

**METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y PRESERVACIÓN DE CORAZONES DE
POZOS TIPO SLIM HOLE. APLICACIÓN CUENCA CAUCA-PATÍA**

**ERWIN YESID RODRÍGUEZ MUÑOZ
FABIÁN ROA ESPINOSA**

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

2011

**METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y PRESERVACIÓN DE CORAZONES DE
POZOS TIPO SLIM HOLE. APLICACIÓN CUENCA CAUCA-PATÍA**

**ERWIN YESID RODRÍGUEZ MUÑOZ
FABIÁN ROA ESPINOSA**

Trabajo de Grado presentado como requisito indispensable para optar al título de
Ingeniero de Petróleos

Director
Ing. HERNANDO BUENDÍA LOMBANA

Codirector
Ing. EMILIANO ARIZA LEÓN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS
ESCUELA INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2011

DEDICATORIA

Primero a Dios, y especialmente a mis padres, hermanos, familiares, amigos y a Lilibeth Vargas que se hicieron partícipes de este importante logro, gracias a su colaboración y por el apoyo oportuno que nos brindaron para resolver con más facilidad los problemas que se presentaron.

Fabían Roa Espinosa

DEDICATORIA

*A Dios por ser nuestro guía,
Nuestra fuente de inspiración,
Nuestra luz en medio de la oscuridad
y nuestra fortaleza para no desfallecer.*

*A mi familia, en especial mi madre, mi padre y mi hermano,
Por su incondicional apoyo, por sus palabras de aliento
Y por sembrar en mí el amor y los valores,
Que me permiten realizarme día a día,
Una mejor persona profesional y espiritualmente.*

Erwin Yesid Rodríguez Muñoz

AGRADECIMIENTOS

A los docentes M. Sc. HERNANDO BUENDÍA LOMBANA y EMILIANO ARIZA LEÓN, director y codirector del proyecto quienes con su respaldo, confianza experiencia y conocimientos, contribuyeron en nuestra formación, no solo profesional, sino también personal.

A nuestros padres y familiares.

Todos fueron apoyo incondicional durante la construcción de un gran sueño.

A aquellas personas que de una u otra manera nos acompañaron en el transcurso del desarrollo de este proyecto.

A amigos y compañeros de trabajo que colaboraron siempre con sus palabras de aliento.

A quienes lean esto y sepan de quienes hablamos.

Erwin Yesid Rodríguez M.
Fabían Roa Espinosa

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES DEL CORAZONAMIENTO	23
1.1 CORAZONAMIENTO.....	24
1.2 CORAZONAMIENTO EN COLOMBIA.....	25
1.3 NÚCLEO Y/O CORAZÓN	28
1.5 PLANEACIÓN DE UN PROGRAMA DE CORAZONAMIENTO.....	30
1.5.1 Objetivos del corazonamiento.....	34
1.5.1.1 Objetivos geológicos	34
1.5.1.2 Objetivos de perforación y completamiento.....	34
1.5.1.3 Objetivos de ingeniería Petrofísica y de yacimientos.....	35
1.5.2 Determinación del tipo de pruebas de análisis del núcleo.....	36
1.5.3 Selección de la locación del pozo.....	36
1.5.4 Fluidos de corazonamiento.....	38
1.5.4.1 Seguridad.....	38
1.5.4.2 Programa de corazonamiento.....	38
1.5.4.3 Aspectos ambientales.....	38
1.5.4.4 Costos.....	38
1.5.5 Equipos de corazonamiento.....	39
1.5.5.1 Barril de corazonamiento convencional.....	42
1.5.5.2 Barril de corazonamiento Convencional reforzado.....	43
1.5.5.3 Barril de corazonamiento con revestimiento (PVC, Aluminio o fibra de vidrio).....	44
1.5.5.4 Barril de corazonamiento interno desechable.....	45
1.5.5.5 Corazonamiento en pozos horizontales.....	45
1.5.6 Sistemas especiales de corazonamiento.....	46
1.5.6.1 Corazonamiento de presión retenida.....	47

1.5.6.2	Corazonamiento de revestimiento con esponja.	49
1.5.6.3	Corazonamiento de cierre completo.	50
1.5.6.4	Barril de corazonamiento con manga de caucho.	50
1.5.6.5	Barril de corazonamiento recuperable con wireline.	51
1.5.7	Corazonamiento de paredes laterales con wireline.	54
1.5.7.1	Corazonamiento de paredes laterales por percusión.....	54
1.5.7.2	Corazonamiento de paredes laterales por perforación.	56
1.5.7.3	Corazonamiento orientado.....	57
1.5.8	Brocas de corazonamiento.	57
1.5.8.1	Selección de brocas de corazonamiento.	58
1.5.8.2	Brocas de Diamantes naturales.	60
1.5.8.3	Brocas de Diamantes Poli-cristalinos Compactados (PDC).....	61
1.5.8.4	Brocas de Diamantes térmicamente estables (TSD).	62
1.5.8.5	Brocas de Conos Giratorios.	63
2.	POZOS SLIM-HOLE	66
2.1	TECNOLOGÍA SLIM-HOLE	66
2.1.1	Reducción de costos.....	71
2.1.2	Fluidos de perforación en Slim Hole	72
2.1.3	Reducción del impacto ambiental.	75
2.1.3.1	Reducción de espacio y equipo.	75
2.1.3.2	Reducción del ruido.	76
2.1.3.3	Reducción de gases contaminantes.	77
2.1.3.4	Características de un equipo Slim Hole.	78
2.1.3.5	Ventajas de la perforación Slim-hole.	79
2.1.3.6	Factores que afectan las operaciones en Slim Hole.	80
2.2	CORAZONAMIENTO CON WIRELINE EN POZOS SLIM-HOLE.....	80
2.3	SLIM-HOLE COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA EN POZOS HORIZONTALES.....	86
3.	METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS DE POZOS TIPO SLIM HOLE	90
3.1	RECUPERACIÓN DEL NÚCLEO	92
3.1.1	Traslado del barril interno.	92

3.1.2 Extracción del núcleo del barril interno.	93
3.2 PROCESAMIENTO DEL NÚCLEO.....	95
3.2.1 Medición.....	95
3.2.2 Descripción geológica.....	96
3.2.3 Corte.....	97
3.3 FOTOGRAFÍA DEL NÚCLEO DESNUDO.....	98
3.3.1 Imagen digital.....	98
3.3.2 Formato de reporte diario.....	99
3.4 MARCADO Y PRESERVACIÓN.....	103
3.4.1 Núcleo consolidado.....	103
3.4.2 Núcleo no consolidado.....	106
3.4.3 Núcleo impregnado de Hidrocarburos.	108
3.5 EMPAQUE DEL NÚCLEO.....	108
3.6 ETIQUETADO DE CAJAS.....	110
3.7 FOTOGRAFÍA DEL NÚCLEO PRESERVADO.....	111
3.8 FORMATO DE ENTREGA.....	111
3.9 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DEL NÚCLEO.....	112
4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A UN POZO SLIM HOLE DE LA CUENCA CAUCA-PATÍA.....	116
4.1 LOCALIZACIÓN CUENCA CAUCA-PATÍA.....	117
4.2 GEOLOGÍA DE LA CUENCA CAUCA-PATÍA.....	119
4.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CORAZONAMIENTO DEL POZO...	122
4.3.1 Equipo de perforación usado.	123
4.3.2 Brocas usadas.	125
4.3.3 Sistema wireline usado.	127
4.3.4 Ensamblaje del barril de corazonamiento usado.	129
4.3.5 Fluido de perforación usado.....	130
4.4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS NÚCLEOS.....	130
4.4.1 Recuperación del núcleo.....	131

4.4.1.1 Traslado del barril interno al sitio de preservación.....	131
4.4.1.2 Extracción del núcleo del barril interno	132
4.4.2 Procesamiento del núcleo.....	134
4.4.2.1 Medición.....	134
4.4.2.2 Descripción geológica.	135
4.4.2.3 Corte.	135
4.4.3 Fotografía del núcleo desnudo.....	136
4.4.3.1 Imagen digital.....	136
4.4.4 Marcado y preservación.....	140
4.4.5 Empaque del núcleo.	142
4.4.6 Etiquetado de las cajas.	143
4.4.7 Fotografía del núcleo preservado.	143
4.4.8 Formato de entrega.	144
4.5 RESULTADOS OBTENIDOS.....	147
CONCLUSIONES	150
RECOMENDACIONES	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de perforación de pozos estratigráficos 2010	26
Figura 2. Proyección para pozos estratigráficos hasta 2020	27
Figura 3. Perforación de pozos tipo Slim Hole en Colombia	27
Figura 4. Proyección de perforación pozos tipo Slim Hole hasta 2020	28
Figura 5. Núcleo y broca corazonadora	29
Figura 6. Muestra de zanja	30
Figura 7. Etapas para un programa de corazonamiento	32
Figura 8. Componentes del barril de corazonamiento	40
Figura 9. . Barril de corazonamiento con revestimiento (PVC, ALUMINIO, FIBRA DE VIRDRIO).....	44
Figura 10. Esquema para congelamiento de los núcleos	48
Figura 11. Corazonamiento de revestimiento con esponja	49
Figura 12. Corazonamiento con wireline.....	52
Figura 13. Tiempos de maniobra entre un sistema convencional y un sistema wireline.....	54
Figura 14. Sistema wireline por percusión	56
Figura 15. Diagrama selección de brocas según dureza y abrasión de la formación	59
Figura 16. Brocas de diamante natural o impregnadas de diamante	61
Figura 17. Brocas PDC	62
Figura 18. Geometría de los diamante en brocas TSD	63
Figura 19. Brocas TSD	63
Figura 20. Broca de cuatro conos	64
Figura 21. Comparación de los costos de operación por áreas entre un pozo convencional y un Slim Hole	67

Figura 22. Incremento de la perforación de pozos Slim Hole	69
Figura 23. Ciclo de refuerzo para el manejo adecuado de un equipo Slim Hole ..	70
Figura 24. Comparación de un pozo convencional y un Pozo Slim Hole	72
Figura 25. Diferencia de anular entre convencional vs Slim-Hole.....	73
Figura 26. Mapas de ruido. A. contorno de una plataforma Slim Hole y B. Un equipo de perforación convencional. Los ejes horizontales y verticales representan las distancias en metros desde el centro del equipo de perforación. Los contornos representan los niveles	77
Figura 27. Partes del barril de corazonamiento en wireline	82
Figura 28. Proceso de extracción de núcleos por sistema wireline.....	83
Figura 29. Diagrama de flujo para el manejo y preservación de núcleos pozos tipo Slim Hole	91
Figura 30. Traslado del barril interno	93
Figura 31. Colocación del barril en sentido horizontal	93
Figura 32. Extracción del núcleo del barril interno	94
Figura 33. Corte del núcleo.....	97
Figura 34. Toma fotográfica núcleo desnudo.....	99
Figura 35. Formato de corazonamiento	101
Figura 36. Formato Geológico	102
Figura 37. Marcado del núcleo desnudo.....	104
Figura 38. Preservación del núcleo.....	105
Figura 39. Marcado sobre papel aluminio.....	105
Figura 40. Congelación del núcleo.....	106
Figura 41. Estabilización mecánica con resina	107
Figura 42. Núcleo con tubo PVC.....	108
Figura 43. Ubicación del núcleo dentro de la caja	109
Figura 44. Marcado de fin de núcleo y de no recuperación	110
Figura 45. Etiqueta de las cajas.....	111
Figura 46. Formato de entrega de muestras.....	112
Figura 47. Transporte de las muestras	113

Figura 48. Formato muestras de zanja	115
Figura 49. Localización general del pozo.....	118
Figura 50. Evolución geológica Cuenca Cauca-Patía.....	121
Figura 51. Equipo de perforación.....	123
Figura 52. Broca corazonadora T XTREME impregnada.....	125
Figura 53. Broca tricónica PDC.....	126
Figura 54. Esquema para la selección de broca según la dureza de la formación	127
Figura 55. Operación de recuperación del barril interno mediante sistema wireline	128
Figura 56. Ensamblaje del barril de corazonamiento	129
Figura 57. El traslado del barril interno al sitio de preservación.....	131
Figura 58. La extracción del núcleo del barril interno.....	133
Figura 59. La medición del núcleo	134
Figura 60. La descripción geológica	135
Figura 61. El corte del núcleo	136
Figura 62. La toma fotográfica núcleo desnudo	137
Figura 63. Formato de corazonamiento diligenciado	138
Figura 64. Formato Geológico	139
Figura 65. El marcado del núcleo desnudo.....	140
Figura 66. La preservación del núcleo	141
Figura 67. El empaque del núcleo	142
Figura 68. Etiquetado de la caja	143
Figura 69. Núcleo preservado.....	144
Figura 70. Formato de entrega de muestras diligenciado.....	145
Figura 71. El almacenamiento de las cajas	146
Figura 72. Transporte de los núcleos.....	146
Figura 73. Avance pies recuperados Vs. Avance de corazonamiento	147
Figura 74. Recuperación Diaria	148

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Información que proporciona los núcleos.....	37
Tabla 2. Opciones convencionales de corazonamiento disponibles	42
Tabla 3. Sistemas Especiales de Corazonamiento	47
Tabla 4. Tipos de brocas corazonadoras	58
Tabla 5. Selección broca de corazonamiento	60
Tabla 6. Fluidos de perforación desarrollado para su uso en las operaciones de perforación Slim Hole.....	74
Tabla 7. Comparación de las plataformas perforación convencional y Slim Hole.	75
Tabla 8. Consumo de combustible y las emisiones de gases de una Unidad de CTD, plataforma Slim Hole y convencional.....	78
Tabla 9. Corazonamiento con sistema wireline y convencional	86
Tabla 10. Costos comparativos de pozos nuevos perforados	88
Tabla 11. Costos comparativos de perforación Slim Hole Vs Diseño Ampliación.	88
Tabla 12. Ficha técnica del equipo de perforación utilizado	124
Tabla 13. Brocas utilizadas.....	126
Tabla 14. Propiedades del fluido de perforación usado	130

RESUMEN EN ESPAÑOL

TITULO: METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y PRESERVACIÓN DE CORAZONES DE POZOS TIPO SLIM HOLE. APLICACIÓN CUENCA CAUCA-PATÍA. ¹

**AUTORES: ERWIN YESID RODRÍGUEZ MUÑOZ²
FABIÁN ROA ESPINOSA**

PALABRAS CLAVES: Preservación de núcleos, corazonamiento, metodología, pozos estratigráficos, Slim Hole.

La optimización en el manejo y preservación de núcleos en el proceso de corazonamiento en pozos estratigráficos, ha llamado la atención de la industria petrolera debido a la importancia que tienen las muestras de roca recuperadas de perforación para su respectivo análisis en el laboratorio, para posteriormente entregar datos más precisos de formaciones geológicas y del posible potencial hidrocarburífero que puede llegar a contener la zona de interés.

Debido a la importancia de los núcleos recuperados el objetivo de este proyecto fue de estructurar una metodología para mejorar el manejo y preservación de corazones en pozos tipo Slim Hole, con el fin de obtener muestras representativas, precisas y de alta calidad de la cobertura sedimentaria de la Cuenca Cauca-Patía. Ya que esta cuenca presenta un conjunto de características geológicas muy propias y plantea un sin número de interrogantes concernientes a su viabilidad petrolífera, por esto la información técnica de los corazones es fundamental en la planeación y desarrollo de las actividades de exploración de áreas prospectivas de hidrocarburos, en relación a esta actividad es necesario conocer algunos conceptos básicos del corazonamiento y de la tecnología Slim Hole ya que permiten el buen desarrollo del proyecto y contribuye a mejorar el manejo y preservación de núcleos de los pozos estratigráficos que a futuro se perforen en el país.

¹ Proyecto de Grado

² Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos.
Director: Hernando Buendía Lombana. Codirector: Emiliano Ariza León.

ABSTRACT

TITLE: METHODOLOGY FOR MANAGEMENT AND PRESERVATION OF HEARTS OF TYPE SLIM HOLE WELL. BASIN APPLICATION CAUCA-PATIA.³

**AUTHOR: ERWIN YESID RODRÍGUEZ MUÑOZ⁴
FABIÁN ROA ESPINOSA**

KEY WORDS: Preservation of cores, hearts, methodology, Stratigraphic wells, Slim Hole.

Optimizing the management and preservation of nuclei in the process of stratigraphic wells hearts has caught the attention of the oil industry because of the importance of rock samples recovered from drilling for examination in the laboratory, and subsequently deliver more accurate data and potential geological hydrocarbon potential that may contain the area of interest.

Due to the importance of the cores recovered the objective of this project was to structure a methodology to improve the management and preservation of hearts in Slim Hole-type wells, in order to obtain representative samples, accurate and high quality of sedimentary cover Cauca-Patia basin. Since this basin is a geological feature set very own and raises a number of questions concerning its viability oil, so the hearts technical information is essential in planning and development of the exploration of hydrocarbon prospective areas in relation to this activity is necessary to know some basic concepts of the heart and the Slim Hole technology and enabling the smooth development of the project and contributes to improved management and preservation of core of the future stratigraphic wells are drilled in the country.

³ Graduation Project

⁴ Physicochemical Engineering Faculty. Petroleum Engineering School. Director: Hernando Buendía Lombana. Codirector: Emiliano Ariza León.

INTRODUCCIÓN

El manejo y preservación de los núcleos de perforación en las instalaciones del pozo debe seguir las mejores prácticas posibles, debido a que la integridad de la muestra y confiabilidad de los futuros análisis los cuales está directamente relacionados con los cuidados a tener en cuenta durante el desarrollo de esta operación. El objetivo de cualquier procedimiento de preservación de núcleos es mantener la roca con las propiedades in-situ y minimizar la alteración de la misma durante este proceso.

La gran demanda de Hidrocarburos, el alto precio del crudo y los escasos hallazgos en los últimos años han llevado a buscar áreas prospectivas potenciales de Hidrocarburos, para explorarlas y desarrollarlas, esperando ampliar los recursos petrolíferos del país. Por esta razón, los profesionales involucrados en las actividades de exploración y explotación deben estar encaminados con este propósito.

La recuperación de los núcleos se realiza por medio del desarrollo de un programa de corazonamiento, en el cual pueden distinguir tres etapas: la recuperación de muestras de roca de la formación, el manejo y preservación de la muestra y, el análisis de las muestras recuperadas. Este trabajo de grado está enfocado principalmente a la segunda etapa.

En este contexto, se aborda la importancia que tienen las actividades de corte, manejo, preservación y transporte de núcleos de perforación de pozos exploratorios (estratigráficos), para la evaluación de las formaciones geológicas, en relación con la caracterización, y el aprovechamiento de los yacimientos petroleros.

Para lograr una buena caracterización de un potencial depósito de Hidrocarburos, se debe cuantificar las propiedades tanto de las rocas, como de los fluidos que éstas contienen, además de integrar e interpretar los datos resultantes en términos de la viabilidad técnica y financiera del proyecto de desarrollo. A través de núcleos debidamente manejados y preservados, ingenieros, geólogos y petrofísicos pueden obtener información representativa de las propiedades geológicas, físicas y químicas de la formación con el fin de lograr la mejor caracterización posible del yacimiento o de la zona en estudio, que pueda conducir entre otros aspectos a identificar la estructura geológica estratigráfica, refinar la evaluación de reservas, descubrir nuevos yacimientos y aumentar la eficiencia de la producción en los yacimientos que ya se encuentran bajo explotación.

Para esto se estableció una metodología la cual describe el adecuado procedimiento de manejo y preservación de núcleos extraídos en pozos tipo Slim Hole, siendo esta alineada a la norma API RP40 y siguiendo los lineamientos descritos en el manual de entrega de la LITOTECA NACIONAL. Buscando implantar técnicas que puedan ser aplicadas en futuros proyectos de la industria petrolera, para obtener una apropiada preservación y así mantener la integridad del núcleo durante y después de un programa de corazonamiento logrando una muestra de alta representatividad de la cual se alcancen análisis solo satisfactorios, que se puedan ver reflejados en una mejor caracterización del yacimiento y en consecuencia lograr excelentes beneficios.

La metodología planteada se aplicó a un pozo y se continuará implementando en el corazonamiento contemplado en el proyecto “PERFORACIÓN DE POZOS SOMEROS Y ESTRECHOS (TIPO SLIM HOLE) EN LA CUENCA CAUCA-PATÍA, CON RECUPERACIÓN DE NÚCLEOS”. El cual es llevado a cabo entre la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y la Universidad Industrial de Santander (UIS), cuyo objetivo principal es realizar un trabajo geológico integrado, adquiriendo información directa, precisa y de alta calidad de la cobertura sedimentaria, el cual

comprende el levantamiento de columnas estratigráficas y la recolección de muestras de roca (núcleos y muestras de zanja), para la realización de futuros análisis geoquímicos, petrográficos y petrofísicos que lleven a caracterizar potenciales rocas generadoras de hidrocarburos, reservorios y sellos de la cuenca.

1. GENERALIDADES DEL CORAZONAMIENTO

En este capítulo se encuentra la importancia que tienen las actividades de corazonamiento para la evaluación de las formaciones geológicas, en relación con la caracterización, la evaluación y el aprovechamiento de los yacimientos petroleros.

La exploración para localizar hidrocarburos se inicia con un entendimiento de la geología regional, lo cual se complementa con la interpretación sísmica detallada de la zona para proporcionar el modelo conceptual de un yacimiento potencial, es decir, de una estructura geológica en la cual pudieran existir hidrocarburos. A continuación se perforan pozos exploratorios y las principales preguntas que surgen inmediatamente son: “Hay Hidrocarburos presentes”, “Los Hidrocarburos son aceite, gas o ambos”, “Cuál es el volumen de los Hidrocarburos”, “Cuáles son las posibilidades reales de lograr el éxito comercial”.

Un elemento básico para poder dar respuestas fundamentadas a estas preguntas, consiste en cuantificar las propiedades relevantes tanto de las rocas, como de los fluidos que éstas contienen; a esta labor se le designa en forma abreviada como “evaluación de formaciones”.

Más formalmente, el término “evaluación de formaciones” aplicado a un estudio petrolero puede enunciarse como “la práctica de usar información obtenida de las muestras de roca y de fluido que se extraen del mismo para lograr una buena caracterización de las propiedades físicas y químicas del yacimiento”.

Para lograr una buena evaluación o caracterización es de vital importancia tener una muestra de roca que sea representativa y que conserve las propiedades in-situ de la formación en estudio. Es aquí donde nos damos cuenta de la gran

importancia que tiene el proceso de corazonamiento en la evaluación, exploración y desarrollo de proyectos petroleros⁵.

1.1 CORAZONAMIENTO

Es el proceso por el cual se recupera una muestra de roca, esta puede ser núcleos o muestras de zanja, de las formaciones de interés de un pozo, para luego realizar la caracterización de la zona en estudio. El material puede ser roca consolidada, roca no consolidada, conglomerado, arenisca, carbón, lutitas o arcillas⁶.

Este proceso incluye tres etapas: **a.** La recuperación de la muestra desde el fondo del pozo hasta superficie cuyo objetivo fundamental es obtener la mayor cantidad de muestras de roca en buen estado y que sean representativas, **b.** El manejo y preservación de la muestra en superficie el cual debe seguir las mejores prácticas para minimizar la alteración de esta durante las operaciones de corte, marcado, preservación y transporte para que conserven las propiedades físicas y químicas de la formación y **c.** El análisis de las muestras por el cual mediante mediciones directas de laboratorio se obtendrán datos de las propiedades de las rocas y los fluidos de la formación.

El objetivo conjunto de las tres etapas anteriores del corazonamiento es obtener información sobre las propiedades geológicas, físicas y químicas de la formación y de los fluidos que ésta contiene, que conduzca a: la caracterización de la estructura del yacimiento, refinar la evaluación de reservas, descubrir nuevos yacimientos y aumentar la eficiencia de la producción en los yacimientos que ya se encuentran bajo explotación.

⁵Importancia de las actividades de planificación, corte, manejo y análisis de los núcleos de perforación de pozos petroleros. Septiembre del 2007.

⁶Coring Handbook, Agosto 1999.

1.2 CORAZONAMIENTO EN COLOMBIA

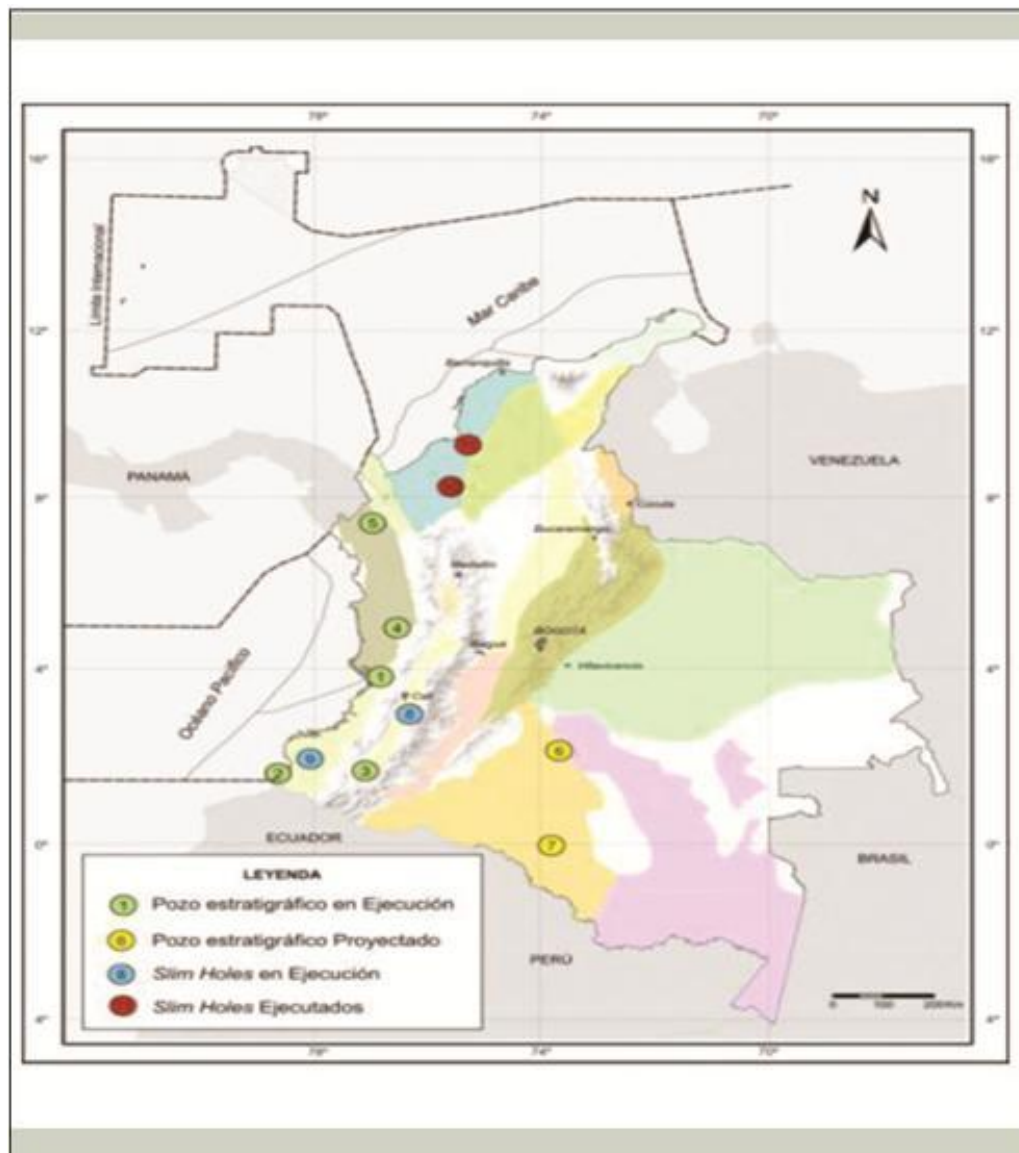
La mayoría de las cuencas en Colombia se encuentran en una etapa de perforación de pozos exploratorios y estratigráficos con el fin de describir, analizar y conocer las zonas que contienen o puedan llegar a tener hidrocarburos en el país. Conjuntamente con el fin de salvaguardar la información de este trabajo, en Colombia se cuenta con el banco de información petrolera (Litoteca Nacional Bernardo Taborda Arango), donde la información técnica y geológica se cataloga, almacena, preserva y administra por la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). En la actualidad a nivel nacional se tienen más de 1350 pozos corazonados con los diferentes sistemas de corazonamiento, que corresponden a más 107.000 pies de corazón disponibles, pertenecientes a las diferentes cuencas geológicas del país, cuenta también con aproximadamente 4200 pozos con muestras de ripios (3.5 millones de unidades) provenientes de la industria petrolera almacenadas en cajetillas o bolsa plásticas. También se encuentran disponibles 4740 corazones de pared (SWC) de 226 pozos y una colección de 10.600 plugs tomados de corazones y muestras de afloramiento⁷.

Adicionalmente, la Agencia Nacional de Hidrocarburos reportó que en el año 2010 hubo 19.000 metros perforados, con un total de 30 pozos entre someros y profundos. Además, informó de una proyección hacia el 2020 de perforar 79.000 metros de muestras representativas, con promedio de 2 pozos estratigráficos por año de aproximadamente 3.000 metros⁸. En la Figura 1 se observa el Mapa de perforación actual de pozos estratigráficos en Colombia.

⁷EPIS colecciones 2010.

⁸ANH Audiencia Pública de rendición de cuentas vigencias 2009 y 2010. Gestión misional.

Figura 1. Mapa de perforación de pozos estratigráficos 2010



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran datos estadísticos de corazonamiento estratigráfico en Colombia; encontrando las proyecciones que tiene la ANH, en metros perforados en pozos estratigráficos hasta el 2020, la perforación de pozos tipo Slim Hole (tecnología nueva en Colombia) actual y la proyección de pozos Slim Hole perforados hasta el 2020 en Colombia respectivamente.

Figura 2. Proyección para pozos estratigráficos hasta 2020



Fuente: ANH. Audiencia pública de rendición de cuentas vigencias 2008, 2009 y 2010.

Figura 3. Perforación de pozos tipo Slim Hole en Colombia



Fuente: ANH. Audiencia pública de rendición de cuentas vigencias 2008, 2009 y 2010.

Figura 4. Proyección de perforación pozos tipo Slim Hole hasta 2020



Fuente: ANH. Audiencia pública de rendición de cuentas vigencias 2008, 2009 y 2010.

1.3 NÚCLEO Y/O CORAZÓN

El núcleo o corazón es la muestra cilíndrica de roca recuperada de una formación de interés mediante perforación con una broca especial hueca (ver Figura 5), para después realizar su descripción y análisis; esta es recobrada mediante alguno de los diferentes sistemas de corazonamiento existentes, consta de dimensiones como longitud y diámetro.

Figura 5. Núcleos



Fuente: Halliburton drill bits & services.

Los núcleos presentan las siguientes ventajas: permiten efectuar la caracterización geológica continua de la formación, se le puede asignar una profundidad exacta, si son tomados adecuadamente estarán libres de contaminación por los fluidos de perforación, en la mayoría de los casos es de absoluta representatividad, por su volumen y características es de gran versatilidad, siendo adecuada para realizar análisis petrofísicos, sedimentológicos, micro tectónicos, micro paleontológicos, etc., que con muestras de menor volumen no pueden ser realizadas.

El análisis de núcleos continúa siendo hoy en día la piedra angular sobre la que descansa la evaluación de formaciones, ya que proporciona información relevante cuya obtención no es posible por ningún otro medio. Las mediciones de laboratorio en muestras de roca, ofrecen los medios más directos y tangibles para determinar los parámetros críticos del yacimiento. Entre otros beneficios, el análisis de núcleos representa la fuente de mayor información para los profesionales, en los estudios de localización, evaluación y desarrollo de yacimientos.

1.4 MUESTRAS DE ZANJA

Las Muestras de zanja corresponden al conjunto de fragmentos de roca (ripios) de las diferentes formaciones atravesadas durante la perforación y transportados por el lodo desde el fondo hasta la superficie donde son recuperadas (ver Figura 6).

Figura 6. Muestra de zanja



Fuente: Autores del proyecto

Tiene la ventaja de ser recuperadas a un bajo costo, se les puede hacer descripción litológica y estudio de geoquímica, pero presenta una serie de inconvenientes: no se le puede asignar una profundidad exacta, están altamente contaminados con el lodo de perforación, no traen una forma geométrica determinada, capaz de ser colocadas en celdas de algún equipo para estudios petrofísicos.

1.5 PLANEACIÓN DE UN PROGRAMA DE CORAZONAMIENTO

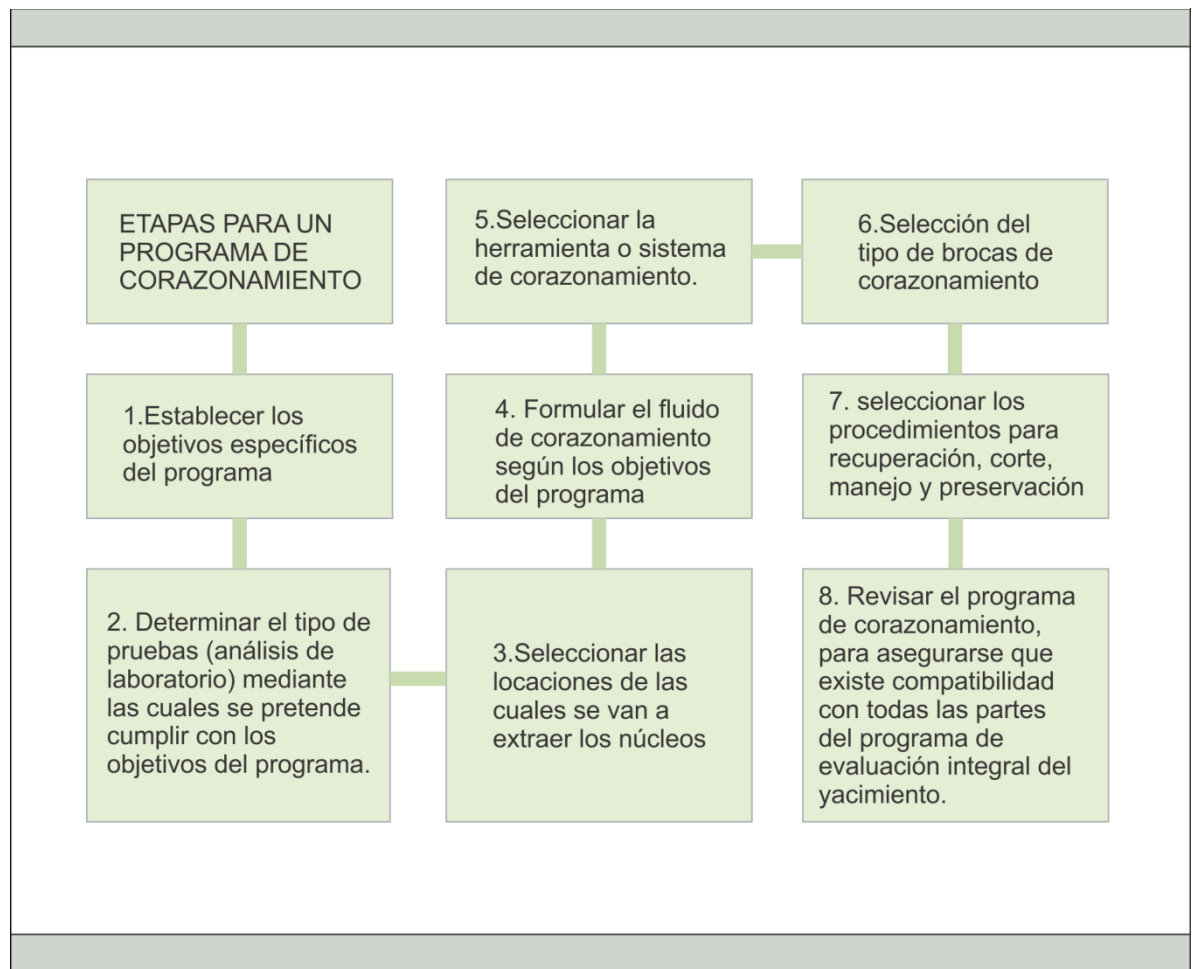
Un programa de corazonamiento es similar a muchos proyectos de ingeniería, inicia con la premisa de que una inversión reeditará en un beneficio. El programa progresa a través de una fase de exploración de fuentes alternativas de información: pruebas de pozo, perfiles (logs), núcleos previos de localidades

afines y recortes de perforación o muestras de pared. La toma y análisis de núcleos está compuesto de muchas sub-disciplinas, al grado que se considera que muy pocos individuos tienen experiencia en todas las áreas, siendo así que la ejecución de un simple programa requiere de un alto nivel de pericia y de dirección continua por parte de un supervisor muy experimentado. Los objetivos de un programa de corazonamiento deben establecerse en una etapa muy temprana desde antes que comience la operación de perforación:

El claro establecimiento de los objetivos del programa es esencial para poder satisfacer, en el mayor grado posible, todas las expectativas y las metas planteadas del mismo. En la práctica pueden presentarse algunos inconvenientes que contribuyen a que sea difícil que un programa de corazonamiento sea totalmente exitoso, como por ejemplo, recuperaciones de núcleo muy pobres, preservación inadecuada de los núcleos y protocolos de laboratorio pobremente diseñados. Muchos programas de corte, manejo, preservación y análisis de núcleos se planifican en forma deficiente y esto puede conducir a problemas en el laboratorio y al deterioro de la calidad de los datos que puedan obtenerse.

El programa de corazonamiento nunca debe ser tratado como una tecnología aislada o independiente. La integración con registros de pozo, datos geofísicos, resultados de pruebas de pozos y otras herramientas de evaluación de yacimientos, hace que se incremente el valor de precisión de cualquier estudio al que fue destinado. Generalmente en la planificación de un programa adecuado para cualquier operación de corazonamiento se recomienda adoptar las etapas que se observan en la Figura 7.

Figura 7. Etapas para un programa de corazonamiento



Fuente. Autores del proyecto.

Con el fin de garantizar que el programa de recuperación de núcleos pueda derivar la máxima cantidad de información posible, es necesario tener en cuenta las siguientes medidas:

1. Tomar los núcleos lo más pronto posible en el transcurso de la perforación, evitando al máximo su exposición a las condiciones ambientales.
2. Manejar y preservar los núcleos con el mejor procedimiento posible, minimizando que sufra alteraciones fisicoquímicas.

3. Analizar cuidadosamente en el laboratorio los núcleos recuperados para obtener datos requeridos, tanto de las pruebas de caracterización básica como de los análisis especiales.
4. Preservar y almacenar adecuadamente las muestras utilizadas y el material sobrante de los núcleos, para posibles análisis futuros.

Durante la etapa de exploración, cuando la información disponible es poca o nula y el riesgo es alto, los núcleos de perforación se cortan con la finalidad de examinar el potencial del yacimiento y describir la estratigrafía, y pueden ser usados para establecer una base petrofísica para la calibración de herramientas indirectas de evaluación del yacimiento, como los registros de pozo y los datos sísmicos.

Durante la evaluación del yacimiento, el tema en contexto no es ya el de si hay o no Hidrocarburos presentes, si no el de cuánto aceite recuperable está presente, cómo será recuperado económicamente y como esta espacialmente distribuido. Cuando un proyecto entra en la fase de evaluación, se cortan núcleos adicionales para pruebas avanzadas de laboratorio, como la determinación de permeabilidades relativas y la medición de presiones capilares. Cuando se ha determinado que un proyecto es económicamente viable ya se tratan los aspectos de desarrollo y producción del campo, en esta etapa pueden usarse los resultados de pruebas de desplazamiento realizadas en el laboratorio, para examinar el potencial de la recuperación y también examinar la viabilidad técnica y económica de diversas alternativas de recuperación.

La planificación de un programa de corazonamiento debe tener siempre presente que el objetivo es reducir la incertidumbre en la evaluación de los yacimientos, mediante la aportación de datos representativos de la formación a condiciones in situ. En todo proyecto, el valor de los datos de evaluación del yacimiento derivados del proceso de corazonamiento y del análisis de núcleos se maximiza

cuando los datos se adquieren en una etapa temprana y se integran con otros datos conjuntos⁹.

1.5.1 Objetivos del corazonamiento. El objetivo de cada operación de corazonamiento consiste en recopilar información que resulta de una descripción adecuada del núcleo, y proporcionar una buena documentación del pozo para futuros trabajos. El objetivo de los datos obtenidos de la extracción de corazones se especifica en tres partes principales:

1.5.1.1 Objetivos geológicos. Para valorar detalladamente el potencial hidrocarburífero de las cuencas sedimentarias.

- Información litológica: Litología, ambiente deposicional, mineralogía, descripción petrográfica, fluorescencia.
- Mapas Geológicos: Edad de la formación y secuencia geológica, paleomagnetismo.
- Orientación de fracturas: Análisis de fractura.

1.5.1.2 Objetivos de perforación y completamiento. La elección y el adecuado corazonamiento en los esquemas de perforación pozos constituyen una parte decisiva desarrollo de un campo.

- Información petrofísica: Datos mecánicos de la roca, diseño del tratamiento de fractura, permeabilidad horizontal y vertical, potencial de daño de la formación,

⁹ Importancia de las actividades de planificación, corte, manejo y análisis de los núcleos de perforación de pozos petroleros. Septiembre del 2007.

distribución del tamaño de grano, distribución y saturación de aceite residual, distribución de porosidad, tipo, cantidad y distribución de arcilla, mineralogía.

1.5.1.3 Objetivos de ingeniería Petrofísica y de yacimientos. Para evaluar costos, estimaciones de producción y dar el valor económico de los pozos, con el fin de ver si el área de perforación es potencial y económicamente viable.

- Información de permeabilidad: Distribución de porosidad, distribución de permeabilidad, relación entre porosidad y permeabilidad, distribución de la unidad de flujo hidráulico, heterogeneidad de la formación, contactos agua aceite, distribución y saturación de los fluidos del yacimiento.
- Datos para evaluar los registros del pozo: Densidad de grano, velocidad acústica, mineralogía, propiedades eléctricas, respuesta gamma Ray.
- Análisis especial para núcleos: mojabilidad, permeabilidad relativa, presión capilar, compresibilidad del volumen de poro, compatibilidad roca/fluido.
- Estudios para el comportamiento del pozo: Producción primaria, producción secundaria (inyección de agua), producción terciaria (recobro mejorado de petróleo).
- Propiedades de la roca: Resistencia compresiva, módulo de Young, relación de Poisson, rigidez.

En la Tabla 1 se observa el resumen de los datos de Información que suministran los núcleos. También describe las posibles alternativas al Corazonamiento y las probables consecuencias de no tener información del núcleo. En muchos casos los núcleos proporcionan mayor y mejor información que la que se puede obtener usando otras alternativas.

1.5.2 Determinación del tipo de pruebas de análisis del núcleo. Después de que los objetivos del programa han sido seleccionados, las pruebas de análisis de corazón pueden ser identificadas para cumplir con los objetivos. Las pruebas de análisis podrán, en muchos casos, dictaminar las respuestas de las preguntas acerca del lodo a utilizar, de la operación de corazonamiento y del manejo del corazón.

1.5.3 Selección de la locación del pozo. Durante un programa de corazonamiento se debe seleccionar el punto a corazonar teniendo en cuenta toda la información que se haya recopilado del área en estudio como, la sísmica, muestras de roca de pozos aledaños, estudios geológicos, etc.; y así escoger un punto donde permita hacer la mejor caracterización posible del yacimiento. Estos puntos también deben ser seleccionados para obtener corazones especiales según las pruebas de análisis a que serán destinados; igualmente se debe buscar que el punto sea práctico para realizar las obras civiles y la adecuación de la locación.

Se deben plantear diferentes puntos de perforación que brinden posibles alternativas en caso de que la primera opción para corazonar resulte impráctica. La locación se debe diseñar de tal modo que durante las operaciones brinde la mayor facilidad y comodidad para cumplir con el objetivo del proyecto.

Tabla 1. Información que proporciona los núcleos

Información de los núcleos.	Alternativas	Consecuencia de no tener la información de corazonas
1. Ambientes deposicionales y tiempo estratigráfico.	-Registros (pobre alternativa en clásticos y no usados en carbonatos) - Cortes de perforación	No hay manera de validar el ambiente deposicional. Pobre descripción de las características del yacimiento y la continuidad. No se puede enlazar la secuencia estratigráfica
2. Calidad del yacimiento (mineralogía y diagénesis).	- Registros (algunos datos de mineralogía) -Ripios o cortes de pared	Si la calidad del yacimiento difiere de las expectativas, no puede ser determinado.
3. Propiedades mecánicas.	-Correlaciones/experiencia. -Registros. -Núcleos de pared.	Menos confianza de información.
4. Origen de la evaluación de la roca.	-Recortes o núcleos de pared. -Registros.	Pobre evaluación geomecánica o evaluación de todo el potencial de la cuenca.
5. Calibración del Registro.	-Núcleos de pared. -Ripios de perforación.	Pobre evaluación de la saturación. Muy pobre evaluación de la porosidad.
6. Indicador de saturación de aceite/contactos.	-Registro. -registro del lodo/ripios. -Núcleos de pared. -Muestras RFT y perfiles de presión. -pruebas de pozo.	Los registros podrían ser indicadores no confiables en nuevas áreas. Otros menos confiables y/o datos más costosos pueden ser usados para confirmar la señal de hidrocarburos de los registros.
7. Perfiles de permeabilidad.	- La permeabilidad promedio de las pruebas de pozo, distribuidas acorde a la porosidad de los registros.	Pobres imágenes de la estratificación del yacimiento.
8. Permeabilidad Relativa.	-Experiencia.	Se puede estar alejado de la estimación real del recobro y el desempeño del yacimiento.
9. Agotamiento de la presión capilar.	-Información de registro. -Medidas de la presión capilar en núcleos de pared o ripios.	Menos información completa en la información de la distribución de saturación inicial.
10. Imbibición de la presión capilar	-Sin alternativa.	

Fuente: Norma API RP 40

1.5.4 Fluidos de corazonamiento. Para la selección de un de corazonamiento se deben tener en cuenta cuatro aspectos principales:

1.5.4.1 Seguridad. Se refiere a la selección de un buen fluido de perforación, el cual se debe diseñar para soportar las presiones esperadas de la formación y evitar que el pozo se venga, como también para limpiar, lubricar y estabilizar el pozo.

1.5.4.2 Programa de corazonamiento. Todos los fluidos para corazonamiento deben ser formulados para tener una menor pérdida de filtrado y minimizar las pérdidas de circulación, para causar el mínimo daño de formación.

1.5.4.3 Aspectos ambientales. Esto puede significar el uso de un sistema más costoso de fluido de perforación para cumplir con los requerimientos ambientales o proporcionar equipos adicionales para el manejo del fluido de perforación para asegurar su calidad y mantener el contorno ambiental en excelentes condiciones.

1.5.4.4 Costos. Es bueno revisar el costo de todo el programa de corazonamiento y los beneficios esperados mientras se evalúan los fluidos para el sistema de perforación. Los ahorros en los fluidos de perforación pueden incrementar el costo de análisis de los núcleos y ponen en riesgo la precisión de los datos del núcleo extraído.

En el mundo se han utilizado fluidos de perforación base agua, aceite, espuma y vapor para extraer núcleos exitosamente. La mejor recomendación es seguir los criterios indicados anteriormente. Una evaluación de las necesidades del

programa de perforación y análisis de núcleos resultará en una apropiada selección del fluido de perforación¹⁰.

1.5.5 Equipos de corazonamiento. En esta sección se presenta un resumen de las herramientas usadas para el corazonamiento, incluyendo las pautas para seleccionar equipos de corazonamiento en aplicaciones específicas.

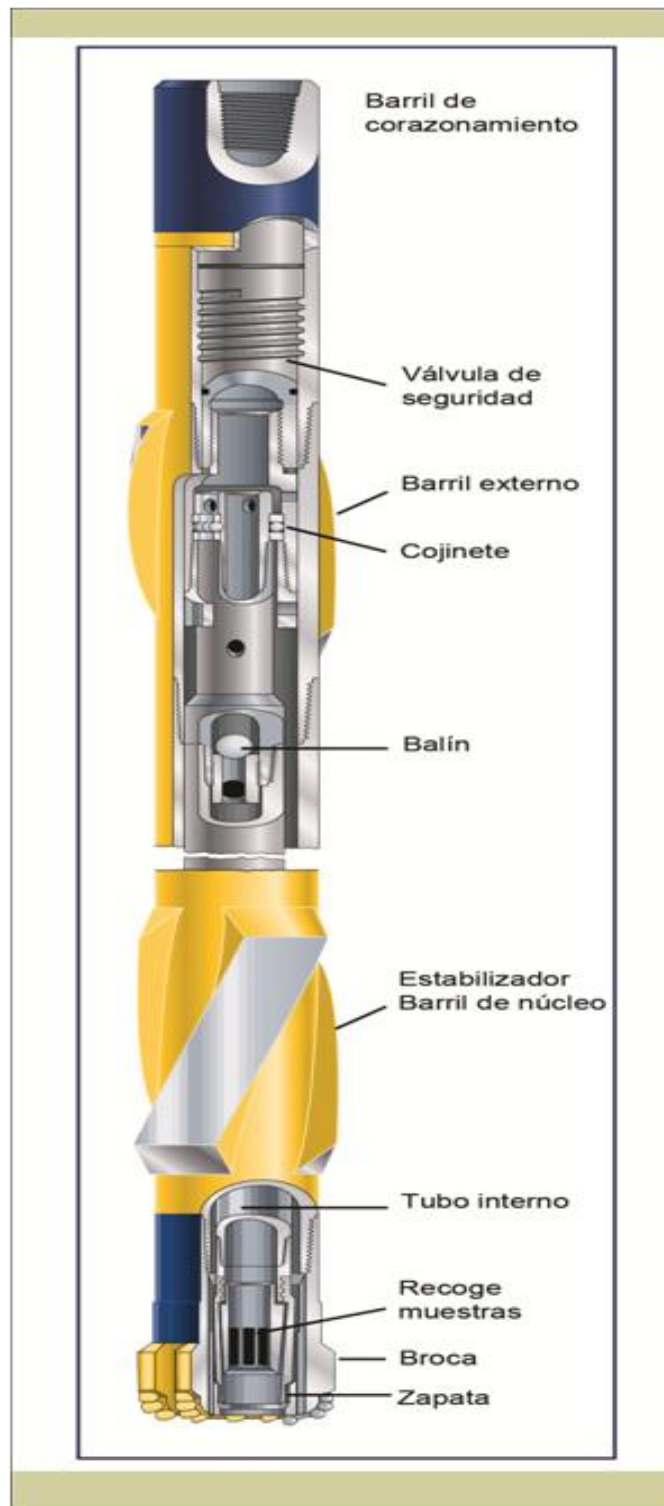
Los sistemas de corazonamiento están diseñados para recuperar muestras de roca desde la profundidad de la tierra para estudios geológicos y de ingeniería. Estos hacen un excelente trabajo recuperando el núcleo, también se han desarrollado equipos especializados para recuperar muestras de roca que conserven los fluidos y las propiedades fisicoquímicas del yacimiento, a condiciones de fondo.

Generalmente, los sarta de corazonamiento consiste de un barril corazonador interior o barril interno suspendido dentro de un barril externo, conectado a la tubería de perforación del taladro, al fondo del barril exterior se conecta la broca corazonadora. Se bombea el fluido por la sarta de perforación, y pasa a través de los cilindros y finalmente sale por la broca. El barril corazonador está diseñado para permitir la toma del núcleo, mantener la calidad de la muestra, permitir mejores tasas de penetración y ofrecer mayor confiabilidad en la operación.

A continuación con el fin de comprender el sistema de corazonamiento se describen las partes principales del barril de corazonamiento, ver Figura 8.

¹⁰Norma API RP 40. 1998

Figura 8. Componentes del barril de corazonamiento



Fuente: Backer Hughes INTEQ 1999.

- *Barril Corazonador o barril interno*: Es el encargado de recoger el corazón que ha sido obtenido por la broca corazonadora. Su función permite guardar el núcleo en la medida que la perforación avanza, hay tubos internos de diferente longitud y diámetro.
- *Broca corazonadora*: Es una broca de cortadores fijos de PDC o de diamante. Tiene un hueco en el medio. Esta abertura permite que la broca obtenga el corazón durante la perforación.
- *Zapata*: Son incrustaciones de carburo de tungsteno que se encuentra al fondo de la tubería, su función es no permitir la reducción del diámetro del hueco.
- *CoreCatcher* (recoge muestras): Es un anillo de forma cónica en acero, en forma de espiral hacia dentro, su función es evitar que el material o el núcleo se caiga durante la perforación.
- *Estabilizador*: Consta de un Pin y una caja centralizadora en sus extremos. Su función es mantener la tubería de perforación lejos de las paredes del hueco para prevenir el desgaste y guiar la broca que perfore en la dirección deseada.
- *Balín*: Bola de acero, que permite el paso del fluido, cuando el barril de corazonamiento aún no ha completado el corazonamiento.
- *Tubo Externo o barril externo*: Consiste en un tubo de longitud y diámetros determinados, la función de este consiste en contrarrestar las vibraciones, las fuerzas de deformación durante el corte y proteger las partes que conforman el barril corazonador.
- *Válvula de seguridad*: Son gomas de durezas especiales, consisten en ofrecer protección contra el flujo descontrolado del pozo y las obstrucciones durante la perforación, la válvula trabaja obstruyendo el paso del fluido. Su función es evitar el daño del equipo o del personal de perforación.

1.5.5.1 Barril de corazonamiento convencional. Este barril consiste en un tubo interno, suspendido dentro de un tubo externo con estabilizadores acoplados de forma secuencial con la sarta del taladro y en el fondo conectado con una broca de corazonamiento (ver figura 8). Su función se fundamenta en extraer el barril corazonador con el núcleo del fondo, sacando toda la sarta de perforación durante cada viaje de recuperación.

Esta herramienta está diseñada para corazonar cualquier tipo de formación, el diámetro del núcleo se encuentra entre 2 1/8 pulgadas a 5 ¼ pulgadas aproximadamente y normalmente la longitud del barril varía entre 30 a 120 pies. La Tabla 2 resume las opciones convencionales de corazonamiento disponibles.

Tabla 2. Opciones convencionales de corazonamiento disponibles

Tubo Interior	Longitud del Núcleo	Características Especiales
Acero dulce	30 a 120 pies (9.14 a 36.58 m)	Preparado para la preservación de núcleos. Aplicado a altas temperaturas.
Acero dulce	1.5 pies (0.46 m)	Diseñado para corazonamiento de radio corto.
Acero de alta resistencia	120 a >400 pies (36.38 a >121.9 m)	Barril corazonador más fuerte, incluye una estabilización adicional del cilindro interior y exterior.
Acero con forro de aluminio	30 pies (9.14 m)	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Temperatura máxima de 350°F (176.7°C). Reduce el diámetro de núcleo por 1/2 pulgada.
Fibra de vidrio	30 a 90 pies (9.14 a 27.43 m)	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Utilizado para formaciones consolidadas y no consolidadas. Temperaturas máximas de operación: resina normal 250°F (121°C), resina para altas temperaturas 350°F (176.7°C).

Tabla 2. (Continuación)

Tubo Interior	Longitud del Núcleo	Características Especiales
Aluminio	30 a 90 pies (9.14 a 27.43 m)	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Aplicaciones para altas temperaturas, máximo 350°F (176.7°C)
Acero con forro plástico	30 pies (9.14 m)	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Temperatura máxima de 180°F (82.2°C). Reduce el diámetro de núcleo por 1/2 pulgada.
Acero con forro de fibra de vidrio	30 pies (9.14 m)	Sistema preparado para la preservación de núcleos. Temperatura máxima de 250°F (121°C). Reduce el diámetro de núcleo por 1/2 pulgada.

Fuente: Norma API RP 40

1.5.5.2 Barril de corazonamiento Convencional reforzado. Es un barril diseñado para trabajo pesado en formaciones más duras que las normales y para lograr cortar núcleos de longitud larga. Su funcionamiento es igual que el corazonamiento convencional.

Los barriles reforzados permiten que se aplique más torsión en la broca y mejora el margen de seguridad contra fallas en las herramientas. Están diseñados para cortar núcleos hasta 5 ¼ pulgadas de diámetro, este sistema se utiliza para mejorar el corazonamiento obteniendo longitudes más largas de formaciones homogéneas con alto grado de compactación¹¹.

¹¹Norma API RP 40. 1998

1.5.5.3 Barril de corazonamiento con revestimiento (PVC, Aluminio o fibra de vidrio). Consiste en el uso de un revestimiento dentro del barril interno, tiene dos funciones principales: mejorar la calidad del núcleo mediante el soporte físico que le ofrece el revestimiento durante su manejo y servir como un sistema de preservación. Los revestimientos típicamente son de máximo 30 pies (9,14 metros) debido a limitaciones de fabricación. En la Figura 9 se muestra el ensamblaje con el revestimiento del barril de corazonamiento.

Figura 9. . Barril de corazonamiento con revestimiento (PVC, ALUMINIO, FIBRA DE VIRDRIO)



Fuente: CORPRO. Core Handling And Processing.

Los revestimientos son especiales para formaciones no consolidadas, friables o fracturadas, también son apropiados cuando se realiza corazonamiento en lugares lejanos y mar adentro cuando se requiere una preservación de núcleos inmediata.

Se han usado diversidad de revestimientos:

- Revestimiento de PVC: Son adecuados para temperaturas hasta 180°F (82,2°C).

- Revestimiento de fibra de vidrio: Se utiliza para temperaturas hasta 250°F (121°C) y temperaturas más altas 350°F (176,7°C) si se utiliza una resina especial.
- Revestimiento de aluminio: Recomendado para temperaturas mayores a 250°F (121°C).

La desventaja del barril corazonador con revestimiento es que ellos reducen el diámetro real del tubo interno por aproximadamente ½ pulgada¹².

1.5.5.4 Barril de corazonamiento interno desechable. Sirven para los mismos propósitos generales que el barril corazonador con revestimiento, mejorando la calidad del núcleo soportando el material del núcleo físicamente durante el manejo y sirven como sistema de preservación.

Además, el diámetro exterior del núcleo no se reduce, como sería en el caso del barril con revestimiento, existen tubos internos desechables de aluminio, fibra de vidrio, acero dulce y son fabricados en diversos tamaños para ajustarse a la mayoría de sistemas convencionales de corazonamiento. La ventaja de esta herramienta es el bajo coeficiente de fricción que permite que el núcleo se deslice fácilmente dentro del barril.

1.5.5.5 Corazonamiento en pozos horizontales. El corazonamiento horizontal consiste en un tubo interno que es estabilizado y centralizado adaptándole un rodillo especial, un balín especial puede ser colocado entre el motor y el barril corazonador para permitir que el fluido de perforación fluya a través del tubo interno, limpiando las impurezas antes del corazonamiento. La activación del balín

¹²Norma API RP 40. 1998

desvía el flujo de fluido de perforación entre el tubo interno y el externo para el corazonamiento¹³.

Los pozos de radio de curvatura media (Radios de 290 a 700 pies) y aquellos de longitud amplia pueden realizar corazonamiento con barril de corazonamiento convencional impulsados desde la mesa rotaria o desde un motor dentro del pozo. El uso de un motor dentro del pozo permite que se realice corazonamiento sin necesidad de girar la sarta del taladro. Su función es colocar un barril de corazonamiento convencional de 30 pies aproximadamente adelante del motor de dentro del pozo. Los motores producen alta torsión a una baja velocidad giratoria para optimizar la fuerza de corazonamiento, la longitud del barril corazonador y el diámetro del núcleo varían de acuerdo a las restricciones de perforación.

1.5.6 Sistemas especiales de corazonamiento. Los sistemas especiales de corazonamiento utilizan una mayor tecnología para obtener mejores resultados. Los barriles de corazonamiento de presión retenida y de esponja surgieron debido a la necesidad de obtener datos más certeros de la saturación de crudo. Los sistemas de corazonamiento de manga de caucho y de cierre completo fueron desarrollados específicamente para mejorar la calidad de los núcleos cortados de formaciones no consolidadas.

Otros sistemas especiales de corazonamiento tienen capacidades únicas, las cuales los hacen útiles para los ingenieros y los geólogos que los emplean. En la Tabla 3 se resumen algunos sistemas especiales de corazonamiento.

¹³Norma API RP 40. 1998

Tabla 3. Sistemas Especiales de Corazonamiento

Sistema de Corazonamiento	Dimensiones Máximas del Núcleo	Aplicaciones Especiales
Presión retenida	3.75 pulg. X 10 pies 2.5 pulg. X 20 pies	Análisis de presión retenida, saturaciones de fluido, volumen y composición de gases.
Forrado con esponja	3.5 pulg. X 30 pies	Saturaciones de fluido
De cierre completo	4.0 pulg. X 60 pies	Recobro de formaciones no consolidadas
Manga de caucho	3.0 pulg x 20 pies	Recobro de formaciones no consolidadas, fracturadas o conglomeradas
Barril corazonador de pared lateral	2.5 pulg x 10 pies	Núcleo obtenido después de perforación y registro
Wireline recobable	2.75 pulg. X 30 pies	El corazonamiento es posible sin sacar toda la sarta de perforación
Wireline pared lateral de percusión	1 pulg. x 1.75 pulg	Muestras obtenidas después de perforación y registro
Wireline pared lateral perforada	0,94 pulg x 1,75 pulg	Muestras obtenidas después de perforación y registro

Fuente: Norma API RP 40

1.5.6.1 Corazonamiento de presión retenida. Los barriles de corazonamiento de presión retenida son diseñados para almacenar y mantener la saturación de los fluidos del núcleo a presiones de yacimiento en la superficie, siendo el mejor método para obtener datos de saturación del crudo y gases del yacimiento. Esto se logra gracias a que los núcleos se mantienen congelados con hielo seco, reduciendo la presión del poro, congelando el agua, inmovilizando el petróleo y atrapando los gases¹⁴. Esta herramienta es especialmente útil para estudiar la

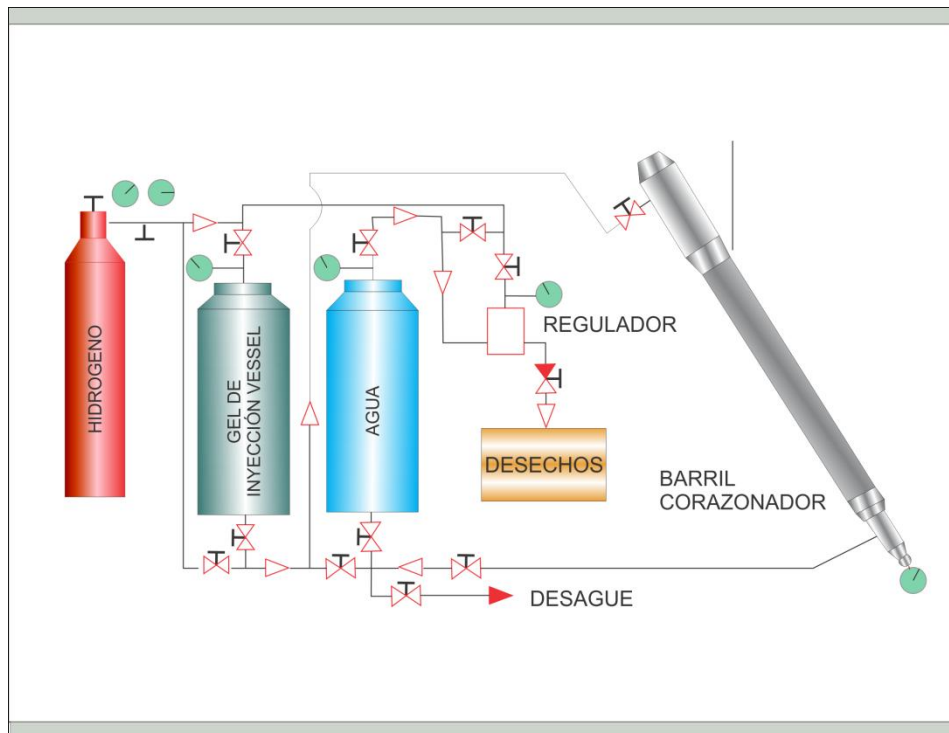
¹⁴<http://www.scribd.com/doc/33205600/Metodos-API-Saturacion-de-Nucleos>

viabilidad de proyectos de recobro mejorado y estimar el contenido de metano. Existen barriles de corazonamiento de presión retenida en dos tamaños:

- De 6 pulgadas: Recibe cortes hasta 20 pies de núcleo de 2 ½ pulgadas de diámetro mientras mantiene una presión máxima de 10.000 psi.
- De 8 pulgadas: Recibe cortes de 10 pies de núcleos de 3 ¾ pulgadas de diámetro mientras retiene un máximo de 5000 pies de presión interna.

Los barriles de corazonamiento de presión retenida son herramientas sofisticadas que requieren instalaciones adecuadas para hacer mantenimiento al tubo interno y manejar los núcleos presurizados. Ver figura 10.

Figura 10. Esquema para congelamiento de los núcleos



Fuente: Autores del proyecto

1.5.6.2 Corazonamiento de revestimiento con esponja. El sistema de corazonamiento revestido con esponja fue desarrollado para mejorar la precisión de los datos de saturación de crudo, atrapando los fluidos; este proceso no atrapa los gases del yacimiento. Es una técnica donde la muestra entra en una manga hecha con esponja de poliuretano o de celulosa la cual se coloca en tubo de aluminio. A medida que la muestra se acerca a la superficie, los gases de expansión desplazan el crudo que se captura por medio de la manga de esponja (ver Figura 11). Esta manga es de media pulgada de espesor, tiene una porosidad de 70%, tiene la capacidad de comprimirse hasta llegar a porosidades casi nulas. Esta se satura con salmuera y aceite mineral seco antes de llegar al pozo con el objetivo de capturar cualquier cantidad de fluidos de la muestra. Esta herramienta es especialmente útil para estudiar la viabilidad de proyectos de recobro mejorado¹⁵.

Este sistema tiene la ventaja de ser menos costoso para operar que un sistema de corazonamiento de presión retenida, la esponja es estable a una temperatura de 350°F (176.7°C). El sistema es limitado corta un máximo de 30 pies con núcleo de 3 ½ pulgadas de diámetro por recorrido.

Figura 11. Corazonamiento de revestimiento con esponja



Fuente. Drill bits & services, Halliburton.

¹⁵<http://www.scribd.com/doc/33205600/Metodos-API-Saturacion-de-Nucleos>

1.5.6.3 Corazonamiento de cierre completo. Este sistema fue desarrollado para mejorar el recobro de formaciones no consolidadas. Este sistema utiliza un barril corazonador con revestimiento o un barril de corazonamiento interno desechable y un sistema especial de recoge-muestras para recuperar las rocas difíciles.

La tecnología de corazonamiento de cierre completo permite al tubo de la base interna deslizarse suavemente por los lados del núcleo extraído, con un mínimo de perturbación y luego sellar el núcleo dentro del barril de corazonamiento. Esto se realiza utilizando un empalme con él recoge-muestras que permite la entrada del núcleo al tubo interno sin obstrucciones y luego del cierre completo, después del corazonamiento, se sella la parte inferior del tubo interno. Este sistema está limitado actualmente a cortar núcleos de 3 ½ pulgadas o de 4 pulgadas.

La longitud de núcleo recomendada es de 30 pies. El diámetro interior liso y la base expuesta del recoge-muestras pueden resultar en núcleos perdidos si se levanta la herramienta del fondo antes de activar el cierre completo¹⁶.

1.5.6.4 Barril de corazonamiento con manga de caucho. El sistema de corazonamiento de manga de caucho fue el primer sistema desarrollado para mejorar las posibilidades de recuperar arenas no consolidadas, conglomerados y formaciones duras fracturadas. El barril de corazonamiento de manga de caucho es único porque la parte superior del tubo interno no se mueve con respecto al núcleo durante el corazonamiento. A medida que la perforación avanza, dentro del tubo externo la columna de roca es encerrada progresivamente en una manga de caucho.

¹⁶Norma API RP 40. 1998

El mango de caucho es más pequeño que el diámetro del núcleo. Esta se estira ajustadamente alrededor del núcleo, envolviéndolo firmemente y protegiendo de la fricción del fluido de perforación. El núcleo es soportado por la manga de caucho, así ayudando en el recobro de las formaciones blandas que no soportarían su propio peso.

Solo existe un tamaño de barril de corazonamiento con mango de caucho, que es el corte a cada 20 pies con núcleo de 3 pulgadas de diámetro por recorrido. La manga de caucho está limitada a temperaturas de no más de 200°F (93°C). No se recomienda la herramienta para uso en perforaciones de más de 45 grados de inclinación. Además, el corazonamiento debe pararse aproximadamente cada dos pies para reajustar la herramienta. Esto puede resultar en el atascamiento del núcleo en formaciones fracturadas. El sistema funciona mejor en estructuras fijas de perforación, pero puede operar en equipos flotantes si el movimiento de los equipos es mínimo.

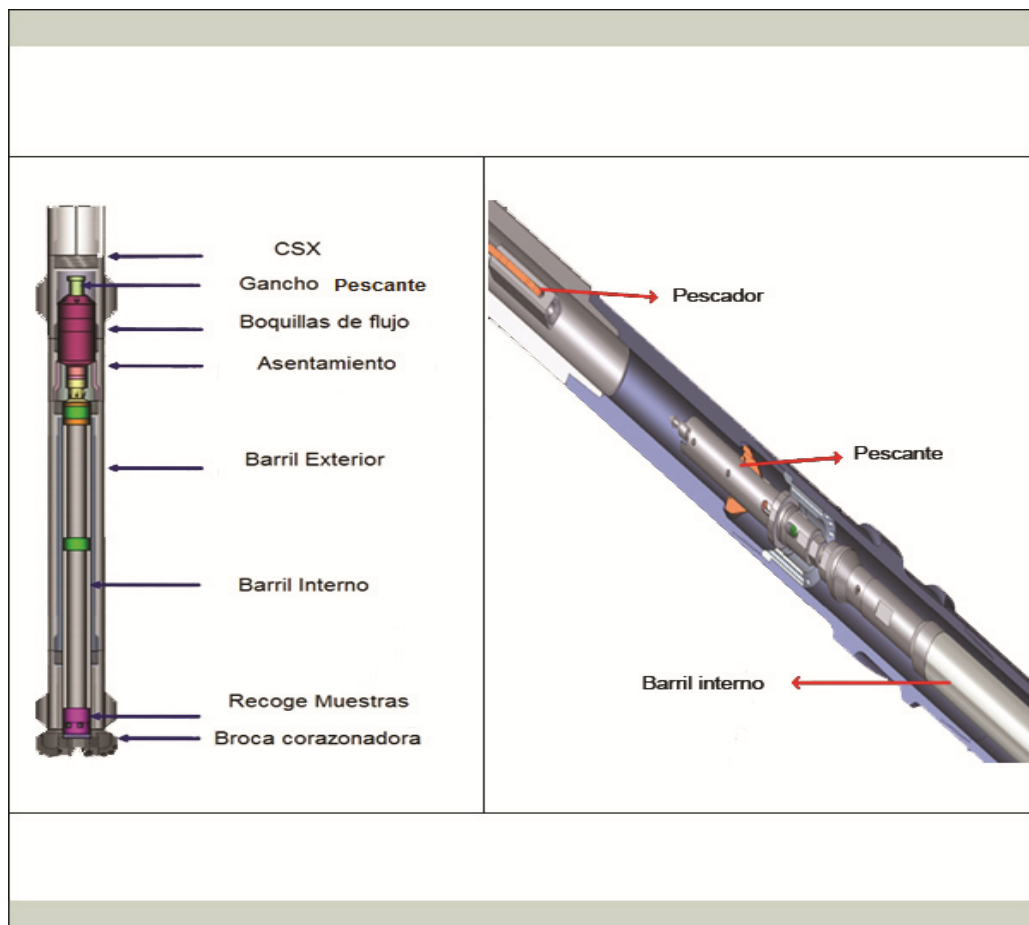
1.5.6.5 Barril de corazonamiento recuperable con wireline. Las herramientas de corazonamiento recuperable por cable, son operacionalmente similares a los sistemas convencionales de corazonamiento excepto que están diseñados para sacar el tubo interno a la superficie por wireline (por cable) sin la necesidad de sacar toda la tubería de perforación. Esto acelera la operación de corazonamiento eliminando la necesidad de interrumpir toda la sarta del taladro para cada núcleo y a cambio se baja una nueva unidad de tubo interno por la sarta y esta es asegurada o enganchada en su lugar para seguir con el corazonamiento.

Las herramientas de corazonamiento wireline son generalmente más pequeñas y livianas que los sistemas convencionales de corazonamiento. Esto es una ventaja cuando tienen que ser transportadas a lugares lejanos o por aire. Desafortunadamente, los diámetros de los núcleos son más pequeños porque

todo el montaje del tubo interno debe pasar por la sarta del taladro. También, se debe tener cuidado para evitar "el rozamiento" con la sarta mientras se recupera el tubo interno, debido a que el núcleo puede contener crudo o gas.

Las herramientas de este tipo disponibles en la industria extraen núcleos desde 10 pies de longitud con núcleos de 1,9 o 3 ½ pulgadas de diámetro. Un rasgo característico de este tipo de herramienta es que permite perforar y corazonar alternadamente una formación sin la necesidad de mover el cable de perforación. En la Figura 12 se observa la herramienta para corazonamiento con wireline.

Figura 12. Corazonamiento con wireline



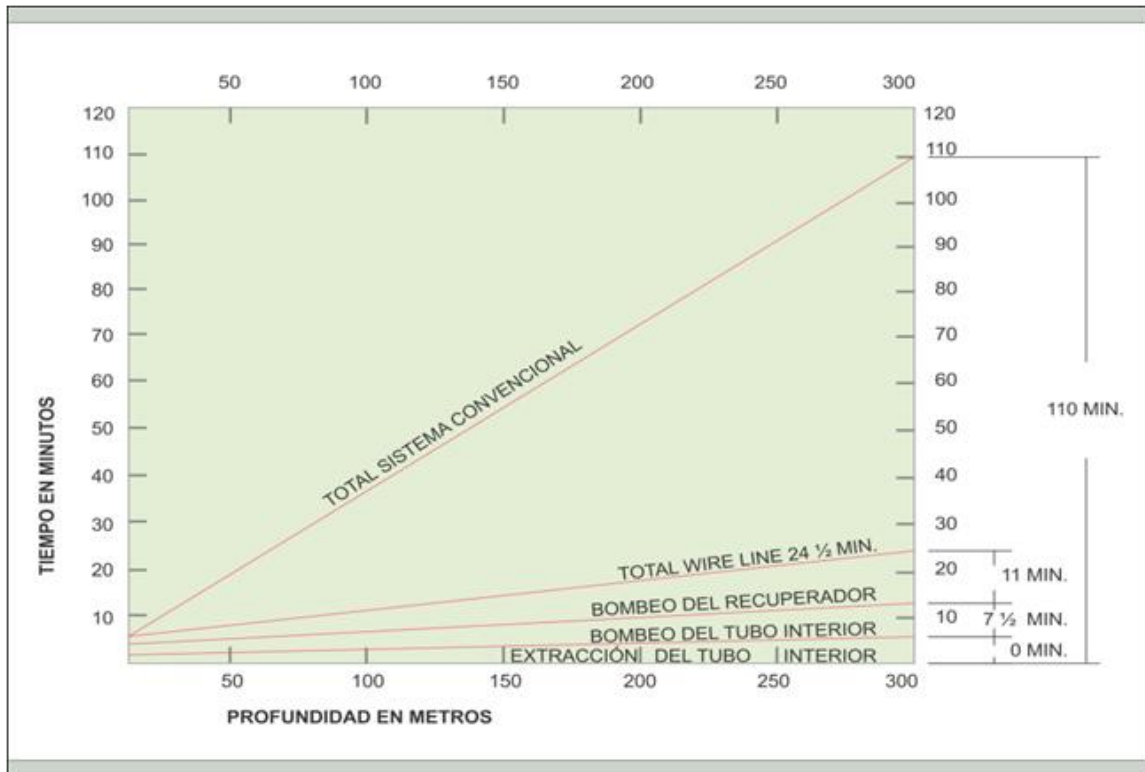
Fuente: Corpro – Quest. wireline 2010

Algunas ventajas del corazonamiento recobable con wireline sobre el sistema convencional:

- No tener que extraer la tubería para recuperar el núcleo, lo que disminuye notablemente los tiempos empleados en maniobras, traduciéndose en incremento y ganancias para la empresa.
- Su duración es grande y su resistencia a los esfuerzos es considerable.
- La maniobra de extracción del núcleo del interior exige un esfuerzo físico mucho menor para el personal que maneja la operación que en el sistema convencional, lo que se traduce en mayor rendimiento.
- Es especialmente favorable para el trabajo en formaciones muy fracturadas, donde frecuentemente se realizan diversidad de maniobras debido a los acañamientos producidos. En este caso se consiguen rendimientos extraordinarios comparándolos con los obtenidos por el sistema convencional.

En la Figura 13 se observa los resultados de las operaciones de un sistema wireline con respecto a uno convencional.

Figura 13. Tiempos de maniobra entre un sistema convencional y un sistema wireline



Fuente: Christensen-Diamond Products mayo de 1967.

1.5.7 Corazonamiento de paredes laterales con wireline. Este sistema se desarrolló para obtener muestras de núcleos de pared (Sidewall core) en un pozo después de que este haya sido perforado y registrado, antes de bajar el casing. Estas herramientas pueden ubicarse en zonas de interés utilizando datos de los registros gamma o potencial espontáneo como guías. Las muestras ofrecen pequeñas partes de material de formaciones, adecuados para estudios geológicos y de ingeniería.

1.5.7.1 Corazonamiento de paredes laterales por percusión. La mayoría de los núcleos de paredes laterales con wireline se obtienen con sistemas de corazonamiento por percusión. Estas herramientas disparan balas cilíndricas

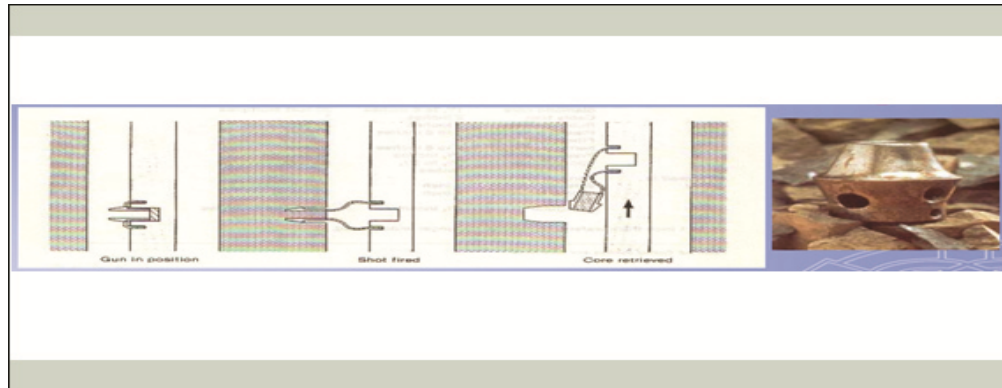
huecas y recuperables en la pared de una perforación sin tubería. La herramienta (pistola) es bajada a la profundidad deseada por medio del wireline y luego es disparada por impulsos eléctricos controlados desde la superficie. Las balas permanecen conectadas a la pistola por medio de cables y el movimiento de la pistola saca las balas, que contienen las muestras de la pared de perforación.

Hasta 66 muestras de 1 pulgada en diámetro, por 1 $\frac{3}{4}$ pulgadas de longitud, pueden tomarse durante un recorrido en el pozo. Hay diferentes diseños de barriles de corazonamiento de balines para formaciones blandas, no consolidadas, y medianas a duras. Es una buena idea tener más de un tipo de barril de corazonamiento en el sitio hasta que se pueda mostrar una recuperación de núcleos aceptable¹⁷.

Las ventajas del corazonamiento de paredes laterales por percusión son velocidad, bajo costo y la capacidad de sacar muestras en zonas de interés deseado, después de correr registros en perforaciones abiertas. La desventaja es que la bala usualmente altera la formación, fracturando la roca dura o comprimiendo los sedimentos blandos. Esto reduce el valor cuantitativo de los datos de análisis de los núcleos de paredes laterales. La recuperación de núcleos por percusión tiende a ser bajo en roca muy dura o fracturada y en arenas poco consolidadas. En la Figura 14 se observa el sistema wireline por percusión.

¹⁷Norma API RP 40. 1998

Figura 14. Sistema wireline por percusión



Fuente: CORPRO corazonamiento wireline. 2010

1.5.7.2 Corazonamiento de paredes laterales por perforación. La herramienta giratoria o de paredes laterales por perforación fue diseñada para recuperar muestras de núcleos en paredes laterales sin el impacto destructivo del sistema de percusión. Apropia para roca dura a blanda, la herramienta giratoria para el corazonamiento de paredes laterales utiliza un taladro con punta de diamante para cortar muestras individuales. La fuerza aplicada en el taladro saca la muestra de la pared lateral. El taladro y la muestra se retraen en el cuerpo de la herramienta donde se deposita la muestra. La herramienta es trasladada a un nuevo lugar después de depositar cada muestra. Se puede tomar un máximo de 30 muestras, 15/16 pulgadas de diámetro por 1 ¾ pulgadas de longitud en cada recorrido.

Una ventaja de este sistema es que recupera muestras de roca dura o consolidada adecuadas para el análisis cuantitativo de núcleos. Una de las desventajas es que es más costoso que el corazonamiento de paredes laterales por percusión en cuanto al tiempo de instalación y el recobro de muestras tiende a ser bajo en formaciones no consolidadas¹⁸.

¹⁸Norma API RP 40. 1998

1.5.7.3 Corazonamiento orientado. Este sistema de corazonamiento es muy valioso para la exploración petrolera ya que permiten determinar direcciones en estructuras geológicas de interés (Fracturas naturales e inducidas), la orientación de núcleos es utilizada para la determinación de direcciones de fracturas naturales. Esto es fundamental en yacimientos fracturados en rocas con baja permeabilidad, donde la producción ocurre por los sistemas de fracturas naturales. El sistema de núcleos orientados usados en conjunto con análisis geomecánicos de laboratorio, sirven para la determinación de las direcciones de esfuerzos del sitio, lo cual es fundamental para determinar la dirección óptima de pozos desviados y horizontales. La dirección de los esfuerzos va a jugar un papel fundamental en la estimulación de pozos por fracturamiento hidráulico, ya que la dirección de la fractura inducida está determinada por el campo de esfuerzos¹⁹. Los núcleos orientados se cortan normalmente utilizando un barril de corazonamiento convencional adaptado con un anillo especial de trazado y un aparato para registrar la orientación del trazado principal en relación con el norte magnético.

1.5.8 Brocas de corazonamiento. Son una parte básica del sistema de corazonamiento y un aspecto crucial para la operación de todos los proyectos de perforación. Entender los diferentes tipos de brocas y sus respectivas aplicaciones es un pre-requisito para hacer la selección de brocas. La perforación en pozos involucra no solo la broca correcta en la aplicación correcta, sino también operarla con los parámetros de operación correctos.

La selección final de las brocas debe ser guiada por los objetivos del programa de corazonamiento. Estas brocas vienen en una variedad de estilos. (PDC, TSD, diamantes naturales, impregnadas). La dureza (fuerza compresiva), abrasividad y variabilidad de las rocas a extraer tendrá la influencia más grande sobre la

¹⁹Núcleos de perforación, Fernando Escalante. Métodos de subsuelo agosto 2008.

selección de las brocas. En la Tabla 4 encontramos los tipos de brocas corazonadoras.

Tabla 4. Tipos de brocas corazonadoras

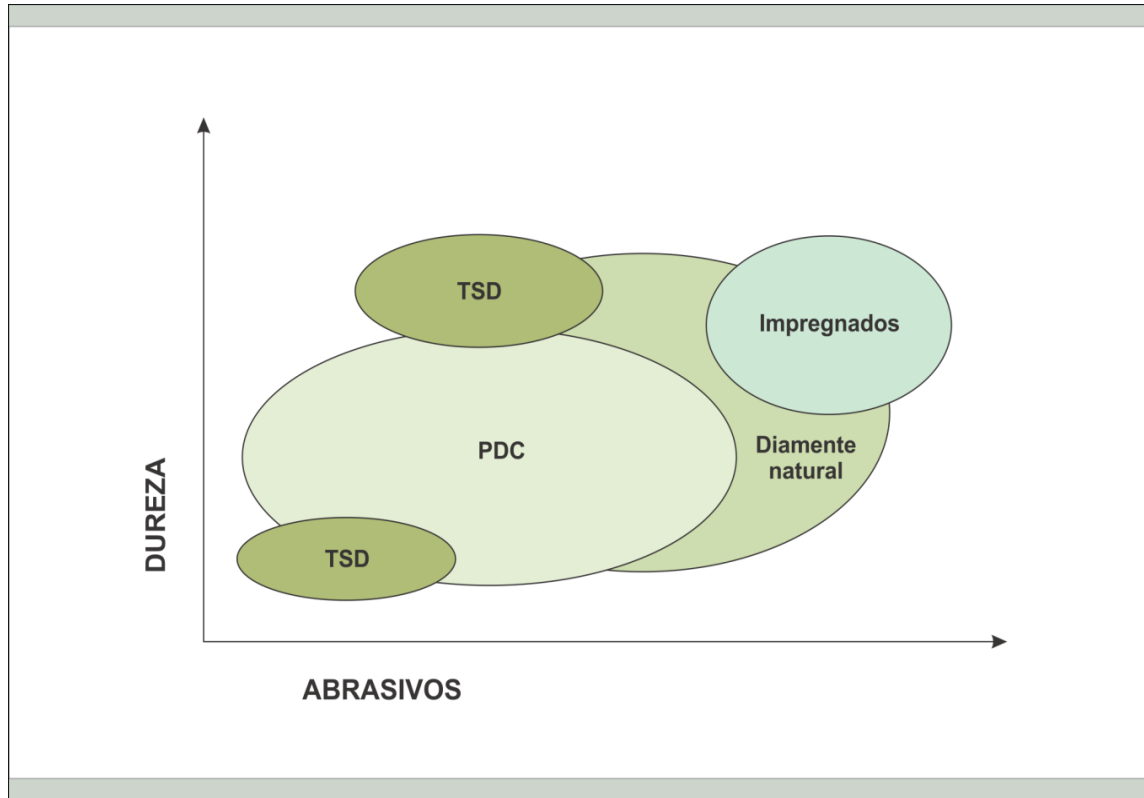
Propiedades de la Roca	Tipo de Roca	Broca corazonadora
Roca abrasiva ultra-dura	Rocas ígneas, cuarzo	Impregnado de Diamante Natural
Roca abrasiva dura	Arenisca, Esquisto, Aluvi3n	Diamantes naturales, TSD
Roca dura no abrasiva	Caliza, Dolomita, Anhidrita	TSD
Roca mediana a dura con capas abrasivas	Arenisca, Caliza, Esquisto	TSD o diamantes naturales montados en la superficie
Roca de resistencia blanda a mediana	Arenisca, Yeso, Esquisto	Cortadores PDC, dise1o de baja invasi3n de fluidos
Rocas blandas, sin capas pegajosas	Sal, Anhidrita, Esquisto	PDC o de conos giratorios
Roca blanda pegajosa	Suelo Arcilloso	PDC

Fuente: Norma API RP40

1.5.8.1 Selecci3n de brocas de corazonamiento. El desempe1o de la broca es medido por el intervalo perforado y el tiempo de rotaci3n. Se busca que el costo por pie corazonado sea m3nimo. Las principales consideraciones para seleccionar una broca son: Geolog3a y propiedades de la formaci3n, fuerza de compresi3n, elasticidad, abracci3n, presi3n de sobre-carga, atrapamiento, presi3n de poro, porosidad y permeabilidad (Ver Figura 15).

Es importante a la hora de seleccionar las brocas, aclarar la actividad que se realizar3 porque hay diferencia entre evaluaci3n, desarrollo y exploraci3n en la perforaci3n de pozos:

Figura 15. Diagrama selección de brocas según dureza y abrasión de la formación



Fuente. Corpro-Quest.

Para la perforación de evaluación y desarrollo, se debe conocer las propiedades de las formaciones pronosticadas y la selección de brocas estará basada en el desempeño en pozos vecinos junto con la datos de registros (Eléctricos, sónico, rayos gamma, otros), datos de reportes de lodo y muestras de núcleo.

En la perforación de exploración, se desarrolla un programa de brocas más detallado. En estas situaciones es prudente tener una variedad más amplia de brocas, para cubrir todas las eventualidades. En la Tabla 5 se presenta un ejemplo para la selección de las brocas de corazonamiento según la dureza de la formación.

Tabla 5. Selección broca de corazonamiento

Tipo de Cortador	Dureza de la Formación			
	Blanda	Media	Media-Dura	Dura
PDC			●	
PDC	●	●	●	
PDC	●	●	●	
PDC		●	●	●
PDC	●	●	●	
PDC			●	●
TSD		●	●	
TSD			●	●
TSD				●
TSD			●	●
Natural		●	●	
Natural				●

Fuente: Baker Hughes INTEQ, Coring services 2009

1.5.8.2 Brocas de Diamantes naturales. Estas brocas tienen un cuerpo fijo cuyo material puede ser de matriz de acero o de carburo de tungsteno. Su tipo de corte es de diamante natural (el diamante es el material más duro hasta ahora conocido), incrustado en el cuerpo de la broca de carburo de tungsteno o se dispersa en recortes finos de diamantes en una matriz para formar lo que se llama una broca impregnada de diamantes. El uso de estas brocas es limitado en la actualidad, salvo en casos especiales para perforar formaciones muy duras y abrasivas. En la Figura 16 se muestra un ejemplo de brocas de diamantes naturales.

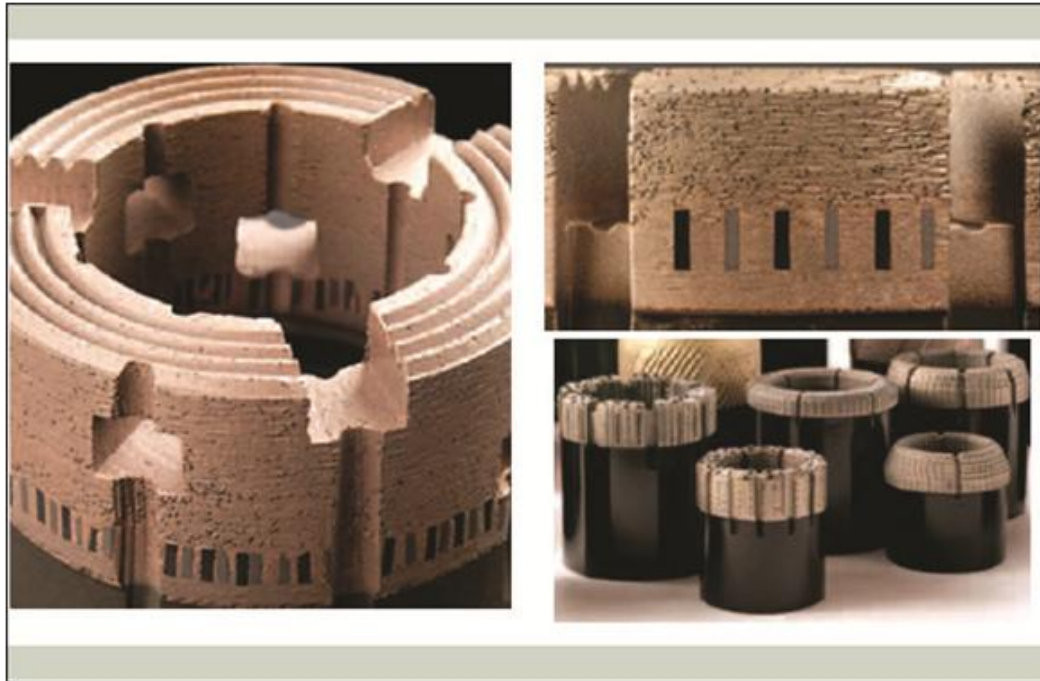
Figura 16. Brocas de diamantes naturales o impregnados de diamante



Fuente: Global Product Catalogue, Longyear Bits 2009

1.5.8.3 Brocas de Diamantes Poli-cristalinos Compactados (PDC). Este tipo de diamantes fueron introducidos en la industria alrededor de 1970. Son materiales de diamantes artificiales que consisten de una capa de arenilla de diamantes del tamaño de un micrón sinterizada (0.020 a 0.060 pulgadas) y adherida a espigas de carburo de tungsteno. Las brocas PDC se utilizan para corazonar formaciones que varían de muy blandas a medio duras, aunque son susceptibles a daños por impacto y por lo tanto no son recomendados para formaciones muy duras, altamente fracturadas o de cuarzos. Este tipo de brocas es la más utilizada en la actualidad para la perforación de pozos petroleros. En la Figura 17 se muestra la broca PDC.

Figura 17. Brocas PDC

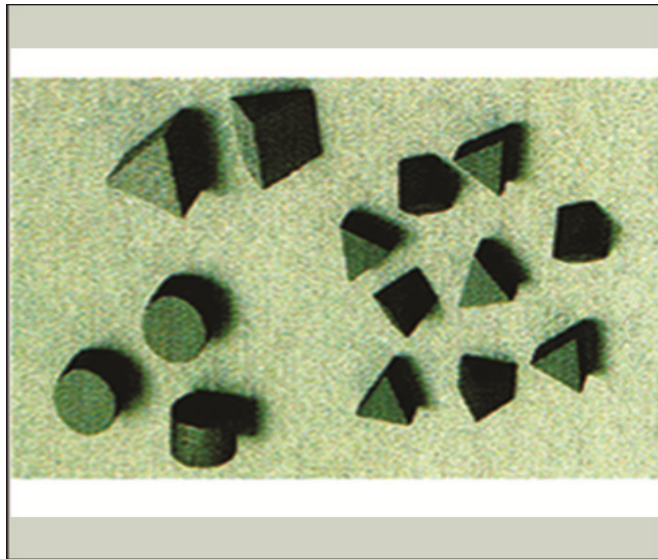


Fuente: Global Product Catalogue, Longyear Bits 2009.

1.5.8.4 Brocas de Diamantes térmicamente estables (TSD). Es un material de diamantes artificiales. La diferencia principal con la broca PDC es que tiene un margen más alto de estabilidad térmica debido al filtrado del catalizador metálico utilizado en el proceso de fabricación. Estos cortadores son apropiados para formaciones consideradas por lo general demasiado duras y/o abrasivas para los cortadores PDC. Estos no son recomendados para formaciones blandas, (estable hasta 1000-1200 grados °C). En las Figura 18 se observa la geometría de los diamantes TSD (triangular y redonda), en la Figura 19 se muestra las brocas de diamantes TSD²⁰.

²⁰ Norma API RP 40. 1998

Figura 18. Geometría de los diamante en brocas TSD



Fuente: Schlumberger

Figura 19. Brocas TSD



Fuente: Global Product Catalogue, Longyear Bits 2009

1.5.8.5 Brocas de Conos Giratorios. La broca de conos giratorios utiliza cuatro conos giratorios montados con piezas insertadas de carburo de tungsteno o cortadores de diente triangular para propósitos de corazonamiento. Los cortadores en los conos giran y se incrustan en el fondo del pozo y rompen la formación por compresión con una acción cinceladora. Debido a la lenta acción cortadora

(rompimiento compresivo cincelador) y la cantidad de partes móviles, el uso de las brocas de taladro de conos giratorios no es común. En la figura 18 se muestra la broca de cono giratorio²¹.

Figura 20. Broca de cuatro conos



Fuente: lacienciaes.blogspot.com

1.5.9 Manejo y preservación del núcleo. Una vez el corazón es sacado a superficie, se prepara para ser enviado al laboratorio para el análisis. Muchos métodos son aplicables para el manejo del núcleo en el lugar del pozo. En muchos casos, etiquetar el núcleo y colocarlo en un contenedor será suficiente. Para otros casos el núcleo será usado en pruebas de laboratorio para medir saturaciones, evaporación de fluidos y humectabilidad del corazón, entonces deben ser preservados de la forma más adecuada, debido a que deben permanecer sin

²¹lacienciaes.blogspot.com

alteraciones. El manejo de los núcleos en las instalaciones del pozo es de crucial importancia en desarrollo de un programa de corazonamiento.

Se usan diferentes técnicas de preservación, atendiendo al tipo de muestra tomada, a las características que ella presente, el tiempo necesario para estar almacenadas y el objetivo para el cual fueron tomadas.

Las técnicas comúnmente usadas para preservación son las siguientes: Bolsas plásticas, bolsas de papel resistente, película plástica inerte, papel de aluminio, material aislante y cajas de cartón parafinado, congelación con nitrógeno líquido y hielo seco, papel de aluminio, material aislante, envase de vidrio, cajas de madera o plásticas.

Todo el proceso de corazonamiento es importante, debido a que el corazón es el único medio físico que existe para ver, analizar y medir directamente las características geológicas, petrofísicas y fisicoquímicas de las formaciones.

2. POZOS SLIM-HOLE

2.1 TECNOLOGÍA SLIM-HOLE

La tecnología Slim Hole es una nueva opción para la exploración de hidrocarburos, especialmente en zonas lejanas, de difícil acceso y con restricciones ambientales. Una buena definición de Slim Hole es un pozo donde el 90% o más de su longitud es perforado con brocas de menos de 7 pulgadas de diámetro²².

La tecnología de perforación Slim Hole ha estado activa desde principio de los años '20 y fue estudiado en profundidad en los años '50, cuando se desarrolló en respuesta a la creciente demanda de petróleo durante la Segunda Guerra Mundial, debido al alto consumo de combustibles durante ella, debido a esto diferentes compañías petroleras perforaron más de mil pozos Slim Hole en este tiempo. En la década de 1950, varias compañías operaron plataformas de perforación Slim Hole a profundidades de 7.500 pies, con tubería de perforación de 2 7/8", todos ellos en busca y aumento de petróleo. Con base en esta campaña de perforación, las compañías concluyeron que esta tecnología es un método viable que genera un ahorro de costos en el área de perforación de hasta un 35% e indicando que los diámetros menores de 7 pulgadas eran lo suficientemente grande como para producir aceite y gas²³.

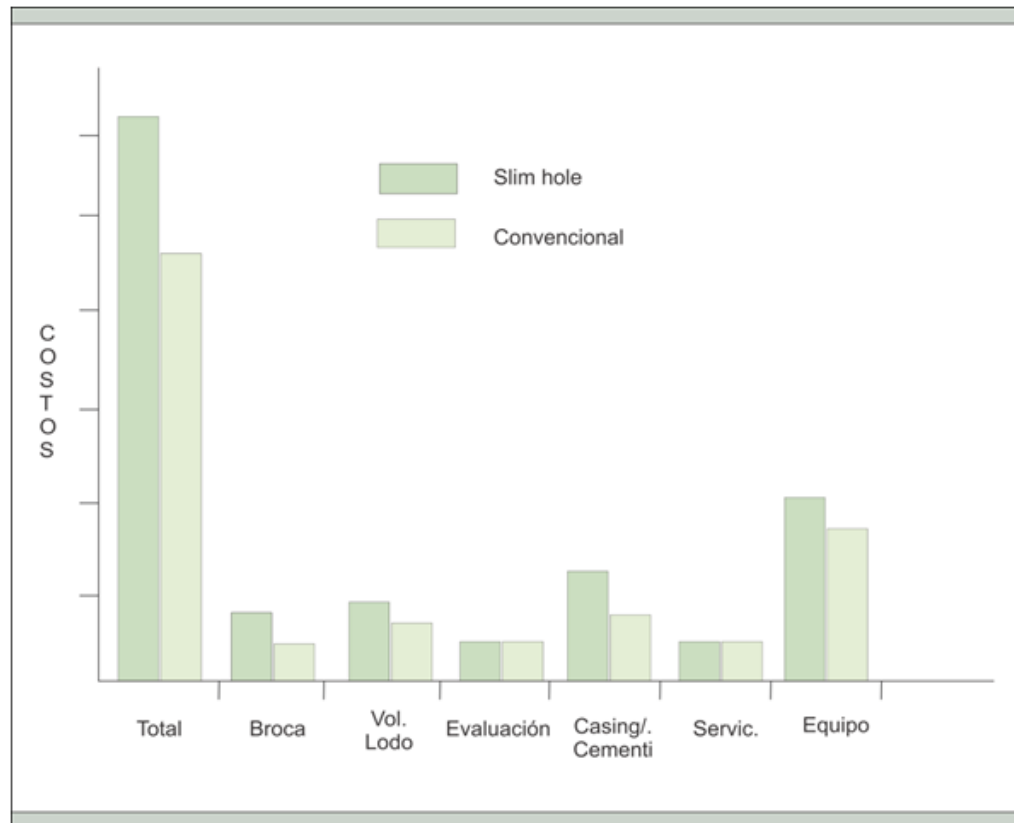
Sin embargo, las primeras aplicaciones Slim Hole no alcanzaron la aceptación generalizada de la industria, debido a que la mayor parte de los equipos no eran adecuados o no fueron suficientemente probados. Además, los altos costos de producción y la disminución de los precios del petróleo (especialmente en los años de 1940 y 1970), no permitieron la viabilidad de esta tecnología.

²² Slim-Hole technology". Project to develop and evaluate coiled-tubing and Slim-hole technology. 1994-1995.

²³ Slim Hole Drilling: Applications and Improvements. 1995

En los últimos años la estricta legislación ambiental, el nuevo panorama económico, el aumento en el precio del petróleo y los importantes avances tecnológicos, han posibilitado que la industria ahora aborde satisfactoriamente problemas que en el pasado presentó la tecnología Slim Hole , razón por la cual esta tecnología resulta como alternativa frente a la operación convencional ya que permite reducir significativamente costos de perforación (Equipos, brocas, lodo, personal) y minimizan el impacto ambiental (residuos, ruido, emisión de gases) en las operaciones de pozos de exploración y desarrollo. Además, permite mejorar las condiciones de trabajo y facilita la movilización del equipo de perforación a cualquier sitio. La Figura 21, muestra el ahorro en costos en la perforación de un pozo convencional y un Slim Hole.

Figura 21. Comparación de los costos de operación por áreas entre un pozo convencional y un Slim Hole



Fuente: Slim Hole Drilling: Applications and Benefits. 1995

Como consecuencia directa del creciente uso de la perforación Slim Hole en la industria, (Figura 22). Se han creado numerosas herramientas especiales para la utilización de estas en registros, perforación, terminación y reacondicionamientos de pozos. Algunas herramientas especiales de registro y la perforación se incluyen a continuación:

- Modificaciones en los registros de rayos gamma y neutrón, para pasar a través del hueco.
- Perforación con recuperación de barriles.
- Perforación por paredes laterales.

Además, se han desarrollado herramientas especiales de cementación para su uso en Slim Hole; estos incluyen:

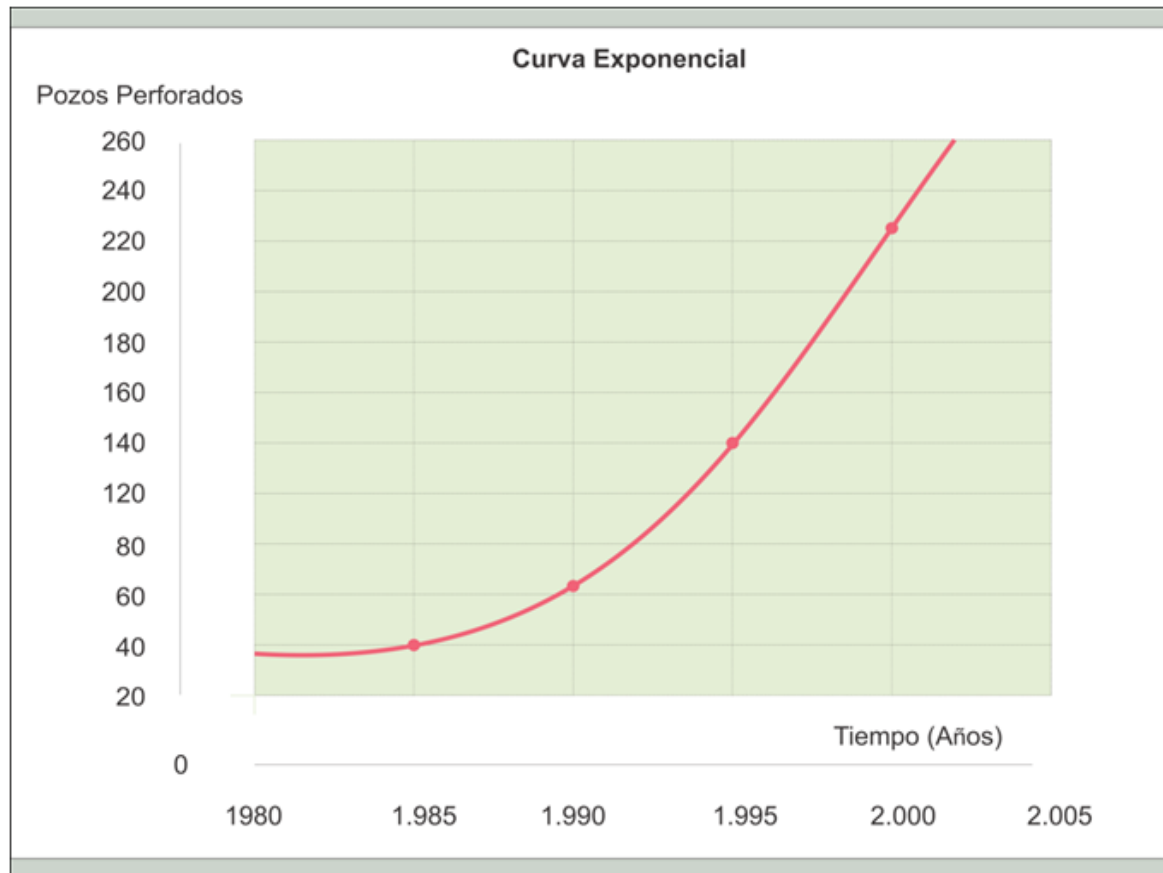
- Zapatas y tuberías de revestimiento colgantes (minimiza costos).
- equipos para cementación por etapas.
- Casing apropiados para huecos de diámetro pequeño.

También hay mejoras en la terminación y reacondicionamiento para pozos Slim Hole:

- Sartas con diámetros de hasta 1 ½”.
- Excelentes para mejorar perforación, recuperación y producción.
- Procedimiento especial para simulación de pozos.
- Recuperación de herramientas de fondo.
- Ensamblajes con forro de aluminio.
- Perforación y recuperación de núcleos por wireline (por cable).

- Desplazamiento efectivo de barriles de menor diámetro dentro de la sarta de perforación²⁴.

Figura 22. Incremento de la perforación de pozos Slim Hole



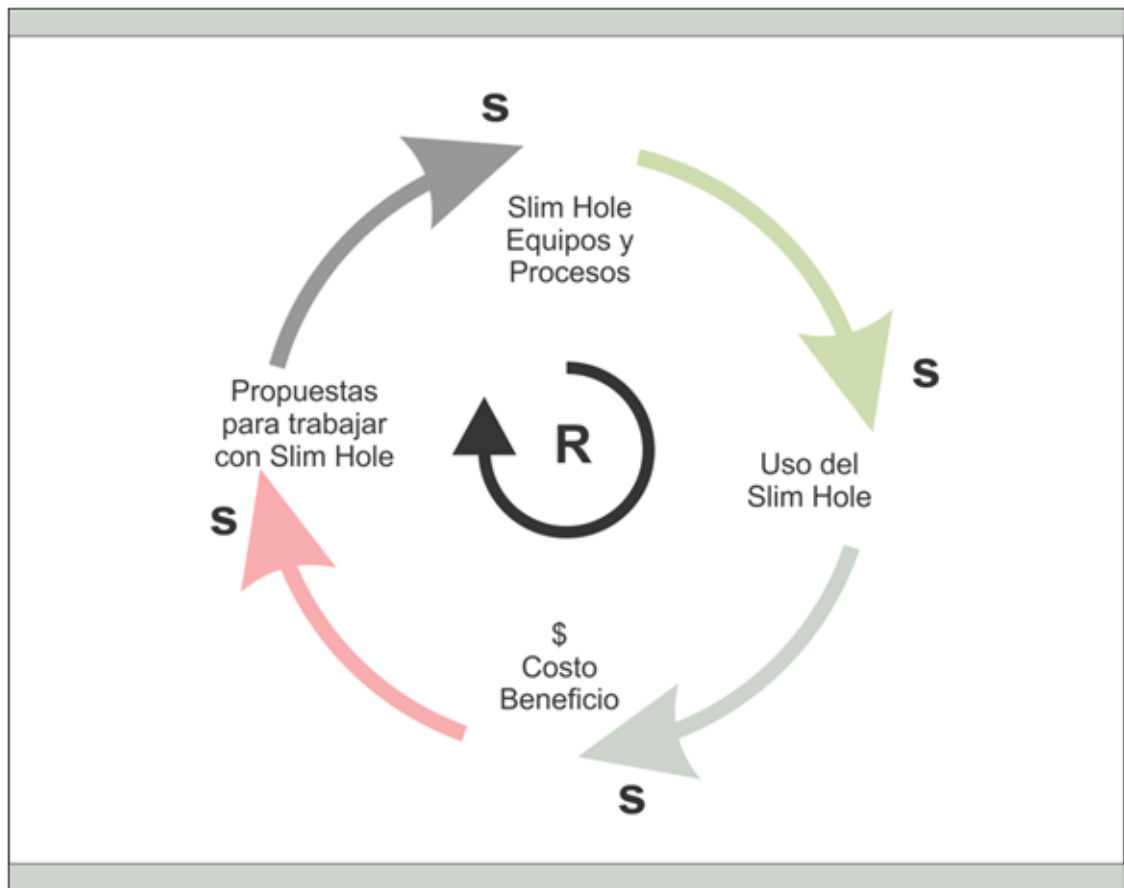
Fuente: SPE 30151, Slim Hole Drilling technology – Past, present and future

En la búsqueda de innovación, las compañías petroleras han revisado muchas técnicas de perforación para implementarlas en Slim Hole (un ejemplo: como las utilizadas en la industria minera) para así obtener ideas que permitan mejorar su uso en zonas de exploración y desarrollo; a partir de esto, las empresas crean equipos Slim Hole prácticos, sencillos y adecuados para todo tipo de formación, con el objetivo principal de reducir costos e incrementar la confiabilidad del equipo

²⁴ Slim Hole drilling: applications and Improvements. 1995

permitiendo obtener mejores resultados, esto se logra con una buena planeación del programa y ejecución en la operaciones de perforación. Ver Figura 23. Se observa un ciclo de refuerzo para el manejo adecuado de un Slim Hole. Este proceso implica lo siguiente: que el uso del Slim Hole está directamente unido a la rentabilidad, que aumenta en medida el costo-beneficio, en donde tendrá un aumento de propuestas y habrá la necesidad de trabajar con más equipos Slim Hole, llegando al material de trabajo²⁵.

Figura 23. Ciclo de refuerzo para el manejo adecuado de un equipo Slim Hole



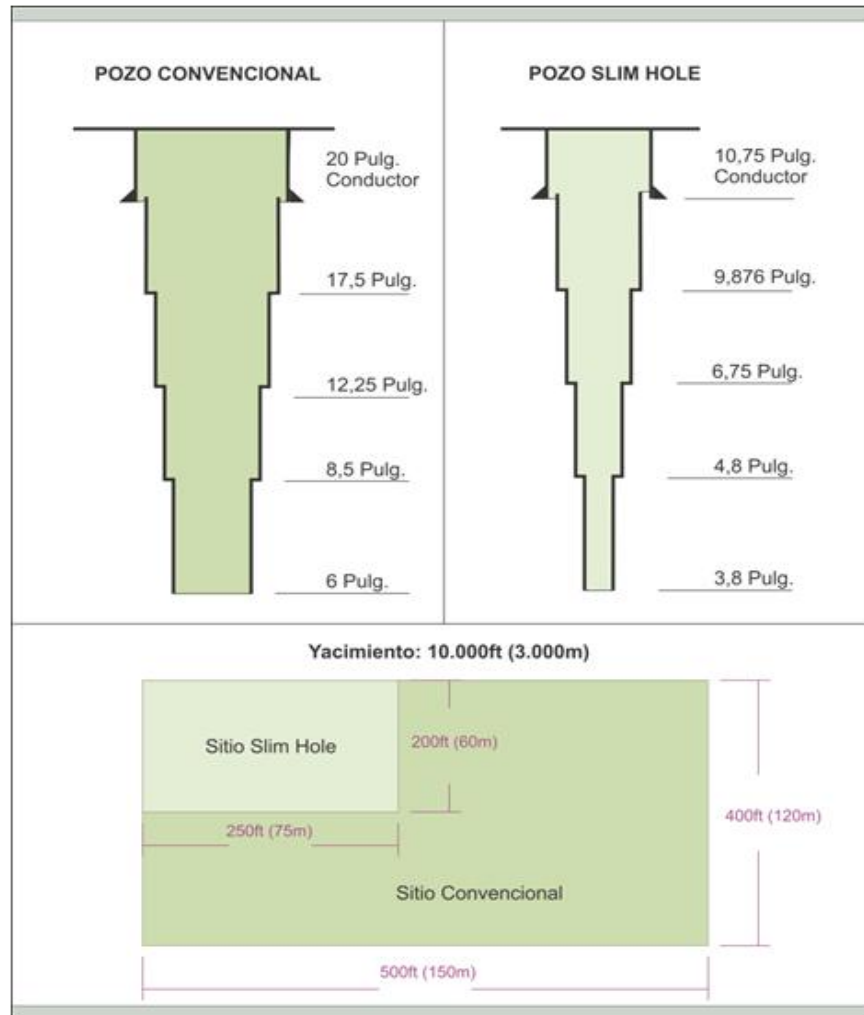
Fuente: SPE 30151, Slim Hole Drilling technology – Past, present and future.

²⁵Spe 30151. Slim Hole Drilling Technology – past, present and future. 1995

Esta tecnología es una buena opción a la hora de perforar, por eso es necesario dejar claros ciertos temas importantes como: costos, fluidos de perforación, impacto ambiental, características del equipo, ventajas y desventajas que justifiquen la buena viabilidad de un proyecto con equipo Slim Hole.

2.1.1 Reducción de costos. Los pozos Slim Hole son relativamente económicos debido a que utilizan menos lodo, cemento, agua y combustible que un equipo convencional. Además, generan pequeños volúmenes de ripios y necesitan menos personal para operar y apoyar el sistema de perforación. Por ejemplo, si el diámetro de la sarta se reduce en un 50%, el consumo de lodo, la generación de ripios de perforación y el tamaño de la locación se disminuyen en un 75%, por lo tanto, los costos totales cuando se trabaja un Slim Hole se reducen entre un 40% - 60% en comparación con respecto a la perforación convencional. En la Figura 24 se muestra comparación de un pozo convencional y un Pozo Slim Hole.

Figura 24. Comparación de un pozo convencional y un Pozo Slim Hole

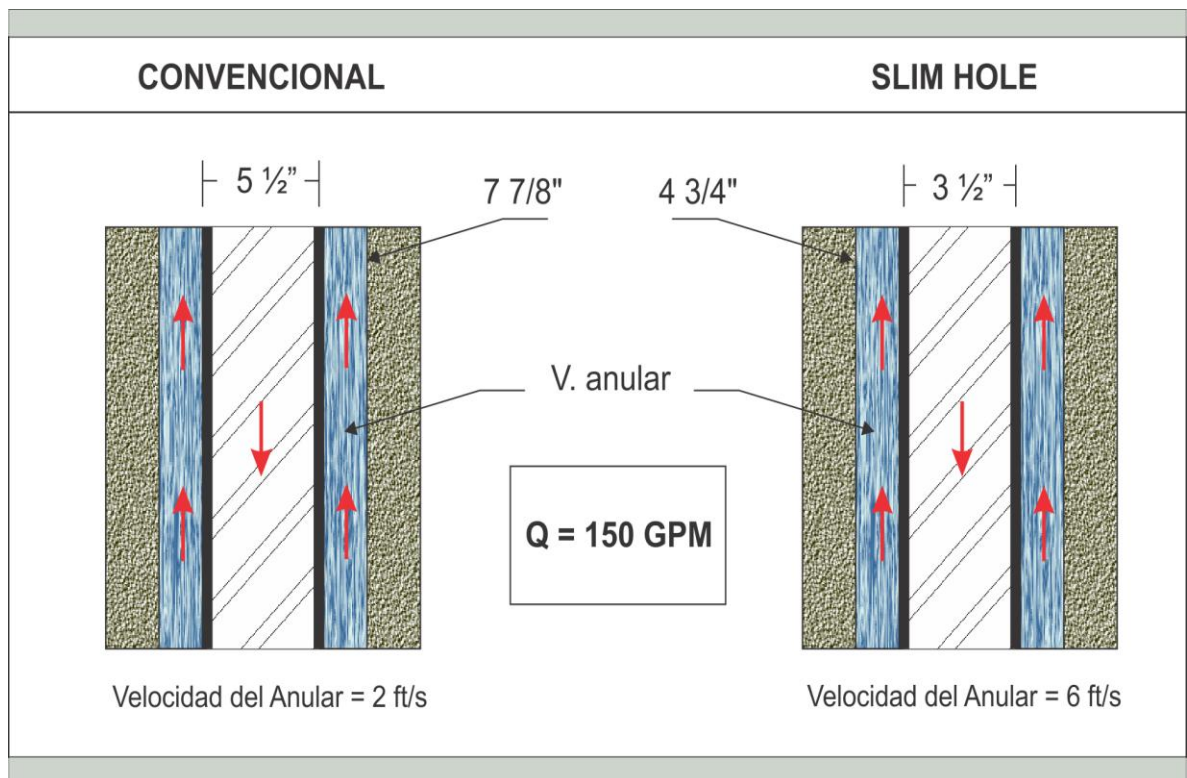


Fuente: Slim Hole technology1994, traducción autores.

2.1.2 Fluidos de perforación en Slim Hole. Los recientes progresos en esta tecnología, han llevado a las compañías petroleras a desarrollar fluidos de perforación que permitan estabilizar el pozo cuando se perfora, debido a que este presenta un anular muy pequeño el cual tiene un efecto importante en las pérdidas de presión, como se observa en la Figura 25, esto implica que la densidad del fluido de perforación, el material para sólidos, la viscosidad y el caudal deben considerarse cuidadosamente al decidir perforar un Slim Hole. Por lo tanto, en la

industria se han realizado estudios y han creado varios sistemas de fluidos para la perforación Slim Hole.

Figura 25. Diferencia de anular entre convencional vs Slim-Hole



Fuente: Project to develop and evaluate, Slim-hole technology (1994-1995)

Un resumen de los fluidos de perforación para operaciones con Slim-hole se observa en la Tabla 6, donde se puede ver las ventajas y condiciones adoptadas para huecos de diámetros pequeños. Sin embargo, todavía hay margen de mejora y cambio.

Tabla 6. Fluidos de perforación desarrollado para su uso en las operaciones de perforación Slim Hole

Condiciones hueco	Fluido de perforación	Avances
Slim-hole profundo	Formiato de potasio; Agente espesante Xanthan.	Poco adelgazamiento térmico, hasta 175 °C. No hay necesidad de barita.
Cementación, media y profunda, HTHP, pequeña diferencia entre los poros y los gradientes de presión de fractura.	Formato de potasio salmuera basado HTHP fluido de perforación	Facilitar una mejor eliminación del lodo durante el cementado, para ultra slim-hole
Slim-hole , de 3 3/8", hasta 7,100 pies de profundidad.	PHPA (Poliacrilamida parcialmente hidrolizada) lodo de polímero, un buen control de la filtración y la reología	Buena limpieza, evita pegue
Dificultad por medio del wireline de recuperar núcleos a alta velocidad con el Slim-hole.	El uso de un material más fino o pulverizado, pigmento de grado barita.	No interfiere con la recuperación de núcleos por wireline. Hasta 14 lb/gal utilizando lodo catiónico de salmuera.
Baja proporción de sólidos y líquidos requiere alta velocidad de rotación en la perforación slimhole.	Adición de sales de amonio en cuaternario, un surfactante catiónico. El uso de un bajo peso molecular en el polímero catiónico sintético que contengan estructuras similares a los surfactantes.	Buena recuperación de arenas.
Sedimentos terciarios (formaciones con sedimentos blandos).	Carbonato de calcio fino y almidón para el control de la pérdida de líquidos.	Control en pérdidas de circulación en arenas no consolidadas.
Lodo de peso superior a 17 lbm / gal, profundidades superiores a 15.000 pies o temperaturas superiores a 150°F.	Peso del lodo en base agua	Puede ser utilizado con éxito con los equipos de perforación slimhole, siempre y cuando procedan con métodos de perforación que están adaptados.

Fuente: Tao Zhu and Herbert .carrol

2.1.3 Reducción del impacto ambiental. Debido a la reducción de espacios, residuos, ruidos, emisiones de gas, la perforación Slim Hole permite reducir el impacto ambiental en las operaciones de instalación y operaciones de perforación.

2.1.3.1 Reducción de espacio y equipo. El reducido equipo de operaciones Slim Hole, lo hace adecuado para sitios que exigen un bajo impacto sobre el medio ambiente, ya que un equipo convencional requiere por lo menos cuatro veces la superficie de una plataforma de perforación Slim Hole, como se observa en la Tabla 7. De igual forma, el peso de la plataforma y la sarta de perforación para los Slim Hole son mucho menor en peso que la perforación convencional. La contaminación del aire también se reduce porque se requiere menos energía para la perforación Slim Hole.

Tabla 7. Comparación de las plataformas perforación convencional y Slim Hole

EQUIPO DE PERFORACIÓN	CONVENCIONAL	SLIMHOLE
Diámetro Hueco, Pulgadas	8.5-12 ¼	3 a 4
Peso Columna perforación. Ton. Métricas	40	5 a 7
Peso de Plataforma Ton.	65	12
Área del taladro, %	100	25
Potencia, Kw	350	75 a 100
Bomba del lodo	300	45 a 90
Capacidad tanque lodo, Bbl	470	30
Volumen Hole, Bbl/1000ft	60	6 a 12

Fuente: A review of Slim-hole drill, Tao Zhu and Herbert B. Carroll. 1994

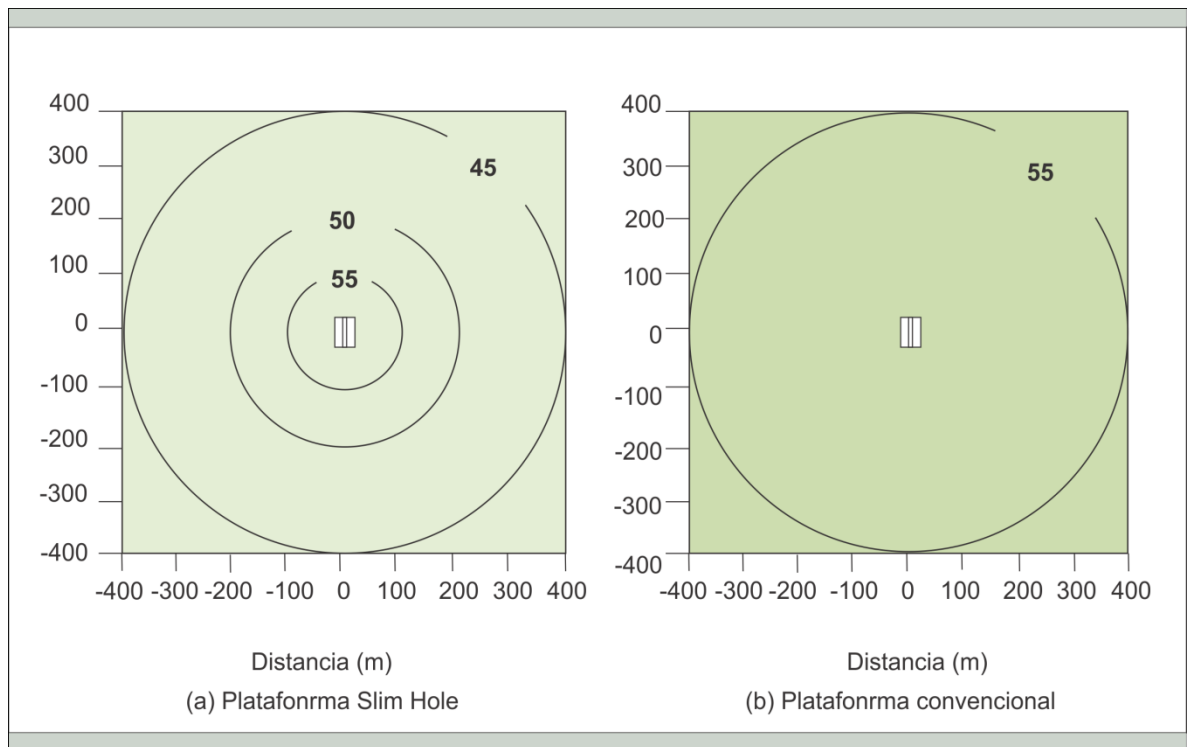
Debido a que el equipo es de menores en dimensiones, el control de desechos durante la perforación se hace sin tanque de lodos (piscina de reserva). Así mismo, el tratamiento físico y químico del lodo lo maneja el personal del equipo de trabajo. Todos los materiales de desecho se recogen y se almacenan en contenedores, esto minimiza enormemente el impacto al medio ambiente. Este sistema produce considerablemente menos desechos que con perforación convencional.

El tamaño relativamente pequeño de los dispositivos involucrados con las operaciones de Slim-hole (solo 850 m² ó 9160 ft²) y la notable reducción de los equipos de perforación; facilitan el transporte permitiendo una rápida movilización y desmovilización del mismo (solo una carretera de acceso pequeño). Lo cual genera disminución del impacto global, el costo de ingeniería civil y el riesgo de incidentes vinculados con el transporte del equipo.

Además, como el equipo es helitransportable se puede evitar la construcción de carreteras, especialmente en áreas sensibles como selvas o reservas forestales; dicho equipo puede ser transportado en cargas individuales con un peso inferior a 10 toneladas en un contenedor de un tamaño de 20ft.

2.1.3.2 Reducción del ruido. Otro aspecto importante de la perforación Slim-hole sobre las plataformas convencionales es la reducción del ruido. Esto lo hace especialmente ventajoso cuando la perforación se realiza cerca de zonas residenciales o indígenas, como se muestra en la Figura 26.

Figura 26. Mapas de ruido. A. contorno de una plataforma Slim Hole y B. Un equipo de perforación convencional. Los ejes horizontales y verticales representan las distancias en metros desde el centro del equipo de perforación. Los contornos representan los niveles



Fuente: Fuente: A review of Slim-holedrill, Tao Zhu and Herbert B. Carroll. 1994

2.1.3.3 Reducción de gases contaminantes. Otra de las ventajas de la tecnología Slim Hole es la reducción de emisiones. Como el equipo necesario para la perforación Slim Hole es más pequeño que un equipo convencional, el consumo de combustible y las emisiones de gases a la atmósfera es reducido significativamente, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Consumo de combustible y las emisiones de gases de una Unidad de CTD, plataforma Slim Hole y convencional

	Diesel m ³ /mes	Plataforma Slimhole	Plataforma convencional
Gas Emisiones Kg/Día	CO ₂	3,293	15,055
	CO	3,7	16,8
	NO _x	4,6	21
	HC	3,9	17,8
	HC _(GAS)	1,83	8,4
	SO ₂	4,2	19,4

Fuente: Faure et al. 1994

2.1.3.4 Características de un equipo Slim Hole. El sistema de corazonamiento Slim-hole es una buena opción para perforar pozos exploratorios y con recuperación de núcleos a buen costo, debido a que se puede alternar entre corazonar y perforar, donde el objetivo principal es perforar rápidamente y recuperar núcleos del fondo de pozo a superficie lo más rápido posible. Como se describió anteriormente, el equipo Slim Hole se encuentra diseñado para diferentes capacidades de perforación, son equipos pequeños, que son apropiados para locaciones pequeñas, menor cantidad de cargas, bajos costos de transportes, operan con poco personal, menor impacto ambiental y es utilizado en prospección minera (HSE).

La tecnología Slim Hole ofrece la posibilidad de reducir de costos y mejorar la calidad de la operación, debido a las especificaciones técnicas del equipo. Las cuales son:

- Corazona y perfora pozos a profundidades de hasta 12.000 pies.
- Utiliza de tubos de aluminio.
- Corazona en hueco de 5 ½” – 4” – 2,5”.

- Extrae núcleos de 3 3/8" - 2,44" – 1 7/8" de diámetro.
- Utiliza sarta de perforación (Tubería PQ, HQ, NQ).
- Sistema core cácher convencional.
- Utiliza brocas PDC, Diamantes termoestables, impregnados de diamantes.
- No requiere estabilizar la sarta (Anular muy pequeño).
- Locación de un área de 1000 m².
- Genera poco ripio, poca contaminación.

2.1.3.5 Ventajas de la perforación Slim-hole. El uso de un sistema Slim Hole tienen como resultado numerosas ventajas²⁶.

- Reducción del tiempo de inicio de labores
- Geología completa del núcleo
- Observar la química
- Temperatura y presión del yacimiento
- Reducción del espacio de trabajo
- Menor inversión capital
- Uso de equipos de perforación más pequeños y/o plataformas de reacondicionamiento.
- La exploración en áreas lejanas.
- Bajo impacto ambiental y mayor seguridad
- Menos utilización de agua para la perforación
- Minimización de carreteras
- Mejor control de pozos (De menor diámetro)
- Menor periodo de movilización
- Evita la necesidad de obtener imágenes de la formación

²⁶ Hinchliffe Sthephen. "Deep Slimhole drilling for geothermal Exploration – Confirming conceptual models based on geophysical surveys". Magma Energy Corp, Vancouver.

- El núcleo proporciona mejores datos
- Puede realizar mediciones de las propiedades de la roca en el núcleo.
- Permite el uso de pozos para su posterior seguimiento
- Cambio de presión
- Menor interferencia durante las pruebas

2.1.3.6 Factores que afectan las operaciones en Slim Hole. Aunque la tecnología Slim Hole reduce costos de manera significativa, presenta inconvenientes que se puede traducir en gastos demasiados considerables y que la operación resulte impráctica, tales como:

- No es muy recomendable para la producción/reinyección
- Manejo de pequeños caudales para la producción y la inyección
- Aumento rápido de la caída de presión
- Perforación lenta
- Dificultades en la perforación (Atascamientos, derrumbes)
- Límites de profundidad
- Utilización de tubería de menor diámetro (alrededor de 3”), para la extracción de núcleos específicamente, se expone a quiebre o deformación.
- Fallas en las tuberías.

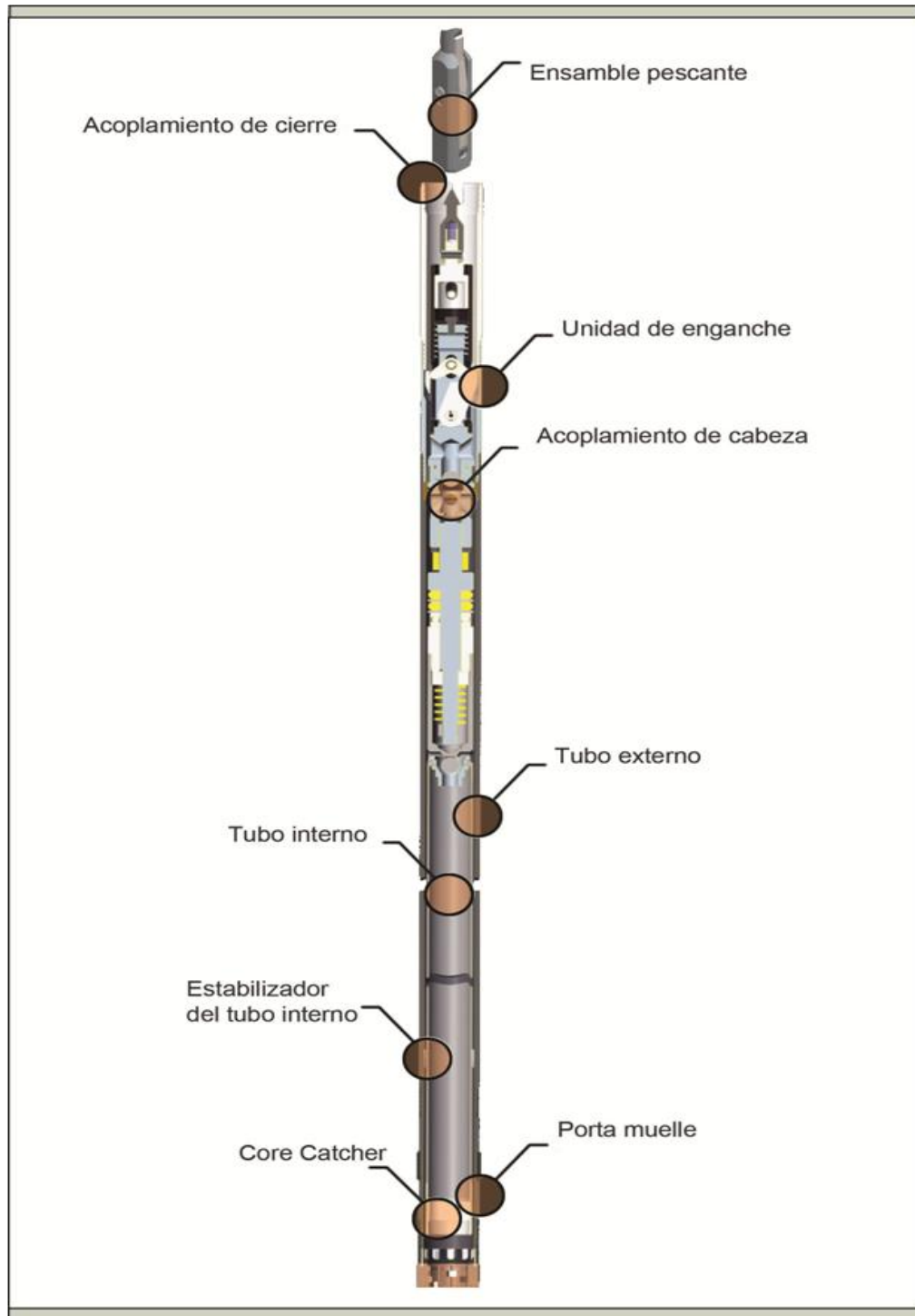
2.2 CORAZONAMIENTO CON WIRELINE EN POZOS SLIM-HOLE

El corazonamiento con wireline (Sistema por cable) es una herramienta que se baja en un pozo para tomar muestras cilíndricas y continuas de las formaciones de interés. Consiste en un tubo interno (adecuado con el diámetro del barril que se está utilizando), el cual posee un sistema de enganche que atrapa al núcleo en su parte inferior y su parte superior, que se acopla con el tubo externo por medio de una cabeza especial y a su vez se coloca una broca específica para

corazonamiento en la parte inferior del tubo externo de acuerdo al tipo de formación que se esté atravesando. El barril corazonamiento está diseñado para permitir la toma del núcleo lo más largo posible, mejorar la calidad de la muestra, mejorar tasas de penetración y ofrecer mayor confiabilidad en la operación. En la Figura 27, se muestra las partes del barril de corazonamiento con wireline, las cuales se describen a continuación:

1. *Ensamble pescante*: Su función consiste en atrapar el barril interno a través del cable. Consiste en dejar caer el pescante desde superficie dentro de la sarta de perforación y enganchar el tubo que contiene el núcleo.
2. *Acoplamiento de cierre*: funciona como seguro al momento del enganche para que este no se salga y proporciona un control de dirección en el momento que sube a superficie.
3. *Unidad de enganche*: Permite el bloqueo de la unidad de cierre y proporciona mayor seguridad al tubo externo durante el enganche.
4. *Acoplamiento de cabeza*: Dispone de un enganche y cabeza de lanza que al girar permite el encajamiento y la recuperación del tubo interior. Un soporte hace permanecer inmóvil el núcleo y evita el daño en la salida.
5. *Tubo externo*: Permite la conexión de la broca en la parte inferior y proporciona rigidez a las partes internas del barril evitando daños.
6. *Tubo interno*: Su función es permitir la captura del núcleo a medida que la perforación avanza y realizar los viajes para su extracción.
7. *Estabilizador del tubo interno*: Permite centralizar el tubo interno para mejorar la recuperación de la muestra y evitar daños al corazón.
8. *Corecatcher*: Permite la captura de la muestra ante algún deslizamiento que sufra dentro del tubo interno. También controla el movimiento evitando romper o quebrar la muestra.
9. *Caja o anillo porta-muelle*: Su función es mantener el elevador central en su sitio.

Figura 27. Partes del barril de corazonamiento en wireline



Fuente: Boart Longyear Catalogo wireline. 2009

Este tipo de sistema es parecido a otros sistemas convencionales con la diferencia, que la tubería interior es independiente de la herramienta y puede extraerse mediante un cable en cada recorrido para la recuperación del núcleo. Debido a esto, no es necesario sacar toda la tubería cada vez que se completa el barril de corazonamiento; teniendo en cuenta que sus dimensiones deben ser lo suficientemente pequeñas para poder pasar por el interior de la sarta de perforación. La Figura 28, ilustra el esquema de corazonamiento con wireline en Slim Hole.

Figura 28. Proceso de extracción de núcleos por sistema wireline

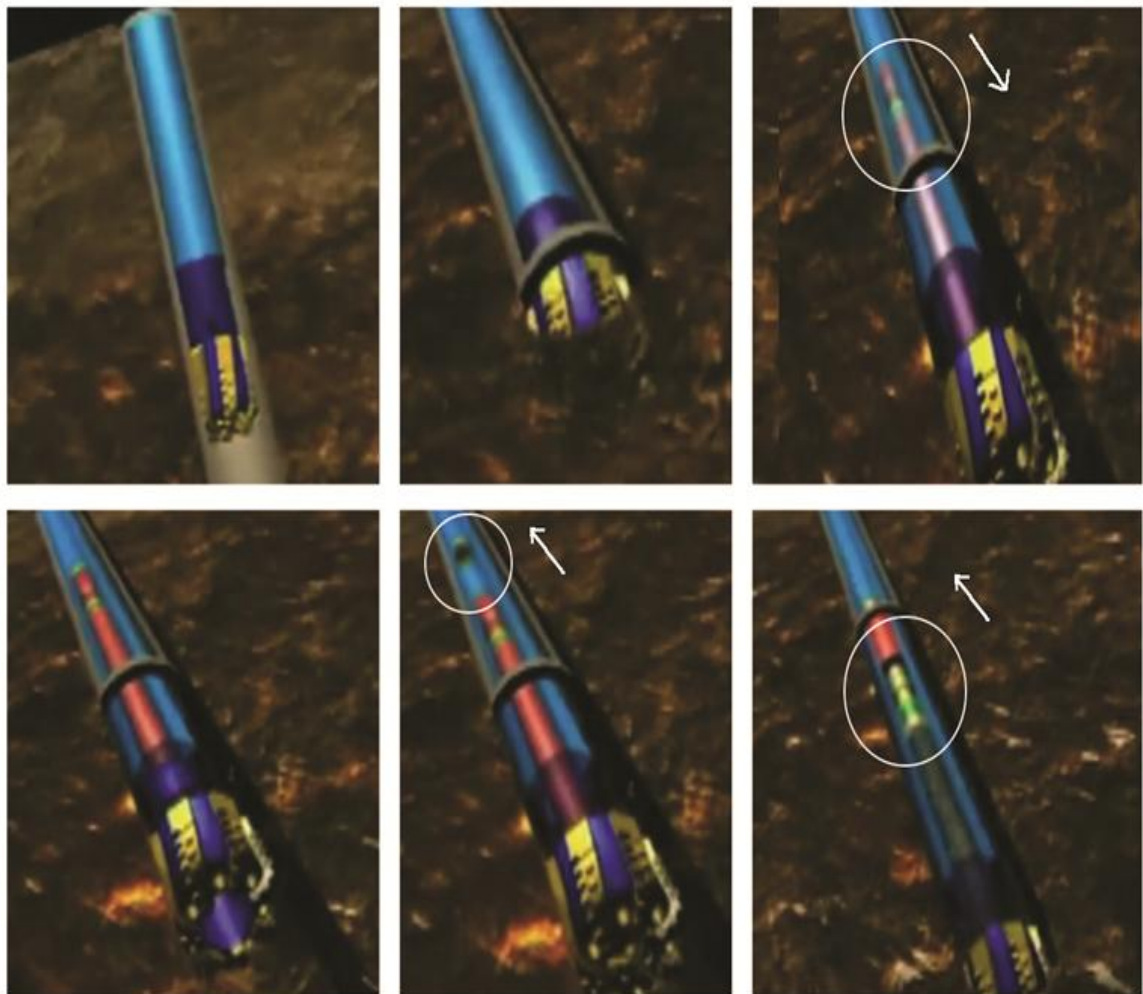


Figura 26. (Continuación)

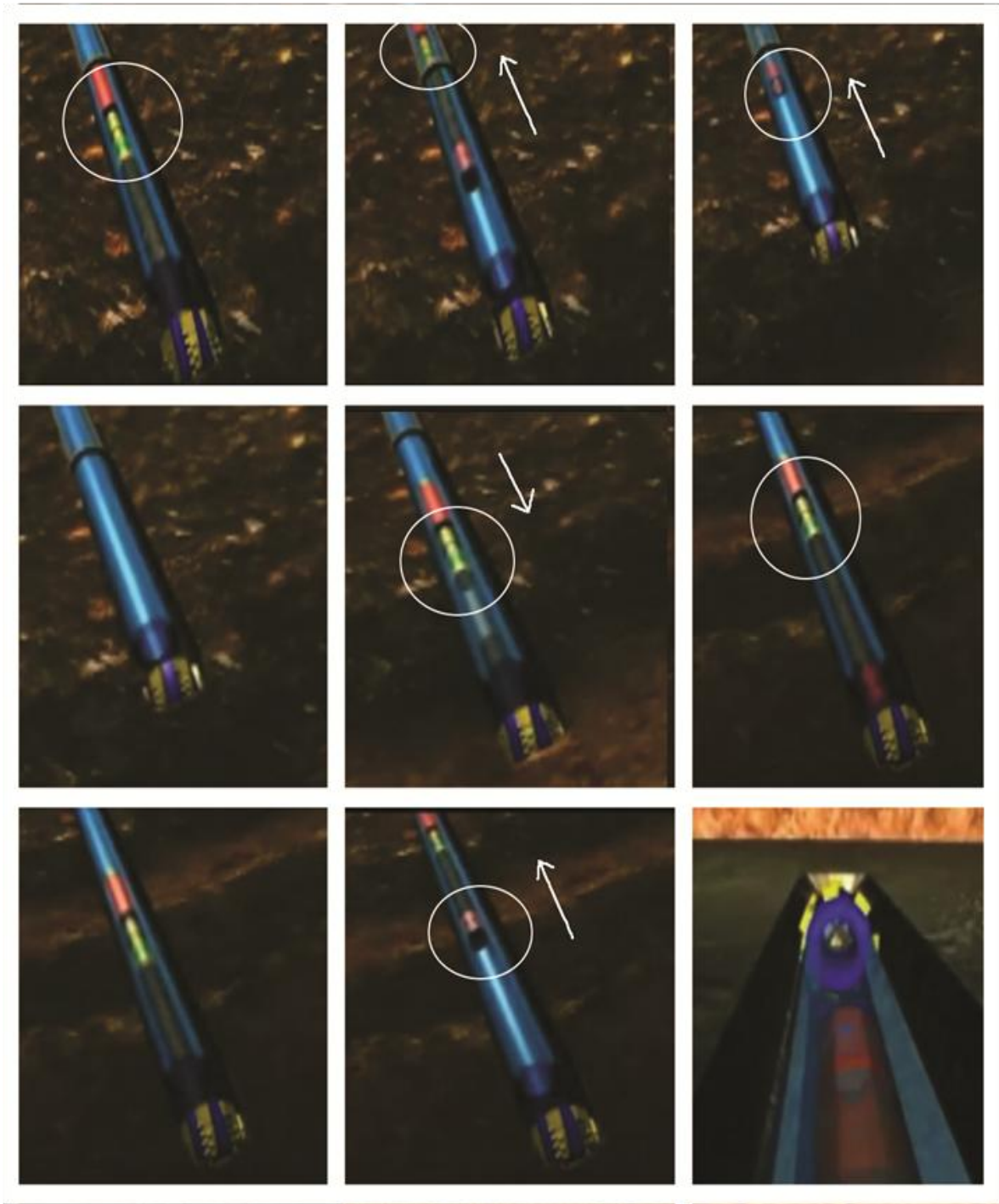
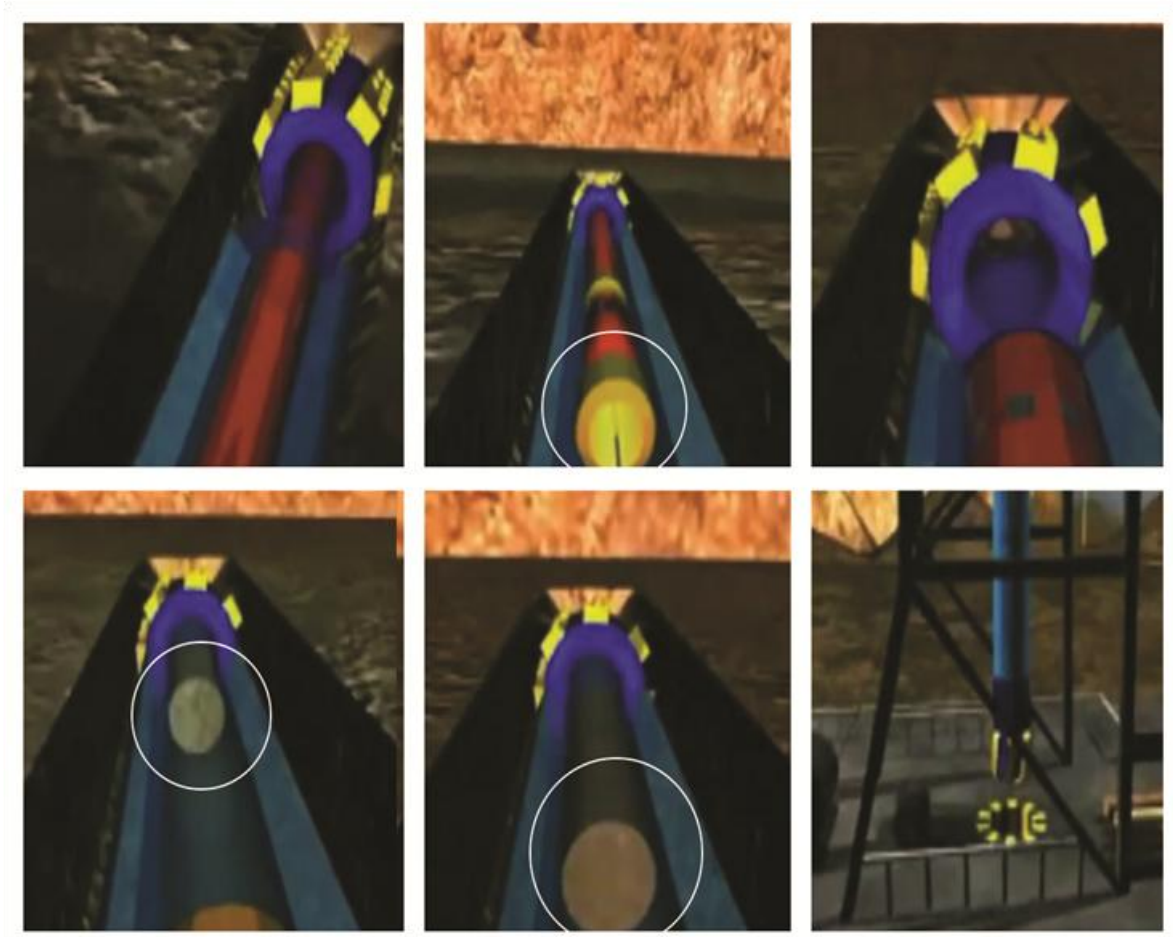


Figura 26. (Continuación)



Fuente: Corion Express, coringservices

Para evitar pérdidas de núcleo, presión y dificultades en la operación con el barril de corazonamiento, las empresas tienen un límite de ajustes de seguridad para aplicar a la operación de corazonamiento con sistema wireline en pozos Slim-hole. Es decir, especificaciones técnicas para el barril de corazonamiento, ver Tabla 9.

Tabla 9. Corazonamiento con sistema wireline y convencional

SISTEMA	WIRELINE	CONVENCIONAL	CONVENCIONAL
Tamaño del hueco	6"	8 ½"	12 ¼"
Barril externo	OD 4,75" ID 3,75"	OD 7" ID 5,625"	OD 9,50" ID 7,00"
Barril Interno	OD 3,375" ID 2,875"	OD 4,70" ID 4,125"	OD 6,00" ID 5,50"
Longitud de la sección	20 ft	20 ft	20 ft
Diámetro núcleo	2,56"	4,00"	5,25"
Conexión superior	3 1/2" IF	4 1/2" IF	6 5/8" Reg.
Máximo torque	20.000 ft.lb	68.000 ft.lb	203.000
Operación normal del torque	Hasta 15.000 ft.lb	Hasta 30.000 ft.lb	Hasta 40.000 ft.lb
WOB	Hasta 15.000 lb	Hasta 40.000 lb	Hasta 50.000 lb
Tensión máxima	301.000 lb	860.000 lb	1.550.000 lb
Tasa de flujo	50 – 200 GPM	50 – 400 GPM	50 – 600 GPM
Velocidad de rotación	40 RPM	40 RPM	40 RPM

Fuente: Corpro-corebarrels.

2.3 SLIM-HOLE COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA EN POZOS HORIZONTALES

Anteriormente, los diámetros laterales y los pozos horizontales fueron considerados un problema a la hora de perforar. Debido a esto, en los últimos años las compañías han evidenciado la necesidad de sustituir la perforación convencional con pozos horizontales Slim Hole, todo con el fin reducir costos

sustanciales y manejar altos caudales de agua con diámetros más pequeños. A pesar de los recientes avances tecnológicos, en la actualidad existen limitantes en cuanto a la capacidad potencial de producción que llega a tener esta tecnología, debido a los pequeños diámetros que maneja y las altas presiones que deben soportar. Por lo tanto, la industria está manejando este tipo de problemas de una manera cautelosa, debido a que los costos y la productividad se encuentran unidos y son un factor decisivo en la elección de un pozo horizontal.

Otro aspecto importante en los pozos Slim Hole horizontales, es que son excelentes en áreas donde se desea una extensión lateral para interceptar un gran número de fracturas para mejorar la producción. En conclusión, un Slim Hole se puede proporcionar como método eficiente de producción. También, debido a los desarrollos tecnológicos de las empresas, estas están dispuestas a asumir el mayor riesgo y limitaciones asociadas con este sistema en pozos horizontales para lograr los ahorros que sean posibles.

A continuación se ilustra la experiencia de una compañía con este tipo de sistema en campo, donde muestra el ahorro significativo que se obtiene al trabajar un Slim Hole en pozos horizontales. Los índices de penetración por hora eran, el equivalente a los que se observan en los grandes pozos convencionales. El ahorro económico es casi del 32% del diseño convencional y de 17% del hueco reducido, como se observa en la Tabla 10. La compañía hizo énfasis en que la perforación horizontal Slim Hole tiene un amplio potencial de ahorro en costos. En la Tabla 11, Se muestra el ahorro de costos reales que se desprende de la utilización de tecnologías Slim Hole en operaciones de campo.

Tabla 10. Costos comparativos de pozos nuevos perforados

	Tamaño del Hueco	Profundidad / desplazamiento	Índice de costo total	Índice de costo lateral
Convencional	8 ½"	10389' / 3741'	1.00	1.00
Hueco reducido	6 ½"	9698' / 3257'	0.82	0.87
Slim Hole	4 ¾"	9697' / 3154'	0.68	0.73

Fuente: Oryx's Pearsall Field operations.

Tabla 11. Costos comparativos de perforación Slim Hole Vs Diseño Ampliación

	Tamaño del hueco	Profundidad / desplazamiento	Índice de costo total	Índice de costo lateral
Convencional	8 ½"	10389' / 3741'	1.00	1.00
Hueco reducido	6 ½"	9698' / 3257'	0.82	0.87
Reingreso Slim Hole	3 7/8"	----- / 1980'	0.50	2.38
Nuevo pozo Slim Hole	4 ¾"	9697' / 3154'	0.68	0.73

Fuente: Oryx's Pearsall Field operations.

La perforación Slim Hole tiene limitaciones sobre todo en la confiabilidad del equipo, el lento tiempo de penetración y las dificultades para controlar un retraso. Además, la productividad restringida de la herramienta también limita su aplicación en muchas áreas. Por lo tanto, antes de decidir perforar un Slim Hole, hay que tener en cuenta los efectos a largo plazo, así como los ahorros de costos a corto plazo.

Los próximos pasos de desarrollo de las compañías en el mundo es realizar una buena planificación e integración de una operación Slim Hole, para lo cual se necesita de la ayuda de todo el equipo involucrado. Los compromisos pueden ser necesarios ante esta buena alternativa, pero el resultado debe ser una mejor información a menor costo, obtener reducción de gastos, mejorar el método de extracción de muestras, aumentar las reservas y mejorar la seguridad. Slim Hole brinda un mundo de oportunidades, pero está sujeto a futuros mejoramientos y a la cambiante transformación de la tecnología.

En resumen, el Slim Hole realiza esfuerzos para superar las actuales limitaciones técnicas en perforación, vale la pena resaltar, que en vista de las oportunidades que ofrece esta herramienta en esta área. Los operadores, las empresas de servicios, fabricantes y las autoridades están definiendo de forma conjunta los procedimientos y el equipo adecuado para capitalizar las ventajas de la perforación. La máxima prioridad debe darse en el desarrollo de una técnica para la reentrada en Slim Hole, la detección temprana de una patada y la perforación con tubería flexible, así como herramientas y equipo especialmente desarrollados para las herramientas de control direccional.

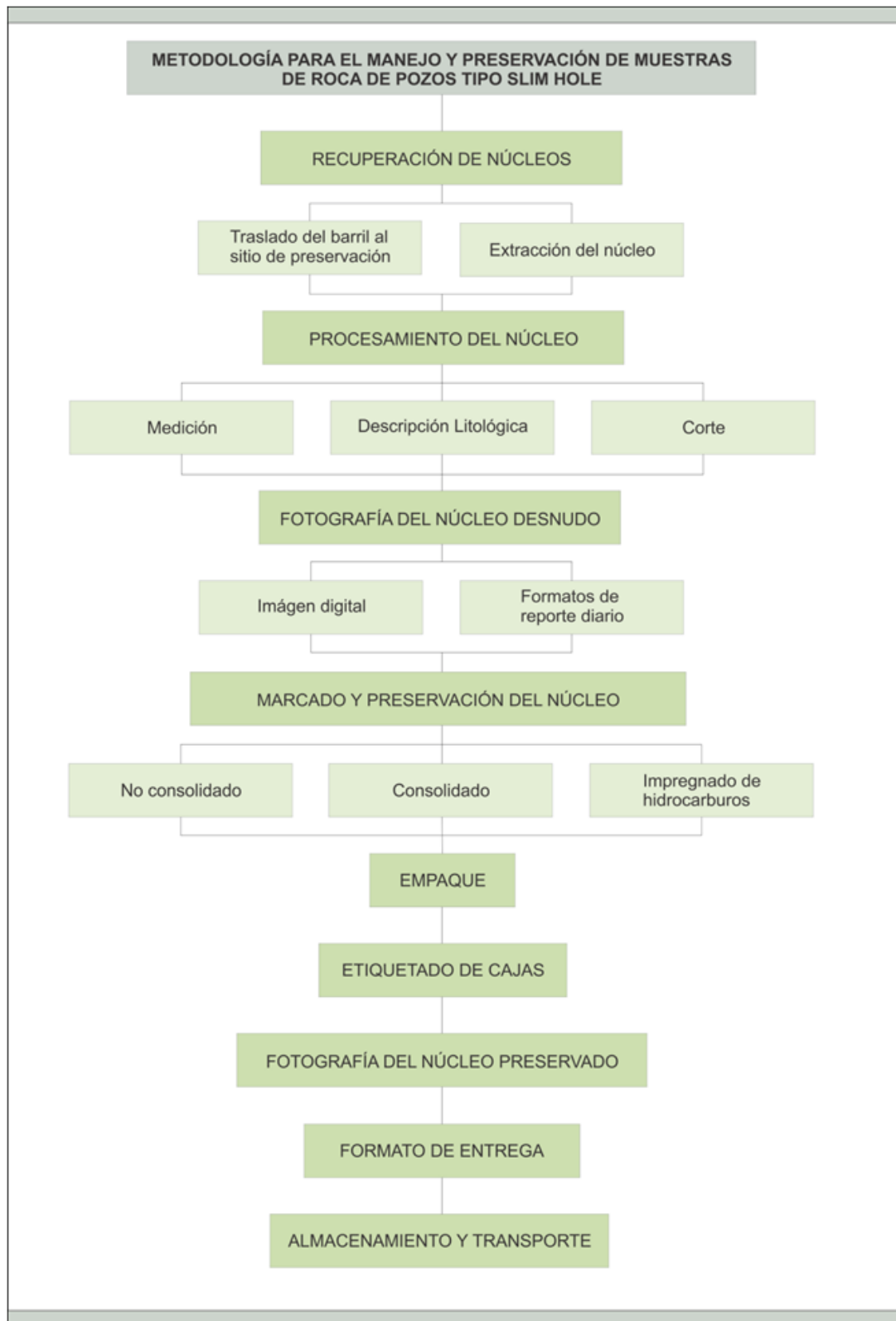
3. METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS DE POZOS TIPO SLIM HOLE

Para tener éxito en la realización de un proyecto de corazonamiento es de vital importancia elaborar una excelente etapa de manejo y preservación del núcleo obtenido por los diferentes sistemas de corazonamiento, seleccionando las mejores alternativas para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto. Esta metodología se desarrollo con el fin de aplicarla al proyecto de perforación de pozos estratigráficos Slim Hole con recuperación de muestras que se ha venido desarrollando en la Cuenca Cauca-Patía y a futuros proyectos relacionados. Lo que busca es mejorar la eficacia del proceso de manejo y preservación de núcleos de perforación, y así entregar muestras representativas, permitiendo realizar una excelente caracterización de las formaciones de interés.

Con base en la norma API RP40 (Prácticas recomendadas para el análisis de núcleos, febrero 1998) y los lineamientos del manual de entrega de información geológica a la Litoteca Nacional Bernardo Taborda Arango, se plantea la siguiente metodología enfocada al manejo y preservación de muestras de pozos tipo Slim Hole.

Para favorecer la comprensión del proceso se realizó el esquema de la metodología en un diagrama de flujo (ver figura 29), y así ilustrar su desarrollo etapa por etapa.

Figura 29. Diagrama de flujo para el manejo y preservación de núcleos pozos tipo Slim Hole



El manejo y la preservación del núcleo incluyen una serie de pasos desde que la sarta de corazonamiento sale a superficie hasta que el núcleo debidamente manejado y preservado es entregado al centro de recepción de información geológica. Toda muestra debe ser preservada en las instalaciones del pozo tan pronto sea extraída para minimizar su exposición a las condiciones atmosféricas y garantizar su integridad durante el manejo y transporte.

A continuación se explicarán las etapas presentadas en el diagrama de la figura 29.

3.1 RECUPERACIÓN DEL NÚCLEO

El núcleo es una muestra cilíndrica extraída del pozo para caracterizar o describir las formaciones encontradas durante la perforación, es recobrada mediante alguno de los sistemas de corazonamiento existentes, consta de dimensiones como longitud y diámetro, y puede ser según el grado de compactación de roca consolidada o no consolidada.

Una vez se complete la longitud del barril corazonador, en superficie se para la perforación y se recupera el barril interno mediante el sistema wireline.

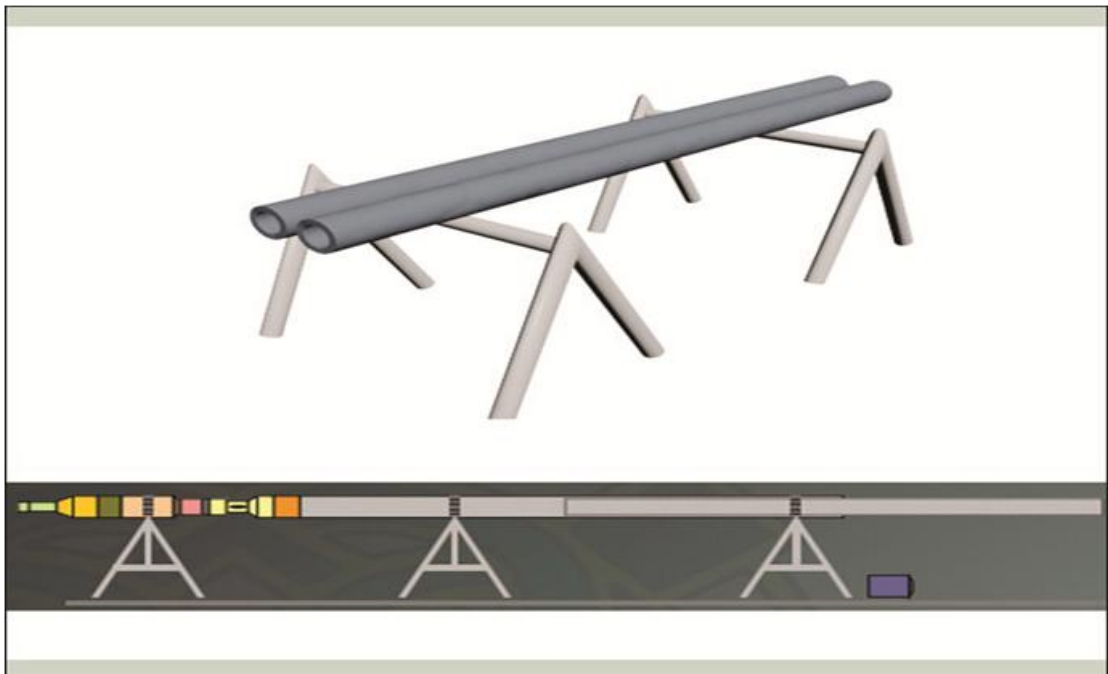
3.1.1 Traslado del barril interno. Obtenido el barril interno en superficie, se traslada a un sitio adecuado en las instalaciones del pozo para llevar a cabo el proceso de preservación; se requiere un sitio techado para proteger la muestra de las condiciones ambientales. El barril se extiende sobre un soporte en forma horizontal, evitando durante su manipulación y traslado la flexión del barril interno que conlleven a posibles fracturas y cambios físicos del núcleo. (Ver figura 30 y figura 31).

Figura 30. Traslado del barril interno



Fuente: www.boartlongyear.com

Figura 31. Colocación del barril en sentido horizontal



Fuente: www.corpro-group.com

3.1.2 Extracción del núcleo del barril interno. El núcleo se debe remover del barril en una posición lo más horizontalmente posible; elevar levemente un

extremo para que el corazón deslice, si no se desliza se puede utilizar un sistema de pistón mecánico, puede que sea necesario golpear el barril suavemente con un martillo para iniciar el movimiento del núcleo. Durante todo este manejo se debe intentar recuperar el núcleo con el mínimo esfuerzo mecánico posible. Si aún no se ha podido remover el núcleo, se debe utilizar un sistema de pistón hidráulico mediante el bombeo de un fluido que no altere sus propiedades, se recomienda utilizar el mismo fluido de perforación; para este sistema se debe usar un arreglo adecuado en que el pistón tenga contacto directo con el núcleo y a su vez el pistón sea movido por el fluido. (Ver figura 32).

Se debe evitar el uso de fluidos diferentes al utilizado durante el corazonamiento.

Figura 32. Extracción del núcleo del barril interno



Fuente: www.corpro-group.com

El núcleo a medida que sale del barril se va deslizando sobre una canaleta a fin de mantener su integridad.

Una vez extraído el núcleo no se debe utilizar agua para limpiar, si hay demasiado fluido de perforación en la superficie del núcleo se debe limpiar con un trapo saturado con este mismo fluido.

3.2 PROCESAMIENTO DEL NÚCLEO

Consiste en el proceso que se da al núcleo desnudo para su posterior preservación.

3.2.1 Medición. La canaleta que contiene el núcleo extraído se coloca en una mesa en sentido horizontal; si el núcleo sale fracturado se debe tener cuidado de no perder la secuencia y la orientación real, es necesario armarlo de tal manera que los extremos fracturados casen correctamente. Luego se mide la longitud del corazón recuperado en pies y se diligencia el registro teniendo en cuenta el intervalo perforado (IP) y el intervalo recuperado (IR), se procede a calcular el % de recuperación de la siguiente manera:

$$\% \text{ de Recuperación por núcleo} = \frac{IR}{IP} \times 100 \quad (1)$$

También se recomienda llevar el registro del % de recuperación diario y % de recuperación acumulado durante todo el proyecto:

$$\% \text{ de Recuperación diario} = \frac{\sum \text{Intervalo recuperado diario}}{\sum \text{Intervalo perforado diario}} \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{ de Recuperación acumulado} = \frac{\sum \text{Intervalo recuperado total}}{\sum \text{Intervalo perforado total}} \times 100 \quad (3)$$

3.2.2 Descripción geológica. El propósito de la descripción es el reconocimiento de características litológicas, deposicionales, estructurales y diagenéticas del núcleo; el Geólogo del pozo (well-site) es el encargado de realizar esta descripción y de llevar un registro de toda la información geológica del pozo, obtenida a partir de los núcleos; si la tasa de recuperación del núcleo es mayor ó igual al 60%, la descripción litológica se basará en el núcleo, pero si es menor del 60% se basará en los ripios o muestras de zanja.

Para cumplir con esta descripción se evalúa toda la secuencia corazonada registrando las características principales como:

- Litología (arenisca/caliza/arcilla).
- Color.
- Estratificación (Espesor/contactos de los estratos/marcadores de erosión).
- Estructuras sedimentarias.
- Textura.
- Tamaño de grano (angulosidad/redondez/distribución).
- Composición (granos/cemento/fósiles).
- Características diagenéticas y tectónicas.
- Anotar cualquier mancha de aceite y fluorescencia relacionada.
- Registrar las rocas que no son del yacimiento (residuos del lodo).

Se necesita contar con los siguientes implementos en las instalaciones del pozo:

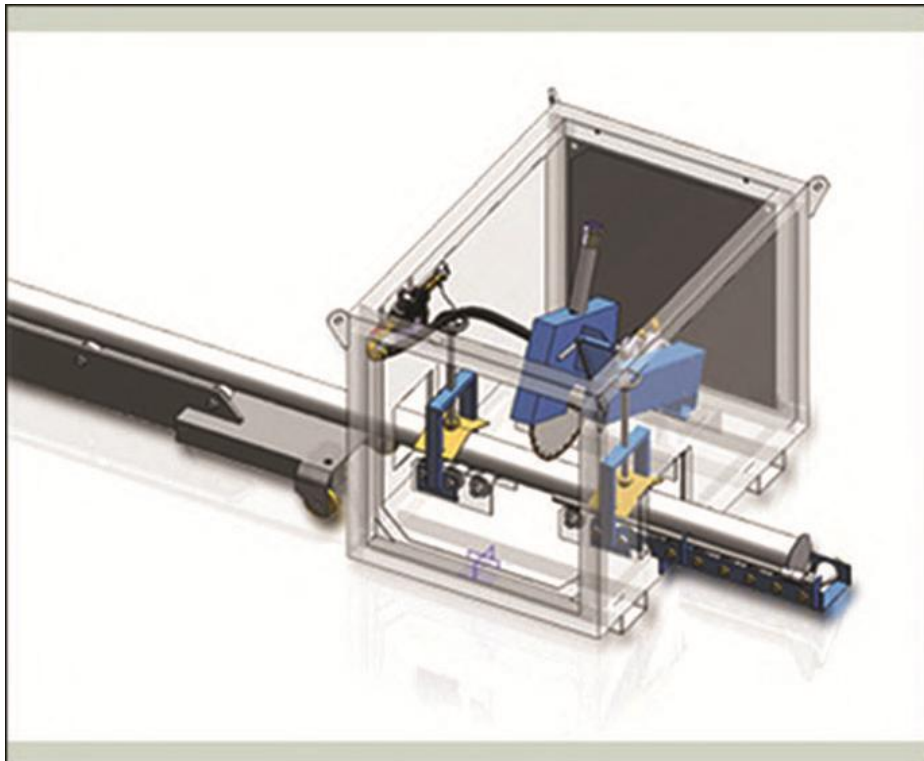
- Formato de registro para la recolección sistemática de datos.
- Microscopio o lupa de mano 10X o 20X.
- Regla para la medición de longitud.
- Regla para el tamaño de grano (Tabla de granulometría).
- Tablas de clasificación de Folk o Dunham para determinar el nombre textural y composicional.

Productos químicos tales como:

- Agua o salmuera para mejorar la visibilidad de estructuras geológicas.
- Acido clorhídrico (HCl) para identificar secciones de carbonatos.
- Alizarina roja para diferenciar calcita y dolomita.
- Solventes de hidrocarburos para facilitar la detención de la fluorescencia de aceite bajo luces ultravioletas.

3.2.3 Corte. Teniendo el núcleo sobre la mesa se mide para cortarlo en segmentos según como se vaya a preservar. Se realiza un buen corte teniendo cuidado para mantener la secuencia apropiada y la orientación del núcleo. (Ver Figura 33).

Figura 33. Corte del núcleo



Fuente: www.corpro-group.com

Cualquier irregularidad que se detecte como pérdida de material debe ser registrado.

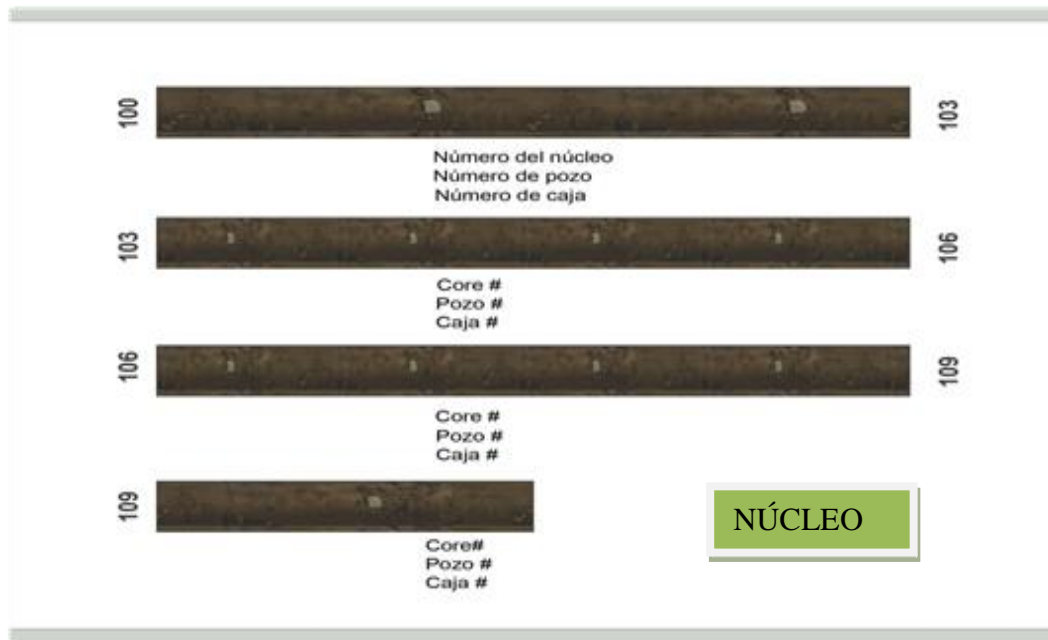
3.3 FOTOGRAFÍA DEL NÚCLEO DESNUDO

Este paso se hace con el fin de tener un registro fotográfico para futuros trabajos o investigaciones.

3.3.1 Imagen digital. Para realizar la toma de imágenes fotográficas es necesario tener una cámara que cumpla con una alta resolución, se recomienda zoom óptico 10X y 14 Mega píxeles, para que en la imagen queden detalladas las características superficiales del núcleo.

Teniendo el núcleo ya cortado en los intervalos planteados para la preservación; este se debe colocar sobre una plataforma en donde se marcan las profundidades, el número de núcleo y el pozo al que corresponde. El núcleo se ubica de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha (de menor a mayor profundidad o de tope a base), seguidamente se procede a tomar la fotografía; esto se debe hacer en un sitio en donde no haya contraluz y bajo la luz natural para que la imagen quede de alta calidad (Ver Figura 34). Esto se realiza con el fin de tener una base de datos de registro visual, que se utilizará para corroborar la descripción geológica o para reconstruir partes del núcleo en futuros análisis.

Figura 34. Toma fotográfica núcleo desnudo



Fuente: Autores del proyecto

3.3.2 Formato de reporte diario. Obtenida la información mediante los pasos anteriores esta se registra en el formato de corazonamiento diario y en el formato geológico diario (Figuras 35 y 36) el cual lo debe diligenciar el geólogo del pozo, para proporcionar un registro más completo de las condiciones del corazonamiento y así llevar un seguimiento y control del avance hecho en el proyecto. La información que se registra en estos formatos debe contener:

- Nombre del pozo.
- Coordenadas del pozo.
- El número del reporte.
- Fecha.
- Empresa corazonadora.
- Representante de la empresa operadora.
- Representante de la empresa perforadora.

- Diámetro del núcleo.
- Número de núcleo.
- Tope y base de cada núcleo.
- Descripción geológica de cada núcleo.
- Formación a la que corresponde cada núcleo.
- Intervalo perforado por cada núcleo.
- Intervalo recuperado por cada núcleo.
- % de recuperación por cada núcleo.
- Intervalo perforado diario.
- Intervalo recuperado diario.
- % de recuperación diario.
- Observaciones.
- Registro fotográfico de cada núcleo desnudo.

La columna de N° caja se diligencia posteriormente una vez se tenga los núcleos empacados (Numeral 4.5). Los siguientes son ejemplos de formatos a ser registrados.

Figura 36. Formato Geológico

FORMATO REPORTE DIARIO GEOLÓGICO						
PROYECTO						
CUENCA				FORMACIÓN		
POZO			OPERADOR			CORAZONADOR
COORDENADAS	LATITUD			NORTE		
	LONGITUD			ESTE		
REPORTE N.			PIES PERFORADOS	0	PIES RECUPERADOS	0
WELLSITE						
DESCRIPCIÓN DEL INTERVALO CORAZONADO						
COMENTARIOS GENERALES:						
FOTOGRAFÍAS						
CORE		CORE		CORE		
INTERVALO:		INTERVALO:		INTERVALO:		
Pies Perforados:		Pies Perforados:		Pies Perforados:		
Pies Recuperados:		Pies Recuperados:		Pies Recuperados:		
Porcentaje Recuperado:		Porcentaje Recuperado:		Porcentaje Recuperado:		
Comentarios:		Comentarios:		Comentarios:		
CORE		CORE		CORE		
_____ REPRESENTANTE COMPAÑÍA OPERADORA MATRÍCULA PROFESIONAL No		_____ REPRESENTANTE COMPAÑÍA PERFORADORA MATRÍCULA PROFESIONAL No				

Fuente: Grupo de trabajo UIS.

3.4 MARCADO Y PRESERVACIÓN

Los procedimientos de marcado y preservación del núcleo en las instalaciones del pozo deben seguir el mejor proceso posible, para guardar la identidad y representatividad del mismo.

Luego de tener el núcleo cortado de acuerdo a los intervalos planteados para la preservación, se procede a marcar y preservarlo, esta operación depende del grado de consolidación que tenga el núcleo: consolidado, no consolidado ó si está impregnado de hidrocarburos.

3.4.1 Núcleo consolidado. Las rocas consolidadas son duras resultado de la compactación, este tipo de material no necesita tratamiento especial. Sobre el núcleo desnudo con marcadores indelebles rojos y negros, se marca el núcleo de arriba a abajo de modo que las líneas sean paralelas. La línea roja debe estar en el lado derecho si la persona que marca se encuentra mirando el núcleo de la parte de abajo (base) hacia arriba (tope). Se deben dibujar flechas apuntando hacia el tope para evitar confusiones. También con un marcador indeleble de cualquier color, empezando del tope hacia la base trace líneas perpendiculares (A través del núcleo) indicando la profundidad pie a pie, en lo posible realizar este marcado con números enteros. (Ver figura 37).

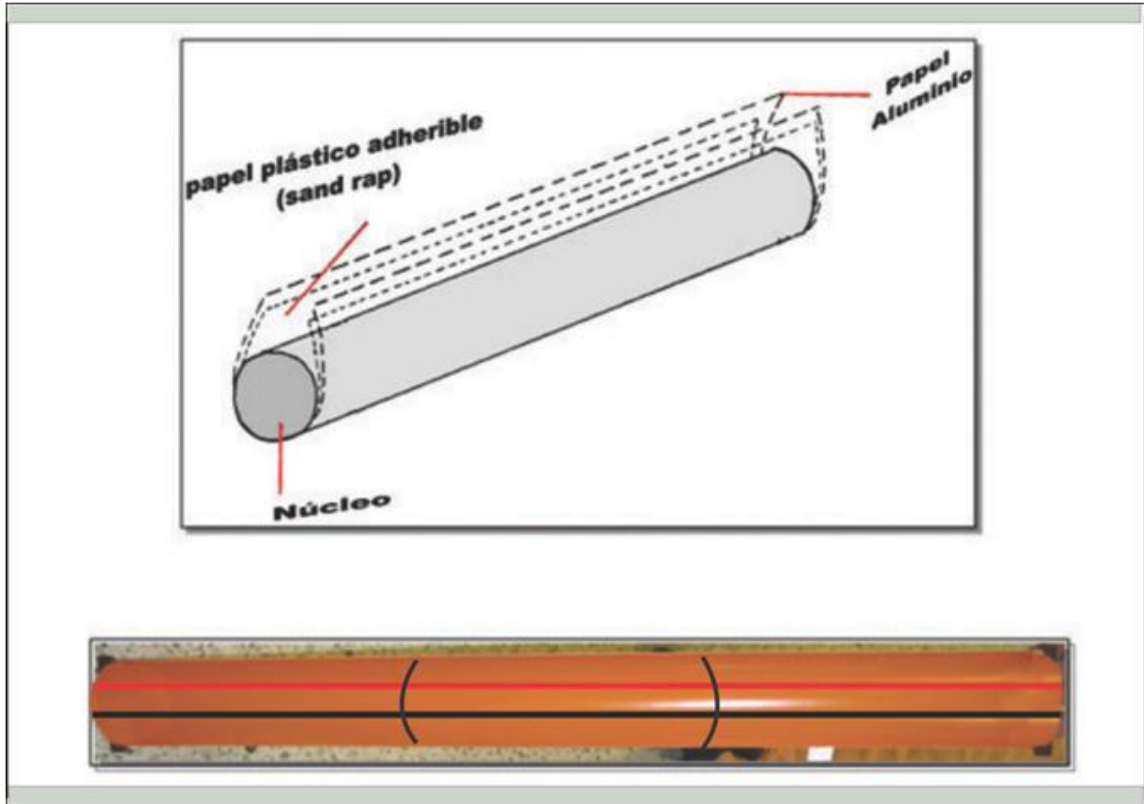
Figura 37. Marcado del núcleo desnudo



Fuente: www.corpro-group.com Fuente: Autores del proyecto.

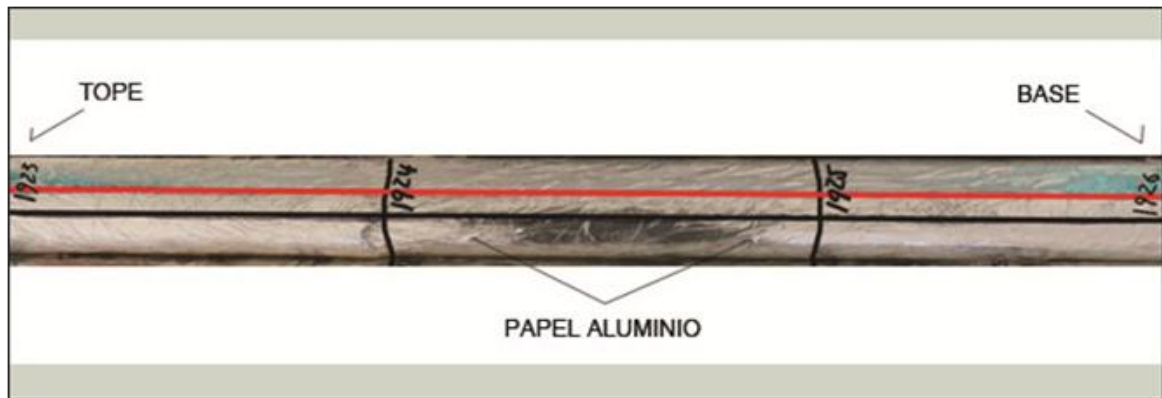
Seguidamente se procede a preservar revistiendo el núcleo con papel plástico adherible (sand rap o vinipel), luego se envuelve en papel aluminio y se coloca sobre una canaleta del mismo diámetro y longitud del núcleo buscando garantizar su integridad; sobre el papel aluminio y la canaleta con marcadores indelebles se vuelve a marcar de la misma forma que ya se describió para el núcleo desnudo además de colocar también la información referente al número de núcleo, base, tope, profundidades pie a pie y nombre del pozo, con el fin de asegurar su identidad y evitar pérdidas o complicaciones cuando se destapen para realizar análisis de laboratorio. (Ver Figura 38 y Figura 39).

Figura 38. Preservación del núcleo



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 39. Marcado sobre papel aluminio



Fuente: Autores del proyecto.

Para obtener futuros análisis confiables y representativos del núcleo, es importante la rapidez con que se realiza el recobro, descripción, corte, marcado y

preservación, evitando lo más posible la exposición del núcleo a las condiciones ambientales.

3.4.2 Núcleo no consolidado. Las rocas no consolidadas son friables debido al poco grado de compactación a que estaban sometidas. Su manejo y preservación es más crítico. Se deben evitar los movimientos innecesarios del núcleo. Estando el núcleo desnudo, sobre él no se puede marcar su orientación debido a lo friable y deleznable que es la roca. El proceso es el mismo que para rocas consolidadas, simplemente no se marca el núcleo desnudo. Este manejo se debe realizar lo más rápido posible aprovechando la humedad con que sale el núcleo para su mejor maniobrabilidad, trabajando con cuidado, evitando desintegrar la roca.

Para este tipo de muestras se recomiendan utilizar métodos más avanzados para su preservación los cuales causan menos daños al núcleo como: 1. Congelación o refrigeración y 2. Estabilización mecánica con resina. Si se utiliza la congelación, el núcleo no se debe maniobrar hasta que no esté completamente congelado, porque la congelación parcial puede causar daños estructurales al núcleo. (ver Figura 40 y Figura 41).

Figura 40. Congelación del núcleo



Fuente. Corpro

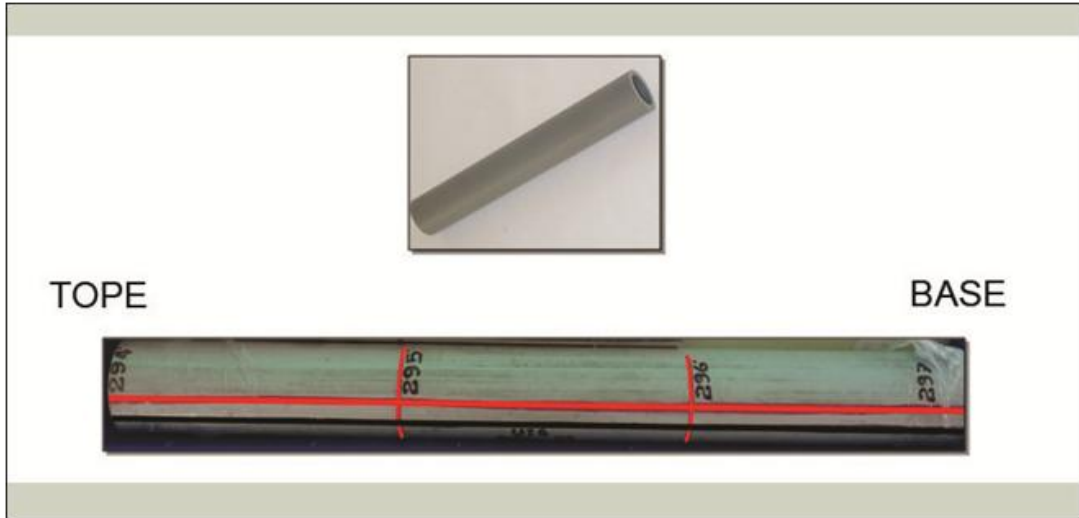
Figura 41. Estabilización mecánica con resina



Fuente. Corpro

Si antes de perforar o corazonar se sabe que se está atravesando un intervalo friable o no consolidado, se puede utilizar sistemas de corazonamiento acordes para este tipo de formaciones como los sistemas con barril interior desechable (PVC, aluminio o fibra de vidrio), o sistemas con manga de caucho. El corte y marcado se realizan de la misma forma como se ha explicado en este capítulo identificando siempre la base y el tope; como estos núcleo ya vienen preservados solamente es necesario envolverlos en papel plástico adherible (sand rap o vinipel). (Ver Figura 42).

Figura 42. Núcleo con tubo PVC



Fuente: Autores del proyecto.

3.4.3 Núcleo impregnado de Hidrocarburos. Debido a que esta metodología es aplicable a pozos estratigráficos, el procedimiento de preservación se realiza de igual forma que en muestras de roca consolidada o friable, según el grado de compactación de la muestra; con el argumento de que, se debe registrar y anotar en los informes cualquier indicio de presencia de hidrocarburos.

3.5 EMPAQUE DEL NÚCLEO

Con el propósito de mantener el núcleo en excelentes condiciones, este se debe empacar dentro de un recipiente que garantice su integridad durante su almacenamiento y transporte. Se recomienda utilizar materiales que ofrezcan protección contra vibraciones mecánicas y maltratos.

En Colombia, la Litoteca Nacional de la ANH tiene una caja estándar. El núcleo preservado se ubica dentro de la caja de derecha a izquierda, de lo somero a lo profundo, si la persona se encuentra ubicada mirando la caja desde la base hacia

el tope, para mantener la secuencia y orientación apropiada. Como se puede observar en la Figura 43.

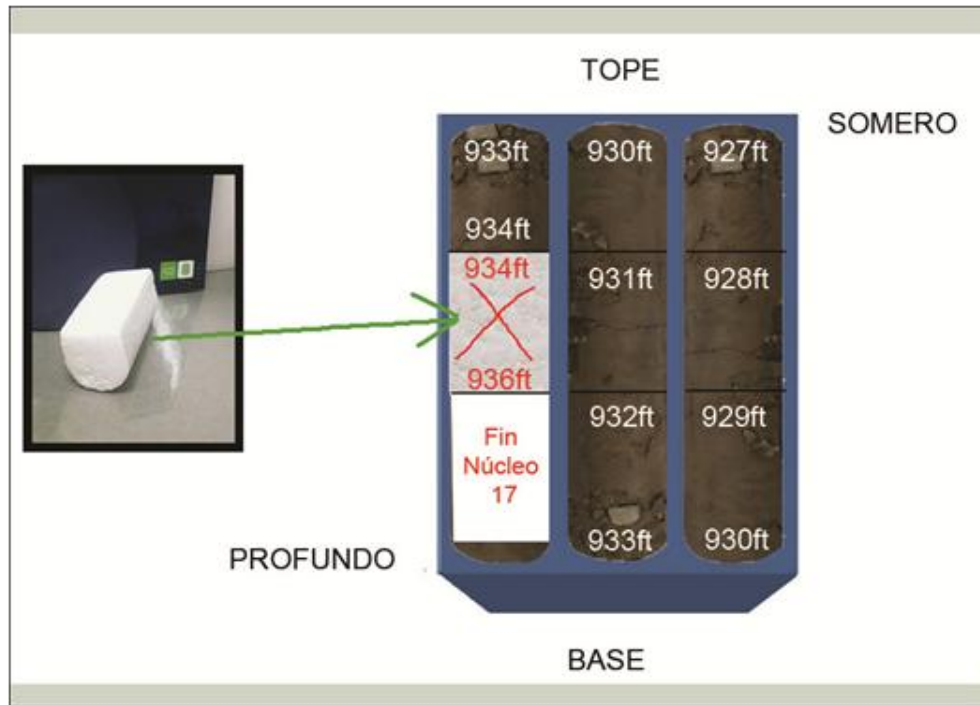
Figura 43. Ubicación del núcleo dentro de la caja



Fuente: Autores del proyecto.

Si el segmento de núcleo preservado es inferior a la longitud total de la caja o quedan espacios vacíos en la caja, estos se deben ocupar con un material de relleno que sea inerte (ejemplo: icopor), para estabilizar el núcleo evitando que este se deslice cuando es maniobrada y transportada; si la falta de núcleo es debido a que no hubo recuperación (missing) durante el corazonamiento, se debe indicar con icopor el intervalo faltante para así mantener la secuencia; además también se debe marcar el final de cada núcleo. (Ver Figura 44).

Figura 44. Marcado de fin de núcleo y de no recuperación



Fuente: Autores del proyecto.

3.6 ETIQUETADO DE CAJAS

Al ser empacado el núcleo, la caja o el recipiente que se utiliza para el empaque del núcleo debe ser etiquetada con la siguiente información:

- Nombre del pozo.
- Número de núcleo.
- Número de caja
- Intervalo del núcleo (Tope-Base).
- Fecha.

Después se procede a tapar y sellar la caja o recipiente. Ver Figura 45

Figura 45. Etiqueta de las cajas

<i>Logo empresa</i>	<i>Logo empresa</i>
PERFORACIÓN DE POZOS XXX EN LA CUENCA--XXX CON RECUPERACIÓN DE NÚCLEOS	
EMPRESA CORAZONADORA:	
<i>MUNICIPIO:</i>	<i>SECTOR:</i>
<i>POZO N°:</i>	<i>CAJA N°:</i>
<i>INTERVALO CORAZONADO:</i> _____(ft)	<i>HASTA:</i> _____(ft)
<i>CORAZÓN N°:</i> _____	<i>FECHA:</i> _____

Fuente: Autores del proyecto

3.7 FOTOGRAFÍA DEL NÚCLEO PRESERVADO

Antes de sellar la caja de empaque del núcleo preservado se procede a realizar un registro fotográfico como respaldo a la forma cómo queda ubicado el núcleo dentro de la misma, se toma la fotografía con una cámara de alta definición. Esto se realiza con el fin hacerle un control de calidad y de dejar un registro de las cajas o del producto que es entregado en la Litoteca Nacional.

3.8 FORMATO DE ENTREGA

También se debe ir diligenciando el formato final de entrega de las muestras, con el cual se realizará la transferencia de custodia del material corazonado a la empresa encargada de realizar los análisis. El formato utilizado debe contener la misma información que lleva el formato diario de corazonamiento pero con el consolidado total o final del pozo. (Ver Figura 46).

evitando que genere cambios en las propiedades del núcleo y manteniendo el núcleo con las características originales del yacimiento.

El medio de transporte debe ofrecer protección contra daños por cambios ambientales y/o vibraciones mecánicas. Otros factores a considerar son la distancia hasta el sitio de entrega, condiciones del terreno y el clima. Se recomienda realizar el transporte en un camión tipo furgón (Ver Figura 47).

Además, se hace una carta de remisión donde se especifique la información del contenido y destinatario de los núcleos. Las muestras finalmente se entregan en el centro de información geológica en donde se verifican y almacenan para posteriormente estudiarlos.

Figura 47. Transporte de las muestras



Fuente: Autores del proyecto

Como información adicional, a veces durante el corazonamiento se requiere tomar muestras de muestras de zanja que corresponden a los ripios recuperados durante la perforación que son transportados por el lodo desde el fondo hasta la superficie. Estos ripios son recobrados en tramos o intervalos en donde es muy complicado realizar el corazonamiento.

Se recuperan 200 gramos de muestras de zanja cada 5 pies, 10 ó 20. La muestra es recuperada o extraída de la shale-shaker. Estas muestras se preservan en bolsas de papel kraft con cierre metálico o en bolsas con cierre hermético. Estas bolsas se deben etiquetar también con la información correspondiente a la muestra que contienen, de la misma forma como se hace para los núcleos; seguidamente es empacada dentro de un recipiente adecuado para su preservación o caja de preservación. Se debe registrar y diligenciar el formato de muestras de zanja. (Ver Figura 48).

4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA A UN POZO SLIM HOLE DE LA CUENCA CAUCA-PATÍA

En este capítulo se presenta el proceso de perforación de un pozo estratigráfico slimhole, con recuperación de muestras de roca (núcleos y muestras de zanja) mediante sistema wireline; el cual se llevó a cabo en la Cuenca Cauca-Patía (CCP), cuyo objetivo principal fue obtener información directa, precisa y de alta calidad de la cobertura sedimentaria que define el sistema petrolífero potencial.

Esta Cuenca presenta un conjunto de características geológicas muy propias y plantea un sin número de interrogantes concernientes a su viabilidad petrolífera, por esto, la información técnica es fundamental en la planeación y desarrollo de las actividades de exploración de áreas prospectivas potenciales de hidrocarburos. Los datos y muestras del subsuelo, su calidad y análisis, así como los informes de las actividades de exploración, merecen un proceso de recolección, validación y organización que permita obtener datos confiables.

Para obtener una evaluación geológica representativa de las formaciones encontradas durante la perforación y construir la columna estratigráfica real del punto en estudio se recobraron muestras de roca entre núcleos y muestras de zanja, las cuales fueron recuperadas, manejadas, descritas, preservadas y transportadas aplicando la “METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y PRESERVACIÓN DE NÚCLEOS TIPO SLIM HOLE” expuesta en el capítulo 3 de este trabajo de grado, buscando que preserven las propiedades nativas de las formaciones y evitando que sufran alteraciones físicas para que en un futuro cuando sean analizadas brinden datos confiables que permitan determinar de forma eficaz el potencial hidrocarburífero de la Cuenca Cauca-Patía.

La Metodología fue aplicada durante el corazonamiento de un pozo llevado a cabo a finales del año 2010. Su aplicación logró mejorar el proceso de manejo y

preservación que se le estaba realizando a los núcleos en las instalaciones del pozo, por consiguiente se logró una buena descripción litológica, manejo, marcado, preservación y transporte de los núcleos y muestras de zanja hasta la Litoteca Nacional; entregando muestras de roca representativas para futuros análisis de laboratorio y estudios estratigráficos y sedimentológicos que permita evaluar el potencial hidrocarburífero de la Cuenca.

4.1 LOCALIZACIÓN CUENCA CAUCA-PATÍA

La Cuenca Cauca-Patía (CCP) se encuentra ubicada a lo largo del valle superior del río Cauca, es una depresión Intermontana con un área aproximadamente de 13000 Km², entre los piedemontes de las cordilleras Central y Occidental de Colombia, en una franja alargada ubicada aproximadamente entre las poblaciones de Pasto (Nariño) al sur y Cartago (Valle) al norte, en Jurisdicción de los departamentos de Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Quindío y Risaralda²⁷.

La exploración de Hidrocarburos en la CCP está aún en una etapa temprana, en donde hasta ahora no se ha probado ningún sistema petrolífero. Esto lo demuestra los pocos estudios realizados en ella: En el sector de Valle del Cauca, en inmediaciones de Cali, se han perforado cinco pozos exploratorios: Candelaria 1, Jugu 1, Patacoré 1, Salsa 1 y Bejerú 1, los cuales resultaron secos. Para el sector del Valle del Alto Patía no se han perforado pozos exploratorios ni estratigráficos, pero se han realizado los programas sísmicos Patía 1981 y Patía 1990 al sur de la población de El Bordo.

Las rocas sedimentarias de la cuenca Cauca-Patía están prácticamente restringidas a los Valles de los ríos Cauca y Patía, que corren entre las cordilleras Central y Occidental. Estas podrían estar asociadas a un sistema petrolífero activo ya que se han reportado manaderos de hidrocarburos que corresponden a las

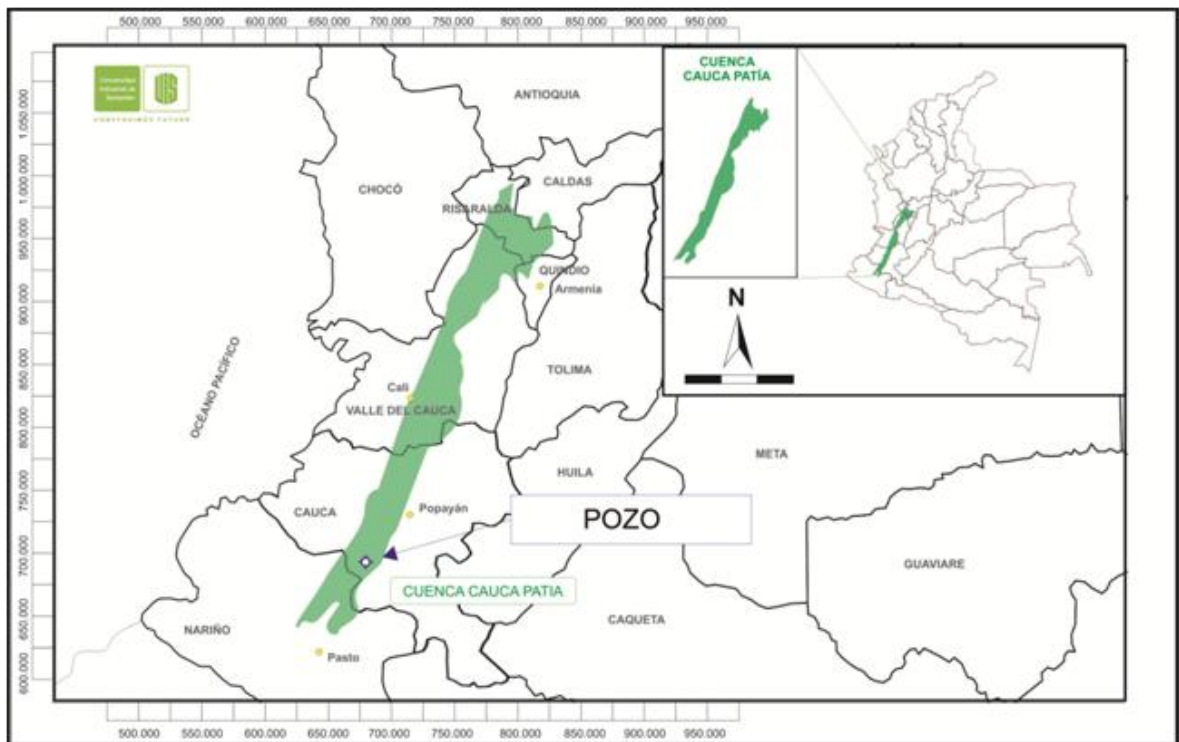
²⁷ Evaluación geológica y prospectiva de la Cuenca Cauca-Patía, Colombia. Hincapie, Gustavo.

formaciones Mercaderes y Matacea, así como manifestaciones de gas en el subsuelo. Sin embargo, sus elementos están aún por confirmar.

En ese sentido, la CCP plantea enigmas concernientes a la ventana de generación de Hidrocarburos, a las características geotérmicas y el grado de maduración alcanzado en diferentes puntos de la Cuenca, así como lo referente a la distribución lateral y espesor de las rocas sello y reservorio²⁸.

Los pozos estratigráficos se están perforando a lo largo de toda la CCP; para mostrar los resultados de la aplicación de la metodología escogimos un pozo, sobre la Subcuenca hidrográfica del Río Patía. Este se ubica en la vereda Guasimal del municipio de El Bordo (Cauca), la ubicación del pozo se puede observar en la Figura 49.

Figura 49. Localización general del pozo



²⁸ Contrato interadministrativo N° 26, suscrito entre la ANH y la UIS.

4.2 GEOLOGÍA DE LA CUENCA CAUCA-PATÍA

La CCP se puede dividir en tres: la Subcuenca del Cauca, al norte, y la del Patía, al sur; y entre éstas, el Alto de Popayán.

La Subcuenca del Cauca está cubierta por sedimentos de edad Pleistoceno, poco deformados, y las estructuras, observables en la sísmica existente, son principalmente pliegues asociados a fallas inversas, de vergencia hacia el oeste.

El Alto de Popayán tiene una delgada cobertura sedimentaria de la Formación Esmita (Eoceno), cubierta en forma discordante por depósitos volcanoclásticos de edad Pleistoceno; en el sector más occidental, aflora una franja plegada con vergencia oriental de las unidades del Paleógeno: Formaciones Chimborazo, Guachinte y Ferreira.

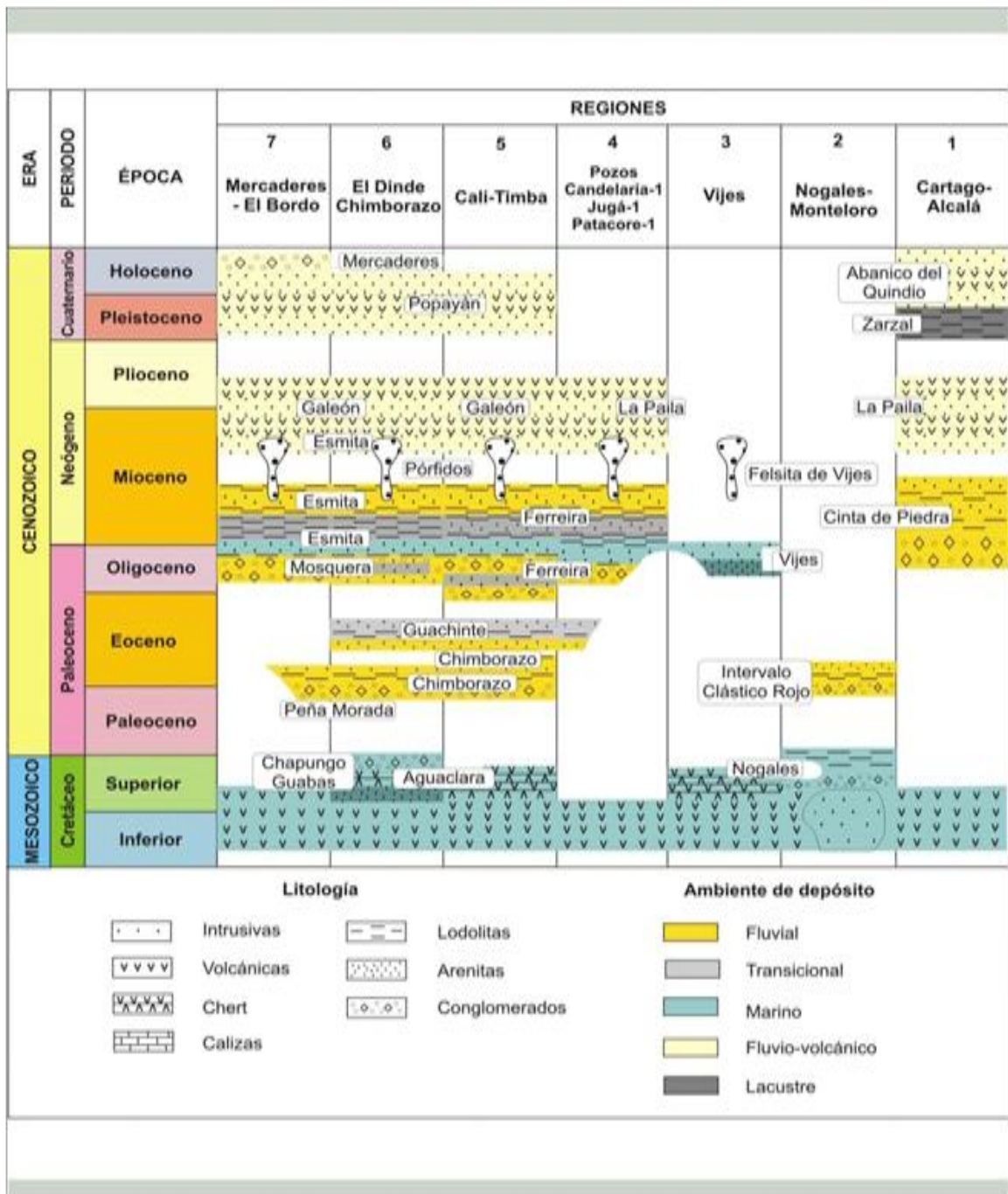
En la Subcuenca Patía afloran en superficie depósitos sedimentarios de las formaciones Esmita, Mosquera y Peña Morada; adicionalmente, hay un gran número de pequeños cuerpos de pórfidos andesíticos y dacíticos, sobre todo en la mitad oriental. Las estructuras dominantes en la Subcuenca Patía son pliegues paralelos a los frentes montañosos que pueden seguirse hasta por 50 km, asociados generalmente a fallas inversas con vergencia al oeste y de edad Mioceno Tardío.

Cinco discontinuidades dividen la sucesión de la CCP en intervalos que van del Cretáceo al Cuaternario y durante los cuales dominaron diferentes procesos geológicos. Al Cretáceo corresponden los complejos Amaime y Cordillera Occidental, los cuales constituyen el basamento y se consideran como un terreno alóctono formado en ambientes oceánicos de regiones del Pacífico oriental. Durante el Cretáceo y comienzos del Cenozoico gran parte de estos terrenos fueron adosados al margen NW de Suramérica. En el Paleoceno - Eoceno Medio,

el registro sedimentario corresponde a abanicos aluviales y llanuras de inundación (formaciones Chimborazo y Peña Morada). Durante el Eoceno Medio - Mioceno Medio predominaron procesos fluviales (formaciones Guachinte, Ferreira, Mosquera, Cinta de Piedra y Esmita) con local influencia marina (formaciones Esmita y Vijes). Del Mioceno Tardío al Plioceno, la actividad volcánica y tectónica fue importante en el control de la sedimentación (formaciones Galeón y La Paila); sin embargo, continuó la sedimentación fluvial; manifestación del volcanismo de este tiempo son el gran número de pórfidos, sobre todo en la Subcuenca Patía. En el Cuaternario persistió la sedimentación fluvial con influencia volcánica (relleno aluvial y lahares) y en el sector de la subcuenca del Cauca, sedimentación lacustre en la Formación Zarzal²⁹. Las Formaciones descritas anteriormente se presentan a continuación (Figura 50):

²⁹Evaluación geológica y prospectiva de la Cuenca Cauca-Patía, Colombia. Hincapie, Gustavo.

Figura 50. Evolución geológica Cuenca Cauca-Patía



Fuente: Evaluación geológica y prospectividad de la Cuenca Cauca-Patía, Colombia, 2009

4.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CORAZONAMIENTO DEL POZO

Dada la importancia que a mediano y largo plazo tiene para el país la ampliación de las zonas prospectivas de Hidrocarburos y para cumplir con el objetivo del proyecto se ejecutaron las siguientes actividades en el pozo:

1. Desarrollo y aplicación del plan de manejo ambiental del pozo en cuestión.
2. Obtención de los permisos de servidumbre y accesos del sitio donde se va a perforar el pozo, adecuación de las vías de acceso al área para la llegada de la maquinaria y equipos que se utilizan en la perforación del pozo y del sitio de perforación para la ubicación del campamento y de la plataforma de perforación de acuerdo con la normatividad técnica, ambiental y de seguridad vigentes.
3. Movilización y desmovilización los equipos al área de interés. Comprendió la revisión, mantenimiento y posterior movilización de los taladros, las tuberías, brocas, herramientas, bombas y demás implementos hasta el sitio de la perforación.
4. Perforación y recobro de núcleos.
En esta actividad se realizó la perforación y recuperación de los núcleos.
5. Descripción geológica.
Simultáneamente con la perforación y recuperación de núcleos de roca se llevó a cabo la descripción litológica básica mediante la elaboración de columnas estratigráficas escala 1:500. Esta actividad fue realizada por el geólogo de pozo (wellsite).
6. Elaboración y presentación de reportes técnicos.
7. Manejo, preservación y transporte de los núcleos.
Se realizó el envío de los núcleos y ripios o muestras de zanja recuperados, rotulados y perfectamente preservados a la litoteca Nacional. El manejo, preservación y el empaque de los corazones para su transporte se hizo cumpliendo la “Metodología para el manejo y preservación de núcleos tipo

Slim Hole”, descrita en el capítulo 3, envolviendo los núcleos completamente en papel aluminio y vinipel.

8. Abandono y aseguramiento el pozo (tapones de abandono y una placa de cemento).

4.3.1 Equipo de perforación usado. Se utilizó el taladro DDM EF-75 de 215 HP de potencia, marca DISCOVERY (Fotografía 1) con capacidad para perforar hasta 7.500 pies con tubería HQ(3 ½”) y NQ(2,75”), con 36.000 lb de “overpull”, con barriles de corazonamiento tipo HQ y NQ, con brocas HQ(3,90”) y NQ(2,98”) y diámetros de núcleo de 2,44” y 1,9” respectivamente. Las brocas de corazonamiento son tipo impregnadas y sarta de tubería de corazonamiento HQ de 7,6 lb/pies que permite la recuperación del barril interno con cable (wire line). “Core Cátcher” Convencional Tipo Resorte. En la Figura 51, se puede observar el equipo usado.

Figura 51. Equipo de perforación



Fuente: C&CO Services Ltda.

En la Tabla 12 se presentan las especificaciones técnicas del equipo.

Tabla 12. Ficha técnica del equipo de perforación utilizado

EQUIPO DE PERFORACIÓN		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÍNIMAS		ESPECIFICACIONES TÉCNICAS OFRECIDAS
Profundidad de perforación	4.000 pies con tubería HQ	5.000 pies con tubería HQ 7.500 pies con tubería NQ
Capacidad para levantar tubería	30.000 lbs	36.000 lbs
Capacidad para empujar tubería	12.000 lbs	16.000 lbs
Caballaje	Entre 200 – 450 HP	215 HP
Bomba de lodo	50 - 300 gpm y de 500 – 2.000 psi	50 gpm @ 1.000 psi
Panel de control de instrumentos	Con instrumentos para medición de parámetros: Torque, presión de bombeo, peso, RPM, presión de agua, flujo de agua; monitor de malacate	Instrumentos para medición de Torque, presión de bombeo, peso, RPM, presión de agua, flujo de agua; monitor del malacate
Manejo de Tubería	Sistema hidráulico totalmente automático	Sistema totalmente hidráulico para manejo de tubería
Rotaria de Perforación	0 – 2.400 RPM	0 – 2.400 RPM
Soporte de tubería (Cuña)	Con capacidad de 30.000 lbs	DDM 4 diseño de Quijada con capacidad de 36.000 lbs (16.000 kg) maneja hasta tubería tipo P.
Transmisión	De 4 velocidades	Funk de 4 velocidades: Velocidad RPM Torque 1st 162 7.543 2nd 338 3.606 3rd 326 1.960 4th 1.070 1.131
Motor de potencia	Motor de 215 HP	Motor Diesel Cummins de 215 HP Tier III
Bombas Hidráulicas		Tres bombas hidráulicas: Principal: Rexroth 125cc 5.800 psi desplazamiento variable Secundaria: Rexroth 95cc 5.000 psi (pc) (ls) Terciaria: Rexroth 28cc 4.000 psi (pc)
Unidad de Wireline	Con capacidad de 7.500 pies	Diseño DDM con capacidad de 7.500 pies (2.286 m) con nivelador de enrollado
Soporte de Tubería	Capacidad hasta 1.000 lb	Capacidad hasta 1.000 lb (445 kg)
Preventoras	BOP's, con capacidad mínima de 3.000 PSI	BOP anular de 71/16 @ 3.000 psi

Fuente. C&CO Services Ltda.

4.3.2 Brocas usadas. Durante el proceso de perforación y corazonamiento se utilizaron brocas corazonadoras Fordia T XTREME Impregnadas (Ver Figura 52) y tricónica PDC (Ver Figura 53), con barriles de 10 pies de longitud, utilizando lodo polimérico base agua.

Figura 52. Broca corazonadora T XTREME impregnada



Fuente. Autores del proyecto.

Figura 53. Broca tricónica PDC



Fuente. Autores del proyecto.

En la Tabla 13, se presenta en detalle las brocas que se utilizaron durante el desarrollo del corazonamiento.

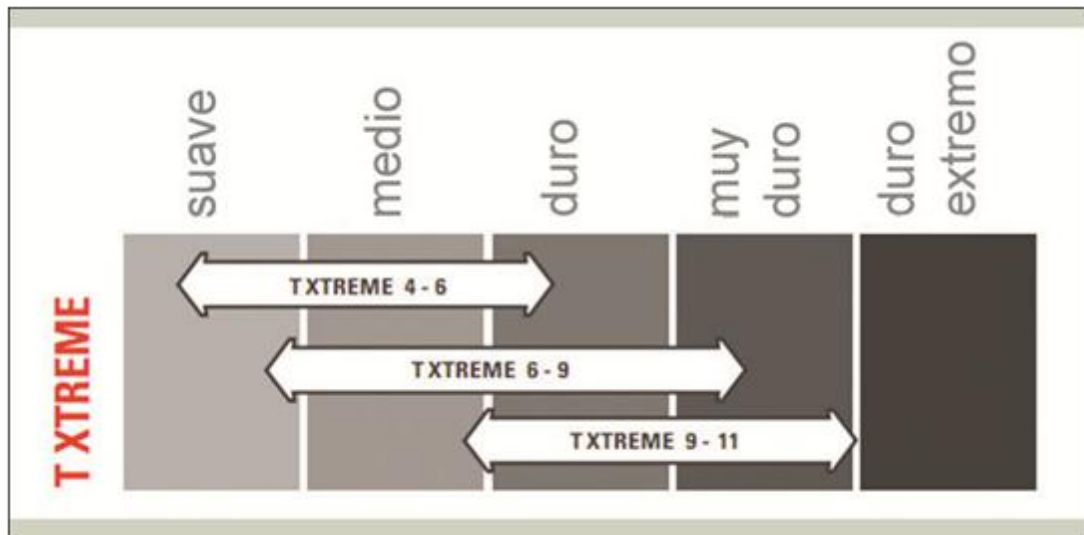
Tabla 13. Brocas utilizadas

TAMAÑO (PULGADAS)	CANTIDAD	Tipo de broca	INTERVALO (PIES)	LONGITUD PERFORADA (PIES)	OPERACIÓN
8½	1	Tricónica	0-46	46	TRICONANDO
3,90 x 2½	1	HQ	46-712	666	CORAZONANDO
6	1	Tricónica	40-66,84	20,84	ENSANCHANDO
5 5/8	1	Tricónica	66,84-308,5	241,66	ENSANCHANDO
5 1/8	1	Tricónica	308,5-712	403,5	ENSANCHANDO
3,90 x 2½	3	HQ	712-1.980,42	1.268,42	CORAZONANDO
2,98 x 1,9	1	NQ	1.980,42 – 2142,75	162,33	CORAZONANDO

Fuente: GLOBAL PRODUCT CATALOGUE - LONGYEAR® BITS AND ACCESSORIES

En la Figura 54, se observa las especificaciones técnicas para la selección de brocas según dureza de la formación.

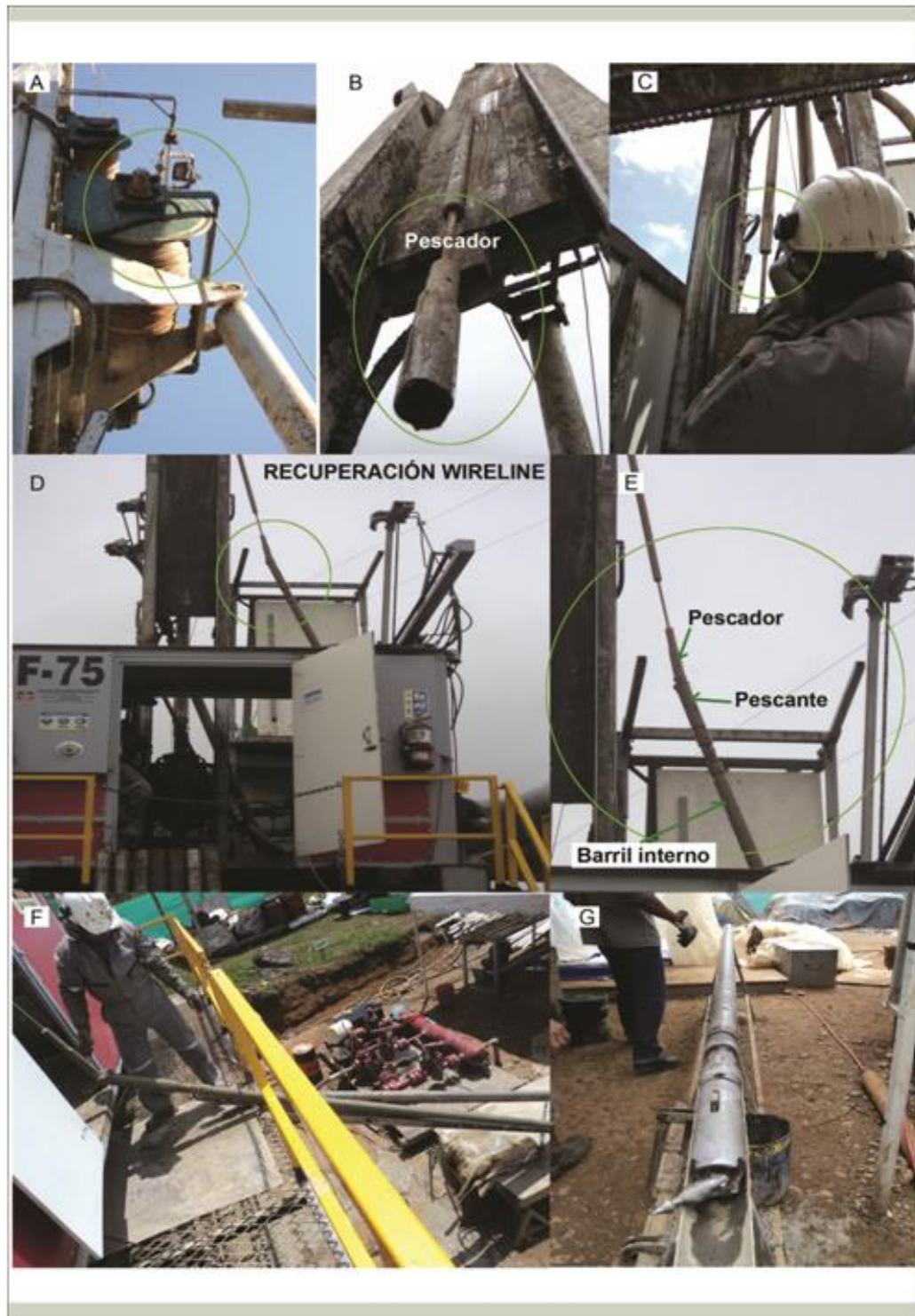
Figura 54. Esquema para la selección de broca según la dureza de la formación



Fuente. Technical Selection Bit – Fordia.

4.3.3 Sistema wireline usado. La recuperación de los núcleos se realizó mediante el sistema de corazonamiento wireline. Este sistema proporciona muchas ventajas en cuanto al tiempo de recuperación de la muestra y tiempo de perforación. En la Figura 55 se puede muestra la operación de un sistema wireline.

Figura 55. Operación de recuperación del barril interno mediante sistema wireline

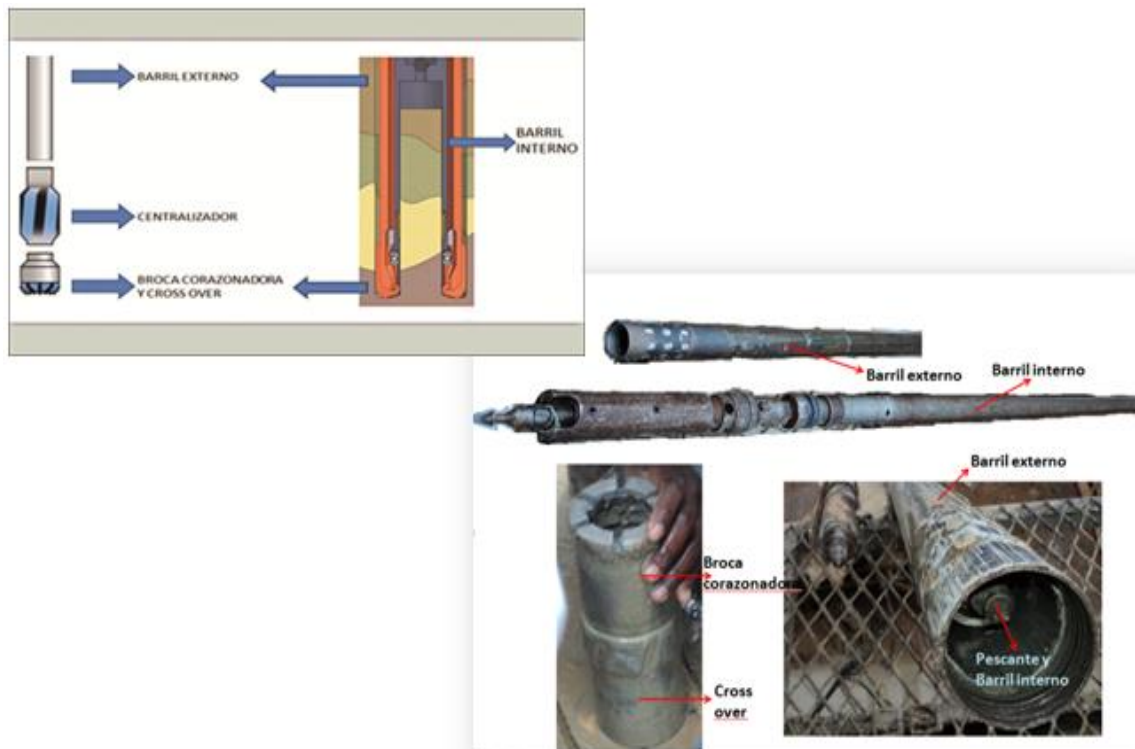


Fuente: Autores del proyecto.

- a. Sistema de cable wireline.
- b. Pescador.
- c. Bajando el pescador a recuperar el barril interno.
- d. Recuperando barril interno.
- e. Bajando barril interno al sitio de preservación.
- f. Extendido del barril interno horizontalmente.

4.3.4 Ensamblaje del barril de corazonamiento usado. En la Figura 56, se muestra el ensamblaje del barril de corazonamiento utilizado. Normalmente el ensamblaje estaba compuesto por broca corazonadora, crossover y centralizador, barril interno y barril externo.

Figura 56. Ensamblaje del barril de corazonamiento



Fuente: Autores del proyecto.

4.3.5 Fluido de perforación usado. Durante toda la perforación se utilizó lodo polimérico base agua con las propiedades mostradas en la Tabla 14.

Tabla 14. Propiedades del fluido de perforación usado

INTERVALO (pies)		TIPO DEL FLUIDO	DENSIDAD (ppg)	VISC. (seg)	Vp (cps)	Yp lb/100p ²	GELES (10/10/30)	pH
0.00	40	Polimérico base agua	8,6 – 8,7	50-60	8 - 12	20 – 25	3/5/6 - 7/9/10	9 - 10
40	700	Polimérico base agua	8,6–8,7	50-60	8 - 12	20 - 25	3/5/6 - 7/9/10	10 - 11
650	3.148	Polimérico base agua	8,6 – 9,0	45-50	9 - 14	20 - 25	5/6/7 - 9/14/17	9,5 -10

Fuente: Qmax.

Durante todas las operaciones el lodo se mantuvo en condiciones óptimas cumpliendo con las expectativas y garantizando un alto recobro de los núcleos en buenas condiciones para preservar y realizar estudios futuros a los núcleos.

4.4 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS NÚCLEOS

El manejo y preservación de núcleos es una etapa importante en el desarrollo del proyecto debido a que es fundamental minimizar los posibles cambios fisicoquímicos o alteraciones de la roca, como también prepararlos para su etapa de transporte y posterior análisis.

Para el desarrollo del manejo y preservación de los núcleos del pozo, se siguió y aplicó la “Metodología para el Manejo y Preservación de Corazones de pozos Tipo Slim Hole” expuesta en el Capítulo 3.

A continuación se muestra el proceso llevado en campo, de la aplicación de la metodología para un núcleo durante el manejo, descripción, preservación, marcación, registro fotográfico y transporte, en un pozo de la Cuenca Cauca-Patía. Todas las fotos que se muestran evidencian el cumplimiento de todas y cada una de las etapas de la metodología:

4.4.1 Recuperación del núcleo. A continuación se describen los pasos seguidos en campo para el traslado del barril interno al sitio de preservación y para la extracción del núcleo del barril interno.

4.4.1.1 Traslado del barril interno al sitio de preservación. Una vez extraído el barril interno del fondo del pozo con el sistema wireline hasta la superficie (mesa rotaria), este se llevó con cuidado, evitando que el barril se flexione hasta la caseta de preservación, donde fue extendido horizontalmente, seguidamente se torqueó y se soltó el sistema del pescante. Esto se muestra en la Figura 57.

Figura 57. El traslado del barril interno al sitio de preservación



Figura 57. (Continuación)



Fuente. Autores del proyecto.

- a. Bajando el barril interno de la mesa rotaria.
- b. Soporte para evitar flexión del barril interno.
- c. Torqueando para soltar el sistema pescante.
- d. Retirando el sistema pescante.

4.4.1.2 Extracción del núcleo del barril interno. En el tope del barril corazonador se conecta el ensamblaje de pistón hidráulico, y mediante el empuje

que le da el lodo sale el núcleo. El núcleo se recibe en una canaleta y se limpia con una espuma mojada en lodo. Ver Figura 58.

Figura 58. La extracción del núcleo del barril interno



Fuente. Autores del proyecto.

- a. Sistema de pistón hidráulico.
- b. Saliendo el núcleo del barril interno.
- c. Limpiando el núcleo desnudo.

4.4.2 Procesamiento del núcleo. A continuación se describen los pasos seguidos en campo para la medición, descripción geológica y corte del núcleo.

4.4.2.1 Medición. La canaleta junto con el núcleo se llevó a una mesa de observación donde se midió y se registró el % de recuperación. En la Figura 59, se muestra la medición del núcleo.

Figura 59. La medición del núcleo



Fuente. Autores del proyecto.

4.4.2.2 Descripción geológica. Teniendo el núcleo extendido el Geólogo del pozo (well-site) realizó la descripción del núcleo. (Ver Figura 60).

Figura 60. La descripción geológica



Fuente. Autores del proyecto.

4.4.2.3 Corte. Seguidamente se midió, se marcó y se cortó el núcleo cada 3 pies, debido a que esta es la longitud que tiene la caja estándar de la Litoteca Nacional en Colombia, en la cual posteriormente se empaca. (Ver Figura 61).

Figura 61. El corte del núcleo



Fuente. Autores del proyecto.

4.4.3 Fotografía del núcleo desnudo. A continuación se describe como se hizo la toma fotográfica y como se diligenció el formato diario de corazonamiento y geológico.

4.4.3.1 Imagen digital. Para toma de imágenes fotográficas se utilizó una cámara SONY de 14 mega pixeles con zoom de 10x, la fotografía fue tomada a una distancia de 1,2 metros. Después de haber cortado el núcleo en secciones de tres pies, se ubicó de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha, quedando arriba el tope del núcleo, seguidamente se le hizo la toma fotográfica como se observa en la siguiente Figura 62.

Figura 62. La toma fotográfica núcleo desnudo



Fuente. Autores del proyecto.




4.4.3.2. Formato de reporte diario. Se registró la información que se ha obtenido hasta el momento en el formato diario de corazonamiento como se muestra en la Figura 63 y en el formato diario geológico como se muestra en la Figura 64.

Figura 63. Formato de corazonamiento diligenciado

FORMATO ENTREGA DE CORAZONES CONVENCIONALES							
PROYECTO	POZOS ESTRATIGRÁFICOS						
CUENCA							
POZO	XXX	OPERADOR			CORAZONADOR		
COORDENADAS	LATITUD			NORTE		ORIGEN	Bogotá
	LONGITUD			ESTE		FECHA	DD/MM/AA
ALTURA SOBRE LA MESA ROTARIA: XX pies							
Altura de la mesa rotaria: XX pies. Profundidad contrapozo: XX pies. Profundidad de inicio de perforación: XX pies.							
No. CAJA	No. CORE	TOPE (Pies)	BASE (Pies)	INTERVALO RECUPERADO (Pies)	DIÁMETRO (Pulgadas)	FORMACIÓN	% DE RECUPERACIÓN
159	201	1424,28	1424,94	0,42	2,44	ESMITA	63,64%
159	202	1424,94	1429,02	4,08	2,44	ESMITA	100,00%
159	203	1429,02	1431,94	4,34	2,44	ESMITA	98,19%
160	203	1431,94	1433,44		2,44	ESMITA	
160	204	1433,44	1440,44	7,00	2,44	ESMITA	100,00%
161	205	1440,44	1445,27	4,83	2,44	ESMITA	100,00%
161	206	1445,27	1447,27	2,00	2,44	ESMITA	100,00%
162	207	1447,27	1455,27	8,00	2,44	ESMITA	100,00%
163	208	1455,27	1465,27	1,50	2,44	ESMITA	15,00%
163	209	1465,27	1470,93	5,66	2,44	ESMITA	100,00%
164	210	1470,93	1479,93	10,20	2,44	ESMITA	99,51%
165	210	1479,93	1481,18		2,44	ESMITA	
165	211	1481,18	1488,00	9,74	2,44	ESMITA	97,40%
166	211	1488,00	1491,18		2,44	ESMITA	
166	212	1491,18	1496,00	7,82	2,44	ESMITA	97,75%
167	212	1496,00	1499,18		2,44	ESMITA	
167	213	1499,18	1504,18	6,33	2,44	ESMITA	100,00%
168	213	1504,18	1505,51		2,44	ESMITA	
168	214	1505,51	1508,00	1,00	2,44	ESMITA	40,16%
168	215	1508,00	1511,58	3,58	2,44	ESMITA	100,00%
168	216	1511,58	1513,58	6,50	2,44	ESMITA	91,81%
169	216	1513,58	1518,66		2,44	ESMITA	
169	217	1518,66	1522,66	5,42	2,44	ESMITA	100,00%
170	217	1522,66	1524,08		2,44	ESMITA	
170	218	1524,08	1531,08	10,25	2,44	ESMITA	100,00%
171	218	1531,08	1534,33		2,44	ESMITA	
171	219	1534,33	1538,08	3,50	2,44	ESMITA	93,33%
171	220	1538,08	1539,00	7,50	2,44	ESMITA	100,00%
172	220	1539,00	1545,58		2,44	ESMITA	
172	221	1545,58	1547,00	9,58	2,44	ESMITA	99,07%
173	221	1547,00	1555,25		2,44	ESMITA	
174	222	1555,25	1564,00	10,00	2,44	ESMITA	100,00%
175	222	1564,00	1565,25		2,44	ESMITA	
175	223	1565,25	1572,25	10,00	2,44	ESMITA	100,00%
176	223	1572,25	1575,25		2,44	ESMITA	
176	224	1575,25	1580,25	8,58	2,44	ESMITA	100,00%
177	224	1580,25	1583,83		2,44	ESMITA	
177	225	1583,83	1586,66	2,66	2,44	ESMITA	93,99%
177	226	1586,66	1588,00	9,00	2,44	ESMITA	100,00%
178	226	1588,00	1595,66		2,44	ESMITA	
178	227	1595,66	1596,00	10,09	2,44	ESMITA	100,00%
179	227	1596,00	1605,00		2,44	ESMITA	
180	227	1605,00	1605,75	2,44	2,44	ESMITA	
REPRESENTANTE COMPAÑÍA CORAZONADORA				REPRESENTANTE COMPAÑÍA OPERADORA			

Fuente: Manual de entrega y suministro de información geológica. Litoteca Nacional.

Figura 64. Formato Geológico

FORMATO REPORTE DIARIO GEOLÓGICO					
PROYECTO	POZOS ESTRATIGRÁFICOS				
CUENCA		FORMACIÓN	Fm. Esmita.		
POZO	XXX	OPERADOR		CORAZONADOR	
COORDENADAS	LATITUD		NORTE	ORIGEN	Bogotá
	LONGITUD		ESTE	FECHA	DD/MM/AA
REPORTE N.	65	PIES PERFORADOS	7,83	PIES RECUPERADOS	6,33
WELLSITE					
DESCRIPCIÓN DEL INTERVALO CORAZONADO					
Caracterizado por Conglomerado Polimíctico (100%) , conformado por fragmentos a guijarros subredondeados a subangulares de roca sedimentaria, ígnea y volcánica (basalta, diabasa, cuarzo); soportados y clastrosportados sobre una matriz arenosa, de grano medio, poco compacta, color verde oscuro . Este segmento se caracteriza por ser algo calcáreo.					
COMENTARIOS GENERALES:					
CORE 297		CORE 298		CORE 299	
INTERVALO: 2116,83' @ 2119,33'		INTERVALO: 2119,33' @ 2123,33'		INTERVALO: 2123,33' @ 2124,66'	
					
Pies Perforados: 2,50 Pies Recuperados: 1,00 Porcentaje Recuperado: 40		Pies Perforados: 4,00 Pies Recuperados: 4,00 Porcentaje Recuperado: 100		Pies Perforados: 1,33 Pies Recuperados: 1,33 Porcentaje Recuperado: 100	
Comentarios:		Comentarios:		Comentarios:	
_____ REPRESENTANTE COMPAÑÍA OPERADORA MATRÍCULA PROFESIONAL No			_____ REPRESENTANTE COMPAÑÍA PERFORADORA MATRÍCULA PROFESIONAL No		

Fuente: Grupo de trabajo UIS.

4.4.4 Marcado y preservación. Se marcó el núcleo con una línea roja a la derecha y una negra a la izquierda mirando de base a tope, también se marcó pie a pie en números enteros la profundidad correspondiente, como se observa en la Figura 65.

Figura 65. El marcado del núcleo desnudo



Fuente: Autores del proyecto.

Seguidamente se envolvió en papel aluminio y se colocó sobre una canaleta, después se marcó sobre el papel aluminio y sobre la canaleta de la misma forma que se hizo para el núcleo desnudo, se marcó la identificación del núcleo; por último se envolvió la canaleta con el núcleo en papel vinipel. Esto se muestra en la Figura 66.

Figura 66. La preservación del núcleo

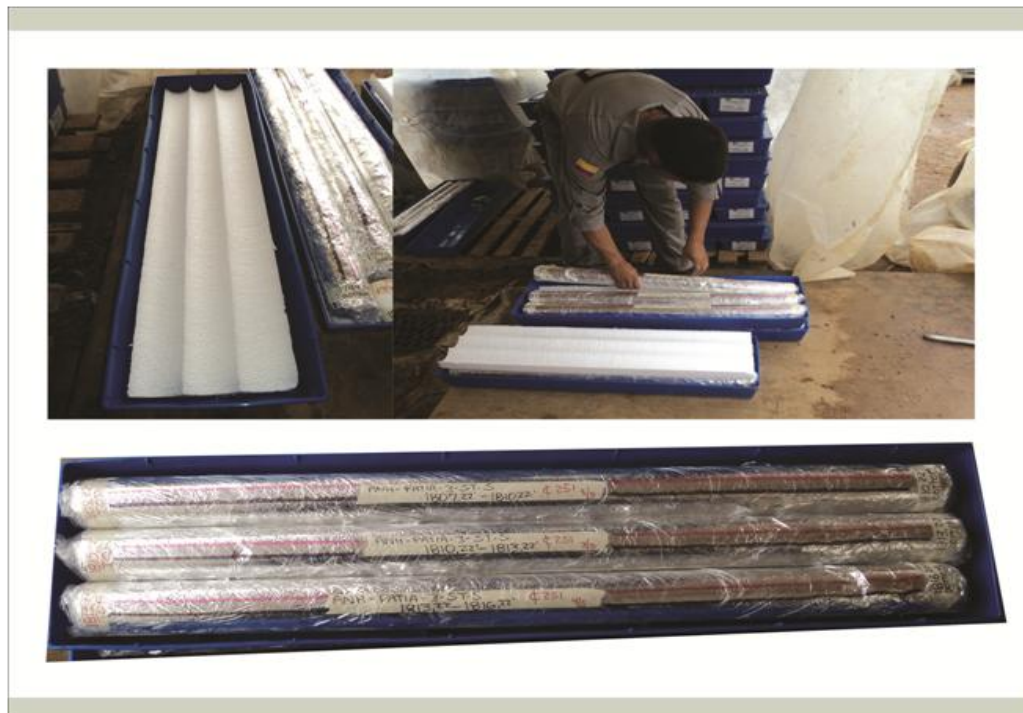


Fuente. Autores del proyecto.

4.4.5 Empaque del núcleo. Teniendo el núcleo debidamente preservado se ubicó dentro de la caja estándar de la Litoteca Nacional, se colocó como base de la caja icopor para soportar la muestra y después se situó encima el núcleo. Los espacios desocupados que quedaron se rellenaron con icopor. Como se presentaron pérdidas de núcleo, estas se reportaron con icopor eslabado y sobre el icopor se marcó el intervalo faltante. Al finalizar cada núcleo también se colocó icopor y sobre este se marcó el final del núcleo.

La ubicación de los núcleos dentro de la caja se realizó como lo explica la metodología del capítulo 3, estando mirando la caja de base a tope, a la derecha se coloca el núcleo más somero y seguidamente hacia la izquierda los más profundos. En la Figura 67, se muestra el empaque del núcleo en la caja estándar de la Litoteca Nacional.

Figura 67. El empaque del núcleo



Fuente: Autores del proyecto.

4.4.6 Etiquetado de las cajas. Después se procedió a etiquetar la caja como se muestra en la Figura 68, se colocó la información del pozo, el número del núcleo, el intervalo en profundidad del núcleo, la fecha, el logo de la empresa operadora y la corazonadora.

Figura 68. Etiquetado de la caja



Fuente: Autores del proyecto

4.4.7 Fotografía del núcleo preservado. Antes de sellar la caja se realizó la toma fotográfica del núcleo preservado como se observa en la Figura 69.

Figura 69. Núcleo preservado



Fuente. Autores del proyecto.

4.4.8 Formato de entrega. Finalmente, y cuando las muestras ya se van a transportar hasta la Litoteca Nacional, se diligenció el formato de entrega, como se muestra en la Figura 70.

Figura 70. Formato de entrega de muestras diligenciado

FORMATO ENTREGA DE CORAZONES CONVENCIONALES							
PROYECTO	POZOS ESTRATIGRÁFICOS						
CUENCA							
POZO	XXX	OPERADOR				CORAZONADOR	
COORDENADAS	LATITUD			NORTE			ORIGEN
	LONGITUD			ESTE			FECHA
Bogotá DD/MM/AA							
ALTURA SOBRE LA MESA ROTARIA: XX pies							
Altura de la mesa rotaria: XX pies. Profundidad contrapozo: XX pies. Profundidad de inicio de perforación: XX pies.							
No. CAJA	No. CORE	TOPE (Pies)	BASE (Pies)	INTERVALO RECUPERADO (Pies)	DIÁMETRO (Pulgadas)	FORMACIÓN	% DE RECUPERACIÓN
159	201	1424,28	1424,94	0,42	2,44	ESMITA	63,64%
159	202	1424,94	1429,02	4,08	2,44	ESMITA	100,00%
159	203	1429,02	1431,94	4,34	2,44	ESMITA	98,19%
160	203	1431,94	1433,44		2,44	ESMITA	
160	204	1433,44	1440,44	7,00	2,44	ESMITA	100,00%
161	205	1440,44	1445,27	4,83	2,44	ESMITA	100,00%
161	206	1445,27	1447,27	2,00	2,44	ESMITA	100,00%
162	207	1447,27	1455,27	8,00	2,44	ESMITA	100,00%
163	208	1455,27	1465,27	1,50	2,44	ESMITA	15,00%
163	209	1465,27	1470,93	5,66	2,44	ESMITA	100,00%
164	210	1470,93	1479,93	10,20	2,44	ESMITA	99,51%
165	210	1479,93	1481,18		2,44	ESMITA	
165	211	1481,18	1488,00	9,74	2,44	ESMITA	97,40%
166	211	1488,00	1491,18		2,44	ESMITA	
166	212	1491,18	1496,00	7,82	2,44	ESMITA	97,75%
167	212	1496,00	1499,18		2,44	ESMITA	
167	213	1499,18	1504,18	6,33	2,44	ESMITA	100,00%
168	213	1504,18	1505,51		2,44	ESMITA	
168	214	1505,51	1508,00	1,00	2,44	ESMITA	40,16%
168	215	1508,00	1511,58	3,58	2,44	ESMITA	100,00%
168	216	1511,58	1513,58	6,50	2,44	ESMITA	91,81%
169	216	1513,58	1518,66		2,44	ESMITA	
169	217	1518,66	1522,66	5,42	2,44	ESMITA	100,00%
170	217	1522,66	1524,08		2,44	ESMITA	
170	218	1524,08	1531,08	10,25	2,44	ESMITA	100,00%
171	218	1531,08	1534,33		2,44	ESMITA	
171	219	1534,33	1538,08	3,50	2,44	ESMITA	93,33%
171	220	1538,08	1539,00	7,50	2,44	ESMITA	100,00%
172	220	1539,00	1545,58		2,44	ESMITA	
172	221	1545,58	1547,00	9,58	2,44	ESMITA	99,07%
173	221	1547,00	1555,25		2,44	ESMITA	
174	222	1555,25	1564,00	10,00	2,44	ESMITA	100,00%
175	222	1564,00	1565,25		2,44	ESMITA	
175	223	1565,25	1572,25	10,00	2,44	ESMITA	100,00%
176	223	1572,25	1575,25		2,44	ESMITA	
176	224	1575,25	1580,25	8,58	2,44	ESMITA	100,00%
177	224	1580,25	1583,83		2,44	ESMITA	
177	225	1583,83	1586,66	2,66	2,44	ESMITA	93,99%
177	226	1586,66	1588,00	9,00	2,44	ESMITA	100,00%
178	226	1588,00	1595,66		2,44	ESMITA	
178	227	1595,66	1596,00	10,09	2,44	ESMITA	100,00%
179	227	1596,00	1605,00		2,44	ESMITA	
180	227	1605,00	1605,75	2,44	ESMITA		
TOTAL PIES DE NÚCLEO RECUPERADO=				169,58			
_____ REPRESENTANTE COMPAÑÍA CORAZONADORA				_____ REPRESENTANTE COMPAÑÍA OPERADORA			

Fuente: Manual de entrega y suministro de información geológica. Litoteca Nacional

4.4.9 Almacenamiento y transporte. Las cajas se almacenaron en la caseta de preservación. Luego fueron transportadas en un camión tipo turbo, el cual es completamente cerrado. Esto se muestra en las Figura 71 y en la Figura 72.

Figura 71. El almacenamiento de las cajas



Fuente: Autores del proyecto.

Figura 72. Transporte de los núcleos

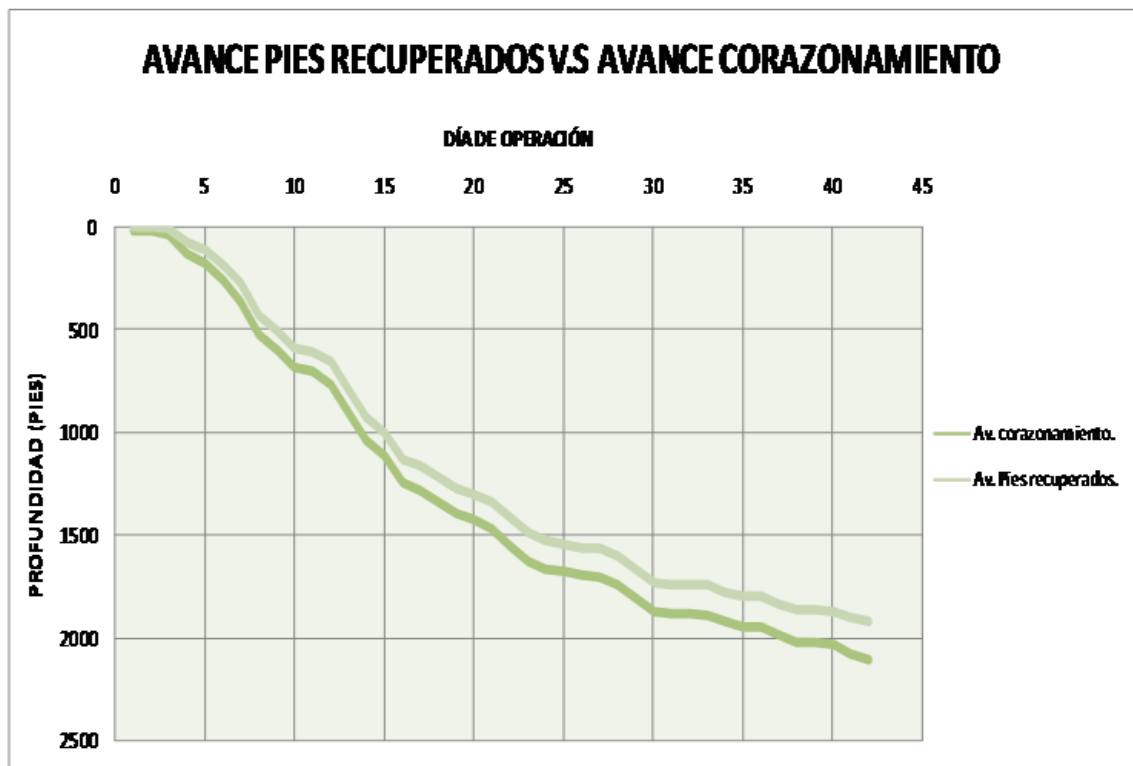


Fuente: Autores del proyecto.

4.5 RESULTADOS OBTENIDOS

El corazonamiento del pozo se caracterizó por tener un alto porcentaje de recuperación teniendo en cuenta el intervalo total corazonado y el intervalo total recuperado. En la Figura 73 se observa la gráfica de avance de pies recuperados y avance de corazonamiento con relación a los días corazonados.

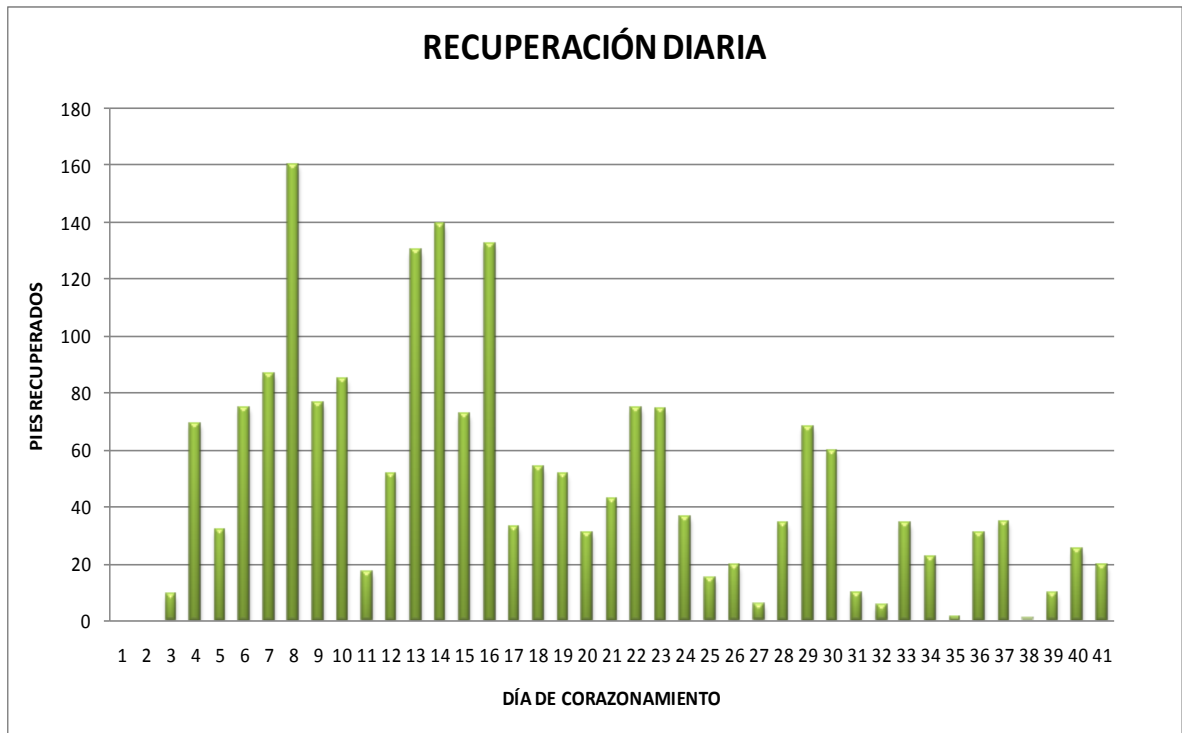
Figura 73. Avance pies recuperados Vs. Avance de corazonamiento



Fuente. Autores del proyecto.

En la Figura 74, se muestra la recuperación diaria de los días corazonados.

Figura 74. Recuperación Diaria



Fuente. Autores del proyecto.

Como podemos observar de las Figura 73 y Figura 74, se notan variaciones en cuanto a los intervalos perforados y recuperados por día, lo cual es producto de las características y propiedades de las formaciones que se están atravesando. En este pozo se encontraron las formaciones CUATERNARIO, GALEÓN y ESMITA. Estratigráficamente se caracterizó por conglomerados polimícticos, arcillolitas, areniscas, limolitas y lutitas.

En total fueron corazonados 2096,75 ft, logrando recuperar 1923,49 ft, correspondiente a un porcentaje de recuperación del 91,74 %. Teniendo en cuenta que el promedio mundial de recuperación de núcleos durante un corazonamiento se encuentra entre 70% y 80%, podemos decir que el resultado de la operación de corazonamiento fue muy exitoso.

La metodología para el manejo y preservación de núcleos de pozos tipo Slim hole aplicada durante cada una de las etapas logró mejorar el proceso de preservación de la totalidad de los núcleos recuperados y entregados a la Litoteca Nacional, los núcleos fueron entregados en óptimas condiciones para sus futuros análisis, lo cual facilitará durante el manejo mantener la secuencia y orientación correcta y su posterior re-preservación en los laboratorios, además de obtener información representativa de las formaciones lo que lleva a una buena caracterización del área de interés y a determinar su potencial petrolífero.

CONCLUSIONES

- La aplicación de la metodología sobre manejo y preservación de núcleos en un pozo en la cuenca Cauca-Patía fue de gran importancia para lograr el objetivo del proyecto.
- La metodología planteada y aplicada contribuye a mejorar el manejo y preservación de núcleos de los pozos estratigráficos que a futuro se perforen en el país.
- La planeación descrita en este proyecto para el desarrollo de las etapas de corazonamiento, puede ser utilizado en otros pozos estratigráficos y pozos convencionales.
- El éxito de la operación de corazonamiento representada en el porcentaje de recuperación, depende de una combinación armónica entre el seguimiento y control de los parámetros de perforación, del fluido utilizado, del conocimiento geológico de la zona, de un equipo en óptimas condiciones y de un personal a cargo capacitado y dispuesto a lograr los objetivos.
- La tecnología Slim Hole con wireline aplicada al corazonamiento del pozo estratigráfico, es una opción relativamente nueva en Colombia, la cual presenta beneficios en cuanto a la reducción de costos, bajo impacto ambiental y facilidad para movilización entre otros aspectos.

RECOMENDACIONES

- Aplicar la metodología documentada en este proyecto en pozos estratigráficos, para lograr las metas propuestas en un programa de corazonamiento.
- Es importante realizar un estudio que permita evaluar la incidencia de la configuración del barril corazonador en el avance del corte y el porcentaje de recuperación del núcleo, en una cuenca determinada.
- Para un adecuado manejo y preservación de las muestras de roca recuperadas, se recomienda realizar capacitación del personal involucrado en el equipo de trabajo.
- Con el fin de establecer un mejor proceso de corazonamiento, se debe realizar un estudio detallado para el manejo de muestras friables y con contenido de hidrocarburo, para garantizar una mayor confiabilidad del núcleo recuperado.
- La metodología desarrollada tiene una amplia área de aplicación, por lo cual es recomendable utilizarla en la preservación y manejo de núcleos convencionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. “Rondas Colombia”. <http://www.anh.gov.co>.
- ARCE HERNÁNDEZ C. “Audiencia pública de rendición de cuentas vigencias 2009 y 2010”. ANH Gestión misional. Bogotá, septiembre de 2010.
- ARCE HERNÁNDEZ C. “Audiencia pública de rendición de cuentas vigencias 2008 y 2009”. ANH Gestión misional. Yopal, agosto de 2009.
- AZARI M., SOLIMAN M Y WENDLER C. “Testing and production Performance of Slim-hole Wells”. SPE 29630. 1995.
- BAKER HUGHES INTEQ. “Líderes en soluciones de perforación”. Aplicaciones y tecnología de toma de muestras. 1999.
- BUENDÍA LOMBANA H. Y ARIZA LEÓN E. “Protocolo de corazonamiento para manejo y preservación de corazones de pozos estratigráficos”. Escuela de Ing. De Petróleos. UIS 2010.
- CORING HANDBOOK. “Backer Hughes INTEQ”. August 1999.
- CORPRO COREBARRELS. Noviembre de 2004.
- CORPRO A RESERVOIR GROUP COMPANY. “Wireline Coring”. 2010. www.corpro-group.com.

- C&CO SERVICES. Soluciones, servicios y suministros para la industria petrolera y del gas.
- DIAMOND CORE DRILLING DIMENSIONS, WEIGHTS AND VOLUMES. “Boart Longyear”. 2005.
- DRILLING SCHOOL. “Schlumberger, Brocas de perforación”.
- ENRIQUE A. CONTRERAS L. Y PABLO GARCÍA M. “Importancia de las actividades de planificación, corte, manejo y análisis de los núcleos de perforación de pozos petroleros”. Boletín, Julio-Septiembre del 2007.
- GLOBAL PRODUCT CATALOGUE. “In hole tools”. BoartLongyear. Marzo 2009.
- GLOBAL PRODUCT CATALOGUE. “Longyear bits and accesories”. Agosto 2009.
- HAPPEL MARTIN. Geologist. “Exploration by using Core-Drilling-Technics”.
- HOUGH ROGER. “Slim-hole technology”. SPE Distinguis hedlecturer series.
- LITOTECA NACIONAL BERNARDO TABORDA ARANGO. “EPIS servicio de colecciones” 2011. <http://www.epis.com.co>.
- MANUAL DE ENTREGA DE INFORAMACIÓN TÉCNICA. “Ecopetrol”. Octubre de 2001.
- MANUAL DE PERFORACIÓN. Capítulo 10. Marzo 2010.

- MAURER ENGINEERING. “Slim-Hole technology”. Project to develop and evaluate coiled-tubing and Slim-hole technology. 1994-1995.
- MAURER ENGINEERING. “Slim-hole technology”. Project to develop and evaluate coiled-tubing and Slim-hole technology. 1995-1998.
- MILLHEIM K.K. “Slim-hole drilling – past, present, future”. SPE 30151. 1995
- NORMA API RP40. “Recommended practices for core analysis”. Segunda edición. Febrero 1998.
- JANTZEN RONALD, OLA ASVEIN, TAYLOR M. SPICER P. “Answering geological questions from slim-hole coring exploring”. SPWLA 34th Annual logging symposium, june 13-16, 1993.
- SCOTT H. Y KEITH M. “An innovative approach to exploration and exploitation drilling – The Slim-hole high-speed drilling system”. SPE 9101. 1991.
- SHUTER E. AND WARREN E. “Applications of drilling coring, and sampling techniques to test holes and wells”. Book 2.
- WARREN T., POWERS J. Y BODE D. “Development of a commercial wireline retrievable coring system”. SPE 36536. 1996.
- WORRALL R.N., VAN LUIJK J.M. “An evolutionary approach to Slim-hole drilling, evaluation, and completion”. SPE 24965. 1992.
- URQUIDI J. A. “El wireline en la investigación minera”. Casa christensen diamond products S.A. mayo de 1967.

- ZHU T. Y CARROLL HERBERT. "Slimhole drilling: Applications and Improvements. Agosto de 1995.