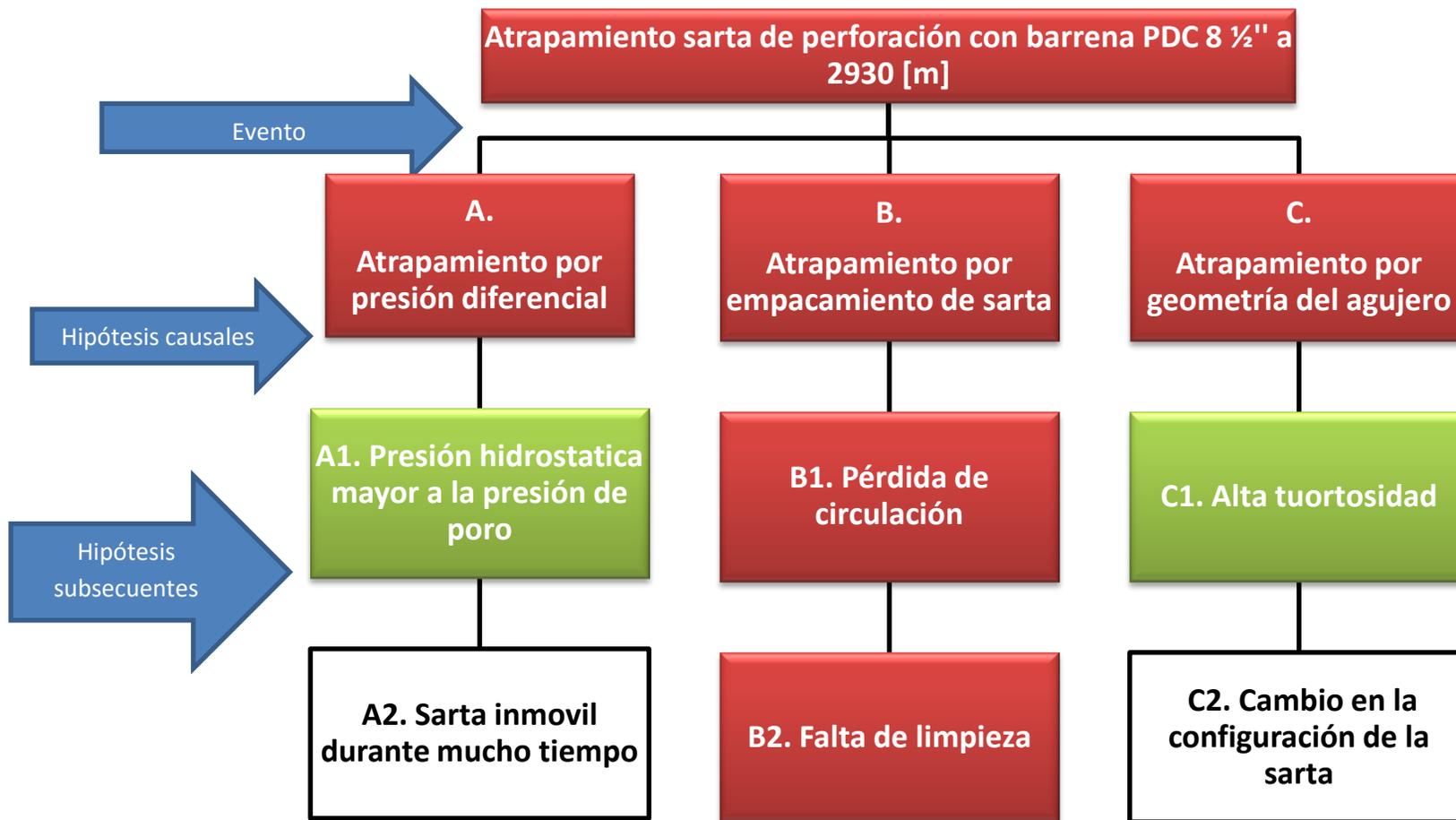


Figura 16. Árbol lógico general

III.2.2 Árbol lógico de hipótesis subsecuentes.

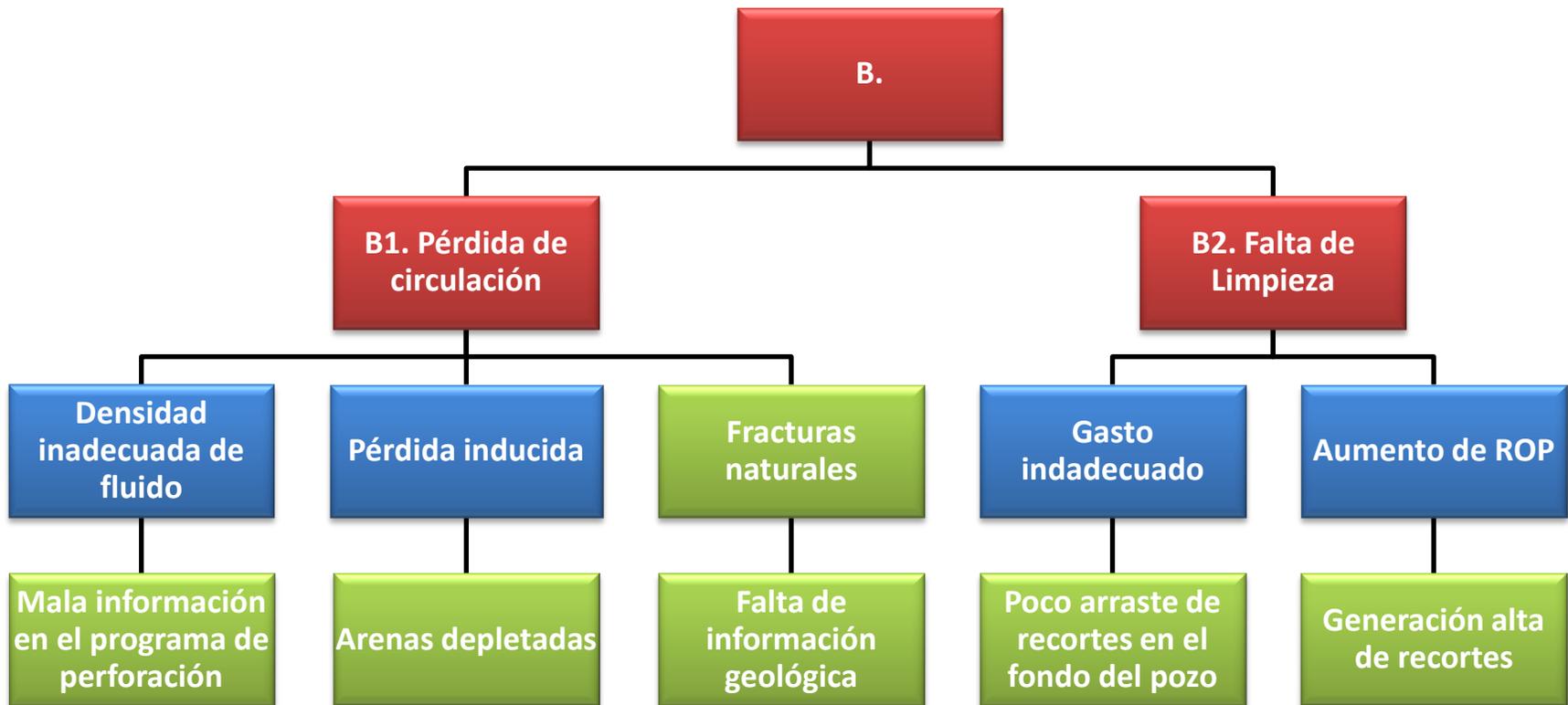


Figura 17. Árbol lógico de hipótesis subsecuentes

III.2.3 Árbol lógico resultante.

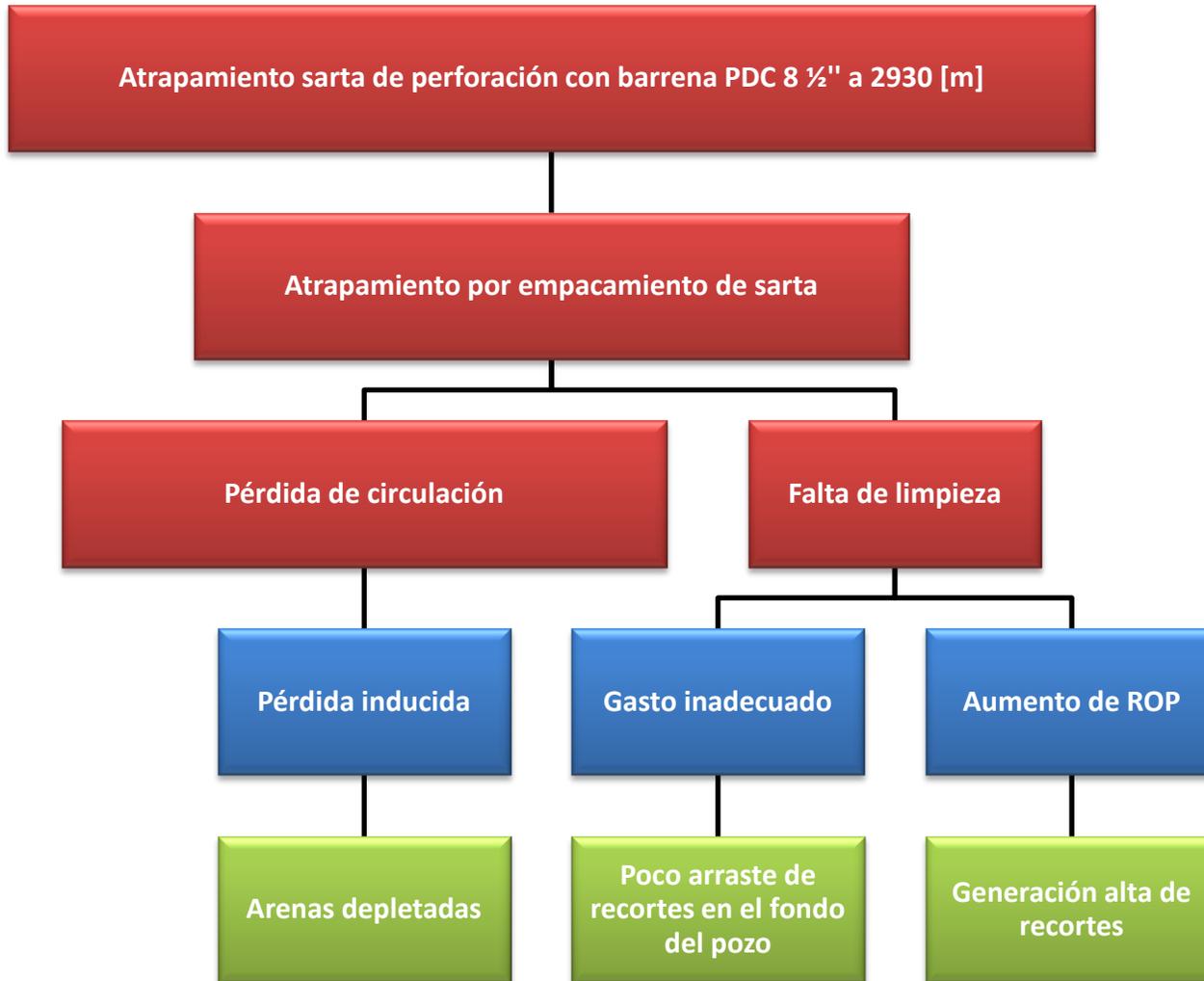


Figura 18. Árbol lógico resultante

III.2.3.1 Causa raíz física



- Atrapamiento sarta de perforación con barrena PDC 8 ½" a 2930 [m].
- Atrapamiento por empacamiento de sarta.
- Pérdida de circulación.
- Falta de limpieza.

III.2.3.2 Causa raíz humana



- Pérdida inducida.
- Gasto inadecuado.
- Aumento de ROP.

III.2.3.3 Causa raíz sistema



- Arenas depletadas.
- Poco arrastre de recortes en el fondo del pozo.
- Generación alta de recortes.

III.3 Comprobación de hipótesis.

Tabla 8. Comprobación de hipótesis

Hipótesis	Resultado	Comentario
1. Atrapamiento por presión diferencial.	Rechazada	La sarta se atrapó al estar perforando, no en conexión o tomando survey.
2. Pérdida de circulación por presencia de arenas depresionadas.	Aceptada	Las nuevas condiciones de presión que presentaban las arenas E-17 y E-18 fueron factor para que al aumentar el gasto con la finalidad de mejorar la limpieza provocara la pérdida del fluido en esa zona.
3. Pérdida de circulación por densidad inadecuada del fluido de control.	Rechazada	La densidad de control de 1.16[g/cc] era una densidad correcta de acuerdo a lo especificado hasta antes de atravesar las arenas E-17 y E-18
4. Pérdida de circulación inducida.	Aceptada	Se tenía un gradiente de fractura diferente al programado, por lo que la formación era más débil y al aumentar el gasto de la bomba se excedió dicho gradiente.
5. Atrapamiento de la sarta por falta de limpieza en el agujero.	Aceptada	Debido al incremento de velocidad de penetración (ROP), la generación de recortes aumento. El gasto de la bomba estaba por debajo del mínimo requerido por lo que no garantizaba la limpieza.

6. Atrapamiento de la sarta por geometría del agujero

Rechazada

La trayectoria se podría considerar casi vertical y sin tortuosidades.

No hubo cambio en la configuración de la sarta.

III.3.1 Evidencias.

III.3.1.1 Pegadura por presión diferencial

La pegadura de la tubería por presión diferencial ocurre después de que las actividades de circulación de fluido y rotación de la sarta de perforación se suspenden, un ejemplo de lo anterior es cuando se realiza una conexión y una porción de la tubería de perforación se introduce en el enjarre debido a que existe una presión diferencial entre los dos elementos anteriores. Esta pegadura se agrava aún más cuando la presión del fluido de perforación es mayor a la presión de formación ($P_L > P_p$)

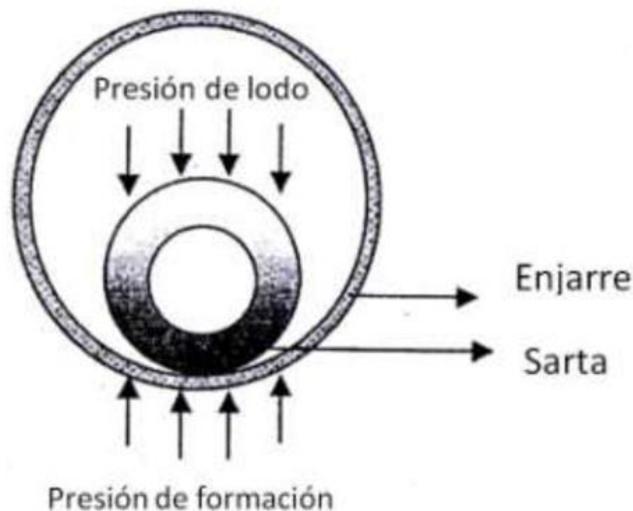


Figura 19. Pegadura por presión diferencial
(Modificado de "Drilling Engineering")

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

La sarta se atrapo después de la pérdida de circulación por lo que no se suspendió la circulación del fluido ni el movimiento de la sarta.

				Pruebas de Formacion		Materiales		
				Prub.Gote	Kg/cm2 a			
				Grad.Form	Kg/cm2/m			
				Grad.Frac	Kg/cm/m2			
P. S-Bna	Tons	Camisas B-1	Epm	Dens.Eq.C	Kg/cm2/m			
Rotaria	RPM	Camisas B-2	Epm					
P. Bomba	Kg/cm2	Gasto	GPM	Sim. Control Brotes				
Torque	Amps	V. Anular	PPM	KOOMEY				
Peso Sart	Tons	BOPS						
Resumen Dia Anterior	CON BNA. 8 1/2 PDC PERFORA A PERFORA A 2817 M.							
Operación	Pozo: RODADOR 1199 (DES)						MOVIMIENTO	10.67
0:00-13:00	(N) CON BNA. PDC DE 8 1/2" Y SARTA NAVEGABLE PERFORA DE 2817 M. A 2930 M., DONDE OB SERVA PERDIDA TOTAL DEL FLUIDO Y ATRAPAMIENTO DE SARTA.						PERFORACION	20.33
13:00-20:00	(P) TRABAJA SARTA SIN CIRCULACION CON 55 KLBS. DEBAJO DE SU PESO Y 150 KLBS. ARRIBA DE SU PESO (PESO DE LA SARTA 200 KLBS) SIN ÉXITO (NO SE OBSERVO TRABAJAR EL MARTILLO) .						Total de Dias	31.00
20:00-21:30	(P) EFECTUO PREPARATIVOS PARA EFECTUAR DESENROSQUE MECÁNICO .							
21:30-22:30	(P) TENSIONO SARTA A 260 KLBS, GIRO 6 VUELTAS A LA DERECHA, COLOCO LLAVE DE FUERZA A GUANTANDO LA TORSION Y TRANSMITIÓ DANDO TORQUE DE 6500 LBS A LA TUBERÍA							
22:30-23:00	(P) TRABAJO SARTA CON TENSION DE 150 KLBS ARRIBA DE SU PESO SIN LIBERAR (NO SE OBSER VA TRABAJAR EL MARTILLO)							
23:00-24:00	(P) TENSIONO SARTA A 290 KLBS, SE PROCEDIÓ A DAR 6 VUELTAS A LA DERECHA, AL COLOCAR LA LLAVE PARA AGUANTAR Y TRANSMITIR LA TORSION, AL QUITAR LAS VUELTAS A LA ROTAR IA Y SOCAR LA LLAVE DE FUERZA, SE REGRESARON BRUSCAMENTE LAS VUELTAS ROMPIÉNDOSE EL CABLE DE DESLIZAMIENTO DE LA LLAVE DE FUERZA LADO DERECHO DEL PERFORADOR ROM PIENDO LA BASE DEL INDICADOR DE PESO, LA MALLA DE PROTECCIÓN DEL PERFORADOR Y GO LPEANDO A UN TRABAJADOR EN LA PIERNA DERECHA. VOLUMEN PERDIDO EN 24 HRS. = 26 M3. VOLUMEN PERDIDO ACUMULADO=64 M3 .						Total de Esperas	0.00
							Comptes. y Eq. Aux	F/S

Figura 20. Reporte SIOP 30 Enero

III.3.1.2 Atrapamiento de sarta por geometría del agujero.

Debido a que el pozo Rodador 1199 se perforó con 6° de inclinación y en la etapa de 8 ½", nunca existió cambio en la configuración de la sarta, se descartó la posibilidad de que el atrapamiento se debiera a estas causas.

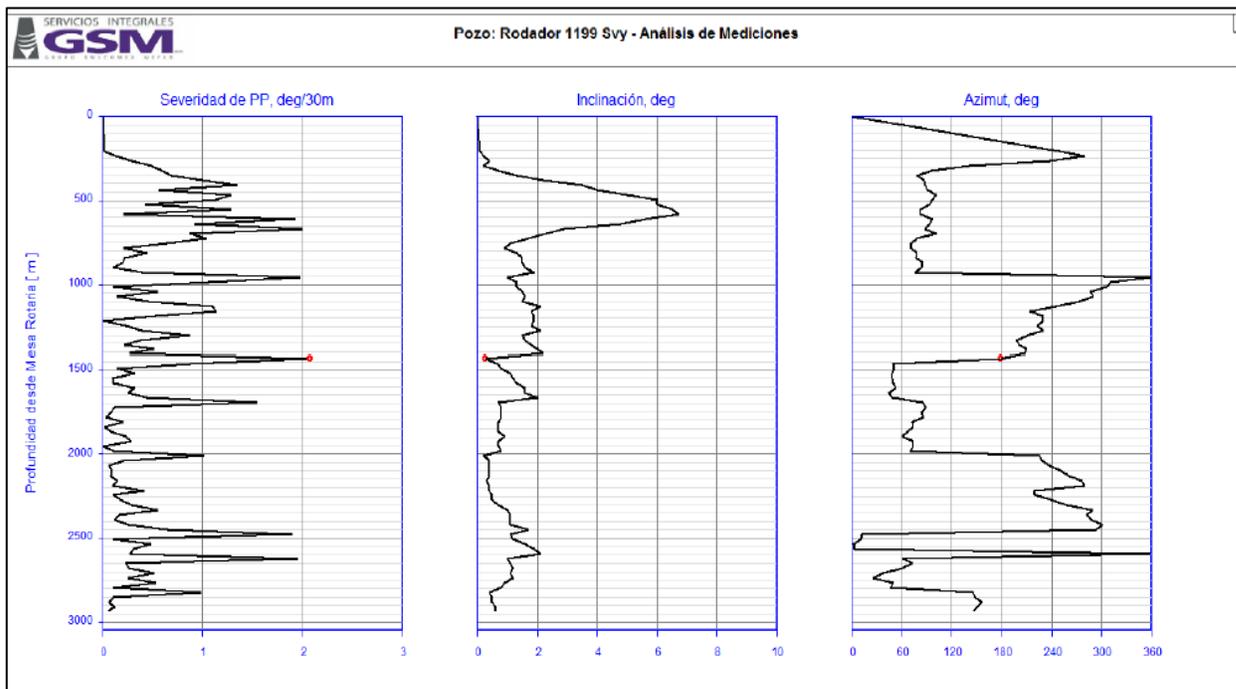


Figura 21. Análisis de mediciones. Pozo Rodador 1199

III.3.1.3 Perforar con densidad del lodo mayor a la requerida.

En ocasiones es muy común que se incremente el valor de densidad, muy por encima de lo necesario. Cuando se presenta esta situación, la presión hidrostática que actúa sobre la zapata de la TR, es cada vez mayor, pudiendo llegar a fracturar la zapata e inducir una pérdida de circulación. Para este caso en particular, en el pozo Rodador 1199, después de haber asentado la zapata de 9 5/8" a 1400 [m], se perforó hasta 1405 [m], efectuó la prueba de

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

integridad a la formación, observando que la zapata aguantó una densidad equivalente de $1.25 \left[\frac{g}{cc} \right]$, se continuó perforando con la densidad programada de $1.15 \left[\frac{g}{cc} \right]$, que debería haberse mantenido constante, sin embargo, al perforar con barrena PDC de 8 ½" a 2627 [m], se observaron resistencias de hasta 15 [klbs], lo que obligó a repasar, en repetidas ocasiones, el intervalo 2600- 2627 [m], circulando el pozo y observando salir poco recorte, sin observar derrumbe. Continuó perforando hasta 2631 [m], persistiendo dicha resistencia, lo cual obligó a incrementar el lodo de control de $1.15 \left[\frac{g}{cc} \right]$ a $1.16 \left[\frac{g}{cc} \right]$, logrando vencer la resistencia presentada y permitiendo continuar la perforación, sin problemas.

				Pruebas de Formacion		Materiales		
				Prub.Gote	Kg/cm2 a			
				Grad.Form	Kg/cm2/m			
				Grad.Frac	Kg/cm/m2			
				Dens.Eq.C	Kg/cm2/m			
P. S-Bna	Tons	Camisas B-1	Epm					
Rotaria	RPM	Camisas B-2	Epm					
P. Bomba	Kg/cm2	Gasto	GPM	Sim. Control Brotes				
Torque	Amps	V. Anular	PPM	KOOMEY				
Peso Sart	Tons	BOPS						
Resumen Dia Anterior	CON BNA. 8 1/2 PDC Y SARTA NAVEGABLE PERFORA DE 2375 A 2538 M.							
Operación	Pozo: RODADOR 1199 (DES)						MOVIMIENTO	10.67
0:00-1:30	(N) CON BNA. A 2538 M. CIRCULO TIEMPO DE ATRASO HASTA OBSERVAR RETORNOS LIMPIOS, CON MOVIMIENTOS DE SARTA						PERFORACION	18.33
1:30-11:30	(N) CON BNA. PDC DE 8 1/2" Y SARTA NAVEGABLE PERFORA DE 2538 M. A 2627 M., REPASAND O CADA FLECHA PERFORADA, DONDE OBSERVA TORQUE DE 490 LBS/PIE, REGRESANDO LAS VUE LTAS DE GOLPE SIN PODER FRENAR LA ROTARIA, ENROLLÁNDOSE LA MANGUERA EN LA FLECHA, REALIZO MANIOBRAS Y DESENLLO MANGUERA BIEN						Total de Dias	29.00
11:30-12:30	(N) INTENTO BAJAR A CONTINUAR PERFORANDO SIN EXITO POR ENCONTRAR RESISTENCIA DE HASTA A 15 KLBS. (SARTA HACIA ARRIBA LIBRE) ELIMINO 2 TRAMOS POR RESISTENCIA EN INTERVALO 2600-2627.							
12:30-14:00	(N) CIRCULO LIMPIANDO AGUJERO HASTA RETORNOS LIMPIOS, OBSERVA SALIR EN TEMBLORINAS P OCO RECORTE SIN OBSERVAR DERRUMBE						Total de Esperas	0.00
14:00-16:00	(N) REPASA INTERVALO 2600-2627 M. EN REPETIDAS OCASIONES POR PERSISTIR LA RESISTENCIA A PSB=4-6 TON RPM=70+125 EPM=194 Q=340 PB=1380 PSI							
16:00-18:00	(N) PERFORA DE 2627 A 2631 M. (PROBO MOTOR DE FONDO SIN ROTARIA, CARGO PESO DE 14 KL BS PDFIF. 770 PSI Y TORQUEO, BIEN) INCREMENTA DENSIDAD AL LODO DE 1.15 A 1.16 GR /CC.							
18:00-24:00	(N) PERFORA DE 2631 A 2668 M. RECUPERANDO MUESTRA DE CANAL CADA 5 MTS. (OBSERVA PERD IDA PARCIAL DE .375 M3/HRA)							
Compntes. y Eq. Aux							F/S	

Figura 22. Reporte SIOP 28 Enero

III.3.1.4 Perdida de circulación por arenas depletadas.

De acuerdo con el objetivo del pozo Rodador 1199: “Acondicionar como inyector de agua en el proyecto de Recuperación Secundaria las arenas EN-17; EN-18 y EN-21”, se planteó una trayectoria paralela al Rodador 199, como se puede observar en las figuras, obteniendo una separación mínima de 17.87 [m] de +/- 2000 [m] hasta 3154 [m].

Tabla 9. Distancia mínima

Pozo	Profundidad (md)	Distancia Mínima (md)
Rodador 519	510	12.00
Rodador 199	3000	17.87

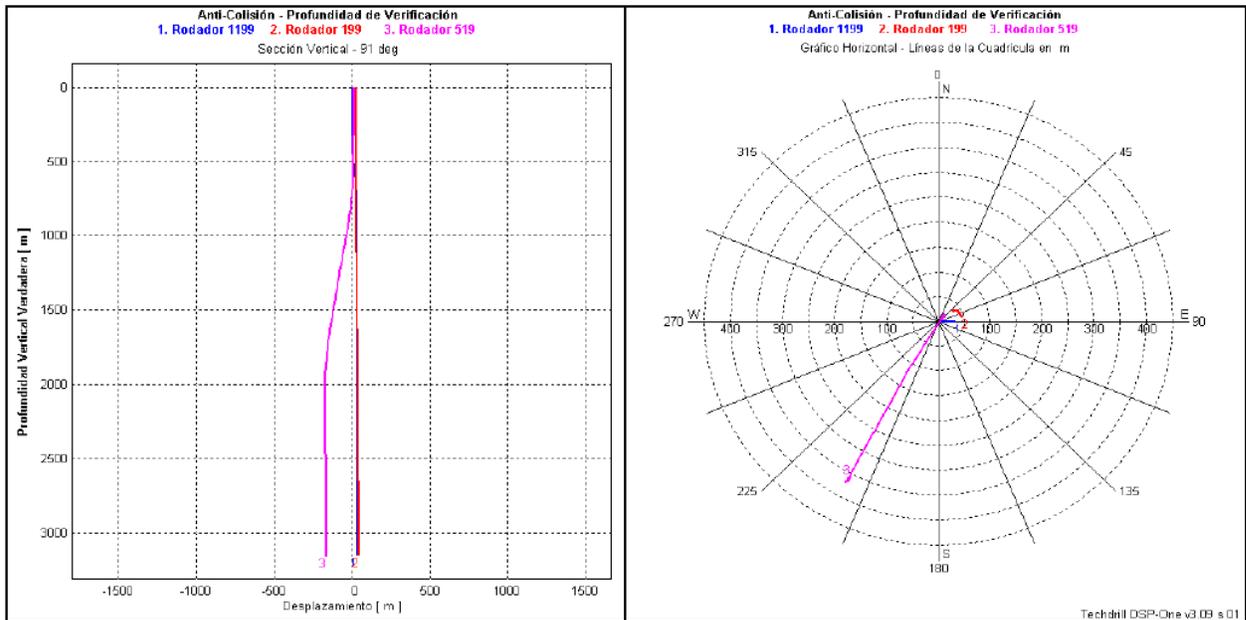


Figura 23. Análisis anti - colisión

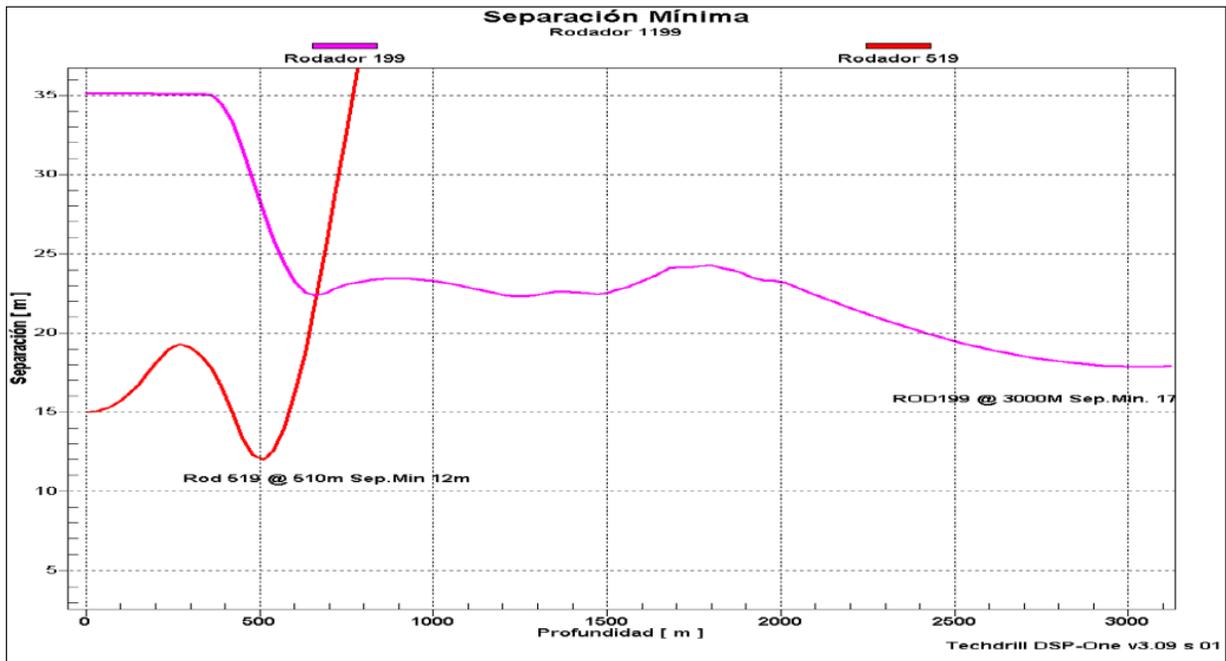


Figura 24. Separación mínima Rodador 519 y Rodador 199

Con base en la información disponible del Rodador 199, que fue perforado del 31 de septiembre al 22 de octubre de 1979, se sabe que: perforó a 24 [m], metió y cementó conductor TR 20" a 24 [m], continuó perforando hasta 205 [m] con densidad de $1.14 \left[\frac{g}{cc} \right]$ metió y cementó TR 13 3/8" J-55 de 54.5 $\left[\frac{lb}{pie} \right]$ a 204 [m]. Perforó hasta 1605 [m] con densidad de $1.25 \left[\frac{g}{cc} \right]$ y tomó registro de Inducción de 1602 a 203 [m]. Metió y cementó TR 9 5/8" combinada a 1604 [m] (J-55 de 36 $\left[\frac{lb}{pie} \right]$ de 0 a 1214.81[m] y J-55 de 40 $\left[\frac{lb}{pie} \right]$ de 1214.81 a 1604 [m]), continuó perforando hasta 3540 [m] (PT) con densidad de $1.31 \left[\frac{g}{cc} \right]$, tomó los siguientes registros: Inducción de 3526 a 1600 [m], Microproximidad y Radiactivo de 3525.5 a 2250 [m] y Sónico de Porosidad 3494 a 2250 [m]. Metió y cementó TR 6 5/8" combinada a 3186

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

[m] (N-80 de 32 $\left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}}\right]$ de 0 a 23 [m], N-80 de 28 $\left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}}\right]$ de 23 a 1616 [m] y N-80 de 32 $\left[\frac{\text{lb}}{\text{pie}}\right]$ de 1616 a 3186 [m]). Debido a la cercanía del pozo Rodador 199, y tomando en cuenta la información de los pozos de correlación, se consideró el siguiente perfil de densidades:

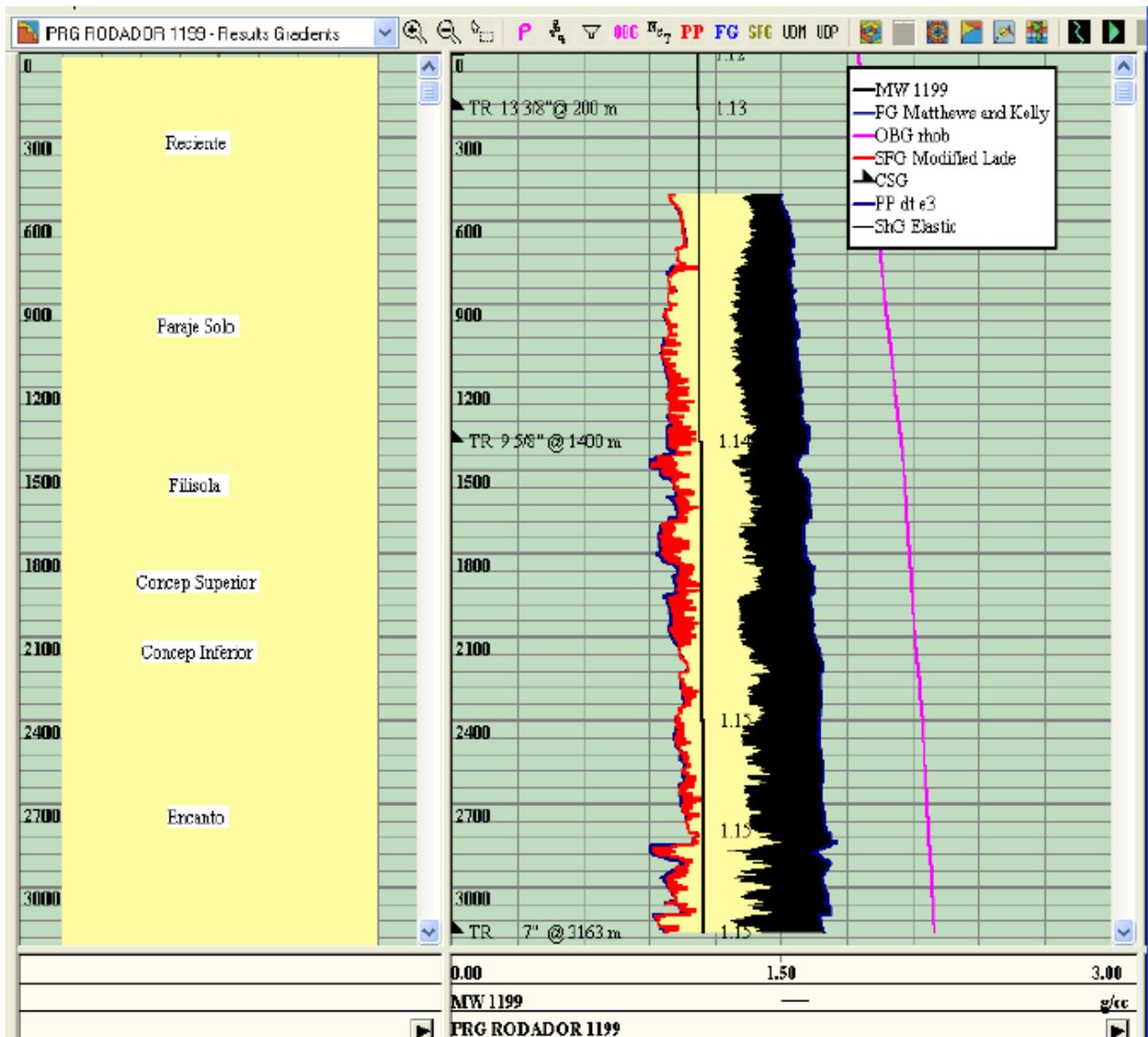


Figura 25. Perfil de geopresiones. Pozo Rodador 911

Al correlacionar el registro del pozo Rodador 199, se pudo observar que se habían atravesado ya en ese momento las arenas E-17A y parte de la E-18. Estas arenas han sido a lo largo de muchos años explotadas, y no se cuenta con información actual de presiones de yacimiento.

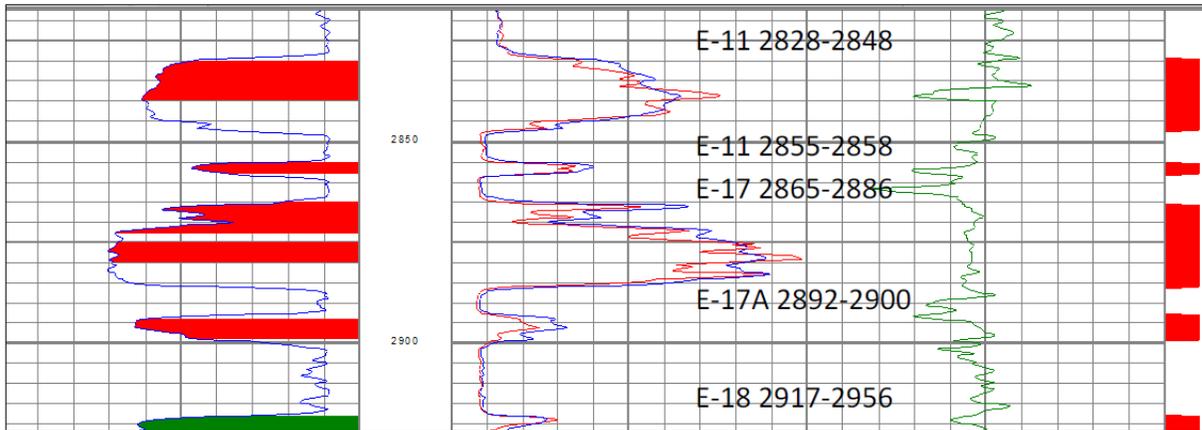


Figura 26. Registro Arenas E-17A y E-18

III.3.1.5 Atrapamiento por falta de limpieza.

El atrapamiento de la sarta está relacionado con los sólidos de la formación asentados alrededor de la misma y con el puenteo, si los recortes no son retirados del pozo, se acumularán en este causando atrapamiento. El grado de dificultad, para limpiar el agujero, aumenta con el ángulo de inclinación. En los pozos direccionales los recortes tienden a formar acumulaciones o montículos en el lecho bajo del agujero que eventualmente podrían atrapar la sarta.

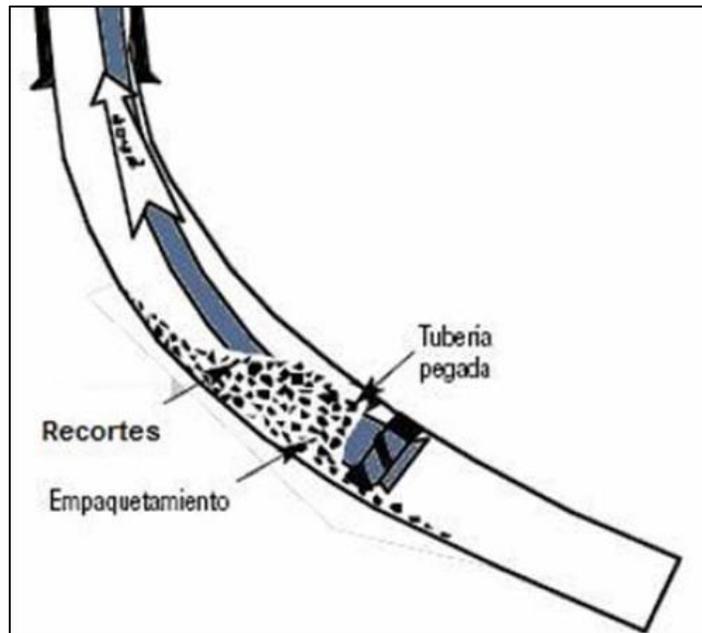


Figura 27. Empaquetamiento por falta de limpieza

Una causa de que se genere gran cantidad de recortes en el pozo es aumentar la velocidad de penetración (ROP) con respecto a la velocidad de circulación. Esto genera más recortes de los que pueden ser circulados por el espacio anular.

El avance el día anterior a la pérdida fue de 149 [m] en 24 horas con una velocidad de penetración de $6.2 \left[\frac{m}{hr} \right]$.

REPORTE DIARIO DE OPERACIONES 29/01/2013 Proyecto PIN-PTE ACTIVO DE PRODUCCION CINCO PRESID									
Equipo: 649 Pozo: RODADOR 1199 (DES)			Prof. Prog. 3152/ 3148.26Días Prog: 69		Conductor T. Agua:		Esp. 9.00 Prox. Mov: PENDIENTE		Actividad: PER Inicio: 10/01/201
Profund	Desarr.	Vertical	Barrenas	Actual	Anterior	Herramienta	Cant.	Long.	Obs.
00:00	2668	2665	Marca	SDBC		COMBINACION ROSCAS	1	.99	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P
24:00	2817	2814	Serie	12011705		T. PESADA 4 1/2" S-135 42 LB/PIE	8	73	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P
05:00	2817	2814	Diametro	8 1/2-8 1/2		COMB. 6 1/2" 5XH (P)- 4IF (C)	1	1.24	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P
Ava/Ind	149 /145.71		Tipo	M123		MARTILLO	1	6.86	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P
Ult.Cont			Toberas	18-18-18-18-18-18-18-18		COMB. 6 1/2" 5XH (P)- 4IF (C)	1	.78	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P
Prox.Co						T. PESADA 4 1/2" S-135 42 LB/PIE	6	55.4	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P
Litologi			m /hr op	/		COMB. 6 1/2" 5XH (P)- 4IF (C)	1	.85	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P
			Prom x m						
			3 UIt. Mts.						
			Costo x m						
			Amp. Inic.						
			Des. IADC		PDC-----				

Figura 28. Reporte SIOP 29 Enero

Análisis causa raíz del pozo Rodador 1199

REPORTE DIARIO DE OPERACIONES										29/01/2013		Proyecto PIN-PTE		ACTIVO DE PRODUCCION CINCO PRESIDENTES	
Equipo: 649 Pozo: RODADOR 1199 (DES)				Conductor		Esp. 9.00		Actividad: PER		Inicio: 10/01/2013					
Objetivo: Prof. Prog. 3152/ 3148.26Dias Prog: 69				T. Agua:		Prox. Mov: PENDIENTE									
Profund	Desarr.	Vertical	Barrenas	Actual	Anterior	Herramienta	Cant.	Long.	Obs.						
00:00	2668	2665	Marca	SDBC		COMBINACION ROSCAS	1	.99	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P						
24:00	2817	2814	Serie	12011705		T. PESADA 4 1/2" S-135 42 LB/PIE	8	73	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P						
05:00	2817	2814	Diametro	8 1/2-8 1/2		COMB. 6 1/2" 5XH (P)- 4IF (C)	1	1.24	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P						
Ava/Ind	149 /145.71		Tipo	M123		MARTILLO	1	6.86	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P						
Ult.Co			Toberas	18-18-18-18-18-18-18-18-		COMB. 6 1/2" 5XH (P)- 4IF (C)	1	.78	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P						
Prox.Co						T. PESADA 4 1/2" S-135 42 LB/PIE	6	55.4	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P						
Litologi			m /hr op	/		COMB. 6 1/2" 5XH (P)- 4IF (C)	1	.85	PERFORAR CON BNA 8 1/2" P						
			Prom x m												
			3 Ult. Mts.												
			Costo x m												
			Amp. Inic.												
			Des. IADC	PDC											
Ult. TR	9 5/8	1399-	Nucleos R	Int. Prog	Int. Disp	Ult. Reg.									
Prox.T	9 5/8	1399-FLI				Desv'n	PID/Prof	Desp. Ho	Prof. Vert	Ang.	Rumbo				
B.L	5"-2626					Prog->	0 / 3151	30	3150	0° 0'	SE 89° 0'				
Emp.						Real->	2907	31.23	2905.22	0° 36'	SE 29°90'				
C2	COLGADOR 7" a						2879	31.14	2877.22	0° 30'	SE 24°40'				
							2850	31.06	2848.23	0° 30'	SE 32°0'				
Lodo						Pruebas de Formacion			Materiales						
						Prub.Gote	Kg/cm2 a								
						Grad.Form	Kg/cm2/m								
						Grad.Frac	Kg/cm/m2								
						Dens.Eq.C	Kg/cm2/m								
P. S-Bna	Tons	Camisas B-1			Epm										
Rotaria	RPM	Camisas B-2			Epm										
P. Bomba	Kg/cm2	Gasto			GPM										
Torque	Amps	V. Anular			PPM	Sim. Control Brotes									
Peso Sart	Tons	BOPS			KOOMEY										
Resumen Dia Anterior	CON BNA. 8 1/2 PDC PERFORA A 2627 M, REPASA INTERVALO DE 2600-2627 M. E INCREMENTA DENSIDAD Y PERFORA A 2668														
Operación	Pozo: RODADOR 1199 (DES)								MOVIMIENTO	10.67					
0:00-24:00	(N) CON BNA. PDC DE 8 1/2" Y SARTA NAVEGABLE PERFORA DE 2668 M. A 2817 M., REPASANDO CADA FLECHA PERFORADA Y RECUPERANDO MUESTRA DE CANAL CADA 5 MTS. (OBSERVA PER DIDA PARCIAL DE 0.333 M3/HRA). MTS DESL= 43, HRS DESL= 12.06, ULT. 3= 23-20-28, MTS ROT= 1375, HRS ROT= 67.34, ULT. 3= 7-7-6, PSB= 3-6 TON, RPM= 90+ 119, GPM= 323, EPM= 183, PBBA= 1460 PSI, TORQUE= 78-88 AMP. VOLUMEN PERDIDO EN 24 HRS.= 8 M3. VOLUMEN PERDIDO ACUMULADO=38 M3								PERFORACION	19.33					
									Total de Dias	30.00					

Figura 30. Reporte SIOF 29 Enero (Gasto)

III.4 Medidas correctivas:

Cabe mencionar que solo se mencionan las operaciones importantes en la medida correctiva implementada, no se hace mención del procedimiento de calibración de las herramientas sin embargo se tiene registro de cada una de ellas.

III.4.1 (31 enero 2013).

Se efectuó desconexión mecánica con 12 vueltas a la derecha, eliminó flecha y recupero 204 [m] de TP (6 ligadas y 2 tramos), dejando BP a 214.49 [m].

[01/febrero/2013] Bajó TP 4 ½" y conectó a BP, armo pescante "bull dog" con el cual se recuperara al 100 % la varilla del MWD.

III.4.2 (02 febrero 2013).

Tomó registro de punto libre donde se observó 100 % libre a 1200 [m], se armó herramienta de corte severing tool y con sarta tensionada, disparó a 1500 [m] para efectuar desconexión. Trabajó sarta con tensión en repetidas ocasiones, sin éxito.

III.4.3 (03 febrero 2013).

Armó herramienta cortadora RCT, tomando punto libre ahora observo libre al 100 % a 1400 [m], bajó y posicionó a 1400 [m], efectuó disparo a TP sin observar movimiento de sarta, saco herramienta a superficie observando cortador detonado al 100 %, trabajó sarta con tensión, hasta observar desconexión de la misma, recuperó TP de 4 ½" G-105 de 1400 [m] en superficie. Longitud del pez= 1530 [m], boca del pez= 1400 [m], el pez consiste en BNA PDC 8 ½" + motor de fondo + estabilizador + orientador de fondo + DC antimagnetico + COMB. + 4 WH + 6 HW + COMB. + Martillo + COMB. + 8 HW + 1342 [m] de TP de 4 ½" .

III.4.4 (04 febrero 2013).

Con TP de 4 ½", bajó retenedor de cemento PCR a la profundidad de 1380 [m], ancló mismo con 12 vueltas a la derecha, verificó anclaje y probó hermeticidad con 1000 [psi], satisfactoriamente. Sacó TP a superficie, bajó stinger a 1380 [m], intentó enchufar al retenedor, observando deslizamiento

del retenedor de 1380 a 1394.4 [m], observando comunicación franca por TP. Levantó stinger a 1391 [m] y circuló pozo.

III.4.5 (05 febrero 2013 a 06 febrero 2013).

Con stinger a 1391 [m], colocó tapón de cemento por circulación con 10 [bls] de bache lavador de 1.00 + 45 [bls] de lechada de cemento de $1.90 \left[\frac{g}{cc} \right]$ + 2 [bls] de bache lavador de $1.00 \left[\frac{g}{cc} \right]$, desplazando con 37 [bls] de emulsión inversa de $1.13 \left[\frac{g}{cc} \right]$. Sacó stinger a superficie, dejando cima teórica a 1214 [m]. Esperó fraguado.

III.4.6 (07 febrero 2013).

Bajó barrena tricónica de 8 ½" con sarta lisa hasta 1317 [m], donde reconoció cima de cemento, con 10 toneladas, continuó rebajando y afinando tapón de cemento de buena consistencia hasta 1337 [m], donde probó consistencia con 10 toneladas, satisfactoriamente, circuló y sacó barrena hasta superficie.

III.4.7 (08 febrero a 11 febrero 2013).

Tomo registro CCL, para verificar zona de anclaje, conecto cuchara desviado y con molino slider de 8 ¾", bajo a la profundidad de 1337 [m], oriento cuchara (con cinco corridas de herramienta giroscópica) y ancló misma con 18 [ton] de peso.

III.4.8 (12 febrero 2013).

Con molino slider de 8 ¾", abrió ventana en TR de 9 5/8", desde 1331 a 1336 [m]. Suspendió por falta de avance, sacó a superficie y bajó nuevo molino slider de 8 ¾", con watermelon de 8 ½". Continuo abriendo y conformando

ventana de 1336 a 1340 [m], observando perforación de formación al 100 %.
Circuló baches de limpieza y sacó molino a superficie

III.4.9 (13 febrero 2013 a 15 febrero 2013).

Bajó barrena PDC de 8 ½" con sarta direccional y continuó perforando, construyendo side track desde 1340 hasta 2130 [m], con densidad de 1.13 $\left[\frac{g}{cc}\right]$, sin problemas.

III.4.10 (16 febrero 2103).

Aumentan la densidad de 1.13 a 1.15 $\left[\frac{g}{cc}\right]$ y continúan perforando de 2130 a 2767 [m] sin problemas.

III.4.11 (01 marzo 2013 a 23 marzo 2013).

Operaciones suspendidas por camino de acceso al campo rodador bloqueado originado por problemática de reclamos en el pozo Santa Ana 670, obstruyendo el acceso al campo rodador, a la altura de la comunidad de villa Benito Juárez.

III.4.12 (24 marzo 2013 a 03 abril 2013).

Alcanzar la profundidad programada 2961 [m] y terminar con Liner de 5".

Capítulo IV: Medidas preventivas.

En muchos casos, aunque se disponga de los mejores equipos, herramientas, materiales, tecnología y personal capacitado durante la perforación del pozo, pueden presentarse una serie de problemas que en algunos casos pueden ser difíciles de resolver y además ocasionan altos costos. Estos problemas están asociados con la formación, las condiciones operacionales y los problemas mecánicos en el pozo que puedan impedir que las operaciones de perforación continúen.

Es casi seguro que tendremos algunos problemas que ocurrirán durante la perforación de pozos, inclusive si somos muy cuidadosos en la planeación, en una buena planeación la clave para lograr objetivos exitosos, es diseñar la perforación con programas basados en la anticipación de los problemas potenciales más que tener precaución y contingencia de cuando estos suceden.

Estos problemas pueden ser muy costosos, de manera que tratar de prevenir estos problemas con algunos indicadores (parámetros de perforación) durante la perforación puede ser crucial para los tiempos de operación y la rentabilidad del pozo.

El control apropiado para prevenir la pérdida de circulación incluye mantener el pozo lleno para prevenir un influjo.

Generalmente, las pérdidas pueden ser corregidas añadiendo materiales especiales para pérdida de circulación al fluido de perforación, ya que los sólidos que contienen dichos materiales son más grandes que los usados en los fluidos de perforación convencionales, es por ello que sellan las zonas de pérdida. Pueden ser fibrosos, granulares o escamas.

Tabla 10. Materiales anti-perdida

FIBROSOS MATERIALES NO RIGIDOS	GRANULARES MATERIALES RIGIDOS	ESCAMAS
<ul style="list-style-type: none"> • Caña de azúcar • Semilla de algodón • Fibras orgánicas • Madera fragmentada • Fibras vegetales • Papel cortado • Mazorca de maíz • Fibras de madera 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de nuez • Carbonato de calcio • Sal • Goma granulada • Mármol molido • Perlita expandida • Gilsonita 	<ul style="list-style-type: none"> • Mica • Celofán • Plástico • Madera • Papel

Cuando ocurren pérdidas parciales la barrena debe ser extraída de la zona de pérdida si esta ocurrió en el fondo, el agujero se debe mantener lleno con un fluido de perforación de baja densidad para permitir su asentamiento entre 4 y 8 horas. Luego la barrena se debe llevar nuevamente hacia el fondo del pozo cuidadosamente. Si aun así no se logra nuevamente la circulación del fluido de perforación se debe colocar una píldora o fluido viscoso en el

sistema de circulación. Si el fluido de perforación es un fluido de perforación base aceite se recomienda colocar una arcilla organofílica en agua.

Las pérdidas totales por su parte requieren un fluido o baches de perforación especial para altas pérdidas o un tapón de cemento para sellar la zona.

Otras medidas preventivas son minimizar las presiones de fondo evitando los aumentos bruscos de presión que rebasen el gradiente de fractura o interrumpiendo la circulación del fluido de perforación por varios intervalos de tiempo durante los viajes de tubería.

Se puede presentar al reiniciar el bombeo (romper circulación) cuando se paran las bombas puesto que con ello se generan grandes presiones. Considerando lo anterior se enumeran una serie de medidas preventivas que podrían evitar la pérdida de circulación.

- Considerar las zonas de pérdida en el programa de perforación.
- Preparar material LCM en caso de atravesar zonas ladronas.
- Bombear material antipérdida.
- Conocer el gradiente de fractura en la zona más débil debajo del revestidor.
- Realizar la prueba de integridad de 10 a 20 [pies].
- Optimizar los parámetros hidráulicos.
- Utilizar lodo de perforación que apenas exceda la presión de formación.

- Mantener las propiedades reológicas del lodo bajas (punto cedente y esfuerzo gel).
- Romper geles y evitar excesiva presión contra la formación.
- Adecuar la densidad del lodo.
- Evitar el incremento de DEC.
- Operar con gasto óptimo.
- Circular antes de cada conexión.
- Reiniciar circulación con baja presión de bomba.
- Tener velocidades anulares adecuadas.
- Durante viaje de tubería romper circulación lentamente.
- Controlar la tasa de penetración (minimizarla).
- Evitar embolamiento que pueda bloquear espacio anular.
- Perforar con el mínimo sobre balance.
- Calcular valores de velocidad máxima de sarta y revestidores.

IV.1 Indicadores clave en la perforación del pozo Rodador 1199

Al haber realizado el ACR del pozo rodador 1199, encontramos indicadores que de haberlos tomado en cuenta, creemos que se pudieran haber evitado algunos problemas.

A continuación se muestra los indicadores y los parámetros que están relacionados a la solución de haber modificado o monitoreado de manera correcta.

IV.1.1 Puenteo y arrastre

Ocasionado por el inadecuado desplazamiento de recorte a través del espacio anular, los parámetros que se podrían modificar para prevenir este problema son:

Tabla 11. Parámetros para puenteo y arrastre

Fluido de control	Es un indicador de que no tenemos la viscosidad adecuada y los recortes se quedan en el trayecto del fondo del pozo a la superficie es decir la recuperación de recorte en superficie es pobre.
ROP	Es un indicador que tenemos un gasto bajo, provoca que los recortes se vayan quedando en la trayectoria del fondo del pozo a la superficie. Estamos “remoliendo” el recorte.

IV.1.2 Perdidas parciales y/o continuas.

Ocasionado por perder el control de la densidad de perforación adecuada hacia la formación o zonas ladronas causando la pérdida parcial o total del fluido, el parámetro que se podrían modificar para prevenir el problema y los datos que se deben analizar y prever su comportamiento relacionados a este problema son:

Tabla 12. Parámetros para perdidas parciales y/o continuas

Fluido de control	Tenemos que hacer un correcto análisis de lo que necesita la formación en que se esté perforando, ya que de ser necesario se adicionan materiales antipérdida o fluidos compatibles para que la formación no se hidrate o pueda admitir demasiado fluido hacia la formación.
Litología	Las predicciones más importantes se pudieron hacer en este caso con los pozos de correlación, ya que se tenía mucha información de la zona, por eso es un indicador de que debemos analizar el programa de perforación para corroborar las decisiones que se hacen en operación.
Gradiente de fractura	Tenemos que tener un correcto análisis de la densidad de nuestro fluido de control, ya que a pesar de que la densidad este en el rango de la ventana operativa, la DEC puede que esté por encima del gradiente de fractura y esto puede provocar a inducir el pozo.

IV.1.3 Altos valores de torque.

Ocasionado por el atrapamiento de la sarta de perforación o derivado de una mala limpieza, densidad y geometría del pozo; prevenir este comportamiento deriva en los siguientes indicadores:

Tabla 13. Parámetros para altos valores de torque

Fluido de control y gasto.	<p>Tener un óptimo gasto y fluido de control ayuda a prevenir que se atrape la tubería, teniendo una buena limpieza del pozo.</p> <p>El tener altos valores de torque es un indicador de que la sarta de perforación se está atrapando y este puede ser ocasionado por los recortes que se quedan en el espacio anular.</p>
Litología	<p>El tener una buena selección de la herramienta que sea compatible con las formaciones puede prevenir problemas durante la perforación.</p> <p>Puede ser un indicador que no tenemos la herramienta necesaria para la formación que estamos perforando.</p>
Geometría del agujero	<p>Debemos considerar las desviaciones (ojos de llave y patas de perro) y construcción del pozo, para el arrastre y/o atrapamiento.</p>

IV.1.4 Poco recorte en superficie.

Ocasionado por la mala limpieza del pozo, los indicadores de poco recorte en superficie que podemos modificar para evitar problemas durante la perforación son:

Tabla 14. Parámetros para poco recorte en superficie

<p>Fluido de control y gasto.</p>	<p>Tener un óptimo gasto y fluido de control permite el buen control de sólidos del fondo hasta la superficie. El tener poco recorte en la superficie es un indicador de que el gasto no es suficiente o el fluido de control no tiene las propiedades necesarias para suspender y transportar los recortes.</p>
<p>ROP</p>	<p>Debemos llevar un ritmo de penetración de acuerdo a la capacidad de limpieza que tengamos, no podemos modificar este parámetro solo porque se puede perforar más rápido. Debemos de mantener la cantidad de recortes en superficie de acuerdo al ritmo de penetración de ser poco recorte tenemos que analizar si es por alguna limpieza previa o por una falla en el sistema de limpieza del pozo.</p>

IV.2 Lista de verificación.

Al analizar los problemas que tuvieron durante la perforación del pozo Rodador 1199 decidimos hacer un lista de verificación o “Check list” de los indicadores clave que debemos revisar al llegar a alguna operación similar, con esto pretendemos tener una ayuda en operaciones reales y evitar algunos problemas. Sabemos que las condiciones de operación se encuentran en el Sistema Integral de Información de Perforación y Mantenimiento a Pozos (SIIPMP), pero al hacer la investigación de este trabajo nos encontramos con que los reportes les hacía falta muchos datos y nuestro objetivo es poder detectar el problema antes de que suceda y para ello se muestra a continuación una lista de verificación, en la cual se busca identificar rápidamente y de manera práctica los problemas operacionales relacionados a la pérdida de circulación.

Se inicia en la sección de “Información básica” una vez cumplido las tareas indicadas se marcan con una **✓** se avanza a la sección de “Indicadores de pérdidas circulación” donde se marcaran con una **✓** si se presenta el problema o con una **X** si el problema no se presenta, en la última sección “Parámetros operacionales” se relacionan los problemas que se pueden presentar con los parámetros de causas probables, indicando así cual es el que se debe modificar o si existe alguna otra causa que origine el problema.

IV.2.1 Lista.

IV.2.1.1 Información básica.

- Revisar las condiciones de operación anteriores
- Verificar las condiciones de operación actuales

IV.2.1.2 Indicadores de pérdida de circulación.

- 1. Puenteo y arrastre
- 2. Pérdidas parciales y/o continuas
- 3. Aumento en el torque
- 4. Problemas de limpieza

IV.2.1.3 Parámetros operacionales.

1. Puenteo y arrastre

- Fluido de control
- Tasa de penetración
- Otro: _____

2. Pérdidas parciales y/o continuas

- Fluido de control
- Litología
- Gradiente de fractura
- Otro: _____

3. Altos valores de torque

Litología

Geometría del agujero

Otro: _____

4. Mala limpieza del agujero

Fluido de control

Gasto

Tasa de penetración (ROP)

Otro: _____

Capítulo V: Análisis de datos

- Desde el inicio de la perforación del pozo Rodador 1199 hasta la 3ª etapa no habían encontrado mayores complicaciones en la perforación sin embargo iban desviados del programa de perforación.
- Cuando se encontraban perforando la 3ª Etapa TR 7" antes del intervalo 2100 a 2201 [m] no habían tenido pérdidas continuas, sin embargo después que circularon 4 [m³] de un bache ecológico con densidad de 1.39 $\left[\frac{\text{g}}{\text{cc}}\right]$ en la profundidad desarrollada de 2201 [m], fue cuando se presentó la pérdida por lo tanto consideramos que dañaron innecesariamente la formación, ya que fue un bache muy por encima de la densidad que venían manejando y de la que marcaba el programa de perforación. La densidad del lodo de perforación en ese momento era de 1.15 $\left[\frac{\text{g}}{\text{cc}}\right]$ y la densidad programada era de 1.12 a 1.13 $\left[\frac{\text{g}}{\text{cc}}\right]$.
- En la profundidad 2201 [m] presentaron puenteo y arrastre, repasaron el intervalo hasta observar la sarta libre que es una buena práctica en la perforación de pozos. Al llenar el volumen de acero con tanque de viajes, metieron la barrena de 1399 a 1730 [m] con velocidad de 35 $\left[\frac{\text{pie}}{\text{min}}\right]$ y continuaron bajando la sarta de 1730 a 2201 [m] observando pérdida parcial de 2 [m³] durante la introducción, antes de esa operación no habían tenido pérdidas parciales y continuas, la única modificación que tuvieron fue la introducción del bache ecológico con

lo cual estamos confirmando que indujeron a la formación, como se muestra en la tabla "7.Condiciones operativas" las pérdidas de fluido continuaron.

- En el intervalo de 2600 a 2627 [m] presentaron poco recorte en temblorinas pero, es debido a que previamente habían hecho una limpieza del agujero, así que el poco recorte en temblorinas no era un indicador de una mala limpieza por alto ROP ó bajo gasto en la bombas.
- El parámetro ROP es una relación promedio de metros perforados en cierto intervalo de tiempo, pero si analizamos los reportes previos al incidente del atrapamiento de la sarta por la pérdida total del fluido de perforación, habían perforado el día del incidente en menos de 12 horas lo que días previos perforaban en 24 horas.

Posteriormente el aumento en la tasa de perforación y el bajo gasto provoco una mala limpieza en el pozo, que provocó que se estuviera atrapando la sarta de perforación, al ver esta situación aumentaron el gasto repentinamente, los recortes excesivos impidieron la buena circulación que llevo a un aumento en la DEC que provocó que perdieran toda la columna hidrostática de fluido de perforación atrapando así la sarta de perforación del pozo Rodador 1199.

- Sin contar las operaciones suspendidas por causas diferentes a las regulares en operación, les tomo 30 días corregir el incidente en la perforación.

Conclusiones:

En este trabajo se realizó una investigación con el fin de determinar lo que ocasiono el atrapamiento de la sarta de perforación en el pozo Rodador 1199 con la ayuda del análisis causa raíz que es una metodología para determinar el origen de la falla se revisaron algunos datos del pozo y podemos concluir que se debió a una pérdida de circulación debido a que no se tenía caracterizado el perfil de geopresiones de la formación que se atravesaba al momento de la pérdida y los parámetros de perforación no eran los adecuados.

La conclusión de la metodología ACR que llevamos a cabo es que fue una falla humana debido a las evidencias antes presentadas en este trabajo.

Para que esto ocurriera se presentó un conjunto de factores que llevaron a la pérdida inducida de fluido. El día que ocurrió la pérdida se aumentó la tasa de penetración lo que generaba más recorte en el fondo, de esta manera el gasto de la bomba debía de modificarse también pero el gasto estaba por debajo del óptimo y no se tenía la limpieza adecuada esto obliga al aumento de la presión de bombeo mientras ya se atravesaba una formación depresionada de arenas que ya habían sido explotadas, se sobrepasa el gradiente de fractura provocando la pérdida total del fluido y el derrumbe del pozo que finalizó con el atrapa la sarta.

La modificación de parámetros en operaciones afectan a las demás, ya que es un sistema y no parámetros de función independiente, si modificamos alguno en operación debemos justificar el por qué y ver que comportamiento tendrá en el pozo y de ser necesario llevar a cabo las modificaciones necesarias en los diferentes parámetros.

En esta tesis solo abordamos el problema de pérdida de circulación aplicado a un pozo real lo que da paso a ampliar la búsqueda y recopilación de información para diferentes problemáticas que se pueden presentar en la perforación de un pozo documentando y como se pueden evitar. Proponemos una lista de verificación donde colocamos los indicadores que se presentan en la pérdida total de fluido la cual se puede ampliar con más problemáticas colocando de la misma forma sus indicadores principales.

El fin de la metodología ARC, es decir cuál fue la falla de sistema, pero encontramos que esta metodología debe funcionar para mejorar las prácticas en operaciones, ya que no solo nos dio la causa de la falla, también nos aportó que es lo que podemos hacer en caso de que tengamos problemas similares.

Nuestra propuesta de una lista de verificación es tratar de reducir los costos de operación, tratando de evitar posibles problemas ya que mediante el análisis que realizamos, este problema se pudo haber evitado y ahorrar costos de herramientas perdidas y tiempos no productivos en el desarrollo de la perforación del pozo Rodador 1199.

Es fundamental tener la información correcta en los reportes de operaciones, ya que nos encontramos con mucha falta de información e incongruencias, creemos que es un problema grave ya que al no tener con certeza que es lo que se está realizando y como se está llevando a cabo no hay manera de poder hacer algo al respecto.

El ACR lo debe realizar alguien diferente al personal que haya estado llevando acabo las operaciones, para que tenga una opinión parcial y no tenga ningún tipo de interés en deslindar responsabilidades. Nos encontramos con muchas incongruencias ya que la misma compañía que realizo las operaciones también realizo el ACR.

Finalmente, cabe recalcar que a pesar de usar la tecnología más avanzada y los métodos más seguros en la perforación de pozos, una mala comunicación a través de los reportes llevará a cualquier operación al fracaso. Sin embargo como se describe en la metodología ACR hay ocasiones que las fallas no son de carácter humano y no hay manera de evitarlas o corregirlas, pero al tener menos incertidumbre en las operaciones podemos reducir significativamente los riesgos en la perforación de pozos y la única manera de lograrlo es con la información suficiente y fidedigna.

Recomendaciones:

1. Para realizar una perforación exitosa se requiere de una buena coordinación y comunicación del área operativa encargada de la perforación de cualquier pozo.
2. Se debe tener una buena caracterización de las geopresiones que se van a presentar durante la perforación para el diseño del lodo de perforación.
3. Los datos que se marcan en el programa de perforación deben estar bien sustentados ya sea por pozos de correlación o técnicas de mapeo geológico con el fin de disminuir la incertidumbre acerca de lo que se va a perforar.
4. La forma en la que el pozo nos indica lo que requiere es a través de los parámetros operacionales por lo que debemos estar pendientes de alguna variación por mínima que sea para llevar a cabo la prevención de cualquier problema que se pueda presentar.
5. Tenemos que los parámetros de perforación están relacionados entre sí por lo que no se puede solo modificar alguno sin que este afecte a otro.

Lista de tablas

Tabla No.	Título	Página
1.	Ubicación del pozo Rodador 1199	29
2.	Profundidad programada	31
3.	Columna geológica	33
4.	Objetivo de cada etapa	36
5.	Programa de fluidos de perforación	37
6.	Comparación de densidad programada y real	43
7.	Condiciones operativas	44
8.	Comprobación de hipótesis	53
9.	Distancia mínima	
10.	Materiales antipérdida	68
11.	Parámetros para puenteo y arrastre	72
12.	Parámetros para pérdidas parciales y/o continuas	72
13.	Parámetros para altos valores de torque	73
14.	Parámetros para poco recorte en superficie	74

Lista de figuras

Figura No.	Título	Página
1.	Causas	11
2.	Metodología del Análisis causa raíz	13
3.	Presión hidrostática	16
4.	Presión de sobrecarga	17
5.	Modelo de presión de poro	18
6.	Rango de valores de gradiente de presión	19
7.	Dirección de fractura	21
8.	Diferencial de presión	23
9.	Zonas de pérdida de circulación	28
10.	Atascamiento diferencial	
11.	Localización del pozo Rodador 1199	30
12.	Secciones estructurales Rodador 197 y Rodador 199	32
13.	Perfil de geopresiones. Pozo Rodador 1199	34
14.	Estado mecánico propuesto. Pozo Rodador 1199	35
15.	Estado mecánico real. Pozo Rodador 1199	42
16.	Árbol lógico general	49
17.	Árbol lógico de hipótesis subsecuentes	50

18.	Árbol lógico resultante	51
19.	Pegadura por presión diferencial	54
20.	Reporte SIOP 30 Enero	55
21.	Análisis de mediciones. Pozo Rodador 1199	56
22.	Reporte SIOP 28 Enero	57
23.	Análisis anti – colisión	58
24.	Separación mínima Rodador 519 y Rodador 199	59
25.	Perfil de geopresiones. Pozo Rodador 1199	60
26.	Registro Arenas E-17A y E-18	61
27.	Empaquetamiento por falta de limpieza	62
28.	Reporte SIOP 29 Enero	62
29.	Reporte SIOP 30 Enero (ROP)	63
30.	Reporte SIOP 29 Enero (Gasto)	64

Nomenclatura

<i>A</i>	área [m ²]
<i>ACR</i>	análisis causa raíz
<i>AMP</i>	amperio
<i>API</i>	American petroleum institute
<i>bls</i>	barriles
<i>bna</i>	barrena
<i>BP</i>	boca de pez
<i>CCL</i>	casing collar locator
<i>D.E.C</i>	densidad equivalente de circulación [gr/cc]
<i>EPM</i>	emboladas por minuto
<i>G_L</i>	gradiente de líquido [psi/pie]
<i>g/cc</i>	gramos por centímetro cuadrado
<i>gpm</i>	galones por minuto
<i>h</i>	altura de líquido [m]
<i>hr</i>	horas
<i>klbs</i>	kilo libras

<i>KOP</i>	kickoff point
<i>LCM</i>	lost circulation material
<i>lb/pie</i>	libras por pie
<i>m</i>	metros
<i>m³</i>	metros cúbicos
<i>md</i>	metros desarrollados
<i>m.d.b.m.r</i>	metros desarrollados bajo mesa rotaria
<i>m/h</i>	metros por hora
<i>m³/h</i>	metros cúbicos por hora
<i>mv</i>	metros verticales
<i>m.v.b.m.r.</i>	metros verticales bajo mesa rotaria
<i>MWD</i>	measurement while drilling
<i>PBBA</i>	presión de la bomba
<i>PDC</i>	polycrystalline diamond compact
<i>P_F</i>	presión de fractura [psi]
<i>pg</i>	pulgadas
<i>P_h</i>	presión hidrostática [kg/cm ²]
<i>pie/min</i>	pie por minuto
<i>P_L</i>	presión de líquido
<i>P_p</i>	presión de poro [psi]
<i>PSB</i>	peso sobre barrena [ton]
<i>psi</i>	libra por pulgada cuadrada
<i>PT</i>	profundidad total [m]
<i>Q</i>	gasto [gpm]
<i>ROP</i>	rate of penetration
<i>RPM</i>	revoluciones por minuto
<i>S</i>	presión de sobrecarga [psi]
<i>seg</i>	segundos
<i>SIIPMP</i>	sistema integral de información de perforación y mantenimiento de pozos
<i>SIOP</i>	sistema integral de operaciones de perforación
<i>ton</i>	toneladas
<i>TP</i>	tubería de perforación
<i>TR</i>	tubería de revestimiento
<i>UTM</i>	universal transversal de Mercator
<i>ΔP</i>	diferencial de presión
<i>ρ</i>	densidad del fluido [g/cc]
<i>σ</i>	esfuerzo efectivo

Bibliografía

- Abbas, R. (2004). Una red de seguridad para controlar las perdidas de circulacion. *Oilfield Review*, 21.
- Adams, N. (1985). *Driling engieneering* . Pennwell books.
- Azar, J. J. (2007). *Drilling Engineering*. Tulsa Oklahoma: Penn Well Corporation.
- Bourgoyne Jr., A. T. (s.f.). *Aplied driling engineering*. Society of petroleum engineers.
- Gonzales, F. (2003). *Pozos 1*. Venezuela.
- GSM. (2011). *Ánalysis técnico de incidende, pozo Rodador 1199*. GSM, Servicios Integrales.
- GSM. (2013). *Programa de perforación y terminación del pozo de desarrollo Rodador 1199*. GSM, Servicios integrales.
- GSM. (2013). *Reporte diario de operaciones pozo Rodador 1199*. GSM, Servicios integrales.
- Lake, L. W. (2007). *Petroleum engineering handbook* (Vol. II). Society of petroleum engineers.
- Mexicanos, P. (s.f.). *Un siglo de la perforación en México*. Pemex exploración y producción.
- Mouchet, J. P. (1989). *Abnormal Pressure While Drilling*. France: Elf-Aquitaine.
- PEMEX. (2002). *Manual para perforador y ayudante*. UPMP.

PEMEX. (2002). *Metodología de análisis causa raíz (ACR)*. Subdirección de recursos humanos y relaciones laborales.

producción, P. e. (2016 fecha de consulta). *Provincia petrolera del sureste*.

Schlumberger. (1999). *Well control manual*.

Velázquez Cruz, D. (2010). *Predicción de sobrepesiones a tiempo real para la perforación de pozos México*. Instituto Mexicano del Pétroleo.

W. David Constant, A. T. (s.f.). *Fracture-gradient prediccion for offshore wells*. Louisiana: Society of petroleum engineers.

Watt, H. (2005). *Glossary of terms*. Drilling Engineering.