

**DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE CORAZONAMIENTO  
WIRELINE A PARTIR DE LOS DATOS DEL POZO ANH-PATÍA-1-ST-P**

**DIEGO FERNANDO GÓMEZ PÁEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2012**



**DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE CORAZONAMIENTO  
WIRELINE A PARTIR DE LOS DATOS DEL POZO ANH-PATÍA-1-ST-P**

**DIEGO FERNANDO GÓMEZ PÁEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero de Petróleos**

**Director**

**FÉLIX ARENAS RUEDA**

**Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2012**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander y a la Escuela de Ingeniería de Petróleos por ser las instituciones que propician el desarrollo del conocimiento, al Proyecto de Perforación de Pozos Estratigráficos Profundos, al Ingeniero Nicolás Santos Santos, Director de Escuela y Director del proyecto por brindarme la oportunidad de hacer parte de tan maravilloso equipo de personas. A los Ingenieros Werney Machuca y Jorge Calvete por su valiosa ayuda. A los Ingenieros Félix Arenas Rueda y Cesar Augusto Vivas por su guía y por toda la ayuda prestada, sin ellos, este proyecto no habría finalizado tan satisfactoriamente. Al equipo de auxiliares de la oficina de pozos profundos Hernán Álvarez, Diana Rojas, Adriana Ortiz, Laura Botía, Ricardo Pacheco, Margarita Mosquera, Rubén Castellanos, Diego Luis Zambrano, Francisco Granados, Nestor Blanco, Fabián Tapias por su apoyo y compañía, a la Ingeniera Diana Jaimes y a los técnicos de preservación Julián Santos, Iván Andrés Martínez, Andrés Fernelly Rodríguez, Jose Miguel Contreras y José Migue Petro (Q.E.P.D.); y a todas aquellas personas que han hecho este proyecto una realidad. Muchas Gracias.

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro personal a mi Padre, a mi Madre y a mis Hermanas, por ayudarme y estar a mi lado siempre.

A mis amigos y compañeros de carrera por tantos buenos momentos compartidos.

Y finalmente a mi novia, por haber estado a mi lado éstos últimos años y haberse convertido en el centro de mi vida, sin ella no habría llegado tan lejos.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	15
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	17
1.1. CORAZONAMIENTO	17
1.2. OTROS SISTEMAS DE CORAZONAMIENTO	19
1.2.1. Barril de corazonamiento Convencional	19
1.2.2. Barril de corazonamiento tipo Heavy-Duty	19
1.2.3. Barril Interno	20
1.2.4. Corazonamiento con Retención de la Presión	20
1.2.5. Sistema de Corazonamiento con Esponja	20
1.2.6. Sistemas de Corazonamiento de Cierre Total	21
1.2.7. Barril de corazonamiento de manga de caucho	21
1.3. SISTEMA DE CORAZONAMIENTO RECUPERADO CON CABLE	22
<b>2. SISTEMA DE CORAZONAMIENTO WIRELINE ROCKSWIFT</b>	28
2.1. BARRIL EXTERNO	28
2.2. BARRIL INTERNO	33
2.2.1. Spearhead	34
2.2.2. Deflector de fluido de perforación	36
2.2.3. Junta Rotativa	36
2.2.4. Tornillo de ajuste	36
2.2.5. Barril Contenedor	37
2.2.6. Zapato	38
2.2.7. Core Cátcher	38
2.3. ENSAMBLAJE TRIPLE TUBE	40
2.4. BROCA DE CORAZONAMIENTO	43
2.5. EQUIPO DE RECUPERACIÓN	50
<b>3. PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES</b>	52

3.1. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA TOMA DE NÚCLEOS	52
3.2. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE CORAZONES	54
3.3. FINALIZACIÓN DE LA TOMA DEL NÚCLEO Y RECUPERACIÓN DEL BARRIL INTERNO	55
<b>4. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL POZO ANH-PATÍA-1-ST-P</b>	<b>57</b>
<b>5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE CORAZONAMIENTO WIRELINE</b>	<b>69</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>71</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Comparación en el tiempo de recuperación de corazones entre muestras de corazonamiento convencional y corazonamiento con tecnología Wireline	23
<b>Figura 2.</b> Esquema del barril corazonador de 30 pies	29
<b>Figura 3.</b> Esquema del barril externo de 60 pies	30
<b>Figura 4.</b> Barril Interno	35
<b>Figura 5.</b> Fuerza Hidráulica aplicada al barril interno	37
<b>Figura 6.</b> Core Catcher tipo resorte	38
<b>Figura 7.</b> Funcionamiento del Core cácher tipo resorte	39
<b>Figura 8.</b> Esquema del Triple Tube	41
<b>Figura 9.</b> Deflector del triple Tube	42
<b>Figura 10.</b> Sistema de detección de atascamiento	42
<b>Figura 11.</b> Zapato del triple Tube	43
<b>Figura 12.</b> Broca FC 3843	45
<b>Figura 13.</b> Broca FC 3733	47
<b>Figura 14.</b> Broca CT 103	49
<b>Figura 15.</b> “Side Entry Sub”	50
<b>Figura 16.</b> “Stuffing Box”	51
<b>Figura 17.</b> Overshot desarmado	51
<b>Figura 18.</b> Gráfico de WOB vs % de Recuperación para la litología de Conglomerados, divididos en intervalos de profundidad	58
<b>Figura 19.</b> WOB vs % de Recuperación para cada tipo de litología	59
<b>Figura 20.</b> RPM vs % de Recuperación para cada litología	60
<b>Figura 21.</b> SPP vs % de Recuperación	61
<b>Figura 22.</b> Caudal vs % de Recuperación	62
<b>Figura 23.</b> MBT vs % de Recuperación	63

<b>Figura 24.</b> ROP vs % de Recuperación	64
<b>Figura 25.</b> Tiempo total de operación vs Sistemas de Corazonamiento	66
<b>Figura 26.</b> Análisis de ROP	67
<b>Figura 27.</b> Sistemas de Corazonamiento vs Costos	67
<b>Figura 28.</b> Operación vs Tiempo	68

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Comparación de corazonamiento convencional vs. Corazonamiento Wireline	25
<b>Tabla 2.</b> Especificaciones generales de los barriles de corazonamiento RockSwift	31
<b>Tabla 3:</b> Descripción del ensamblaje externo de corazonamiento de 30 pies	32
<b>Tabla 4:</b> Descripción del ensamblaje externo de corazonamiento de 60 pies	33
<b>Tabla 5:</b> Especificaciones generales del barril interno RockSwift	39
<b>Tabla 6:</b> Especificaciones de la broca FC 3843	44
<b>Tabla 7:</b> Especificaciones de la broca FC 3733	46
<b>Tabla 8:</b> Especificaciones de la broca CT 103	48
<b>Tabla 9:</b> Análisis de tiempos y costos del pozo ANH-PATÍA-1-ST-P	65

## LISTA DE VIDEOS

	<b>Pág.</b>
<b>Video 1.</b> Barril Externo de 30 pies	28
<b>Video 2.</b> Barril Interno RockSwift	34
<b>Video 3.</b> Sistema de detección de atascamiento	40
<b>Video 4.</b> Arme de la Sarta de Corazonamiento	55
<b>Video 5.</b> Finalización de la toma de Núcleo y Lanzamiento de un nuevo barril interno	56

## RESUMEN

TÍTULO: DOCUMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA DE CORAZONAMIENTO WIRELINE A PARTIR DE LOS DATOS DEL POZO ANH-PATÍA-1-ST-P.\*

AUTOR: Diego Fernando Gómez Páez \*\*

**PALABRAS CLAVE:** Corazonamiento, Wireline, Cable, Recuperable, Pozo, Documentación, Análisis.

La principal característica de la tecnología de corazonamiento recuperable por cable es que el barril interno está diseñado especialmente para pasar a través de la tubería y juntas convencionales de tal manera que puede ser recuperado utilizando un cable para halarlo hasta la superficie, sin la necesidad de extraer la sarta completa. Existen registros desde los años 1960's en los cuales la tecnología de corazonamiento recuperable por cable ha sido utilizada para obtener corazones de hielo y roca en países como la Antártida y Groenlandia. A partir de éste momento y considerando la eficiencia observada en éstas operaciones, ha crecido el interés por desarrollar y llevar a la evolución ésta tecnología de corazonamiento.

A pesar de la no tan corta historia de ésta tecnología, sólo hasta hace poco tiempo ha incursionado en la industria petrolera Colombiana. Ésta tecnología presenta una gran cantidad de ventajas con respecto al corazonamiento convencional destacándose la considerable disminución en el tiempo de recuperación de las muestras de roca.

La Agencia Nacional de Hidrocarburos ha realizado un contrato con la Universidad Industrial de Santander con el objetivo de perforar y corazonar dos pozos estratigráficos profundos, entre ellos, el pozo ANH-PATÍA-1-ST-P ubicado en la cuenca Cauca-Patía. Para llevar a cabo la operación de corazonamiento, se contrató a la compañía Halliburton; ésta implementó el equipo de corazonamiento recuperable por cable denominado RockSwift. En este proyecto de grado se documentarán todos los equipos utilizados en la tecnología de corazonamiento RockSwift así como también sus especificaciones técnicas y se realizará un análisis de los resultados obtenidos con el fin de determinar sus ventajas, desventajas y evidenciar el rendimiento de la tecnología durante toda la operación.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultade de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Ing. Félix Arenas Rueda

## ABSTRACT

TÍTULO: WIRELINE CORING TECHNOLOGY DOCUMENTATION AND ANALYSIS FROM DATA OF ANH-PATÍA-1-ST-P WELL.\*

AUTHOR: Diego Fernando Gómez Páez\*\*

KEYWORDS: Coring, Wire-line, Retrievable, Well, Documentation, Analysis.

The main characteristic of wire-line retrievable coring technology is that the inner barrel is specifically designed to pass through the tubing and conventional joints in such a way that can be recovered using a cable to pull it to the surface, without the need to extract the complete drill string. There are records from the 1960's in which wire-line retrievable technology has been used for obtaining ice and rock cores in countries like Antarctica and Greenland. From this moment and considering the efficiency observed in these operations, it has increased the interest in carrying this coring technology to development and evolution.

Despite the not so short history of this technology, it has only recently ventured into the Colombian oil industry. This technology has a lot of advantages over conventional coring highlighting the considerable decrease in the recovery time of the rock samples.

The National Hydrocarbons Agency has made a contract with the Industrial University of Santander with the goal to drill and core two deep, stratigraphic wells, including the ANH-PATÍA-1-ST-P well located in Cauca-Patía basin. In order to perform the coring operation, the Halliburton Company was contracted; it implemented the wire-line retrievable coring technology called RockSwift. This graduation project will document all equipment used in the RockSwift coring technology as well as its technical specifications and will analyze the results obtained in order to determine their advantages, disadvantages and make evident the technology performance throughout the entire operation.

---

\* Graduation Project

\*\* Physicochemical Engineering Faculty. Petroleum Engineering School. Director: Engr. Félix Arenas Rueda

## INTRODUCCIÓN

Los pozos exploratorios no siempre tienen por objetivo buscar reservas hidrocarburíferas; en algunas ocasiones estos pozos buscan obtener información geológica de los estratos que atraviesa en su trayectoria, a éstos pozos se les denomina Pozos Estratigráficos.

Existen dos maneras directas de determinar el tipo de roca que está perforando un pozo estratigráfico: El muestreo de los ripios o cortes de perforación, y el corazonamiento.

El primero consiste en obtener muestras de roca provenientes del fondo del pozo; estas muestras son cortadas por la broca y luego llevadas por el lodo de perforación hacia la superficie para posteriormente ser separadas por tamaño en las zarandas vibratorias. Éste es un método que requiere de la realización de un cálculo denominado tiempo de viaje que representa el tiempo que transcurre desde que la muestra es cortada en el fondo del pozo hasta que llega a superficie a las zarandas vibratorias, además requiere también de la obtención de una muestra representativa, ya que los cortes de roca son separados en varios flujos dependiendo del tamaño que posean. Luego de su recolección, éstas muestras deben ser separadas en dos fracciones, una que se conserva impregnada de lodo de perforación, y la otra que debe ser lavada y secada a temperatura controlada evitando causar daños a la muestra, a ellas se les denomina muestras de zanja húmeda y seca respectivamente.

El segundo método consiste en la obtención de un cilindro de roca de tamaño considerable mediante el empleo de un equipo especializado, sin embargo a diferencia del muestreo de cortes de perforación, éste método ofrece una mayor fuente de información geológica y de menor incertidumbre.

Cada roca que se va a corazonar presenta diferentes desafíos que hacen del corazonamiento un proceso complejo y laborioso. En vista de ésta situación, constantemente se busca el desarrollo de nuevas tecnologías que faciliten y mejoren la recuperación de roca en situaciones particulares, tal es el caso de la tecnología de corazonamiento recuperable por cable (Wireline Coring).

La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), realizó un contrato con la Universidad Industrial de Santander para la perforación de dos pozos estratigráficos; uno en la cuenca Cauca-Patía conocido como ANH-PATIA-1-ST-P y el otro que pertenece a la cuenca de Tumaco conocido como ANH-BVTURA-1-ST-P. En este proceso participaron empresas de reconocida trayectoria a nivel mundial, Halliburton participó como empresa corazonadora utilizando la tecnología de corazonamiento recuperable por cable, y la universidad Industrial de Santander y en especial la Escuela de Ingeniería de Petróleos, actuó como contratista en la preservación de núcleos y muestras de zanja húmeda y seca.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. CORAZONAMIENTO

El objetivo primario de una operación de corazonamiento es el de obtener una muestra de material rocoso continuo y de alta calidad. Esto es necesario para poder cumplir a cabalidad con otros sub-objetivos; ellos son<sup>3</sup>:

#### 1. Objetivos Geológicos

##### 1.1 Información Litológica

- Tipo de Roca
- Ambiente deposicional
- Tipo de porosidad
- Mineralogía

##### 1.2 Mapas Geológicos

##### 1.3 Orientación de las fracturas

#### 2. Objetivos Petrofísicos y de Ingeniería de Yacimientos

##### 2.1 Información de la Permeabilidad

- Correlación de Permeabilidad/Porosidad
- Permeabilidad relativa

##### 2.2 Datos de Presión Capilar

##### 2.3 Datos para calibrar los cálculos de los registros

- Propiedades Eléctricas
- Densidad de granos

---

<sup>3</sup> AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practices for core analysis, recommended practice 40. Segunda edición. Febrero 1998.

- Registros Gamma del núcleo
- Mineralogía y capacidad de intercambio catiónico

#### 2.4 Estudios de Recobro Mejorado

#### 2.5 Estimación de las Reservas

- Porosidad
- Saturación de Fluidos

### 3 Objetivos de Perforación y Completamiento

#### 3.1 Estudios de compatibilidad Fluido/Formación

#### 3.2 Tamaño de grano para el diseño del empaquetamiento con grava

#### 3.3 Datos de Mecánica de Rocas

Sin embargo, aunque se haga un gran esfuerzo por obtener núcleos continuos a lo largo de todo el pozo, es imposible recuperar todo el sedimento continuo de un solo pozo. Para mitigar este problema se perforan y corazonan múltiples pozos cercanos en el área de interés compensando las profundidades corazonadas perdidas, de esta manera se obtiene un corazón compuesto mediante la combinación de los datos que cubra la totalidad de la profundidad corazonada.

Los tres aspectos principales de una operación de corazonamiento son: i) Cortar el Corazón asegurando el mínimo contacto de la muestra con el fluido de perforación, ii) Contener el núcleo dentro del barril corazonador y iii) Retener la muestra utilizando un método no intrusivo<sup>4</sup>. Con el fin de garantizar el cumplimiento a cabalidad de estos tres aspectos, se han diseñado herramientas especializadas para todo escenario posible en una operación de corazonamiento.

---

<sup>4</sup> IBRAHIM AL-SAMMAK, K. AHMED, SANTANU DE, FAISAL AL-BOUS, FATMA AHMAD, FAISAL ABBAS. Coring unconsolidated formation-lower fars: a case study. SPE 119918. 2009.

## **1.2. OTROS SISTEMAS DE CORAZONAMIENTO**

Con muchas excepciones, los sistemas de corazonamiento consisten en un barril interno suspendido por una junta rotativa dentro de un barril externo que está sujeto a la sarta de perforación. El fluido de perforación se bombea hacia abajo por la sarta de perforación a través de la junta rotativa por el anular entre el barril interno y el externo y hacia afuera de la broca.

### **1.2.1. Barril de corazonamiento Convencional**

Tienen la disponibilidad de cortar núcleos con diámetros desde 1.75 hasta 5.25 pulgadas con longitudes desde 1.5 pies hasta más de 400 pies. El tamaño del hoyo, ángulo, fuerza de la roca y la litología controlarán el diámetro y la longitud de corazón que se puede cortar en un viaje.

### **1.2.2. Barril de corazonamiento tipo Heavy-Duty**

Se han desarrollado para corazonar formaciones más duras que las normales y para cortar núcleos de longitud extendida. Estos barriles permiten la aplicación de un mayor torque a la broca y mejoran el margen de seguridad para falla de herramientas. Están diseñados para cortar corazones de hasta 5.25 pulgadas de diámetro. Estas herramientas se vuelven especialmente atractivas en situaciones en donde el mayor gasto lo ocupa el tiempo de corazonamiento.

### **1.2.3. Barril Interno**

Estos barriles están hechos de aluminio, acero o fibra de vidrio y su función es ser contenedores del núcleo a medida que la broca corazonadora corta el cilindro de roca; también tienen la función de proveer soporte al núcleo durante el manejo y además funcionan como medio de preservación. Estos barriles pueden ser de diferentes materiales que ayuden en la retención del núcleo y que reduzcan las posibilidades de atascamiento del corazón.

### **1.2.4. Corazonamiento con Retención de la Presión**

Estos barriles están diseñados para extraer núcleos a las condiciones de presión de yacimiento, fueron especialmente diseñados para obtener datos de saturación de aceite y gas de la roca corazonada. Están disponibles en dos tamaños, 6 y 8 pulgadas y pueden corazonar núcleos de 2.5 y 3.25 pulgadas de diámetro respectivamente. El barril de 6 pulgadas de diámetro puede cortar corazones de hasta 20 pies de longitud, mientras que retiene una presión de hasta 10000 psi. El barril de 8 pulgadas de diámetro puede corazonar núcleos de hasta 10 pies y puede retener hasta 5000 libras de presión. La temperatura de operación máxima recomendada para el uso de estos barriles es de 180° F.

### **1.2.5. Sistema de Corazonamiento con Esponja**

Éste sistema fue diseñado con el propósito de mejorar el cálculo de la saturación de aceite, mas sin embargo no puede retener el gas liberado de núcleo. El hidrocarburo que se escapa del núcleo es retenido por la esponja que puede ser utilizada hasta una temperatura de 350° F. El sistema de corazonamiento con

esponja presenta la ventaja de ser más económico y manejable que el sistema de Retención de la Presión, cortando núcleos de hasta 30 pies de longitud.

### **1.2.6. Sistemas de Corazonamiento de Cierre Total**

Estos sistemas fueron desarrollados para mejorar el recobro de formaciones inconsolidadas, pueden utilizar barriles internos desechables o convencionales y un sistema de retención de núcleo especial para recuperar las muestras de roca problemáticas. Ésta tecnología le permite al barril interno deslizarse gentilmente por encima del núcleo con un mínimo de perturbación y luego sellar el núcleo dentro del barril de corazonamiento. Los sistemas de corazonamiento de cierre total están diseñados para cortar núcleos de 3.5 o 4 pulgadas con una longitud recomendada de 30 pies.

### **1.2.7. Barril de corazonamiento de manga de caucho**

Éste sistema fue desarrollado para mejorar la recuperación de arenas o conglomerados inconsolidados y de formaciones muy fracturadas. El barril de manga de caucho no tiene movimiento relativo al corazón mientras se está corazonando y la manga de caucho posee un diámetro menor al del núcleo recubriéndolo y apretándolo protegiéndolo de esta manera de la acción erosiva del lodo de perforación. El corazón es soportado por la manga de caucho, ayudando de esta manera en la recuperación de formaciones suaves que no podrían soportar su propio peso. Existe sólo un tamaño de barril de manga de caucho, que corta 20 pies de corazón a una temperatura máxima de 200° F. ésta herramienta no se recomienda para su utilización en pozos de más de 45° de inclinación. Adicionalmente se debe detener la operación cada dos pies para permitir que la

herramienta se acomode, esto puede producir atascamiento en formaciones muy fracturadas.

### 1.3. SISTEMA DE CORAZONAMIENTO RECUPERADO CON CABLE

El sistema de corazonamiento recuperado con cable nació como solución a la necesidad de disminuir el tiempo de recuperación de la muestra de roca luego de ser corazonada. Desde los años 60's, equipos internacionales de países tales como Estados Unidos, Europa, Japón y Rusia han desarrollado un sistema de corazonamiento tipo Wireline para recuperar corazones de hielo o roca de 4 a 5 ¼ pulgadas de diámetro de profundidades de hasta 12000 pies en la Antártica y Groenlandia<sup>5</sup>, a partir de este momento, la preocupación por mejorar ésta nueva tecnología ha ido creciendo continuamente debido a su gran aplicabilidad y versatilidad, sin mencionar su remarcable eficiencia, que hace de ella una herramienta con la posibilidad de revolucionar las técnicas de corazonamiento y encaminarlas hacia un nuevo futuro, más brillante y promisorio.

En un sistema de corazonamiento convencional, el barril interno se encuentra asegurado en el fondo de la sarta de corazonamiento. Esto implica recuperar toda la tubería de perforación que está por encima del barril externo para poder recuperar el barril interno con la muestra en su interior. Este proceso de desarmado consume mucho tiempo, especialmente cuando el corazonamiento se lleva a cabo en secciones profundas. En el sistema de corazonamiento Wireline, el barril interno está diseñado especialmente para poder pasar a través de la tubería y juntas convencionales, de esta manera puede ser recuperado mediante un cable halándolo hasta la superficie evitando así extraer toda la tubería de perforación, disminuyendo considerablemente el tiempo para la recuperación de la muestra.

---

<sup>5</sup> W. W. FLECKESTEIN Y A. W. EUSTES, ESCUELA DE MINAS DE COLORADO. Novel Wireline Corng System. SPE 84358. Society of Petroleum Engineers, 2003.

Esta disminución en el tiempo de recuperación es de vital importancia para muestras con propiedades que cambian constantemente con el tiempo, tal es el caso de muestras saturadas con fluidos volátiles o muestras de Shale Gas. En el segundo caso, la cantidad de gas que puede aportar la formación, y por lo tanto el yacimiento puede determinarse únicamente a partir de la cantidad de gas aportada por porción de roca que se recupere<sup>6</sup>, ésta roca empieza a perder fluido desde el mismo momento en el que es cortada y almacenada en el barril interno, por ello es se debe recuperar en el menor tiempo posible, de esta manera se disminuye la incertidumbre en la toma de los datos. Existen muchas razones por las cuales reducir el tiempo de recuperación de la muestra es un factor muy importante para el éxito del programa de corazonamiento, en estos casos la tecnología de corazonamiento Wireline ofrece la mejor opción, tal como se observa en la **figura 1**.

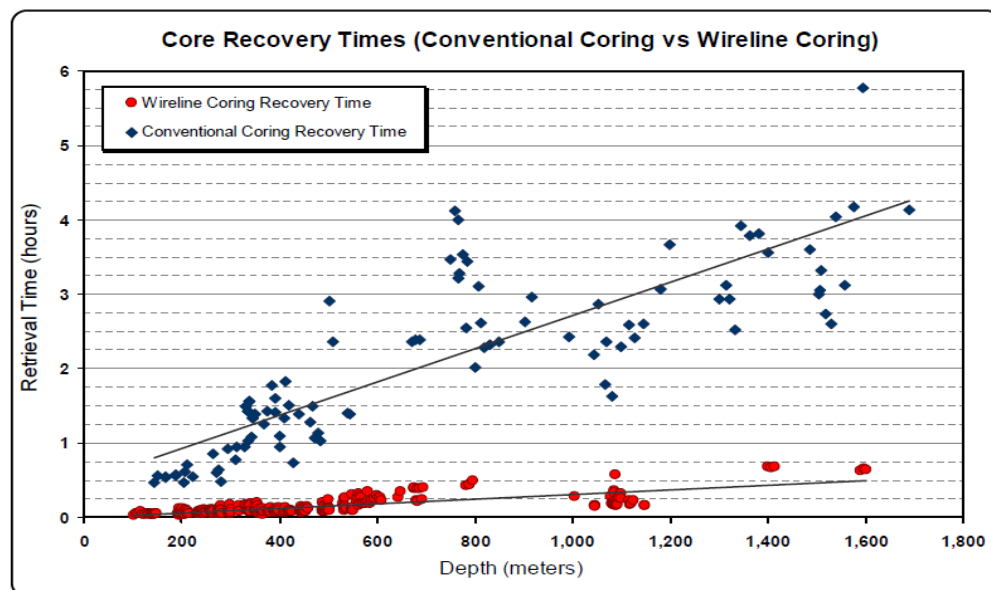


Figura 1: Comparación en el tiempo de recuperación de corazones entre muestras de corazonamiento convencional y corazonamiento con tecnología Wireline.

Fuente: Ilhan, M. Anna. Gardner, David. Natras, Thanos and McIlreath, Ian<sup>4</sup>.

<sup>6</sup> ILHAN, M. ANNA. GARDNER DAVID. NATRAS, THANOS AND MCILREATH, IAN. Maximizing Wireline Coring Efficiency in Upper Mannville Coals in South Central Alberta. CSPG CSEG CWLS Convention. 2008.

Otra de las ventajas que ofrece ésta tecnología es la de poder transformar la broca de corazonamiento en una broca de perforación de diámetro completo simplemente con la utilización de un Plug removible que se ajusta perfectamente a la sarta de corazonamiento tal como lo hace el barril interno; esto permite hacer corazonamiento selectivo en formaciones en las cuales los intervalos de interés están separados por distancias moderadas sin necesidad de cambiar toda la sarta de perforación, ahorrando una cantidad significativa de tiempo. El plug removible tiene insertos de diamante tal como una pequeña broca PDC y a partir de pruebas se ha demostrado que posicionarlo una distancia un poco mayor a la del perfil de la broca aumenta considerablemente la limpieza de los cortes de perforación en el frente de la sarta.<sup>7</sup>

Este equipo ofrece una ventaja adicional en el corazonamiento de muestras de suelo pues permite mantener toda la sarta de corazonamiento en el fondo del pozo mientras se recupera la muestra evitando el derrumbe del pozo, problema bastante común en estas operaciones debido a la naturaleza friable de los suelos en profundidades someras<sup>8</sup>; por lo cual esta tecnología se constituye en una valiosa alternativa para el óptimo desarrollo de este tipo de proyectos.

Existen también algunos equipos que cuentan con una característica especial denominada Drive Shoe. Éste es un equipo que se extiende 6 a 8 pulgadas delante de la broca y permite el corazonamiento de la muestra, disminuyendo al mínimo el contacto de la roca con el fluido de perforación obteniendo aún mayor representatividad de la muestra recuperada.

Cabe mencionar que la disminución en el tiempo empleado también se traduce en una disminución de los costos asociados a la operación de corazonamiento, impactando positivamente en la rentabilidad de los proyectos que planteen la utilización de un sistema de corazonamiento tipo Wireline, y en adición, los

---

<sup>7</sup> WARREN, TOMMY. POWERS, JIM. BODE, DAVID. CARRÉ, ERIC. SMITH, LEE. Development of a Commercial Wireline Retrievable Coring System. SPE 52993. Society of Petroleum Engineers. 1998.

<sup>8</sup> CLARK, R. ROBERT. A new continuous-sampling wireline system for acquisition of uncontaminated, minimally disturbed soil samples. Ground Water Monitoring & Remediation journal. 1988.

equipos son más pequeños y más livianos que aquellos utilizados en un sistema de corazonamiento convencional, lo cual facilita su transporte; esto es particularmente ventajoso cuando la localización del pozo tiene un acceso muy limitado.

En la **Tabla 1** se hace una comparación entre los costos comúnmente alcanzados en operaciones de corazonamiento convencionales y los costos alcanzados durante una operación de corazonamiento con tecnología Wireline.

**Tabla 1.** Comparación de corazonamiento convencional vs. Corazonamiento Wireline.

	<b>Corazonamiento Convencional</b>	<b>Corazonamiento Wireline</b>
<b>Intervalo Corazonado (ft)</b>	12,000-12,100	12,000-12,100
<b>Longitud del corazón (ft)</b>	30	20
<b>Velocidad de viaje (ft/h)</b>	2.376	23.76
<b>ROP (ft/h)</b>	66	16.5
<b>Tiempo en Superficie (h)</b>	0.5	0.5
<b>Costo del Taladro (\$/día)</b>	150,000	150,000
<b>Tiempo de Viaje (h)</b>	30.6	5.2
<b>Tiempo de Corazonado (h)</b>	1.5	3
<b>Tiempo en Superficie (h)</b>	1.5	2.5
<b>Tiempo Total (h)</b>	33.6	10.7
<b>Costo del Taladro (\$)</b>	147,172	66,607

**Fuente:** Modificado de W. W. Fleckestein y A. W. Eustes, Escuela de minas de Colorado.

En la actualidad, la evolución de la tecnología Wireline está enfocada al desarrollo de una herramienta capaz de corazonar muestras de roca en pozos desviados y horizontales, y que a su vez permita el paso del barril interno a través de las porciones inclinadas del pozo. Muchas investigaciones se han llevado a cabo y se ha descubierto que la utilización de motores de fondo presenta una ventaja con respecto a la utilización de un Top drive o una mesa rotaria para la perforación del pozo debido a que la utilización de un motor de este tipo aumenta la tasa de penetración en un 40% comparado con las técnicas de corazonamiento convencionales; además permite la utilización de velocidades rotacionales mayores y menores WOB, esto disminuye las fuerzas de flexión en el Barril Interno así como las vibraciones en la sarta de corazonamiento aminorando así el estrés mecánico sufrido por el corazón. Como resultado se incrementa la recuperación de muestra y se minimiza el daño al corazón y el atascamiento<sup>9</sup>, por lo cual la utilización de los motores de fondo constituye un elemento crítico si se planea llevar a cabo una operación de corazonamiento en un pozo horizontal o inclinado. Aunque no se tiene mucho conocimiento acerca de la utilización de motores de fondo en operaciones de corazonamiento Wireline, en la actualidad se han hecho avances tecnológicos que han llevado al desarrollo de motores de fondo capaces de perforar en condiciones muy duras y tan pequeños como para ser recuperados con cable junto con el barril interno<sup>8</sup>.

Existe actualmente un prototipo de sistema de corazonamiento tipo wireline para utilización en pozos desviados u horizontales el cual ha sido desarrollado por un equipo de ingenieros especializados de la Agencia de Tecnología y Ciencias Marinas y de la Tierra de Japón. El sistema desarrollado ha probado ser efectivo para realizar operaciones de corazonamiento con un ángulo de desviación de la herramienta de hasta 1.5° con mínimos inconvenientes. Éste ángulo significa una

---

<sup>9</sup> MICHAEL FILSHTINSKY, J.T. AUMANN, AND JOEL QUINN, CHRISTENSEN DIAMOND PRODUCTS USA. New tools improve economics of coring. SPE 12092. Society of Petroleum Engineers. 1983.

severidad máxima de Dog Leg de  $5,7^\circ/30\text{m}^{10}$ . El equipo ha demostrado ser capaz de permitir el paso del barril interno a través de la junta doblada. Un aspecto clave del prototipo es que se ha logrado mantener el barril interno sin movimiento rotacional a pesar del contacto de éste con el barril externo en el punto de flexión de la herramienta direccional, tampoco ha causado un daño muy grave en el barril interno por la constante fricción del barril externo en éste punto crítico. Sin embargo, a pesar de todos los resultados promisorios, ha sido imposible lograr el paso del barril interno a través de un ángulo mayor a  $1,5^\circ$ .

---

<sup>10</sup> SHINMOTO, Y. MIYAZAKI, E. WADA, K. YAMAO, M. Development of a continuous directional coring system for deep-sea drilling. SPE 140913. Society of Petroleum Engineers. 2012.

## 2. SISTEMA DE CORAZONAMIENTO WIRELINE ROCKSWIFT

El sistema de corazonamiento RockSwift implementado por la compañía Halliburton, es un sistema con características únicas que permitieron la recuperación de muestras en un rango de profundidad entre 2500 y 10151 pies, y fue el utilizado en el pozo ANH-PATÍA-1-ST-P. El sistema se diseñó para recuperar corazones de 3 pulgadas de diámetro y está compuesto básicamente por cuatro equipos: el Barril Externo, el Barril Interno, El triple Tube y la Broca de corazonamiento, adicionalmente a ellos, existe otro equipo denominado Drill Plug que permite la perforación a hueco completo utilizando la sarta de corazonamiento.

### 2.1. BARRIL EXTERNO

Para la realización del proyecto se propuso la utilización de dos barriles externos, uno de 30 pies y otro de 60 pies con estabilizadores near bit a 30 pies y a 60 pies (Para mayor información ver Video 1: Barril Externo de 30 pies). Estos barriles cuentan con una conexión superior XT-57 y permiten un torque máximo de hasta 39000 lb/ft. En las **figuras 2 y 3** se detallan las características principales de los barriles corazonadores propuestos.

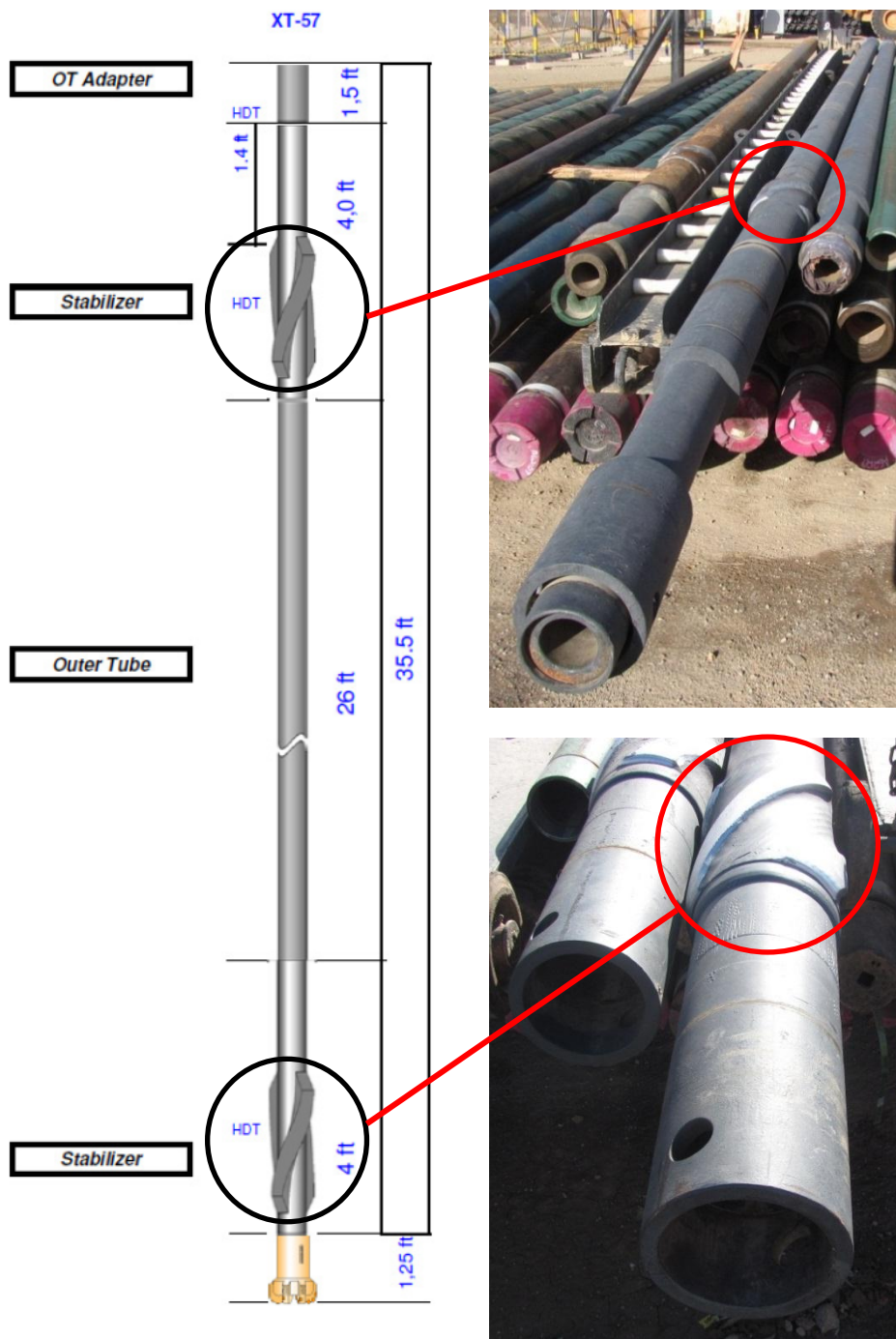


Figura 2: Esquema del barril corazonador de 30 pies.

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

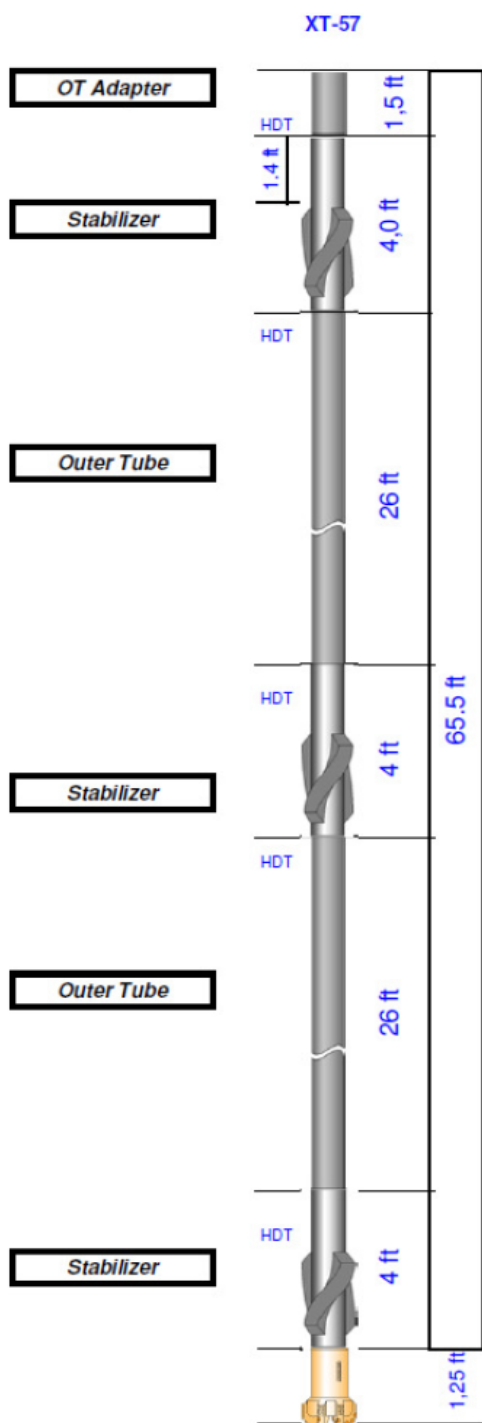


Figura 3: Esquema del barril externo de 60 pies.

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

En la siguiente tabla se resumen las especificaciones generales de los barriles de corazonamiento disponibles.

**Tabla 2:** Especificaciones generales de los barriles de corazonamiento RockSwift.

Barril Externo RockSwift		
<b>Conexión de tope</b>	XT57	
<b>Conexiones del Barril</b>	HDT	
<b>Longitud</b>	30 o 60	ft
<b>Diámetro Externo</b>	6 ¾	in
<b>Diámetro Interno</b>	5 3/8	in
<b>Material</b>	Acero AISI 4145H	
<b>Capacidad de levantamiento</b>	506000	lb
<b>Make-up Torque</b>	25800	Lb.ft
<b>Torque Máximo</b>	39000	Lb.ft
<b>DLS Máxima</b>	10°/100 ft	
<b>Número de Estabilizadores</b>	2 o 3	
<b>Tamaño de los estabilizadores</b>	1/32 de pulgada menor al diámetro de la broca	

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

En las **tablas 3 y 4** se encuentran las especificaciones técnicas de los barriles externos de 30 y 60 pies respectivamente.

**Tabla 3:** Descripción del ensamblaje externo de corazonamiento de 30 pies.

Descripción	OD (in)	ID (in)	Peso (lb/ft)	Longitud (ft)
<b>Broca FC3843</b>	8.500	3.000	169.30	1.29
<b>Estabilizador en espiral 8 7/16"</b>	6.750	5.375	44.62	4.00
<b>Barril 6 3/4"</b>	6.750	5.375	44.62	26.00
<b>Estabilizador en espiral 8 7/16"</b>	6.750	5.375	44.62	4.00
<b>Adaptador de tubo exterior</b>	6.750	5.375	44.62	1.67
<b>X-Over Sub XT-57 / 5 1/2 FH</b>	7.000	4.250	82.81	3.18
<b>7"X4.25" - 82.6# Drill Collar 5 1/2 FH</b>	7.000	4.250	82.60	180.00
<b>X-Over Sub 5 1/2" FH / DT55</b>	7.000	4.250	82.81	3.00
<b>7"X4.25" - 49,63# HWDP DT55</b>	7.000	4.250	82.81	180.00
<b>X-Over Sub DT55 / XT-57</b>	7.000	4.250	82.81	3.00
<b>S-135 5 7/8" Drill Pipe</b>	5.709	5.045	19.11	30.00

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

**Tabla 4:** Descripción del ensamblaje externo de corazonamiento de 60 pies.

Descripción	OD (in)	ID (in)	Peso (lb/ft)	Longitud (ft)
<b>Broca FC3843</b>	8.500	3.000	169.30	1.29
<b>Estabilizador en espiral 8 7/16"</b>	6.750	5.375	44.62	4.00
<b>Barril 6 3/4"</b>	6.750	5.375	44.62	26.00
<b>Estabilizador en espiral 8 7/16"</b>	6.750	5.375	44.62	4.00
<b>Barril 6 3/4"</b>	6.750	5.375	44.62	26.00
<b>Estabilizador en espiral 8 7/16"</b>	6.750	5.375	44.62	4.00
<b>Adaptador de tubo exterior</b>	6.750	5.375	44.62	1.67
<b>X-Over Sub XT-57 / 5 1/2 FH</b>	7.000	4.250	82.81	3.18
<b>7"X4.25" - 82.6# Drill Collar 5 1/2 FH</b>	7.000	4.250	82.60	180.00
<b>X-Over Sub 5 1/2" FH / DT55</b>	7.000	4.250	82.81	3.00
<b>7"X4.25" - 49,63# HWDP DT55</b>	7.000	4.250	82.81	180.00
<b>X-Over Sub DT55 / XT-57</b>	7.000	4.250	82.81	3.00
<b>S-135 5 7/8" Drill Pipe</b>	5.709	5.045	19.11	30.00

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATIA-1-ST-P.

## 2.2. BARRIL INTERNO

El barril interno del equipo puede adaptarse para corridas de 30 ó 60 pies según se requiera durante la operación, consta de secciones de 10 ó 20 pies. A partir de la experiencia del equipo de corazonamiento se determinó que la mejor configuración para correr el barril interno era la de utilizar una sección de 20 pies y una de 10 pies en el caso de corridas de 30 pies, de ésta manera se disminuye el riesgo de atascamiento del corazón debido al número reducido de juntas y a su

vez se facilita el manejo del barril en la mesa de perforación. Para corridas de 60 pies se utilizan tres secciones de 20 pies. Una característica a resaltar del sistema RockSwift es que contiene un número reducido de partes mecánicas para su correcto funcionamiento lo que aumenta la confiabilidad de la herramienta.

Como se observa en la **figura 4** el barril interno está compuesto (de tope a base) por los siguientes equipos (Para mayor información, referirse al video 2: Barril Interno RockSwift):

### **2.2.1. Spearhead**

Proporciona el punto de apoyo para extraer el barril hacia la superficie mediante la conexión del Overshot.

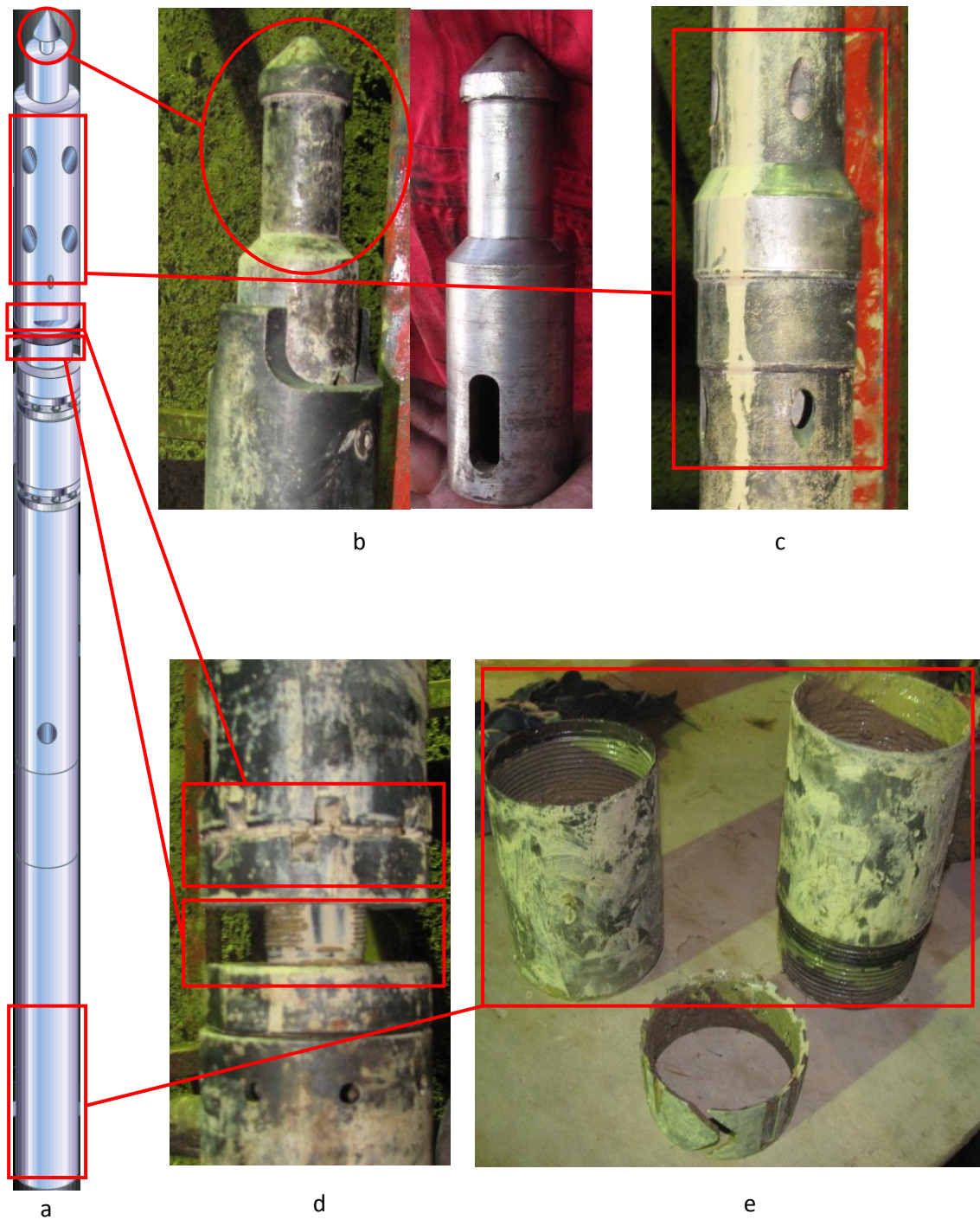


Figura 4: a) Barril Interno, b) Spearhead, c) Deflector, d) Junta giratoria y tornillo de ajuste, e) Superior Izquierda, Zapato Inferior; Superior derecha, Zapato Superior; Inferior, Core cácher.

### **2.2.2. Deflector de fluido de perforación**

Su función es dividir el flujo de lodo de tal manera que el 85% se dirige hacia el anular entre el barril externo y el triple Tube y el 15% restante fluye a través del anular entre el triple Tube y el barril interno. Ésta desviación del fluido de perforación genera una fuerza hidráulica que mantiene en posición el barril en el fondo de la sarta, y puede ser calculada mediante relaciones empleadas por la compañía corazonadora.

En la **figura 5** se observa un gráfico que muestra los límites máximo y mínimo de fuerza hidráulica que puede ser aplicada sobre el ensamblaje interno para mantener el barril interno en el fondo de la sarta, adicionalmente, la desviación de una parte del flujo del lodo de perforación también ofrece un indicativo del posicionamiento del barril interno en el fondo de la sarta, que se observa como un leve aumento de la presión del fluido.

### **2.2.3. Junta Rotativa**

Mas abajo se ubica la junta rotativa, su función es aislar el movimiento rotacional de la sarta exterior para que no se transmita al barril interno, así el corazón no sufrirá ningún estrés mecánico mientras ingresa en el equipo.

### **2.2.4. Tornillo de ajuste**

Éste permite adecuar la longitud total del barril interno. Debido a la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fondo de pozo, el barril interno sufrirá una elongación debido a la expansión térmica que sufre el acero. El tornillo se debe ajustar de tal manera que la longitud final del barril se ajuste a la longitud total del barril externo, y la boca del barril interno quede lo más cerca posible a la garganta

de la broca, esto asegurará que el corazón ingrese al barril inmediatamente después de ser cortado.

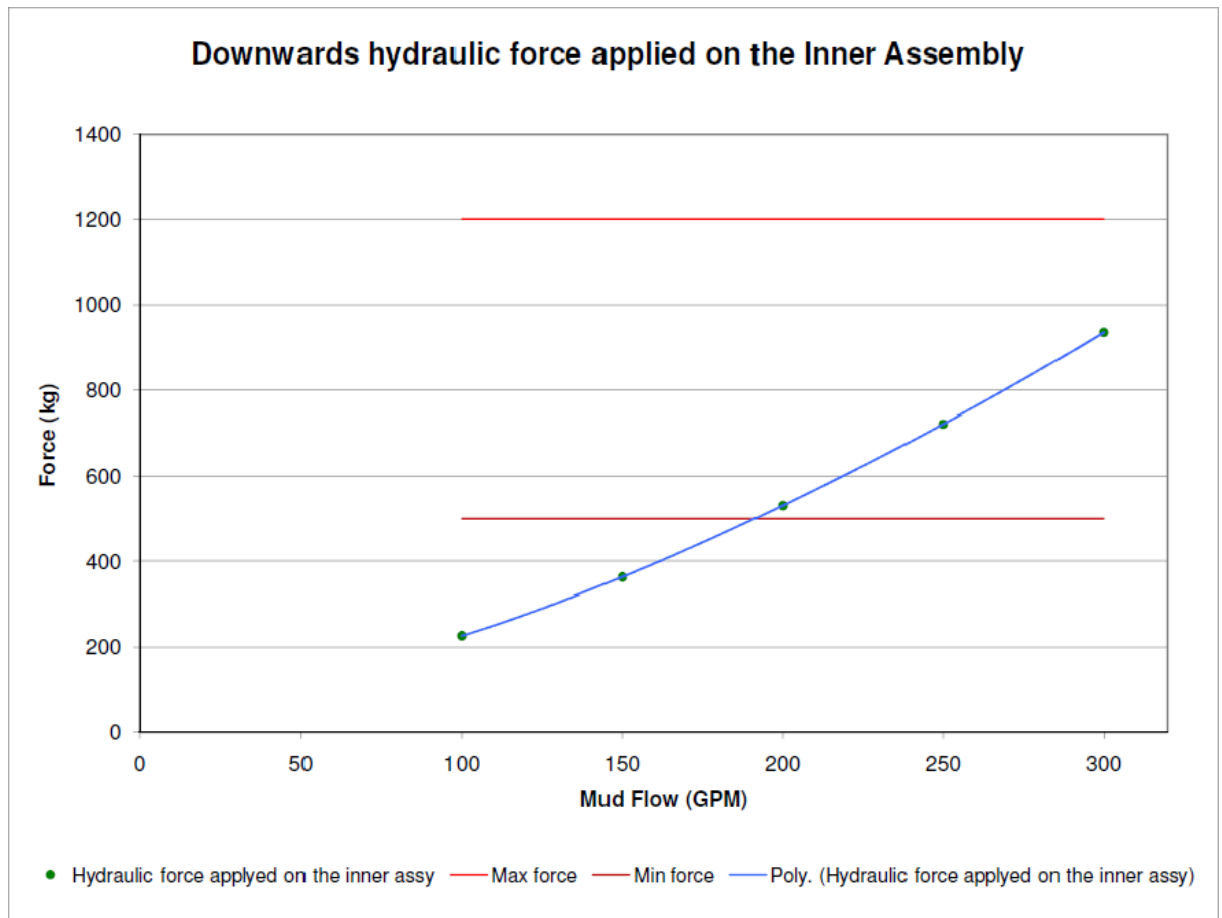


Figura 5: Fuerza Hidráulica aplicada al barril interno.

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

### 2.2.5. Barril Contenedor

Después de la junta giratoria se ubica el barril que contiene la muestra en cuya parte superior se encuentra la válvula de desahogo por donde se expulsa el fluido de perforación que pudiese haber quedado atrapado dentro del barril en su viaje de descenso. A medida que la muestra se posiciona dentro del barril, ésta

desplaza el fluido hacia la válvula, expulsándolo hacia el anular entre el triple tube y el barril interno.

### 2.2.6. Zapato

Al final del barril se encuentra el zapato, en donde se ubica el Core Catches. El zapato se compone de dos partes, el zapato superior y el zapato inferior.

### 2.2.7. Core Catcher

En el pozo ANH-PATÍA-1-ST-P se utilizó un core catcher mecánico tipo resorte (Ver **figura 6**), que funciona en conjunto con el zapato. El zapato inferior tiene un perfil levemente cónico; cuando el corazón está ingresando en el barril, el core catcher se ubica en la parte superior del zapato inferior, ésta parte es más ancha y permite que el core catcher mantenga su diámetro original. Cuando la operación de corte finaliza, ya sea por atascamiento o por fin del corazón, la sarta es levantada ocasionando que el corazón descienda causando a su vez el descenso del core catcher hacia la parte inferior del zapato inferior. Ésta parte posee un diámetro menor lo que obliga al core catcher a disminuir su tamaño sujetando el corazón e impidiendo su movimiento; se sigue levantando la sarta hasta que se produce el rompimiento del corazón (ver **figura 7**).



Figura 6: Core Catcher tipo resorte.

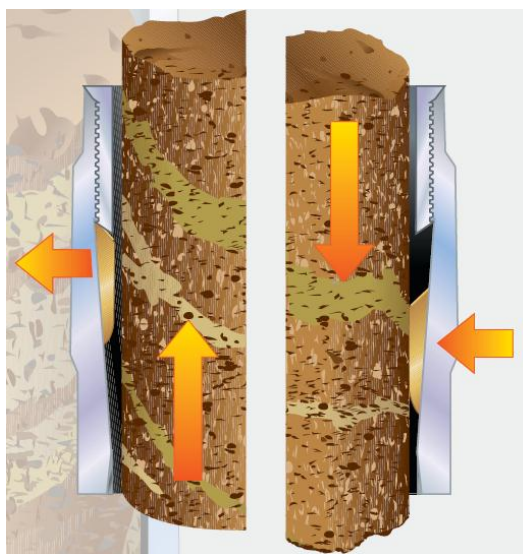


Figura 7: Funcionamiento del Core c atcher tipo resorte. Cortesía Halliburton.

En la siguiente tabla se resumen las especificaciones generales del barril Interno RockSwift.

**Tabla 5:** Especificaciones generales del barril interno RockSwift.

Ensamblaje del Barril Interno		
<b>O.D. Max.</b>	4.118	in
<b>O.D. Tubo Interno</b>	3 3/4	in
<b>I.D. Tubo Interno</b>	3 1/4	in

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

### 2.3. ENSAMBLAJE TRIPLE TUBE

En el sistema de corazonamiento RockSwift se utilizó un equipo adicional denominado Triple Tube que consiste de tres secciones de Tubería unidas que tienen una longitud total de 30 pies, tiene un diámetro externo de 4  $\frac{3}{4}$ " y un diámetro interno de 4  $\frac{1}{4}$ " (**figura 8**). Su función consiste en albergar el Barril interno y brindar soporte y estabilidad en la sarta, además cuenta con un componente vital del sistema de detección de atascamiento, que funciona en equipo con el barril interno; cuando se produce un atascamiento, el barril interno empieza a ascender limitando el paso del lodo por el deflector de fluido ubicado en la parte superior del triple Tube (**Figura 9**), cuando esto sucede inmediatamente se observa un aumento en la presión del lodo (ver **figura 10**), si esto ocurre se concluye que existe un atascamiento del corazón dentro del barril interno (Para mayor información referirse al video 3: Sistema de detección de atascamiento).

El triple Tube cuenta además con un zapato que encaja en la parte inferior de la broca corazonadora. A través de éste zapato se transfiere el movimiento de la sarta hacia éste, produciendo en él un movimiento rotacional (Ver **figura 11**).

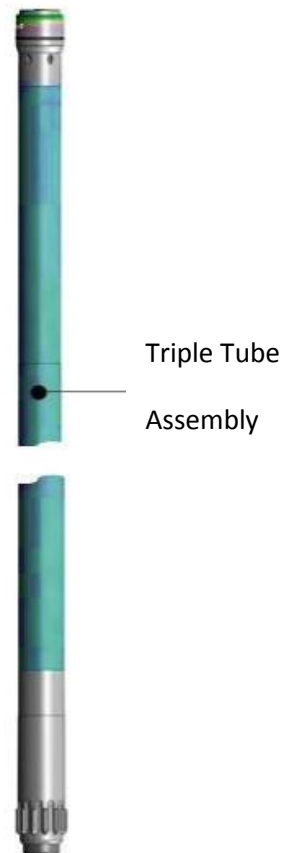


Figura 8: Esquema del Triple Tube.

Fuente: Rodriguez, S. Tovar, E. Valderrama, L. Vivas, C. Gray, M. Daza, V. Delmar, L. Gomez, C<sup>11</sup>.

---

<sup>11</sup> RODRIGUEZ, S. TOVAR, E. VALDERRAMA, L. VIVAS, C. GRAY, M. DAZA, V. DELMAR, L. GOMEZ, C. Coring Shale Gas Formations with Wireline Coring Technology in a Complex Geological Structure in the Medium Magdalena Valley: A Case History from Colombia.



Figura 9: Deflector del triple Tube.

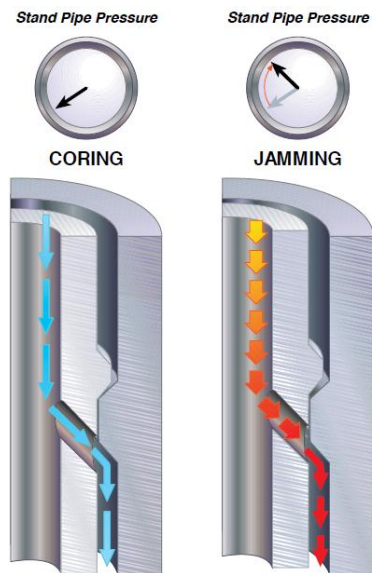


Figura 10: Sistema de detección de atascamiento. Cortesía de Halliburton.



Figura 11: Zapato del triple Tube.

#### 2.4. BROCA DE CORAZONAMIENTO

El equipo de Corazonamiento recomendó la utilización de tres posibles brocas diferentes. Dos brocas PDC y una broca TSP.

La primera broca recomendada fue la broca FC 3843 (**figura 12**), es una broca PDC de 8 aletas cuyas especificaciones se resumen en la **tabla 6**.

**Tabla 6:** Especificaciones de la broca FC 3843.

<b>Tipo de Cortadores</b>	X1 – Perforación convencional
<b>Código IADC</b>	M433
<b>Tipo de Cuerpo</b>	Matriz
<b>Cuenta total de cortadores</b>	60
<b>Distribución de los cortadores</b>	
	13 mm
<b>Cara</b>	32
<b>Gauge</b>	20
<b>Core</b>	8
<b>Número de Puertos</b>	8 (17/32")
<b>Junk Slot Area (sq in)</b>	8.2
<b>TFA (sq in)</b>	1.77
<b>Interface-Connection-Shoe</b>	62 – 6 ¾ X 3 HDT ROCKSWIFT
<b>Make-up Torque Recomendado</b>	25,800 lb.ft
<b>Dimensiones Nominales</b>	
<b>Make-up Face to Nose</b>	15.49 in
<b>Gage Length</b>	2.4 in
<b>Shank Diameter</b>	7.25 in
<b>Brake Out Plate</b>	174210/936094080
<b>Peso aproximado</b>	46 lb

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.



Figura 12: Broca FC 3843. Cortesía Halliburton.

La segunda broca recomendada y la más utilizada fue la broca FC 3733 (**figura 13**), una broca PDC de 7 aletas cuyas especificaciones se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 7:** Especificaciones de la broca FC 3733.

<b>Tipo de Cortadores</b>	X1 – Perforación convencional
<b>Código IADC</b>	M333
<b>Tipo de Cuerpo</b>	Matriz
<b>Cuenta total de cortadores</b>	61
<b>Distribución de los cortadores</b>	
	13 mm
<b>Cara</b>	38
<b>Gauge</b>	19
<b>Core</b>	4
<b>Número de Puertos</b>	7 (17/32")
<b>Junk Slot Area (sq in)</b>	9.4
<b>TFA (sq in)</b>	1.55
<b>Interface-Connection-Shoe</b>	62 – 6 ¾ X 3 HDT ROCKSWIFT
<b>Make-up Torque Recomendado</b>	25,800 lb.ft
<b>Dimensiones Nominales</b>	
<b>Make-up Face to Nose</b>	15.43 in
<b>Gage Length</b>	2.4 in
<b>Shank Diameter</b>	7.25 in
<b>Brake Out Plate</b>	174210/936094080
<b>Peso aproximado</b>	46 lb

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.



Figura 13: Broca FC 3733. Cortesía Halliburton

La tercera y última broca recomendada fue la broca CT 103 (**figura 14**), una broca TSP cuyas especificaciones se definen en la **tabla 8**.

**Tabla 8:** Especificaciones de la broca CT 103.

<b>Tipo de Cortadores</b>	TSP
<b>Código IADC</b>	M623
<b>Tipo de Cuerpo</b>	Matriz
<b>Cuenta total de cortadores</b>	0
<b>Número de Puertos</b>	15 (10/32")
<b>Junk Slot Area (sq in)</b>	5
<b>TFA (sq in)</b>	1.29
<b>Interface-Connection-Shoe</b>	62 – 6 ¾ X 3 HDT ROCKSWIFT
<b>Make-up Torque Recomendado</b>	25,800 lb.ft
<b>Dimensiones Nominales</b>	
<b>Make-up Face to Nose</b>	15.354 in
<b>Gage Length</b>	2 in
<b>Shank Diameter</b>	7.25 in
<b>Brake Out Plate</b>	174210/936094080
<b>Peso aproximado</b>	136 lb

Fuente: Halliburton, Programa de Corazonamiento pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

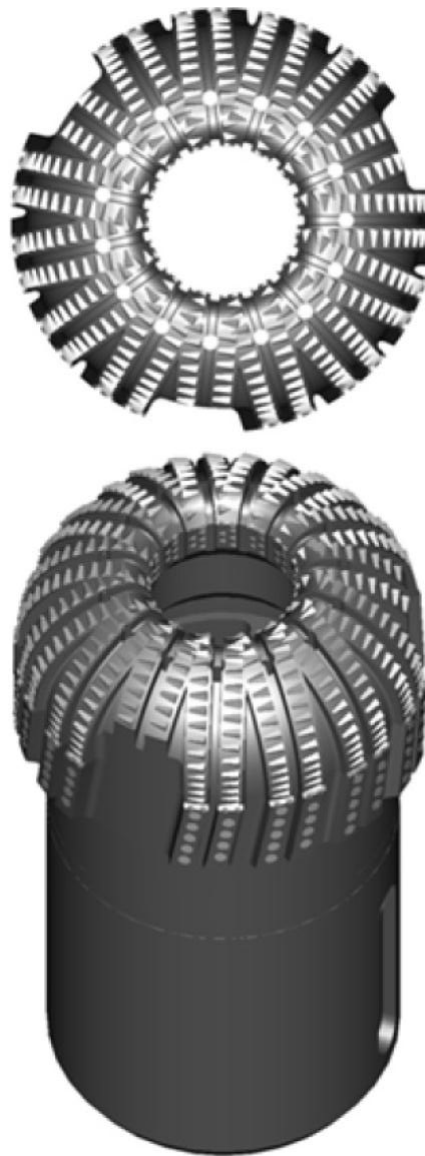


Figura 14: Broca CT 103. Cortesía Halliburton.

## 2.5. EQUIPO DE RECUPERACIÓN

Para la recuperación del barril interno, se utilizó un equipo conformado por los siguientes elementos:

- Side Entry Sub: Esta herramienta se acopla a la tubería de perforación y permite la conexión de una línea para el bombeo de lodo mientras se recupera el barril (**figura 15**).
- Stuffing Box: Su función es contener la presión del lodo durante el proceso de recuperación del barril interno (**figura 16**), mientras este proceso ocurre, se puede bombear lodo a bajas presiones dentro del pozo.
- Overshot: Es una herramienta larga que se conecta con la Spearhead del barril interno y lo sostiene hasta que llega a superficie (**figura 17**).



Figura 15: “Side Entry Sub”.



Figura 16: "Stuffing Box".



Figura 17: Overshot desarmado.

### 3. PROCEDIMIENTOS OPERACIONALES

#### 3.1. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA TOMA DE NÚCLEOS.

- Se recomienda que el BHA que se utilice para hacer el drill out y perforar hasta el punto de corazonamiento simule el barril corazonador, esto con el fin de facilitar el viaje a fondo para la toma de núcleo, evitando en lo posible rimar con el equipo de corazonamiento, acción para la cual no está diseñado. El resultado de rimar con el barril corazonador es daño prematuro de la broca corazonadora y desgaste de los estabilizadores acompañado de alta posibilidad de relleno dentro del barril interno que con lleva a un atascamiento prematuro. En este punto se recomienda bajar el BHA de perforación hasta el punto de corazonamiento con un estabilizador near-bit y otro a 30 ft.
- Una vez definido el punto de corazonamiento se recomienda circular como mínimo dos fondos arriba y/o hasta tener zarandas limpias, realizar un viaje de acondicionamiento, para evitar hacer trabajo de rimado con el ensamblaje de corazonamiento y/o re trabajar el hueco, ya que las coronas no están diseñadas para este tipo de trabajo. El hueco debe estar en excelentes condiciones.
- Se recomienda en este punto hacer una prueba de drift, utilizando el ensamblaje interno del equipo de corazonamiento, bajando el mismo con la unidad de wireline.
- En el viaje para perforar Collar y Zapato limpiar muy bien el fondo del hueco; todo residuo del Drill Out (aluminio, Caucho, Cemento) debe ser removido del hueco, para evitar que estos residuos tomen lugar en el barril y generen un atascamiento prematuro en el mismo.

- La toma de núcleo se realizara inicialmente con un barril ensamblado con el sistema RockSwift con conexiones HDT de 30 ft x 6 ¾". Esta longitud de barril será utilizada en las 3 primeras corridas, y de acuerdo con el porcentaje y la eficiencia de recobro se estudiara la migración a barril de 60 ft.
- En el viaje de entrada con barril corazonador hacerlo rompiendo circulación cada 500 pies; esto ayuda a limpiar el barril interno de residuos. Este paso es de vital importancia para verificar que el barril no esté taponado en el momento de llegar al punto de corazonamiento.
- Verificar que no exista ninguna restricción en el ID de la tubería, para garantizar el paso del Barril interno viajero. El drift requerido para el ensamblaje de 8 ½" es 4 1/8".
- Romper circulación en cada uno de los zapatos de las diferentes secciones. Observar presión de circulación.
- Confirmar T.D.
- Tome nota de las presiones reducidas de circulación.
- Para optimizar la operación de toma de núcleo en formaciones medianamente duras a duras en términos de eficiencia de recuperación y calidad de núcleo, se recomienda:
  - La utilización de una corona de baja invasión.
  - Tubos internos de aluminio.
  - Trabajar con un caudal entre 200 a 250 gpm, RPM 70 – 90
  - Peso sobre la corona entre 5 a 15 klbs según lo requiera el ingeniero en sitio.

### 3.2. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE CORAZONES

1. Levantar el barril externo 30' x 6  $\frac{3}{4}$ " y conectar la broca.
2. Armar 30 ft de triple tube.
3. Armar 30 ft de barril interno.
4. Hacer espaciamiento del barril interno.
5. Medir con el calibrador la cantidad de espaciamiento necesario a realizar con arandelas entre triple tube retainer y el outer tube adapter.
6. Conectar el Outer Tube Adapter con, los drill collars, los heavy wheight drill pipe y los drill pipe.
7. Continuar RIH con DP hasta una parada arriba del zapato del casing.
8. Romper circulación cada 500 pies inclusive en el zapato.
9. Continuar viaje dentro del hueco.
10. Mientras tanto armar ensamblaje interno del barril corazonador (back up).
11. Lavar la última parada, tocar fondo, circular fondos arriba hasta tener zarandas limpias, el caudal necesario para limpiar el hueco es máximo 500 gpm y mínimo 200 gpm.
12. Tomar registro de los siguientes parámetros fuera del fondo:
  - a. Torque @: 60, 80 y 100 RPM's
  - b. Presión a las tasas de flujo planeadas.
  - c. Peso de la sarta arriba, abajo y rotando.
13. Lanzar ensamblaje interno una parada antes de llegar a fondo.
  - a. El ensamblaje es enviado en caída libre, sin caudal.
14. Corazonar con los parámetros recomendados según instrucciones del equipo de corazonamiento.
15. Para mantener en fondo el barril durante la toma de núcleo se requiere un fuerza hidráulica por este motivo se debe utilizar el caudal dentro de el siguiente rango (200 a 300) GPM.

16. Una vez finalizado el corte del núcleo, levantar el ensamblaje de fondo para romper el núcleo, según instrucciones del equipo de profesionales de corazonamiento.

17. Viajar la tubería hasta tener el barril corazonador dentro del revestidor.

**Nota:** Ver Video 4 - Arme de la Sarta de Corazonamiento.

### **3.3. FINALIZACIÓN DE LA TOMA DEL NÚCLEO Y RECUPERACIÓN DEL BARRIL INTERNO**

El trabajo de toma de núcleo puede ser finalizado una vez se alcance el objetivo de la longitud de la toma del núcleo o cuando se produzca un atascamiento, problemas en el hueco, fallas técnicas del equipo corazonador y/o del equipo de perforación.

Para recuperar el corazón del ensamblaje interno se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Hacer chequeo de flujo.
2. Armar equipo de wireline en el tope de la tubería de perforación: acople rápido a la tubería de perforación, un “Side Entry Sub” y una “Stuffing Box”.
3. Conectar el Side Entry Sub al tanque de viaje.
4. Quebrar la conexión de drill pipe.
5. RIH ensamblaje de overshot para recuperación de núcleo.
6. Una vez se enganche al spearhead, sostenga el ensamblaje interno hasta sacar a superficie.
7. Sacar núcleo con cable hasta 100 pies, (Velocidad de sacada de 100 pies por minuto. Posteriormente de acuerdo con la calidad del núcleo y las

- condiciones operacionales será evaluado este valor, observar retornos para indicaciones de suaveo).
8. Hacer chequeo de flujo cerca de superficie (100 pies). Si hay evidencia de gas dentro de la tubería de perforación, se debe circular el pozo utilizando el Side Entry Sub con la BOP del equipo de wireline cerrada.
  9. Hacer reunión de pre-operacional, (atrapamiento de manos, golpes, etc).
  10. Desenroscar stuffing box.
  11. Halar las barras de peso a través del BOP.
  12. Desenroscar coupling rápido entre el BOP y la tubería.
  13. Levantar el BOP con el winche y eslingas hasta exponer la junta rotativa.
  14. Soportar el peso del barril interior con el plato retenedor.
  15. Liberar el overshot y halarlo a través del BOP.
  16. Bajar el BOP hasta el piso de la mesa de perforación.
  17. Desarmar el overshot
  18. Desarmar el equipo de wireline.
  19. Recuperar núcleo.
  20. RIH de nuevo dentro del hueco hasta una parada del fondo del hueco abierto.
  21. Lanzar el siguiente barril interior y continuar con la operación.

**Nota:** Ver Video 5: Finalización de la toma de Núcleo y Lanzamiento de un nuevo barril interno.

#### 4. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL POZO ANH-PATÍA-1-ST-P

El sistema Wireline RockSwift se utilizó para corazonar 2000 pies del pozo profundo ANH-PATÍA-1-ST-P en cinco intervalos de profundidad; 2500-3105, 4200-4290, 4500-4613, 4800-5247 y 6078-6661 pies, también se recuperaron corazones en los intervalos 8000-8029 y 10000-10151 pies, sin embargo para su obtención se utilizaron tecnologías Slim-hole y Convencionales respectivamente, por ello el análisis de éstos datos no hará parte de este proyecto.

De los corazones obtenidos se obtuvo una recuperación total de 1904,36 pies, lo que equivale a un porcentaje de recuperación acumulado de 95,18%. Se encontró una gran variedad de litologías, tales como Areniscas, Limolitas, Conglomerados y Shales en su mayoría.

Se recopilaron los parámetros operacionales y del lodo del pozo ANH-PATÍA-1-ST-P que se utilizaron durante cada una de las operaciones de corazonamiento, a partir de ellos se hizo una pre-selección con el fin de analizar únicamente aquellos parámetros que tengan una influencia significativa sobre la operación de corazonamiento; los parámetros seleccionados fueron peso sobre la broca (WOB) medido en Klb, revoluciones por minuto del top drive (RPM), presión en el Stand Pipe (SPP) medida en libras por pulgada cuadrada (psi), caudal de lodo medido en galones por minuto (gpm) y contenido de arcillas reactivas obtenido a partir de la prueba de azul de metileno (MBT) medido en libras por barril equivalente (lb/bbl eq). Adicionalmente se tuvo en cuenta el efecto de la litología y de la profundidad como posibles factores influyentes en el proceso de corazonamiento.

Todos los análisis realizados se hicieron enfocándose en el porcentaje de recuperación de los corazones, y observando la influencia de cada parámetro sobre éste aspecto. Para analizar el efecto de la litología en la recuperación se observó la descripción geológica de cada corazón y se separaron por litologías para ser representados en las gráficas por diferentes colores. Para observar la influencia de la profundidad, se separaron los datos correspondientes a una única litología presente en todas las profundidades corazonadas y se plasmaron en el gráfico observado en la **figura 18**. La litología seleccionada fue el Conglomerado debido a la gran cantidad de dificultades que se presentaron durante las operaciones de corazonamiento relacionadas a ésta litología y su presencia en todas las profundidades corazonadas.

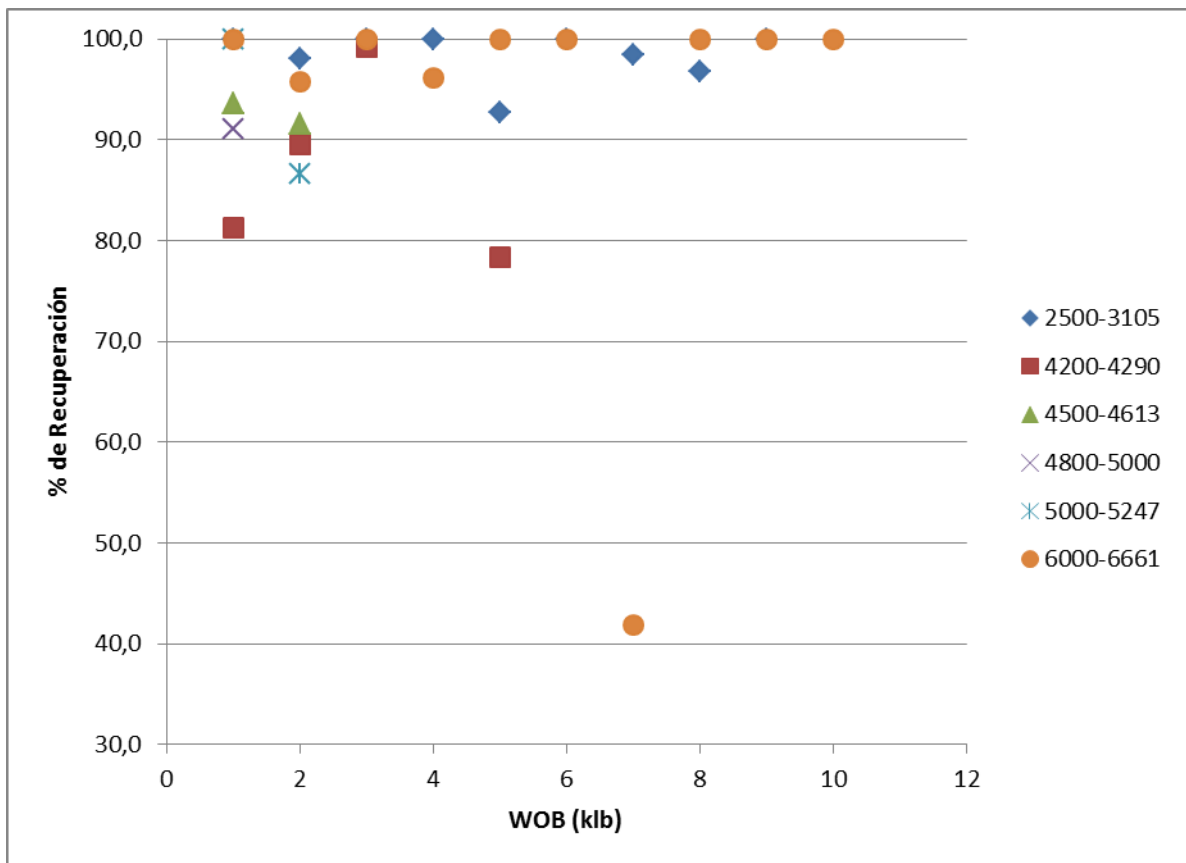


Figura 18: Gráfico de WOB vs % de Recuperación para la litología de Conglomerados, divididos en intervalos de profundidad.

En éste gráfico se observa que en todas las profundidades hubo porcentajes de recuperación de 90% o más por lo cual se concluye que la profundidad no es un parámetro influyente en el porcentaje de recuperación.

Se realizó entonces un análisis de la influencia del peso sobre la broca sobre el porcentaje de recuperación tal y como se muestra en la **figura 19**. Se puede observar que los tipos de litologías que presentaron una menor recuperación fueron los shales y los conglomerados y litologías con alguna presencia de éstos. Se evidencia también que en el rango de 0 a 7 Klb más del 90% de los corazones presentan un porcentaje de recuperación igual o superior al 90%. Similarmente, en el rango de 7-20 Klb se presenta un porcentaje de recuperación superior al 80%. Por lo cual se concluye que un menor peso sobre la broca afecta positivamente el porcentaje de recuperación de los corazones.

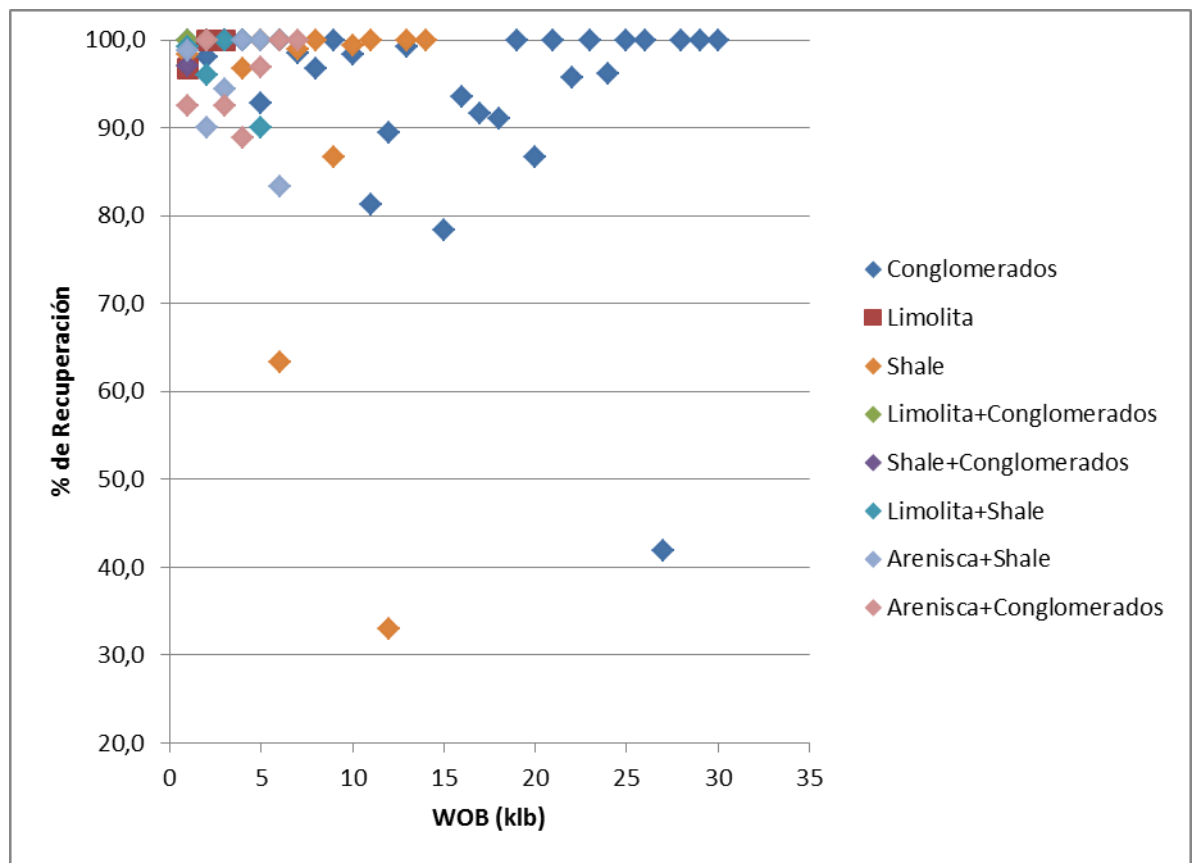


Figura 19: WOB vs % de Recuperación para cada tipo de litología.

Al analizar el efecto de las revoluciones por minuto sobre el porcentaje recuperado en la **figura 20** se encontró una tendencia definida. Al utilizar un menor número de revoluciones por minuto, se presentó una gran probabilidad de obtener un mayor porcentaje de recuperación de los corazones, ésta probabilidad disminuye al aumentar el número de revoluciones. Esto se debe a que un mayor número de revoluciones provoca mayor cantidad de vibraciones en la sarta de corazonamiento provocando atascamientos y daño a los corazones. Además se observó que aquellas muestras con menor recuperación se corazonaron en revoluciones medias, alrededor de las 80 y 90 revoluciones por minuto y no en las revoluciones más altas. Se llegó a la conclusión de que la tendencia observada se debe a la velocidad crítica de rotación del equipo, es decir, en éste intervalo de velocidad se produce el mayor número de vibraciones en la sarta, y por ende, mayor probabilidad de atascamiento y daño al corazón.

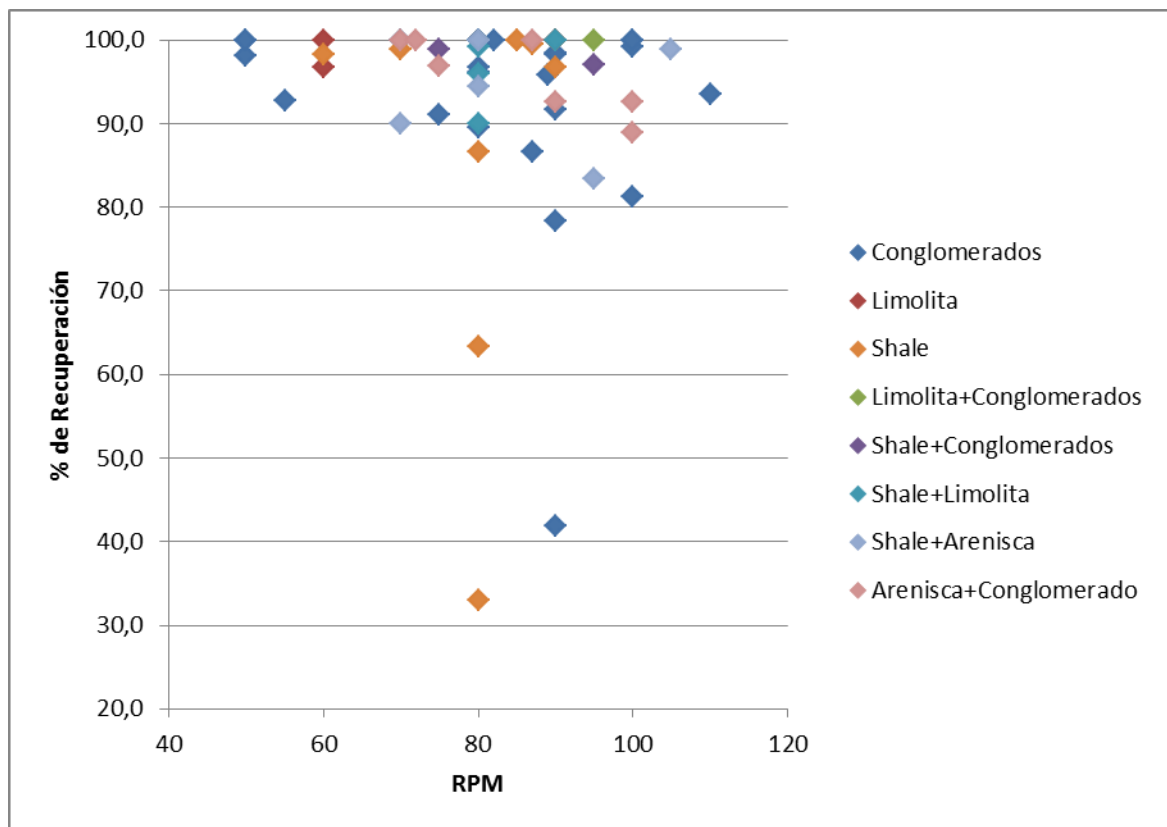


Figura 20: RPM vs % de Recuperación para cada litología.

Al observar el efecto que tiene la presión de la tubería en el porcentaje de recuperación (**figura 21**), se aprecia una tendencia a la disminución de la recuperación en altas presiones de la tubería, esto puede deberse a que las altas presiones pueden producir el filtrado del fluido de perforación hacia el interior de los corazones, haciendo que cualquier material hinchable (shales) reaccione, produciendo un aumento en el diámetro total de la roca. De hecho, se pudo observar en el momento de la extracción de los corazones del barril interno la presencia de puntos de mayor diámetro asociados a litologías arcillosas.

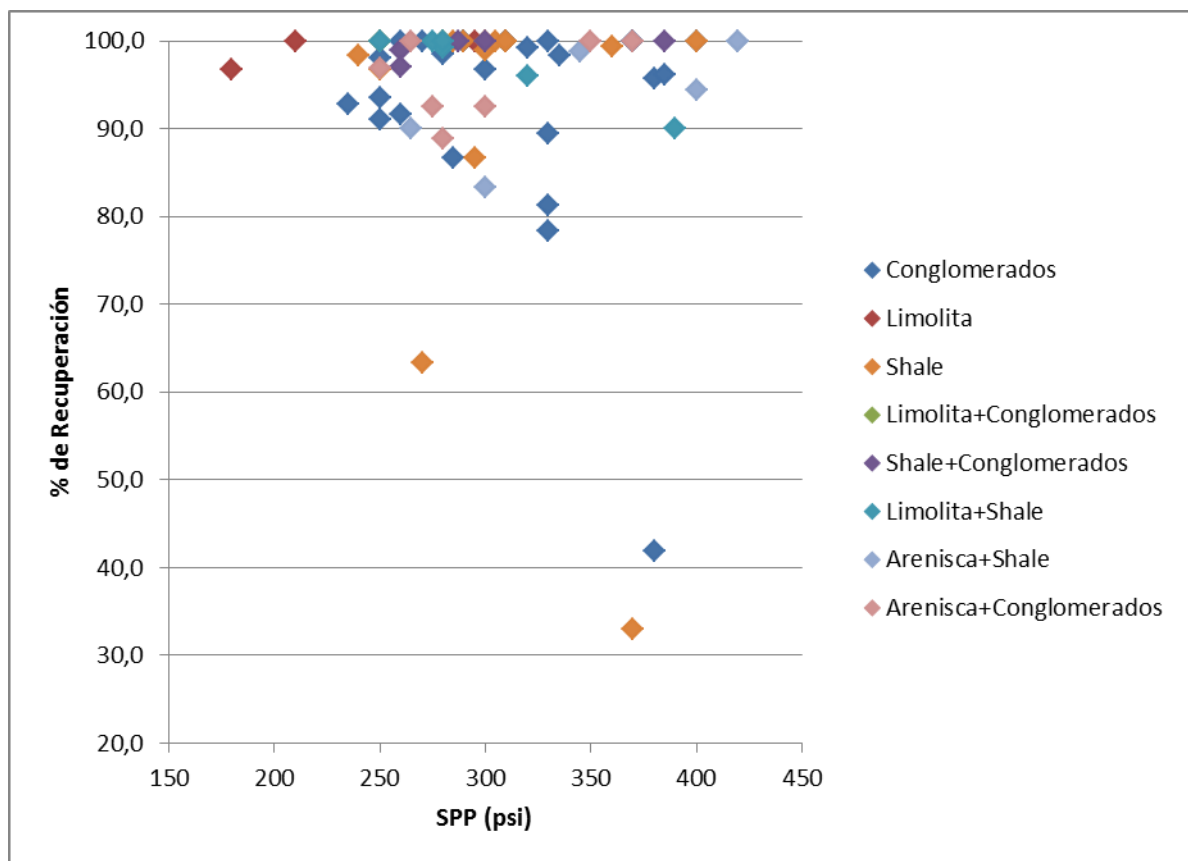


Figura 21: SPP vs % de Recuperación.

De igual manera se analizó el comportamiento de la **figura 22** que representa la influencia del caudal de lodo utilizado durante cada operación en la recuperación

de las muestras y en ella se puede observar claramente cómo se disminuye la recuperación con el aumento del caudal aplicado, esto puede deberse a que un mayor caudal induce a la ocurrencia del lavado del corazón y a su vez también favorece la invasión del filtrado del lodo en la roca, ambos fenómenos llevan al atascamiento del corazón dentro del barril y a la pérdida del mismo.

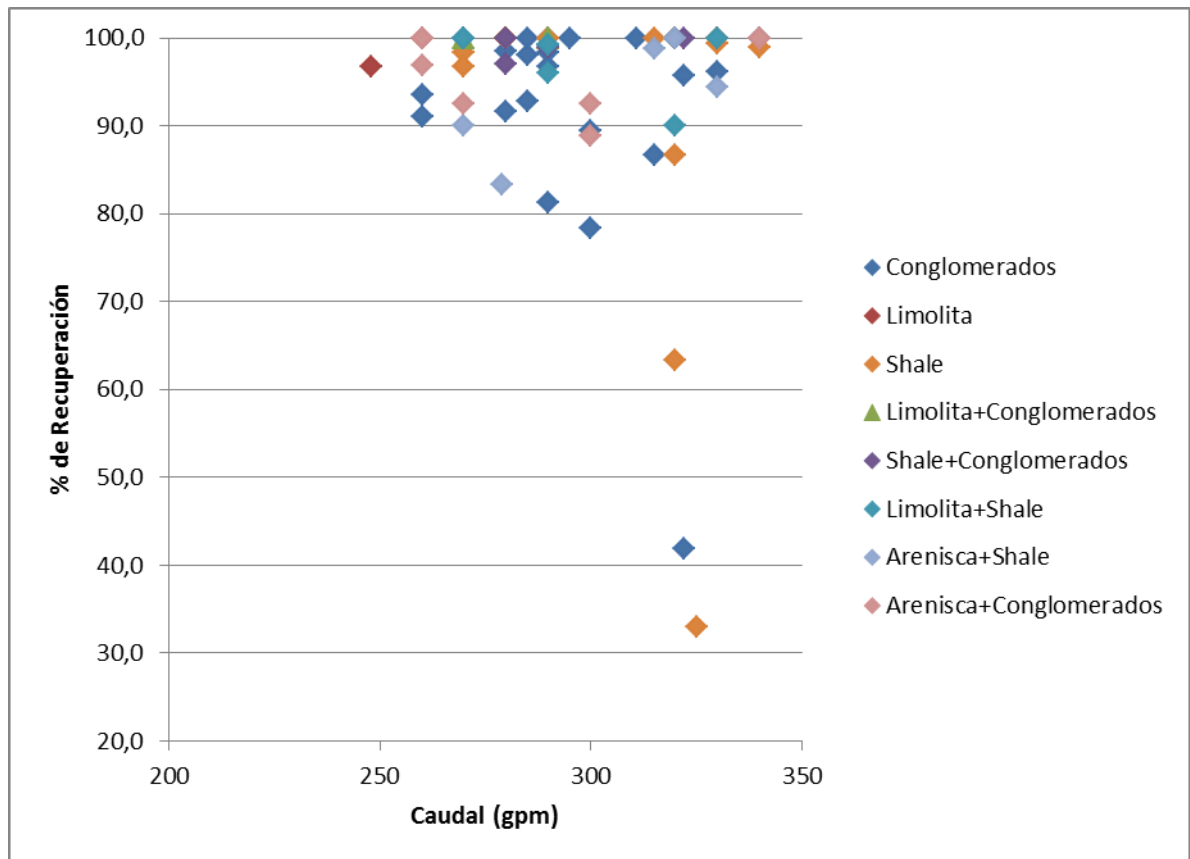
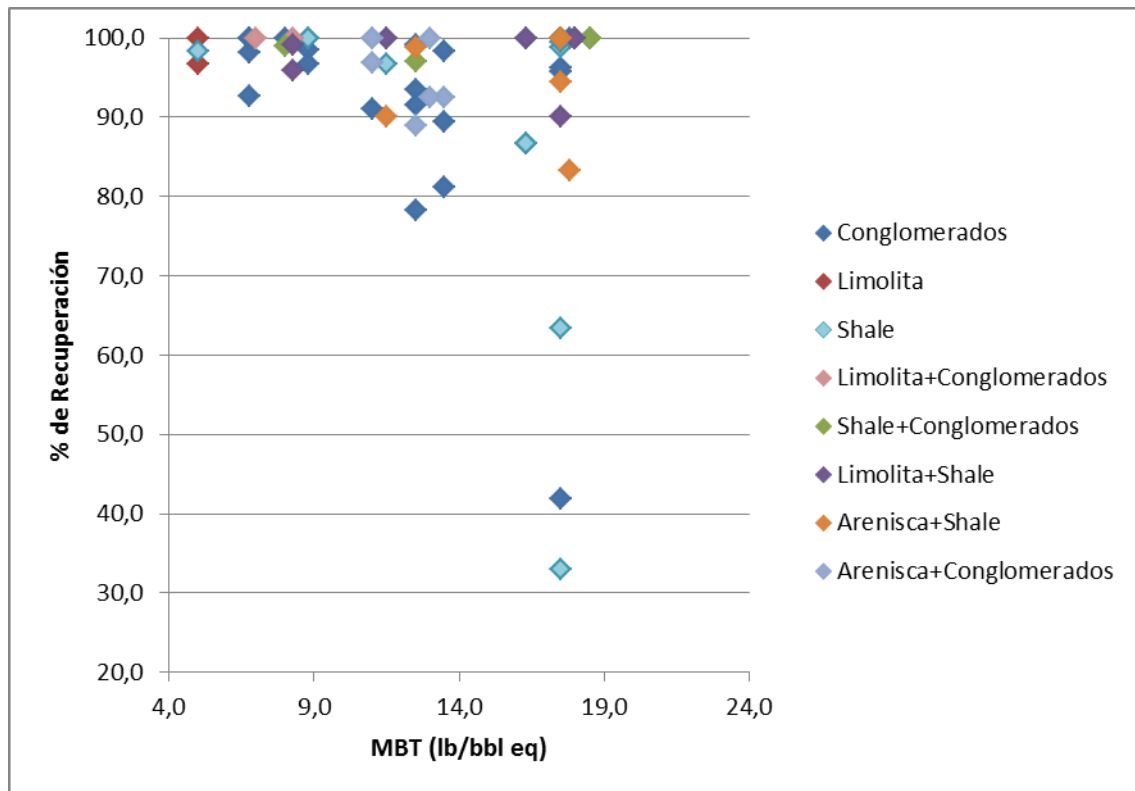


Figura 22: Caudal vs % de Recuperación.

En el análisis del contenido de arcillas reactivas observado en la **figura 23** también se pudo observar una tendencia clara a la disminución de la recuperación del corazón con el aumento de la cantidad de arcillas reactivas. Esto puede deberse al fenómeno mencionado anteriormente, el hinchamiento y acumulación de las partículas de arcilla dentro del barril interno que puede generar puntos

apretados y en consecuencia atascamiento de la muestra, además se han documentado casos en los que la acumulación de partículas arcillosas en la garganta de la broca, ocasiona el retrabajamiento de la roca disminuyendo su diámetro<sup>2</sup>.



Fig

ura 23: MBT vs % de Recuperación.

Finalmente se hizo el análisis del efecto de la tasa de penetración sobre la recuperación de las muestras. A pesar de que la tasa de penetración no es un parámetro controlable, es decir, es función de la formación que se está atravesando, se consideró que también tiene un efecto sobre la recuperación de los corazones tal y como se observa en la **figura 24**.

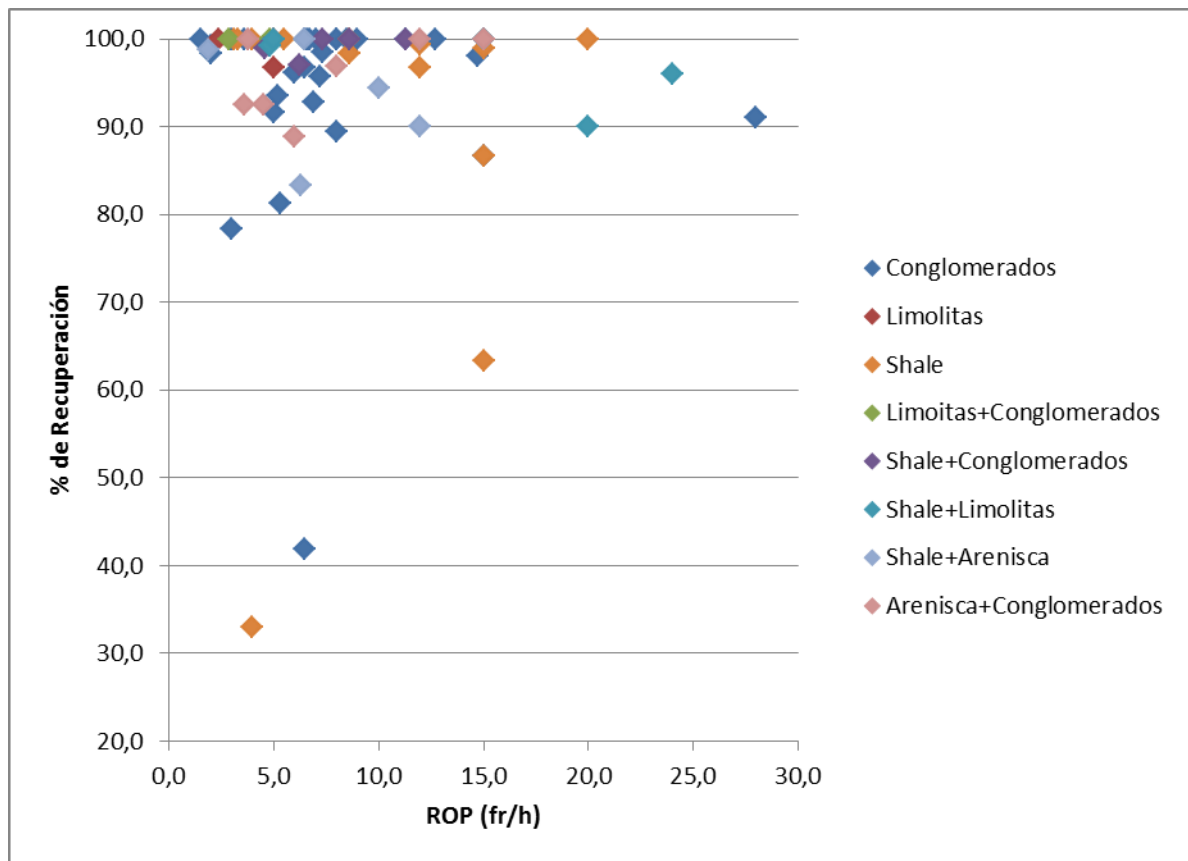


Figura 24: ROP vs % de Recuperación.

Claramente se observa una mayor recuperación cuando se presenta una baja tasa de penetración, y a medida que aumenta, disminuye la cantidad de muestras con muy buen porcentaje de recuperación. Esto puede deberse a que al tener menores tasas de penetración se obtiene un mejor corte de la roca y se desplazan correctamente todos los cortes producidos, disminuyendo la probabilidad de atascamiento durante la operación.

Se propuso una hipótesis sobre otro factor que puede contribuir a la disminución en la recuperación de los corazones; ésta fue que la utilización de un único tipo de core catcher no es el escenario más adecuado para asegurar la completa recuperación de la muestra. Si bien el equipo funciona correctamente en la

mayoría de litologías, puede presentar una desventaja cuando se trata de retener u atrapar un corazón que tenga una característica friable o inconsolidada, en este caso el core cátcher puede atrapar la muestra pero ésta puede deshacerse durante el proceso de extracción del barril interno dando lugar a pérdidas del material rocoso. Sin embargo, no existe ninguna información que pueda soportar éste planteamiento y la única manera de comprobarlo sería realizar el análisis de un pozo en el que se utilice un sistema de cierre total ó FCS (Full closure system por sus siglas en inglés) junto con la tecnología Wireline y compararlo con los datos obtenidos en este proyecto. Además el alto porcentaje de recuperación general del pozo sugiere que el core catcher no tiene una gran influencia en la recuperación de los corazones.

En la siguiente tabla se resume el análisis económico de tres sistemas de corazonamiento basándose en los datos obtenidos del pozo ANH-PATÍA-1-ST-P así como también el análisis de tiempos. En el pozo se utilizó un sistema de corazonamiento wireline de un diámetro de 8 ½". El análisis de tiempos y costos fue realizado por el área técnica del pozo ANH-PATÍA-1-ST-P bajo la dirección de los Ingenieros de Petróleos Werney Machuca y Jorge Calvete.

**Tabla 9:** Análisis de tiempos y costos del pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

SISTEMA CORING	ROP (FT/HR)	PIES A CORAZONAR	TIEMPO TOTAL		COSTO (US\$)		PERDIDA (US\$)
			HRS	DIAS	DIARIO	TOTAL	
8 1/2" - CABLE	2,38	2000	840,34	35,01	120.000,00	4.201.680,67	-
6" - CABLE	0,60	2000	3.333,33	138,89	120.000,00	16.666.666,67	12.464.985,99
6" - CONVENCIONAL	1,35	2000	1.481,48	61,73	120.000,00	7.407.407,41	3.205.726,74

**Tabla 9:** Continuación.

FLAT TIME (DIAS)	ENSANCHAMIENTO (DIAS)	PERF. (DIAS)	TOTAL (DIAS)	DESVIACION (DÍAS)
19,34	11,8	18,92	85,07	-
19,34	11,8	18,92	188,95	103,87
19,34	11,8	18,92	111,79	26,71

De acuerdo con la Tabla 9, a continuación se presenta un análisis gráfico de tiempos y costos detallado con datos adquiridos de lo ejecutado en el pozo ANH-PATÍA-1-ST-P.

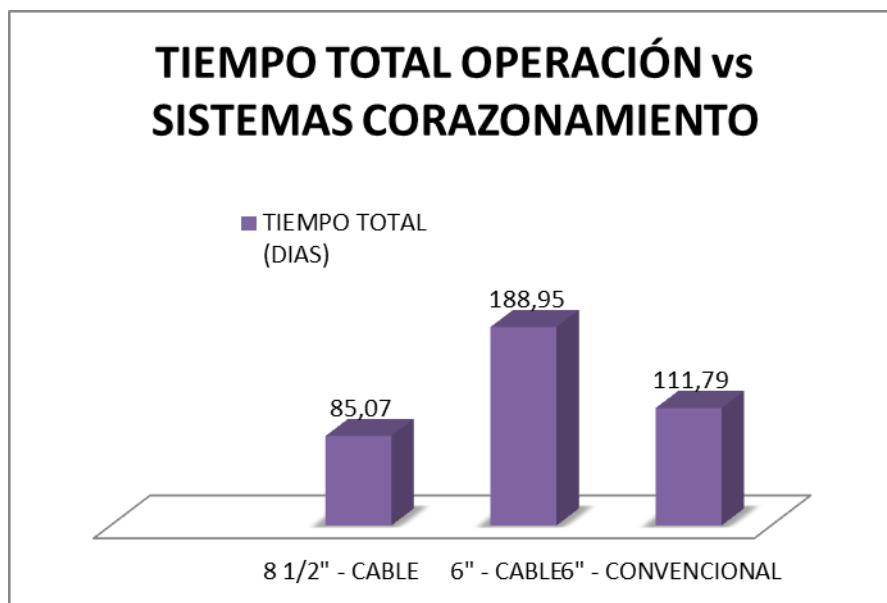


Figura 25: Tiempo total de operación vs Sistemas de Corazonamiento.

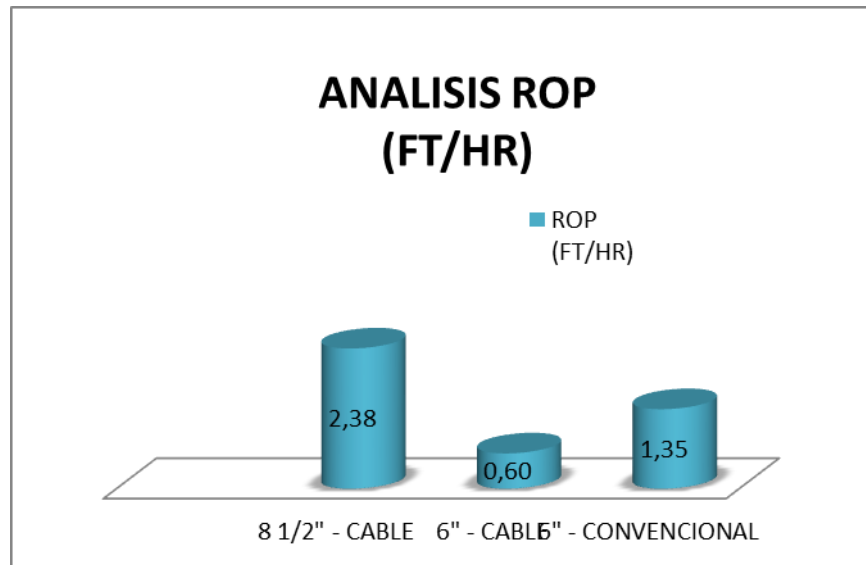


Figura 26: Análisis de ROP.

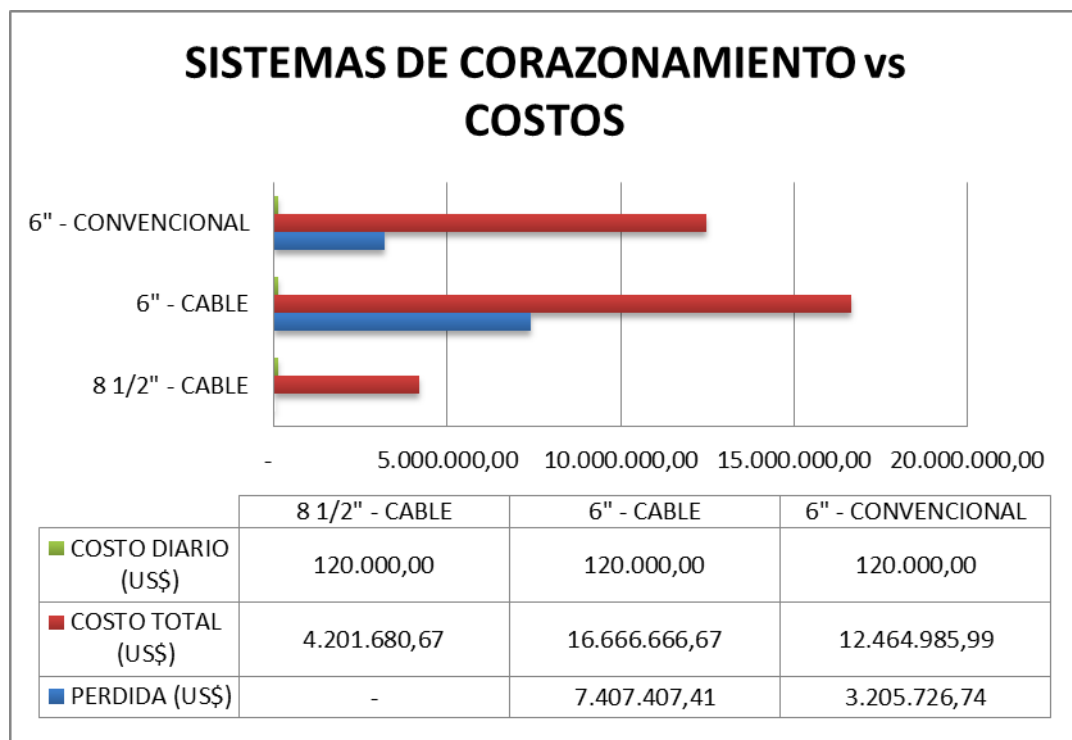


Figura 27: Sistemas de Coring vs Costos.

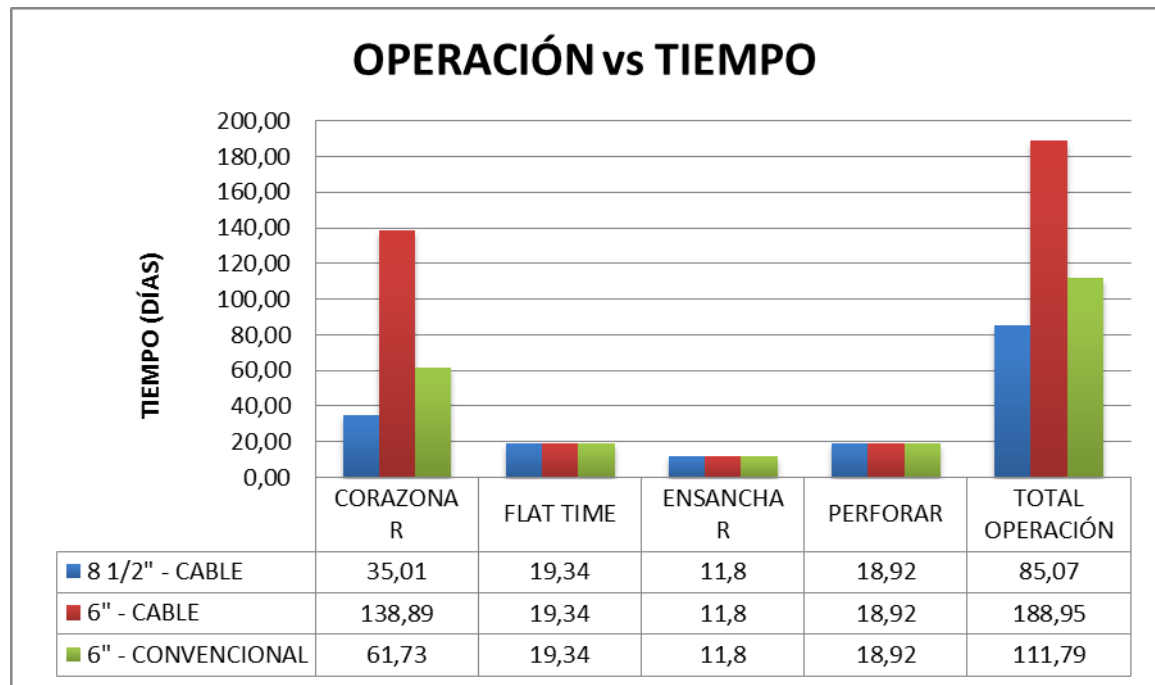


Figura 28: Operación vs Tiempo.

## 5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE CORAZONAMIENTO WIRELINE

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No requiere de la extracción de la tubería de perforación para extraer el barril interno.</li> <li>• Disminución en los tiempos de recuperación de la muestra.</li> <li>• Puede cambiar fácilmente de corazonamiento a perforación y viceversa.</li> <li>• Tiene una mayor confiabilidad al poseer un número reducido de partes mecánicas.</li> <li>• Fácil detección del atascamiento del barril al utilizar la presión de la tubería como indicador.</li> <li>• Sencillo sistema hidráulico de detección de atascamiento.</li> <li>• Disminución en los tiempos de operación.</li> <li>• Permite la utilización de varios tipos de barriles internos.</li> <li>• Disminución en los costos asociados al corazonamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El equipo está limitado por el diámetro interno de la tubería de perforación.</li> <li>• No puede utilizarse para corazonar muestras en pozos horizontales o desviados.</li> <li>• No se puede utilizar un martillo de perforación.</li> <li>• La longitud del barril está determinada por la altura de la torre de perforación.</li> </ul>

## 6. CONCLUSIONES

- La utilización de un sistema de corazonamiento Wireline ofrece la posibilidad de obtener muestras de diámetro similar al de aquellas obtenidas por un sistema de corazonamiento convencional.
- La eficiencia de recuperación de más del 95% del pozo ANH-PATÍA-1-ST-P y eficiencias de recuperación documentadas de más del 90% evidencian la efectividad y el buen rendimiento de la tecnología Wireline en cualquier tipo de litología y a cualquier profundidad.
- El reducido tiempo requerido para la extracción de las muestras de roca hacen de la tecnología la mejor opción para las operaciones de corazonamiento en mantos de carbón y en yacimientos de Gas Shale en donde la disminución en el tiempo de recuperación es el principal objetivo a cumplir.
- Los equipos utilizados por la tecnología de corazonamiento Wireline están diseñados especialmente para ser compatibles con los equipos de perforación comúnmente utilizados.
- El diámetro de la muestra de roca a obtener está limitado por el diámetro interno de la sarta de perforación a utilizar.
- Existen varios parámetros, tales como las revoluciones por minuto de la sarta, el caudal de lodo, la presión de la tubería, entre otros, que pueden afectar positiva o negativamente la recuperación de los corazones utilizando la tecnología Wireline.
- La reducción en los tiempos de operación está directamente relacionada con la reducción en los costos del proyecto.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Recommended practices for core analysis, recommended practice 40. Segunda edición. Febrero 1998.
2. AL-SAMMAK, IBRAHIM, AHMED, K., DE, SANTANU, AL-BOUS, FAISAL , AHMAD, FATMA, ABBAS, FAISAL. Coring unconsolidated formation-lower fars: a case study. SPE 119918. 2009.
3. FLECKESTEIN, W. W. and EUSTES, A. W. ESCUELA DE MINAS DE COLORADO. Novel Wireline Coring System. SPE 84358. Society of Petroleum Engineers, 2003.
4. ILHAN, M. ANNA. GARDNER DAVID. NATRAS, THANOS AND MCILREATH, IAN. Maximizing Wireline Coring Efficiency in Upper Mannville Coals in South Central Alberta. CSPG CSEG CWLS Convention. 2008.
5. WARREN, TOMMY. POWERS, JIM. BODE, DAVID. CARRÉ, ERIC. SMITH, LEE. Development of a Commercial Wireline Retrievable Coring System. SPE 52993. Society of Petroleum Engineers. 1998.
6. CLARK, R. ROBERT. A new continuous-sampling wireline system for acquisition of uncontaminated, minimally disturbed soil samples. Ground Water Monitoring & Remediation journal. 1988.
7. FILSHTINSKY, MICHAEL. AUMANN, J.T. AND QUINN, JOEL. CHRISTENSEN DIAMOND PRODUCTS USA. New tools improve economics of coring. SPE 12092. Society of Petroleum Engineers. 1983.
8. SHINMOTO, Y. MIYAZAKI, E. WADA, K. YAMAO, M. Development of a continuous directional coring system for deep-sea drilling. SPE 140913. Society of Petroleum Engineers. 2012.
9. RODRIGUEZ, S. TOVAR, E. VALDERRAMA, L. VIVAS, C. GRAY, M. DAZA, V. DELMAR, L. GOMEZ, C. Coring Shale Gas Formations with Wireline Coring Technology in a Complex Geological Structure in the Medium Magdalena Valley: A Case History from Colombia.