



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 18 de junio de 2019

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Diego Andrés Campo Fajardo, con C.C. No. 14.699.279,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o \_\_\_\_\_

Titulado: Evaluación técnico financiera del uso de un raspador rotativo modificado utilizado en las operaciones de limpieza de revestimiento en el pozo A2 ubicado en el campo Hato Nuevo.

Presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar al título de

Ingeniero de Petróleos;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Diego Andrés Campo Fajardo

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Evaluación técnico financiera del uso de un raspador rotativo modificado utilizado en las operaciones de limpieza de revestimiento en el pozo A2 ubicado en el campo Hato Nuevo.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Campo Fajardo	Diego Andrés

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Suarez Burgos	Slendy Paola
Vargas Castellanos	Constanza

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero de Petróleos

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería de Petróleos

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 94

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas\_\_\_ Fotografías X Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general X Grabados\_\_\_ Láminas\_\_\_  
Litografías\_\_\_ Mapas X Música impresa\_\_\_ Planos\_\_\_ Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas o Cuadros X



**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento:

**MATERIAL ANEXO:**

**PREMIO O DISTINCIÓN** (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Raspador</u>	<u>Scraper</u>	6. <u>Campo</u>	<u>Field</u>
2. <u>Rotativo</u>	<u>Rotary</u>	7. <u>Hato</u>	<u>Hato</u>
3. <u>Modificado</u>	<u>Modified</u>	8. <u>Nuevo</u>	<u>Nuevo</u>
4. <u>Limpieza</u>	<u>Cleaning</u>	9. <u>Valle</u>	<u>Valley</u>
5. <u>Revestimiento</u>	<u>Casing</u>	10. <u>Superior</u>	<u>Upper</u>

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

El campo Hato Nuevo está localizado en la cuenca del Valle Superior del Magdalena de Colombia y hace parte de los campos administrados por la Gerencia del Alto Magdalena de ECOPETROL S.A.

Dentro de las operaciones de mantenimiento y reacondicionamiento de los pozos en el campo Hato Nuevo, se ha identificado que el poder de limpieza de los raspadores utilizados no ha sido la esperada, pues se ha incurrido en tiempos no planeados por viajes de limpieza adicionales cuando se presentan obstrucciones durante la bajada de herramientas, principalmente en la corrida de registros eléctricos y se evidencia en la mala interpretación de éstos.

La compañía “Empresa de Petróleo y Gas & Energías Renovables S.A.S.” ha desarrollado una herramienta utilizada en operaciones de limpieza conocida como raspador rotativo modificado con algunas mejoras al diseño original, buscando darle solución a los problemas presentados por la inadecuada limpieza de la tubería de revestimiento 7” en el pozo A2 del campo Hato Nuevo durante las operaciones de mantenimiento y reacondicionamiento de pozos, buscando por medio de la experimentación conocer la eficiencia de esta nueva herramienta comparándola con raspadores anteriormente utilizados y evaluar su viabilidad financiera frente al uso de las otras.

Para lo anterior, se examinaron las operaciones de tres tipos de herramientas raspadoras: el convencional, el rotativo común y el rotativo modificado, donde se identificaron cada uno



de los parámetros que se deben tener en cuenta para poder ser operados de manera óptima. Así mismo, se realizó la comparación tanto del diseño de los raspadores, como del procedimiento operacional de cada uno para así dar como resultado la evaluación técnica de este nuevo diseño de raspador. Adicionalmente, se evaluó financieramente el proyecto por medio de la metodología del Costo Anual Uniforme Equivalente.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

The Hato Nuevo field is located in the Upper Magdalena Valley Basin of Colombia and is part of the fields managed by Alto Magdalena Management of ECOPEPETROL S.A.

During maintenance and reconditioning operations of the wells in the Hato Nuevo field, it was noted that the cleaning power of the scrapers used was not what was expected, as there were times of unplanned additional cleaning runs when there were obstructions during the descent of tools, mainly in the running of electrical logs, as evidenced by their misinterpretation.

The company "Empresa de Petróleo y Gas & Energías Renovables S.A.S." has developed a tool used in cleaning operations, a modified rotary scraper improved with respect to the original design, as a way to solve the problems presented by inadequate cleaning of the 7" casing in well A2 of the Hato Nuevo field. The goal of this project was to experimentally determine the efficiency of the modified rotary scraper by comparing it with previously used scrapers and to evaluate its financial viability versus the use of the others.

In order to achieve the goal, the operations of three types of scrapers were examined: the conventional, the common rotary and the modified rotary, where each of the parameters relevant to optimal operation was identified. A comparison of both the design and the operation of each scraper was made in order to provide a technical evaluation of the new scraper design. Additionally, the financial evaluation of the project was carried out through the Uniform Annual Cost Equivalent methodology.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Ervin Aranda Aranda

Firma:

Nombre Jurado: Luis Humberto Ordúz

Firma:

**EVALUACIÓN TÉCNICO FINANCIERA DEL USO DE UN RASPADOR  
ROTATIVO MODIFICADO UTILIZADO EN LAS OPERACIONES DE LIMPIEZA  
DE REVESTIMIENTO EN EL POZO A2 UBICADO EN EL CAMPO HATO  
NUEVO.**

**DIEGO ANDRÉS CAMPO FAJARDO**

**Trabajo de grado presentado como requisito  
para optar el título de Ingeniero de Petróleos**

**Director**

**SLENDY PAOLA SUAREZ BURGOS**

**Ingeniero de petróleo**

**Co-Director**

**CONSTANZA VARGAS CASTELLANOS**

**Ingeniero de petróleo**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
NEIVA  
2018**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## **Dedicatoria**

*A Dios por darme la vida, la salud y fortaleza.*

*A mi madre Luz Ángela y a mi padre Diego por su amor, cariño, apoyo incondicional, por sus sabios consejos, por su confianza en mí y por los valores inculcados buscando que sea siempre una mejor persona.*

*Espero lograr enorgullecerlos siempre.*

*A mí querida hermana Viviana por su apoyo incondicional, sus consejos y por ser una fuente de inspiración y admiración en mi vida.*

*A mis sobrinos Mathias y Mariana.*

## **Agradecimientos**

*Agradezco de manera especial y sincera a la docente Constanza Vargas por compartir sus conocimientos, brindarme su tiempo y constante dirección en el proyecto; sus aportes en mi formación e investigación han enriquecido mi vida académica y personal.*

*A mi directora de trabajo de grado, Slendy Paola Suárez, por compartir su experiencia laboral y de campo para la realización de este proyecto, al igual que facilitarme el acceso a la información necesaria para la realización del mismo.*

*Al ingeniero Jaime Fernando Amaríz Ortiz por su guía, sus consejos y recomendaciones en el diseño metodológico del proyecto.*

*A la Universidad Surcolombiana y cada una de las personas que enriquecieron día a día mi experiencia estudiantil y académica para lograr transmitir el saber.*

*A los todos los docentes que me acompañaron en esta etapa por su guía, experiencia y dedicación desinteresada.*

## CONTENIDO

	<b>pág</b>
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
<b>1. GENERALIDADES DEL CAMPO HATO NUEVO</b>	<b>15</b>
1.1 LOCALIZACIÓN	15
1.2 MARCO GEOLÓGICO	18
1.2.1 Generalidades	18
1.2.2 Columna estratigráfica	19
1.3 HISTORIA DE PRODUCCIÓN	21
1.3.1 Método de producción	22
1.3.2 Comportamiento de producción	22
<b>2. GENERALIDADES DE LOS RASPADORES Y CARACTERÍSTICAS DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO UTILIZADO EN OPERACIONES DE LIMPIEZA EN EL POZO A2 DEL CAMPO HATO NUEVO.</b>	<b>25</b>
2.1 RASPADORES	25
2.2 USOS DEL RASPADOR	26
2.3 CONSTRUCCIÓN DEL RASPADOR CONVENCIONAL	27
2.4 OPERACIÓN DEL RASPADOR CONVENCIONAL	29
2.5 RASPADOR ROTATIVO COMÚN	31
2.6 CONSTRUCCIÓN DEL RASPADOR ROTATIVO COMÚN	31
2.7 OPERACIÓN DEL RASPADOR ROTATIVO COMÚN	32
2.8 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA INEFICIENTE LIMPIEZA DEL REVESTIMIENTO Y GENERADOS POR EL RASPADOR	33
2.9 RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO	34
2.10 CONSTRUCCIÓN DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO	35
2.11 OPERACIÓN DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO	36
2.12 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LIMPIEZA CON RASPADORES	36
2.12.1 Peso sobre el gancho.	36
2.12.2 Torque a lo largo de la sarta.	37
2.12.3 Velocidad anular.	38
2.12.4 Caudal de flujo.	39
2.12.5 Hidráulica de cortes.	40
<b>3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCEDIMIENTOS CORRESPONDIENTES A LA CORRIDA DE LAS HERRAMIENTAS RASPADORAS EN EL POZO A2</b>	<b>41</b>
3.1 DISEÑO SARTA DE OPERACIÓN CON RASPADOR PARA EL POZO A2	41
3.1.1 Broca.	41
3.1.2 Raspador.	42
3.1.2.1. Raspador convencional.	42
3.1.2.2. Raspador rotativo.	43
3.1.2.3. Raspador rotativo modificado.	44
3.1.3. Sustituto de acople (Bit Sub).	44
3.1.4. Tubería pesada de perforación (Heavy weight drill pipe).	45

3.1.5 Martillo (Jar).	45
3.2 PROCEDIMIENTO OPERACIONAL DEL BHA CON EL RASPADOR CONVENCIONAL	47
3.3 PROCEDIMIENTO OPERACIONAL DEL BHA CON EL RASPADOR ROTATIVO COMÚN O CON EL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO.	48
<b>4. INTERVENCIONES QUE REQUIRIERON LIMPIEZA DE REVESTIMIENTO EN POZOS DEL CAMPO HATO NUEVO</b>	49
4.1 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA CON RASPADOR CONVENCIONAL EN LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO DE LOS POZOS DEL CAMPO HATO NUEVO	52
4.1.1 Procedimiento para el pozo A1.	52
4.1.2. Procedimiento para los pozos A2, A3 Y A4.	54
4.2 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA CON RASPADOR ROTATIVO Y RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO EN LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO DE LOS POZOS DEL CAMPO HATO NUEVO	55
4.2.1. Procedimiento para el pozo A1.	55
4.2.2. Procedimiento para los pozos A2, A3 Y A4.	56
4.3 HISTORIAL DE INTERVENCIONES CON USO DE RASPADOR EN LOS POZOS DEL CAMPO HATO NUEVO.	57
4.3.1. Intervenciones con uso de raspador en el pozo A1 del campo Hato Nuevo.	58
4.3.2. Intervenciones con uso de raspador en el pozo A2 del campo Hato Nuevo.	64
4.3.3. Intervenciones con uso de raspador en el pozo A3 del campo Hato Nuevo.	71
4.3.4. Intervenciones con uso de raspador en el pozo A4 del campo Hato Nuevo	74
<b>5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO.</b>	76
5.1 RESULTADOS RASPADOR CONVENCIONAL	77
5.2 RESULTADOS RASPADOR ROTATIVO COMÚN	78
5.3 RESULTADOS RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO	78
5.4 EFICIENCIA DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO MEDIANTE PARÁMETROS TEÓRICOS.	79
<b>6. ANÁLISIS FINANCIERO</b>	81
6.1 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS	81
6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)	82
6.3 EVALUACIÓN FINANCIERA	83
6.3.1 Tasa de interés de oportunidad (TIO).	83
6.3.2 Flujo de caja.	83
6.3.2.1 Escenario A (Herramienta convencional).	83
6.3.2.2 Escenario B (Herramienta rotativa común)	84
6.3.2.3 Escenario C (Herramienta rotativa modificada).	85
6.3.3 Costo anual uniforme equivalente (CAUE)	86
<b>7. CONCLUSIONES</b>	88
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	89
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	90

**ANEXOS**

## Lista de tablas

	<b>pág</b>
Tabla 1. Coordenadas campo Hato Nuevo	16
Tabla 2. Coordenadas pozos campo Hato Nuevo	18
Tabla 3. Generalidades del campo Hato Nuevo	19
Tabla 4. Especificaciones raspador de tubería de revestimiento	28
Tabla 5. Peso sobre el gancho	36
Tabla 6. Reporte de operaciones, servicio N° 01 pozo A1	58
Tabla 7. Reporte de operaciones, servicio N° 02 pozo A1	59
Tabla 8. Reporte de operaciones, servicio N° 03 pozo A1	61
Tabla 9. Reporte de operaciones, servicio N° 0004 pozo A1	62
Tabla 10. Reporte de operaciones, servicio N° 0005 pozo A1	63
Tabla 11. Reporte de operaciones, servicio N° 01 pozo A2	64
Tabla 12. Reporte de operaciones, servicio N° 002 pozo A2	66
Tabla 13. Reporte de operaciones, servicio N° 0003 pozo A2	67
Tabla 14. Reporte de operaciones, servicio N° 04 pozo A2	69
Tabla 15. Reporte de operaciones, servicio N° 0005 pozo A2	70
Tabla 16. Reporte de operaciones, servicio N° 01 pozo A3	71
Tabla 17. Reporte de operaciones, servicio N° 002 pozo A3	72
Tabla 18. Reporte de operaciones, servicio N° 001 pozo A4	74
Tabla 19. Cuadro resumen de resultados - corridas en revestimiento 7"	76
Tabla 20. Criterios de evaluación	79
Tabla 21. Matriz de evaluación de parámetros técnicos	79
Tabla 22. Costos equipo de workover por mes	82
Tabla 23. Costos ocasionales por reposición equipo de workover por mes	82
Tabla 24. Costos raspadores por mes	83
Tabla 25. Flujo de caja escenario A	83
Tabla 26. Flujo de caja escenario B	84
Tabla 27. Flujo de caja escenario C	85
Tabla 28. Flujo de caja de los 3 escenarios	85
Tabla 29. Valor presente neto de los 3 escenarios	85
Tabla 30. CAUE de los 3 escenarios	87

## Lista de figuras

	pág
Figura 1. Ubicación campo Hato Nuevo.	15
Figura 2. Localización campo Hato Nuevo.	16
Figura 3. Mapa estructural en tiempo, campo Hato Nuevo	17
Figura 4. Columna estratigráfica de la cuenca Valle Superior del Magdalena	20
Figura 5. Registro eléctrico del pozo HN-01.	21
Figura 6. Historia de producción campo Hato Nuevo.	22
Figura 7. Historia de producción pozo HN-01.	24
Figura 8. Diseño del raspador convencional	26
Figura 9. Construcción de un raspador convencional	30
Figura 10. Diseño raspador rotativo común	32
Figura 11. Diseño del raspador rotativo modificado.	35
Figura 12. Torque vs Profundidad	37
Figura 13. Velocidad anular vs Distancia	38
Figura 14. Caudal vs Distancia	39
Figura 15. Hidráulica de cortes	40
Figura 16. Broca tricónica.	42
Figura 17. Raspador convencional	43
Figura 18. Raspador rotativo.	43
Figura 19. Raspador rotativo modificado	44
Figura 20. Porta broca (Box-Box)	44
Figura 21. Tubería pesada de perforación	45
Figura 22. Martillo mecánico.	45
Figura 23. Configuración BHA.	46
Figura 24. Diseño del pozo A1.	50
Figura 25. Diseño del pozo A2.	51
Figura 26. Registro de cementación.	77

**Lista de ecuaciones**

	<b>pág</b>
<b>Ecuación 1.</b> Valor presente neto.	84
<b>Ecuación 2.</b> Valor presente neto escenario A.	84
<b>Ecuación 3.</b> Valor presente neto escenario B.	85
<b>Ecuación 4.</b> Valor presente neto escenario C.	85
<b>Ecuación 5.</b> Costo anual uniforme equivalente.	86
<b>Ecuación 6.</b> CAUE Escenario A.	87
<b>Ecuación 7.</b> CAUE Escenario B.	87
<b>Ecuación 8.</b> CAUE Escenario C.	87

## RESUMEN

El campo Hato Nuevo está localizado en la cuenca del Valle Superior del Magdalena de Colombia y hace parte de los campos administrados por la Gerencia del Alto Magdalena de ECOPETROL S.A.

Dentro de las operaciones de mantenimiento y reacondicionamiento de los pozos en el campo Hato Nuevo, se ha identificado que el poder de limpieza de los raspadores utilizados no ha sido la esperada, pues se ha incurrido en tiempos no planeados por viajes de limpieza adicionales cuando se presentan obstrucciones durante la bajada de herramientas, principalmente en la corrida de registros eléctricos y se evidencia en la mala interpretación de éstos.

La compañía “Empresa de Petróleo y Gas & Energías Renovables S.A.S.” ha desarrollado una herramienta utilizada en operaciones de limpieza conocida como raspador rotativo modificado con algunas mejoras al diseño original, buscando darle solución a los problemas presentados por la inadecuada limpieza de la tubería de revestimiento 7” en el pozo A2 del campo Hato Nuevo durante las operaciones de mantenimiento y reacondicionamiento de pozos, buscando por medio de la experimentación conocer la eficiencia de esta nueva herramienta comparándola con raspadores anteriormente utilizados y evaluar su viabilidad financiera frente al uso de las otras.

Para lo anterior, se examinaron las operaciones de tres tipos de herramientas raspadoras: el convencional, el rotativo común y el rotativo modificado, donde se identificaron cada uno de los parámetros que se deben tener en cuenta para poder ser operados de manera óptima. Así mismo, se realizó la comparación tanto del diseño de los raspadores, como del procedimiento operacional de cada uno para así dar como resultado la evaluación técnica de este nuevo diseño de raspador. Adicionalmente, se evaluó financieramente el proyecto por medio de la metodología del Costo Anual Uniforme Equivalente.

**PALABRAS CLAVES:** Raspador Rotativo Modificado, Limpieza Revestimiento, Campo Hato Nuevo, Cuenca Valle Superior Magdalena.

## ABSTRACT

The Hato Nuevo field is located in the Upper Magdalena Valley Basin of Colombia and is part of the fields managed by Alto Magdalena Management of ECOPETROL S.A.

During maintenance and reconditioning operations of the wells in the Hato Nuevo field, it was noted that the cleaning power of the scrapers used was not what was expected, as there were times of unplanned additional cleaning runs when there were obstructions during the descent of tools, mainly in the running of electrical logs, as evidenced by their misinterpretation.

The company “Empresa de Petróleo y Gas & Energías Renovables S.A.S.” has developed a tool used in cleaning operations, a modified rotary scraper improved with respect to the original design, as a way to solve the problems presented by inadequate cleaning of the 7” casing in well A2 of the Hato Nuevo field. The goal of this project was to experimentally determine the efficiency of the modified rotary scraper by comparing it with previously used scrapers and to evaluate its financial viability versus the use of the others.

In order to achieve the goal, the operations of three types of scrapers were examined: the conventional, the common rotary and the modified rotary, where each of the parameters relevant to optimal operation was identified. A comparison of both the design and the operation of each scraper was made in order to provide a technical evaluation of the new scraper design. Additionally, the financial evaluation of the project was carried out through the Uniform Annual Cost Equivalent methodology.

**KEY WORDS:** Modified Rotary Scraper, Casing Cleaning, Hato Nuevo field, Upper Magdalena Valley Basin.

## INTRODUCCIÓN

La acumulación de residuos sólidos por cemento, incrustaciones, parafinas y asfáltenos en el interior del revestimiento, genera obstrucciones durante la corrida de herramientas en los pozos, lo que lleva a la necesidad de retirar éstos sólidos mediante el uso de raspadores mecánicos, que dependiendo de su diseño pueden ser de maniobra recíproca o rotativa.

Durante las operaciones de mantenimiento y reacondicionamiento de pozos en el campo Hato Nuevo, se ha evidenciado que la eficiencia de limpieza de los raspadores convencionales no es la adecuada, lo que ocasiona tiempos no planeados como por ejemplo obstrucciones al correr herramientas en el pozo y malas interpretaciones durante la corrida de registros eléctricos en hueco revestido, generando costos adicionales no planeados por viajes adicionales de limpieza, entre otros.

Por ello, La compañía “Empresa de Petróleo y Gas & Energías Renovables S.A.S”, ha desarrollado un raspador rotativo modificado buscando mejorar la limpieza del interior de la tubería de revestimiento durante las operaciones anteriormente indicadas, esta herramienta rediseñada ha sido probada mediante corridas en el pozo A2, ubicado en el campo Hato Nuevo.

Inicialmente en este proyecto se describen las características de los raspadores tanto convencionales, como rotativo común y rotativo modificado, se continúa haciendo una descripción general del procedimiento del uso operacional de las herramientas convencionales y el procedimiento de la operación de los raspadores rotativos para posteriormente comparar la eficiencia técnica entre el uso operacional de los tres tipos de raspadores correspondientes en el campo Hato Nuevo.

Una vez realizada la evaluación técnica, se procede a evaluar financieramente, para lo cual se utiliza la metodología del costo anual uniforme equivalente. De esta manera se define su viabilidad y se da por concluido el proyecto.

## 1. GENERALIDADES DEL CAMPO HATO NUEVO

Este capítulo contiene una breve descripción de las características generales del campo Hato Nuevo en la cuenca del Valle Superior del Magdalena.

### 1.1 LOCALIZACIÓN

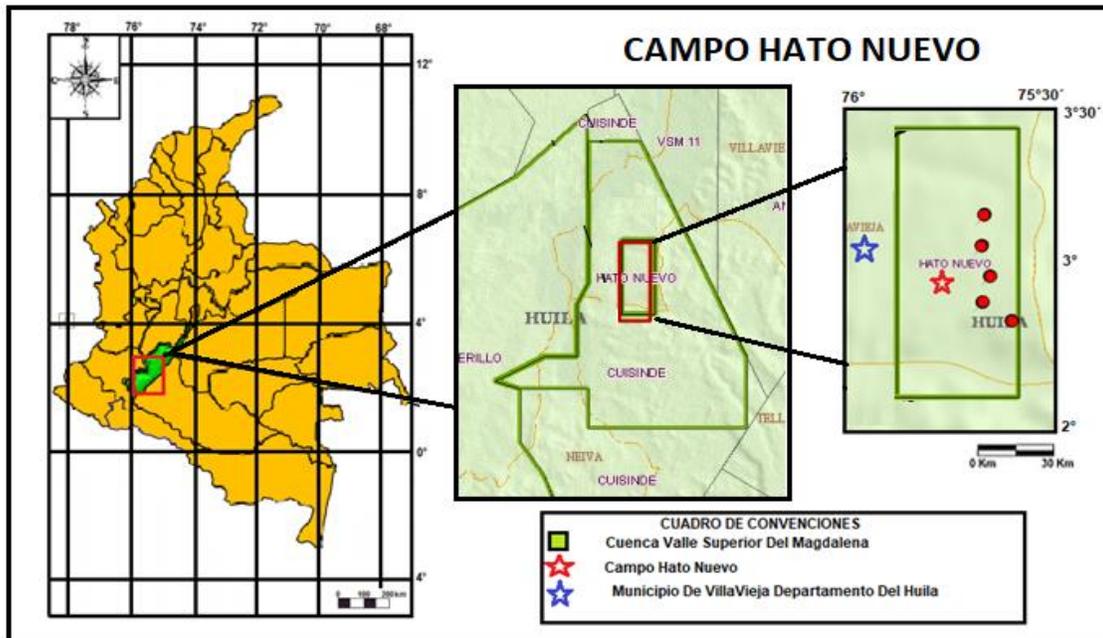
El campo Hato Nuevo está ubicado al sur oeste colombiano, se encuentra en el Departamento del Huila a 325 Km de la capital Bogotá, en la jurisdicción del municipio de Villavieja. El campo Hato Nuevo se encuentra a una altura promedio de 456 msnm, tiene una temperatura promedio de 32°C y tiene una extensión de 540 hectáreas. Hace parte del bloque Hato Nuevo. (Ver Figura 1)

Se puede ver la localización del campo Hato Nuevo en la cuenca del Valle Superior del Magdalena, donde se evidencia que el municipio más cercano es Villavieja en el Departamento del Huila. (Ver Figura 2)

**Figura 1.** Ubicación campo Hato Nuevo



**FUENTE.** En línea [www.googlemaps.co]. Google Maps; Modificado por el autor.

**Figura 2.** Localización campo Hato Nuevo

FUENTE. En línea [www.googlemaps.co]. Google Maps; Modificado por el autor.

Los pozos del campo Hato Nuevo han sido perforados como pozos verticales pero las características de buzamiento de las formaciones cretácicas han ocasionado desviación natural en todos los pozos.

Los pozos fueron perforados en tres bloques diferentes, el HN-01 y HN-03 quedaron en un mismo bloque y HN-02 y HN-04 en bloques diferentes. El pozo HN-05 quedó por fuera de la estructura al otro lado de la Falla Hato Nuevo. (Ver figura 3)

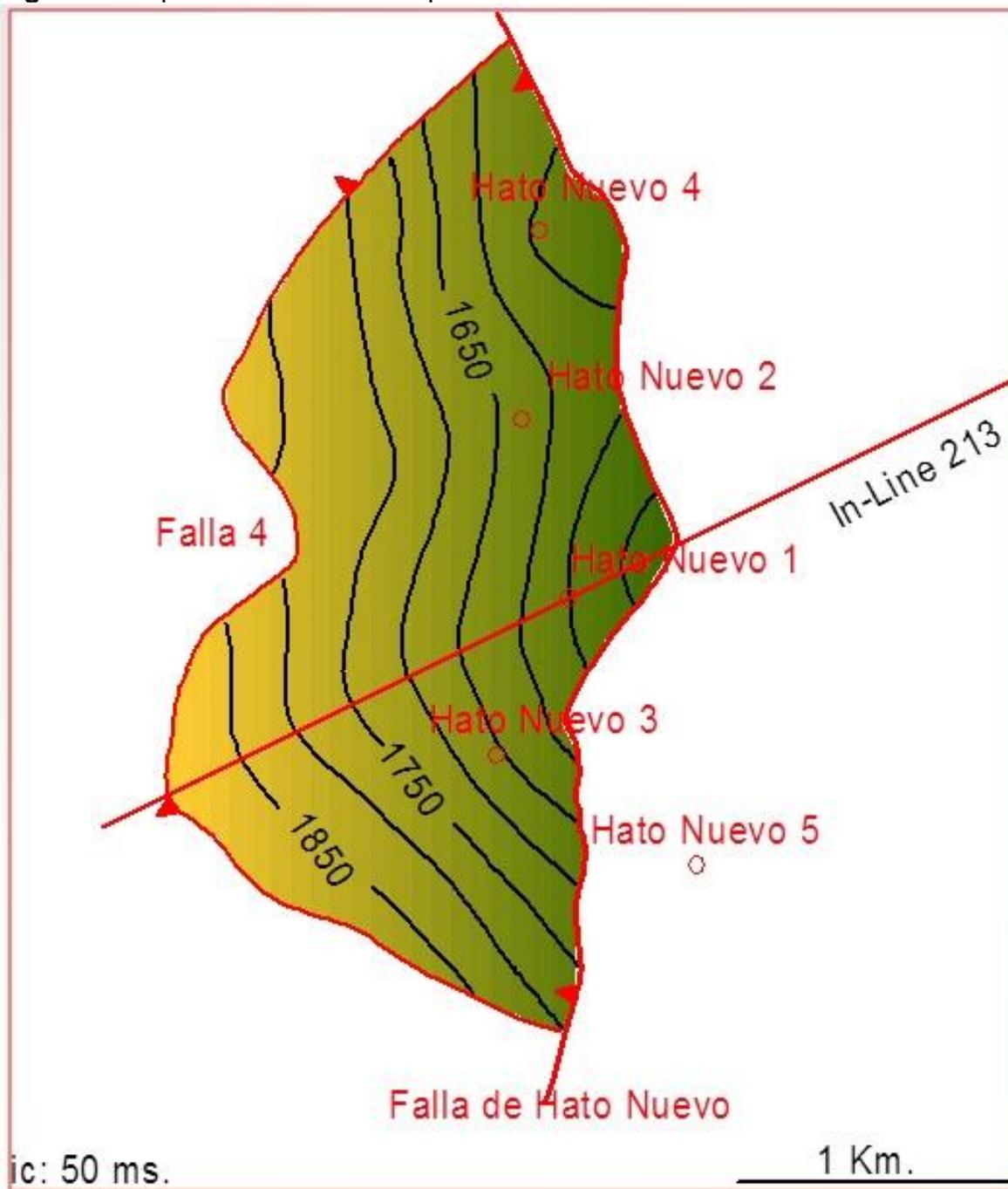
En la Tabla 1 se pueden observar las coordenadas del campo en estudio en los cuatro vértices que lo determinan.

**Tabla 1.** Coordenadas campo Hato Nuevo

COORDENADAS CAMPO HATO NUEVO		
VÉRTICE	NORTE	ESTE
A	841,500	870,000
B	841,500	871,500
C	838,000	871,500
D	838,000	870,000

FUENTE. MINISTERIO DE AMBIENTE. Dirección de licencias, Permisos y Trámites Auto No. 736. Bogotá. Ministerio de Ambiente, 2007.

**Figura 3.** Mapa estructural en tiempo de la formación Caballos.



**FUENTE.** GERENCIA NACIONAL DE CAMPOS MENORES. Ficha técnica campo Hato Nuevo. Colombia 2014, p.7; Modificado por el autor.

La Tabla 2 muestra las coordenadas según la Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales de los pozos del campo Hato Nuevo.

**Tabla 2.** Coordenadas pozos campo Hato Nuevo

COORDENADAS DE LOS POZOS		
POZO	NORTE	ESTE
HATO NUEVO-1	839.423,00	870.996,49
HATO NUEVO-2	839.809,99	870.900,77
HATO NUEVO-3	839.080,53	870.888,23
HATO NUEVO-4	840.209,25	870.941,32
HATO NUEVO-5	838.828,20	871.254,11
POLONIA - 1	841.475,00	871.010,00

**FUENTE.** MINISTERIO DE AMBIENTE. Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Auto No. 736. Bogotá. Ministerio de Ambiente, 2007.

## 1.2 MARCO GEOLÓGICO

En esta sección del capítulo geológico se describe la columna estratigráfica, la geología estructural y del petróleo de la cuenca del Valle Superior Del Magdalena.

**1.2.1 Generalidades.** La cuenca Valle Superior del Magdalena tiene una extensión aproximada de 21,513 km<sup>2</sup>. Ha sido el resultado de cuencas que han sido depositadas con sedimentos provenientes de la erosión de material montañoso de los alrededores dando origen a una cuenca intramontana, limitada al este y al oeste por los afloramientos del basamento Precámbrico y Jurásico de las cordilleras Oriental y Central.

El campo Hato Nuevo está ubicado en la subcuenca de Neiva de la cuenca del Valle Superior del Magdalena al suroeste de la prolongación hacia el sur del alto de Natagaima (Basamento). Este campo se encuentra cerca a la terminación de la deformación con ángulo de vergencia hacia el oriente del sistema de fallamiento originado desde la falla de Chusma al oeste del Bloque Neiva. La estructuración en este sector está caracterizada por una serie de imbricaciones que incluyen las formaciones de la parte inferior del Cretáceo, comprometiendo la Formación Caballos en cabalgamientos altamente prospectivos.

A continuación en la Tabla 3 se muestran algunas generalidades del campo Hato Nuevo:

**Tabla 3.** Generalidades del campo Hato Nuevo

<b>GENERALIDADES DEL CAMPO HATO NUEVO</b>
<p><b>UBICACIÓN:</b> Se encuentra 30 km al noroeste de Neiva por la vía al municipio de Villavieja Departamento del Huila.</p>
<p><b>POZOS PRODUCTORES:</b> HN-02: 730 BFPD 96%BSW 30 BOPD, 12 KPCD de gas HN-01: 1033 BFPD 100%BSW 0 BOPD desde el 4 de marzo de 1998</p>
<p><b>POZOS CERRADOS:</b> HN-03: Cerrado por alto corte de agua HN-04: Cerrado por alto corte de agua HN-05: Pozo Seco / Perforado fuera de la estructura</p>
<p><b>FACILIDADES DE PRODUCCIÓN:</b>  1 Estación de deshidratación de crudo con unidad filtrante y bombas para inyección de agua.</p>

**FUENTE.** GERENCIA NACIONAL DE CAMPOS MENORES. Ficha técnica campo Hato Nuevo. Colombia 2014, p.2; Modificado por el autor.

**1.2.2 Columna Estratigráfica.** La Figura 4, presenta las unidades estratigráficas atravesadas por los pozos del campo Hato Nuevo, involucrando el sistema petrolero de la cuenca del Valle Superior del Magdalena y sus principales procesos de migración y entrapamiento.

Figura 4. Columna estratigráfica de la cuenca Valle Superior del Magdalena

EDAD		GRUPO	FORMACION	AMBIENTE	LITOLOGIA			
CUATERNARIO								
TERCIARIO	Neogeno	Secuencia Sin-Orogenica	Plioceno	Gigante (1000 mts)	Terrestre, Llanuras de Piedemonte.			
			Mioceno	Honda (2500 mts)	Terrestre, Llanuras Aluviales.			
			Oligoceno	Barzalosa (50 - 300 mts)	Terrestre, Lagunar			
	Paleogeno	Secuencia Sin-Orogenica	Eoceno Superior	Gualanday	Doima		Terrestre, Rios entrelazados.	
					Potrerrillo			
					Chicoral			
	CRETACEO	Superior	Secuencia Preorogenica	Paleoceno	Guaduala		Teruel	Terrestre, Paráfico.
				Maastrichtiano			San Francisco	
		Maastrichtiano Campaniano		Monserate (150 - 200 mts)	Marino Inter a Inframareal.			
		Inferior		Santoniano albiano	Villeta (700 - 1100 mts)		Plataforma Detritico - Calcárea	
Albiano				Caballos (90 - 200 mts)	Fluvial Salobre			
Aptiano				Bermejo	Alpujarra (150 mts)	Supra a intermareal Terrestre.		
		Yavi (385 mts)						
JURASICO			Saldaña (800 - 1500 mts)	Subaéreo Vulcanoclastico				

	Conglomerado		Lodolita Arenosa		Shale
	Arenisca		Lodolita		Caliza
	Capas Rojas				

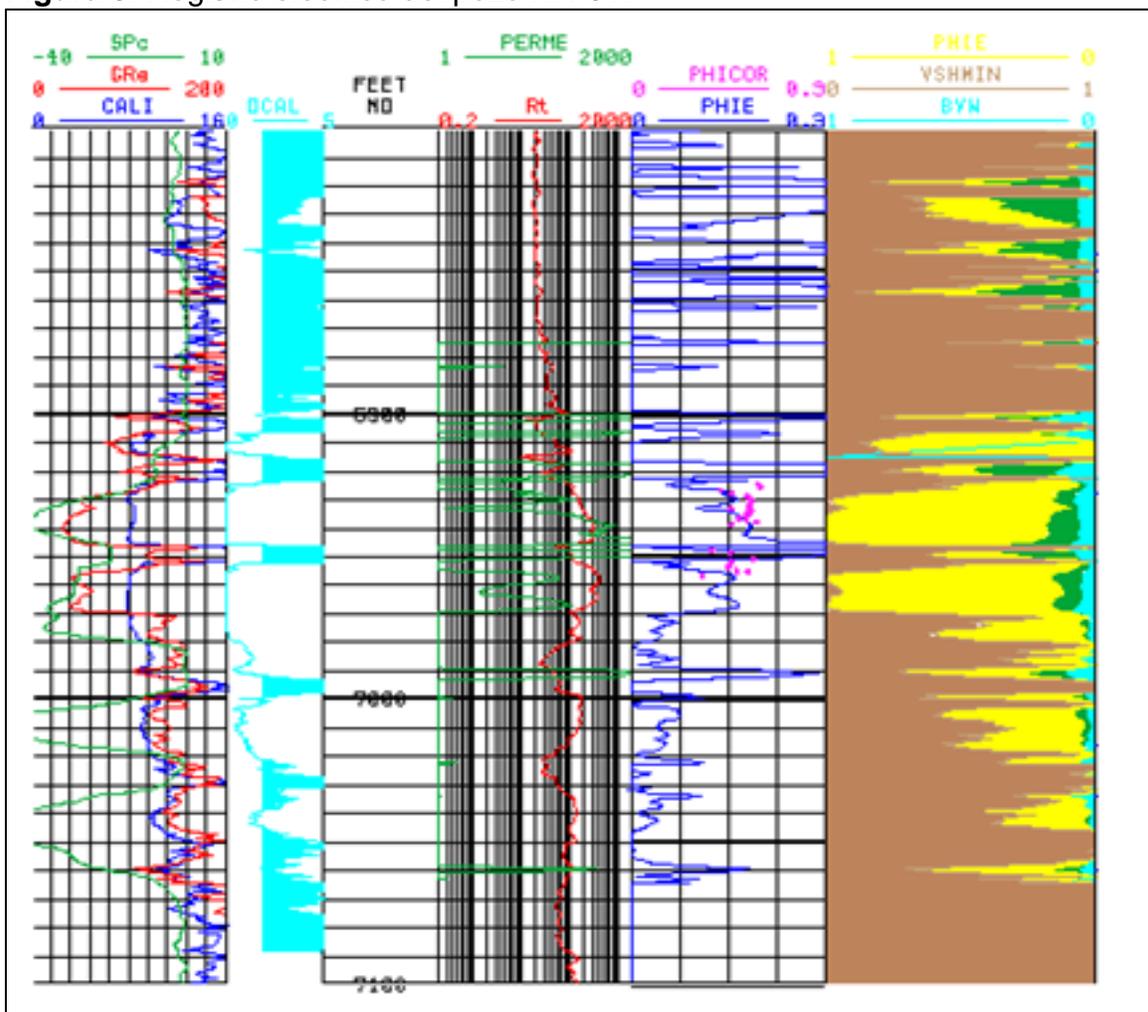
FUENTE. GERENCIA NACIONAL DE CAMPOS MENORES. Ficha técnica campo Hato Nuevo. Colombia 2014, p.7; Modificado por el autor.

### 1.3 HISTORIA DE PRODUCCIÓN

El campo tiene oficialmente 6.54 millones de barriles de aceite original y se han producido 2.03 millones de barriles a octubre de 1998 con un factor de recobro actual de 31.05% y las reservas remanentes son de 98.800 barriles. El factor de recobro final del campo se vio afectado por la conificación en el yacimiento de agua del acuífero por mala explotación del yacimiento.

Respecto al yacimiento, se tiene que la porosidad promedio es del 15%, la permeabilidad de 150 md, la saturación inicial de agua de 30% como se puede observar en el registro eléctrico tomado en Mayo de 1984, después de la perforación del pozo HN-01 (Ver Figura 5). El espesor promedio del yacimiento es de 80 pies. La presión original del yacimiento es de 2.800 psia a 5.200 pies y la actual de 2.000 psia.

**Figura 5.** Registro eléctrico del pozo HN-01.



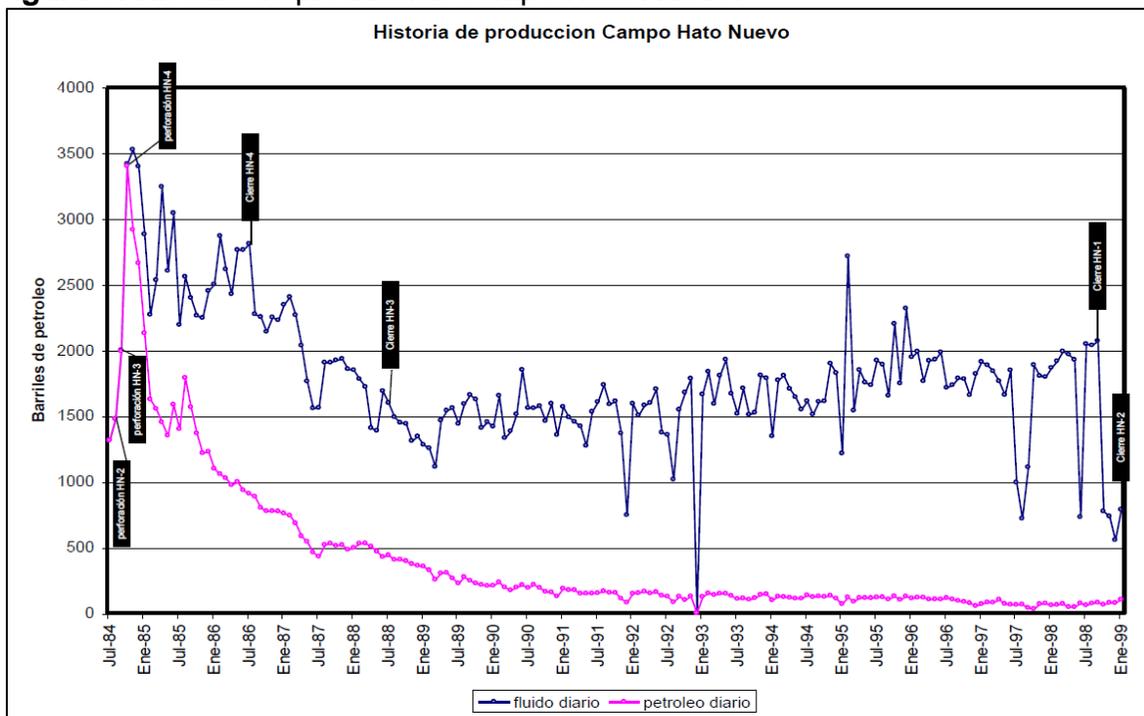
**FUENTE.** GERENCIA NACIONAL DE CAMPOS MENORES. Ficha técnica campo Hato Nuevo. Colombia 2014, p.11; Modificado por el autor.

**1.3.1 Método de producción.** El mecanismo de producción predominante en la Formación Caballos del campo Hato Nuevo es el empuje de agua combinada con la expansión de fluidos (Gas en solución).

**1.3.2 Comportamiento de producción.** De acuerdo con la producción del campo, es claro que la presencia del acuífero cerca de los pozos y la fuerte influencia de este, indujo una conificación en el yacimiento aumentando la producción de agua en todos los pozos del campo por un mal manejo de explotación. El comportamiento de producción de cada uno de los pozos muestra un decrecimiento rápido de la producción de aceite por un aumento del corte de agua, especialmente los pozos Hato Nuevo 3 y Hato Nuevo 4, que hubo que cerrarlos en menos de tres años de producción.

A continuación en la Figura 6, se puede observar el comportamiento que ha tenido a lo largo de los años el campo Hato Nuevo, desde su inicio de producción con la perforación del HN-01 en Mayo de 1984 hasta el mes de enero de 1999. (Ver Figura 6).

**Figura 6.** Historia de producción campo Hato Nuevo.



**FUENTE.** GERENCIA NACIONAL DE CAMPOS MENORES. Ficha técnica campo Hato Nuevo. Colombia 2014, p.12; Modificado por el autor.

Debido a la baja producción en enero de 1999 y a los precios registrados del petróleo para esa fecha donde el barril estaba por los USD11.34, la empresa ECOPETROL S.A. se vio en la necesidad de intervenir y cesar las actividades de producción del campo Hato Nuevo hasta el año 2007.

Para el 2007, según el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial<sup>1</sup>, mediante el oficio radicado bajo el N. 4120-E1-19737 con fecha del 26 de febrero del 2007, la empresa Consorcio EMPESA – NCT solicitó el establecimiento del plan de manejo ambiental para la reactivación del campo Hato Nuevo, localizado en jurisdicción del municipio de Villavieja en el Departamento del Huila, el cual estuvo en producción desde 1984. A partir del 2007 hasta noviembre del 2013 no se tienen datos de producción ya que el campo estuvo inactivo, además no se determinaba aún su viabilidad comercial. El Consorcio EMPESA – NCT después de realizar interpretación sísmica 3D y demás planes de desarrollo, decide con base en los resultados la Perforación del pozo HN-1 Side Track.

El día 14 de noviembre de 2013 se inicia la producción con caudal inicial de aproximadamente 900 BOPD y un BSW menor al 2%, sin embargo, en Enero del año 2014 el BSW aumentó hasta el 70% reduciendo su producción a 130 BOPD.

El Consorcio EMPESA – NCT tuvo una participación de 59% junto a Ecopetrol con una participación de 41%.

Entre los años 2015 y 2017 el campo estuvo bajo la administración de la empresa Erazo Valencia S.A. Quienes iniciaron una campaña de adecuación, resultando sin éxito comercial debido a los altos cortes de agua.

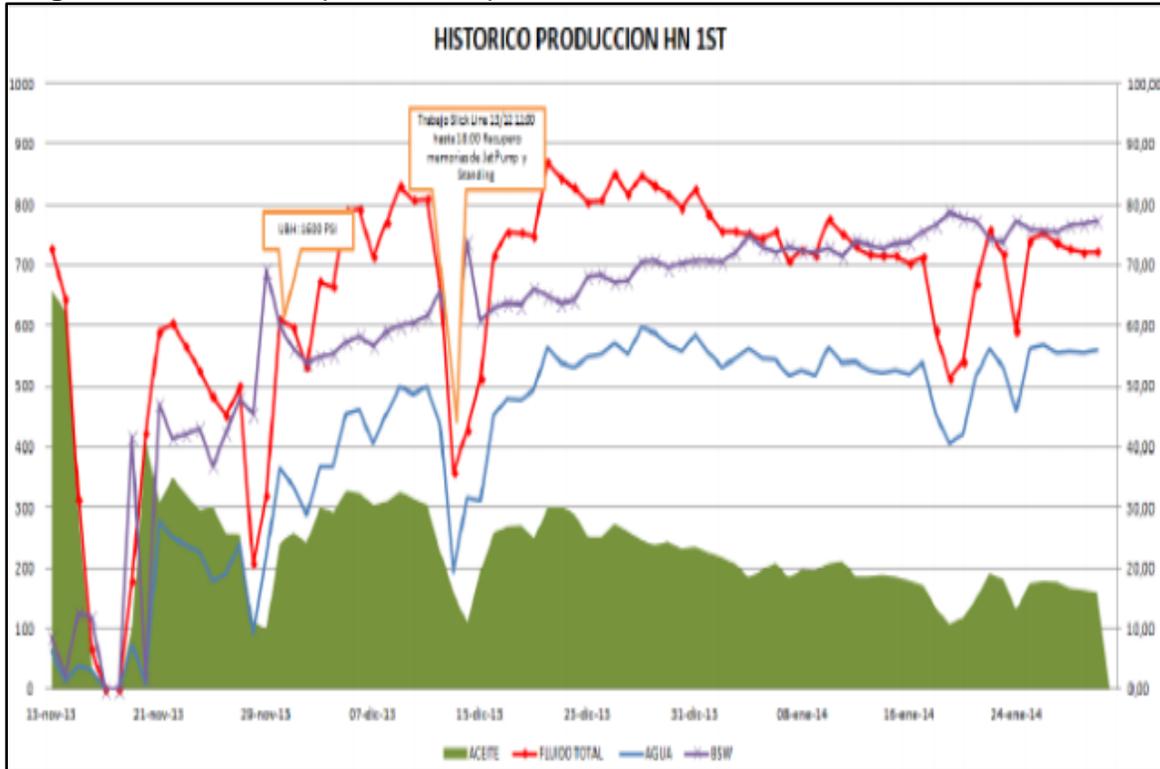
Actualmente el campo Hato Nuevo se encuentra inactivo.

---

<sup>1</sup> Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Ambientales. Auto No. 736. [En línea]. 26 de marzo del 2007. [6 de mayo del 2018]. Disponible en: [http://www.minambiente.gov.co/normativa/Otros/Autos/2007/auto\\_0736\\_260307.pdf](http://www.minambiente.gov.co/normativa/Otros/Autos/2007/auto_0736_260307.pdf)

En la Figura 7, se observa el histórico de producción que va desde el 13 de noviembre del 2013 hasta el 24 de enero del 2014.

**Figura 7.** Historia de producción pozo HN-01 ST.



**FUENTE.** GERENCIA NACIONAL DE CAMPOS MENORES. Ficha técnica campo Hato Nuevo. Colombia 2014, p.16; Modificado por el autor.

## **2. GENERALIDADES DE LOS RASPADORES Y CARACTERISTICAS DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO UTILIZADO EN OPERACIONES DE LIMPIEZA EN EL POZO A2 DEL CAMPO HATO NUEVO.**

Con el objetivo de respetar los protocolos de confidencialidad de las empresas en cuanto al manejo seguro de la información, a partir de este capítulo: los pozos del campo Hato Nuevo se denominarán pozo A1, A2, A3 y A4.

En este capítulo se describen las características, funciones, construcción, operación y uso de los raspadores en las operaciones de workover. Además, se caracteriza y se describe el raspador rotativo modificado utilizado en el pozo A2 en el campo Hato Nuevo.

### **2.1 RASPADORES**

Los raspadores son herramientas que tienen como función limpiar de contaminantes las paredes internas del revestimiento tales como: lodo, restos de cemento, ripsos de perforación, parafinas y demás elementos incrustados.

Según BOTIL OIL TOOLS INDIA PVT<sup>2</sup> el uso del raspador es importante para mantener la limpieza en la superficie de trabajo debido a que las operaciones posteriores en el pozo son afectadas por las condiciones del diámetro interno del revestimiento.

Así mismo, se debe tener en cuenta que un revestimiento sin obstrucciones es fundamental para la realización posterior de operaciones eficientes en el fondo de pozo durante la perforación, el completamiento, mantenimiento y reparación de pozos.

Las características principales de un raspador son:

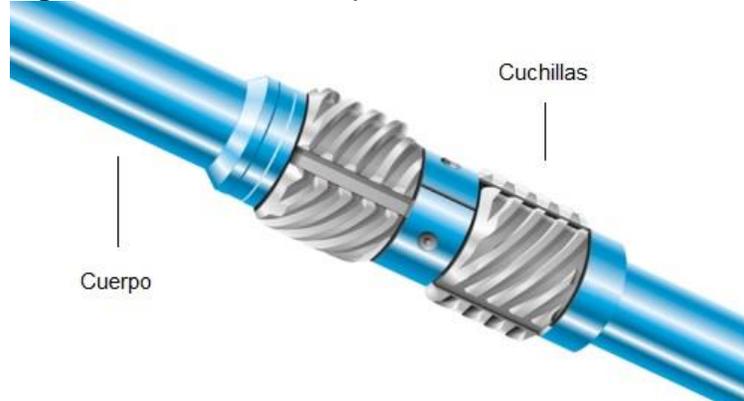
- El cuerpo del raspador es mecanizado desde una barra sólida.
- Las cuchillas del raspador generalmente están fabricadas de acero al carbono para que tengan solidez y resistencia frente a la obstrucción presente en el diámetro interno (I.D.) del revestimiento.
- Los raspadores pueden tener acción giratoria o reciprocante.
- El diseño del raspador permite que la herramienta sea armada según se requiera en la operación de limpieza.

---

<sup>2</sup> BOTIL OIL TOOLS INDIA PVT. Casing Clean Up Tools. {En línea}. {27 de febrero de 2018} Disponible en: (<http://www.botilindia.com/Casing%20Clean%20Up%20Tools.pdf>)

En el diseño del raspador convencional, cumpliendo las características mencionadas, se pueden ver las cuchillas y la barra sólida de la herramienta. (Ver Figura 8).

**Figura 8.** Diseño del raspador convencional



**FUENTE.** TASMAN OIL TOOLS. {En línea}. {01 de febrero de 2019} Disponible en: (<https://www.tasmanoiltools.com/products-and-services/fishing-re-entry/casing-scrapers/>)

## 2.2 USOS DEL RASPADOR

En el año 1990 surgió un enfoque dirigido hacia los tiempos no productivos generados por la repetición de operaciones wireline, la mala calidad en la toma de los registros eléctricos, mal sello en los empaques, entre otros, dados por la limpieza irregular en el revestimiento. Se presentaron inconvenientes por ser herramientas susceptibles a restricciones durante su recorrido a fondo y a superficie dentro de los pozos, y para ésto se innovó con la tecnología de limpieza interna de revestimiento y se agregaron a los portafolios de servicios una serie de dispositivos para hacer que estos tiempos (NPT) se pudieran reducir. Esto llevó a una creciente competencia entre las grandes prestadoras del servicio de limpieza para los pozos.

La limpieza del diámetro interno del revestimiento es importante para las herramientas como los empaques y demás similares, que se necesiten adherir y agarrar a la superficie del I.D. del revestimiento y así lograr que estas herramientas no fallen al momento de instalarlas y no se generen problemas a futuro.

Para Logan Oil Tools<sup>3</sup> el raspador elimina irregularidades del revestimiento que podrían ocasionar problemas durante las operaciones con empaques. Así mismo, Logan Oil Tools define los siguientes principales usos del raspador:

<sup>3</sup> LOGAN OIL TOOLS. Casing Scrapers. {En línea}. {27 de febrero de 2018} Disponible (<http://www.rubicon-oilfield.com/wp-content/uploads/Rubicon-F620-Casing-Scrapers.pdf>)

- Limpia la parafina, el cemento endurecido y el lodo.
- Elimina las imperfecciones de algunas herramientas que hayan quedado durante la perforación (residuos metálicos).
- Raspa las esquirlas generadas por los tiros incrustados en el revestimiento.
- Elimina las mellas causadas por brocas o herramientas de pesca.

Teniendo en cuenta los usos que define Logan Oil Tools para los raspadores, se puede decir que ésta herramienta es esencial para las operaciones de limpieza y así podrá generar mejores tiempos en la acomodación del pozo para las distintas operaciones que se vayan a realizar.

Así como se tienen los usos del raspador, hay ciertas ventajas que acompañan a la operación de esta herramienta. De acuerdo con la empresa Tasman Oil Tools<sup>4</sup>, las siguientes son las ventajas del raspador:

- Las cuchillas circulares del raspador entran en contacto con la superficie interna del revestimiento 360° a la vez.
- Es una herramienta corta, compacta y fácil de montar y desmontar.
- Las cuchillas de acero ofrecen una máxima capacidad de raspado.

### **2.3 CONSTRUCCIÓN DEL RASPADOR CONVENCIONAL**

Para la construcción de toda herramienta, se debe tener en cuenta la complejidad que traerá ésta para que su operación sea la más eficaz.

En el caso del raspador, el diseño es simple y debe ser resistente para que sea fácil ensamblar y desinstalar la herramienta, también para que la operación sea sencilla, ya que se desea que limpie obstrucciones de la cara interna del revestimiento lo más eficiente posible.

Del mismo modo, los raspadores deben estar contruidos para que puedan ser operados en tuberías desde dos hasta 13 pulgadas, por consiguiente se deben tener disponibles diferentes tamaños. En la tabla 4 se muestran algunas especificaciones para los raspadores más usados en la industria, según sus conexiones caja y pin:

---

<sup>4</sup> TASMAN OIL TOOLS. Casing Scrapers. {En línea}. {4 de marzo de 2018}. Disponible en: (<https://www.tasmanoiltools.com/wp-content/uploads/Casing-Scraper-1.pdf>)

**Tabla 4.** Especificaciones Raspador de Tubería de Revestimiento

Tamaño de la tubería de revestimiento (in)(mm)	Conexión	Cuerpo OD (in)(mm)	OAL(in) (mm)	Cuerpo ID(in) (mm)	Cantidad de hojas (in) (mm)
4-1/2'	2-3/8*REG	3-5/8*(91)	38-1/4*(971.2)	3/4*(20)	2×3
5'	NC26	3-5/7*(94)	38-1/4*(971.2)	3/4*(20)	2×3
5-1/2'	NC31	4-5/16*(110)	43-5/16*(1100)	1*(25)	2×3
6-5/8'	3-1/2*REG	5-1/8*(130)	3-5/16*(1100)	1*(25)	2×3
7'	3-1/2*REG	5-3/8*(136)	3-5/16*(1100)	1-3/16*(30)	2×3
9-5/8'	4-1/2*REG	8*(203)	52*(1320)	2-1/4*(57)	2×5
13-3/8'	6-5/8*REG	11-1/4*(286)	59*(1500)	2-13/16*(71)	2×7

**FUENTE.** RUGAO YAOU CO., LTD. Herramientas de reacondicionamiento. {En línea}. {4 marzo de 2018} Disponible en: (<http://yaoumachinery.es/6-workover-tool.html>)

De acuerdo con Logan Oil Tools<sup>5</sup>, los raspadores generalmente están contruidos con un cuerpo, un retenedor de cuchillas, seis cuchillas raspadoras con resortes, dos anillos retenedores, un anillo de retención superior e inferior, y dos tornillos de fijación del anillo de retención.

En el mercado, se encuentran dos tipos de cuerpo de raspador. El primero es compacto y liso permitiendo que sea una pieza resistente. El otro cuerpo de raspador es el ranurado que se encarga de bloquear cada cuchilla en la parte integral del cuerpo para garantizar seguridad y protección.

Por otro lado, Logan Oil Tools tiene dos juegos de tres cuchillas. Estas cuchillas están fabricadas con acero fundido de alta calidad para que tengan una larga duración y sean excelentes en el momento de raspar. Todas las cuchillas están montadas sobre resortes, permitiendo que éstas se mantengan presionadas contra la superficie interna de la tubería.

<sup>5</sup> LOGAN OIL TOOLS. Casing Scrapers. {En línea}. {27 de febrero de 2018} Disponible en: (<http://www.rubicon-oilfield.com/wp-content/uploads/Rubicon-F620-Casing-Scrapers.pdf>)

Las cuchillas y los resortes son mantenidos en su lugar en el cuerpo del raspador con el retenedor de cuchillas y los dos anillos retenedores.

Por último, los dos tornillos de fijación son usados por seguridad para que los anillos no se muevan de su posición.

## 2.4 OPERACIÓN DEL RASPADOR CONVENCIONAL

El raspador normalmente se compone de la sarta de trabajo conectada a una broca a la conexión inferior. La operación es tan sencilla que solo consta en colocar el raspador dentro del revestimiento y darle movimiento recíproco a la sarta para limpiar la pared interior.

Para la compañía Odfjell Well Services<sup>6</sup>, los raspadores se deben operar teniendo en cuenta los siguientes ítems operacionales:

- Mientras se corre la herramienta en el hoyo, las cuchillas del raspador raspan la pared del revestimiento removiendo los restos de cemento y otros desechos.
- Los tapones de cemento se pueden perforar dentro del revestimiento según se requiera.
- Durante la corrida de la herramienta, la sarta de perforación puede rotarse o moverse recíprocamente para mejorar la limpieza del pozo sin temor a daños o desgaste en la tubería de perforación o en las herramientas de limpieza de pozo.

Para la debida operación del raspador se cuenta con la integridad de la herramienta. Esto tiene en cuenta que en las operaciones de limpieza de pozos, se pueden configurar con cualquier tipo de conexiones hacia la plataforma, incluidas las conexiones de torsión superior. Esto es necesario para que no se tengan que usar crossovers.

Así mismo, el mandril no tiene conexiones internas para que tenga una mayor resistencia en la operación del raspador.

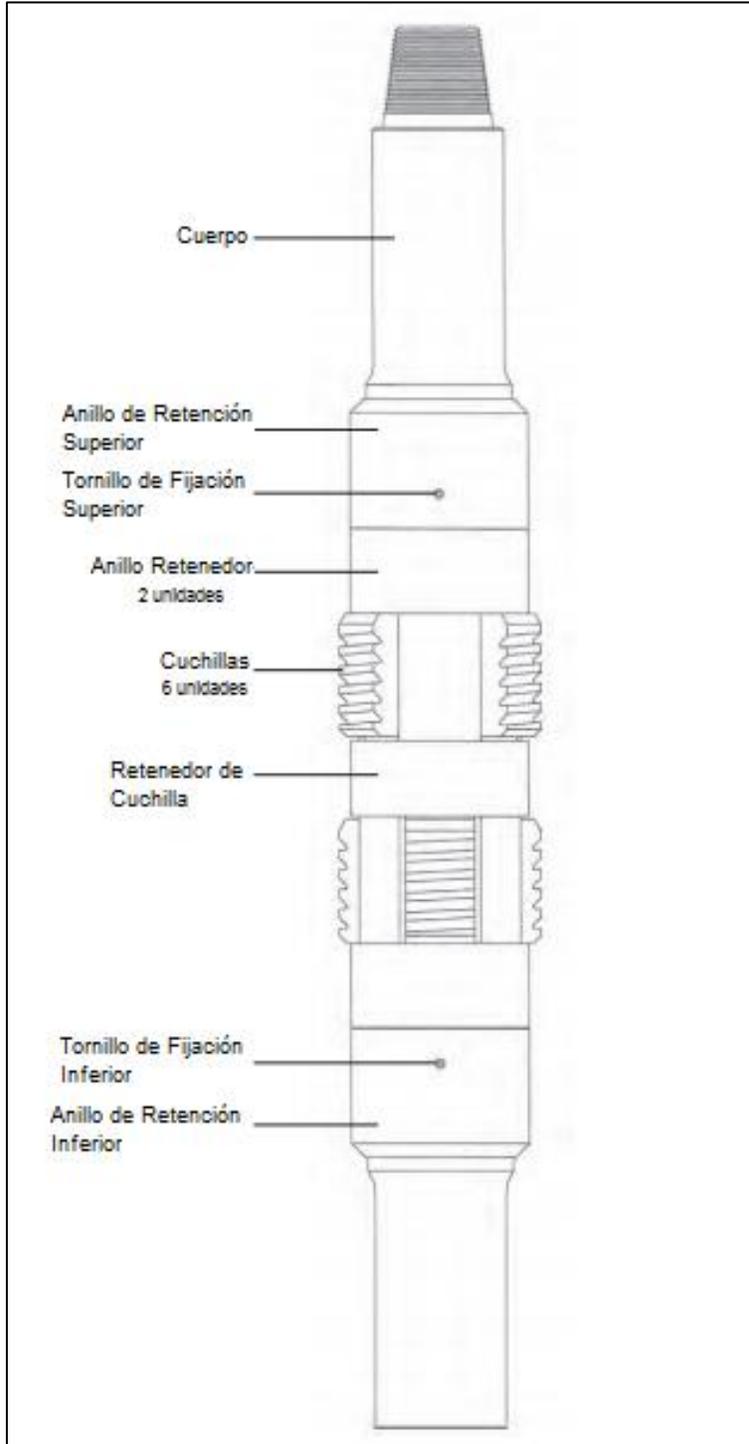
La operación del raspador es simple pero robusta, para que cada uno de los componentes de la herramienta sean funcionales y así disminuir los NPT durante la finalización del pozo, así como limpiar las obstrucciones que pueden ocasionar problemas en válvulas, componentes electrónicos, entre otros.

---

<sup>6</sup> ODFJELL WELL SERVICES. OWS Wellbore clean-up technology. {En Línea}. {4 de marzo del 2018}. ([https://www.odfjellwellservices.com/media/1363/razrdillo\\_casing\\_scraper\\_20170302.pdf](https://www.odfjellwellservices.com/media/1363/razrdillo_casing_scraper_20170302.pdf))

A continuación en la Figura 9 se pueden ver las partes que conforman al raspador y como se constituye este:

**Figura 9.** Construcción de un raspador convencional



**FUENTE.** LOGAN OIL TOOLS. Casing Scrapers. {En línea}. {27 de febrero de 2018} Disponible en: (<http://www.rubicon-oilfield.com/wp-content/uploads/Rubicon-F620-Casing-Scrapers.pdf>)

## 2.5 RASPADOR ROTATIVO COMÚN

Los raspadores convencionales no rotativos son los más utilizados en la industria dentro de las operaciones de mantenimiento de pozos, tienen sujetadas unas piezas llamadas cuchillas que con la ayuda de resortes les permiten entrar y salir generando la limpieza. Para su uso, la maniobra se limita a un movimiento recíproco “subida-bajada” lo cual genera un barrido parcial sobre la superficie interna de la tubería de revestimiento, quedando así residuos adheridos en las paredes, éstos ocasionan mínimas restricciones que puedan formar acumulaciones de los diferentes sólidos.

Dado lo anterior, las empresas buscando disminuir los NPT, se dedicaron a diseñar una herramienta cuya innovación realizada se basó en dos principales características las cuales son:

- a. **Rotación:** Es necesaria para hacer girar la herramienta y proporcionar una limpieza de 360° al revestimiento, además este movimiento ocasiona que el fluido tenga un comportamiento turbulento ayudando al transporte de los residuos sólidos y a la mezcla homogénea de productos químicos que contribuyan a la eliminación de éstos residuos.
- b. **Reciprocidad:** El movimiento alternativo generado en la herramienta que corresponde a subirla y bajarla para ir raspando los sólidos adheridos a la pared del revestimiento. Mediante este movimiento se generan oleadas del fluido mientras se empuja la tubería hacia abajo, lo que produce flujos turbulentos ayudando mecánicamente a mover los residuos del pozo.

Teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente se logró la construcción de un nuevo tipo de raspador, que además incluye en su diseño la presencia de cerdas metálicas que actúan como cepillos permitiendo lograr una mejor limpieza.

## 2.6 CONSTRUCCIÓN DEL RASPADOR ROTATIVO COMÚN

Fabricación en acero tratado térmicamente para brindar resistencia y durabilidad.

El cuerpo estriado de la herramienta aloja ocho hojas resortadas especialmente alineadas, para maximizar el raspado vertical y rotacional. Las cuchillas están diseñadas para proporcionar una acción de cizallamiento óptima mientras permite una buena circulación de fluido.

A continuación en la Figura 10, puede verse el diseño de un raspador rotativo:

**Figura 10.** Diseño Raspador Rotativo Común



**FUENTE.** Bilco Tools,INC {en línea} {27 de febrero de 2018} disponible en:  
<http://www.bilcotools.com/tough-boy-casing-scraper>

## **2.7 OPERACIÓN DEL RASPADOR ROTATIVO COMÚN**

El principio de funcionamiento del raspador rotativo está accionado mecánicamente por la rotación originada desde la sarta en la mesa rotaria que a su vez obtiene su rotación de un motor eléctrico. Para el correcto funcionamiento, es recomendable realizar una rotación de 30 - 60 RPM.

## **2.8 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA INEFICIENTE LIMPIEZA DEL REVESTIMIENTO Y GENERADOS POR EL RASPADOR**

Se debe tener en cuenta ciertas causas de la inadecuada limpieza que puede tener un revestimiento en el diámetro interno para poder evaluar los efectos que dan como resultado de dichas causas. En primer lugar, teniendo en cuenta la evaluación financiera, se tiene falta de recursos para la aplicación de nuevas prácticas en esa área y falta de la implementación de nuevas tecnologías en los raspadores. Por parte de la evaluación técnica, una causa de la ineficiente limpieza es no tener en cuenta los parámetros de limpieza después de un Drill Out.

Esto da como resultado, los problemas ocasionados por la ineficiente limpieza del revestimiento que son los siguientes:

- Mal sello de los empaques al revestimiento. Este es uno de los principales problemas que se pueden causar, ya que puede generar que la tubería de producción al estar mal adherida mediante los empaques, se caiga al fondo del pozo ocasionando posteriores operaciones de pesca.
- Dificultad en operaciones wireline. Se tendrán problemas para la operación en el recorrido a fondo de las herramientas y equipos si no se realiza la correcta limpieza.
- Mala calidad en la toma de registros de cementación, causando graficación errónea de los datos.
- Dificultad en bajar herramientas en el revestimiento en operaciones post cañoneo. Irregularidades dentro del revestimiento debido a la ineficiente limpieza harán que los recorridos tomen más tiempo. Pueden hasta generar un atascamiento de una herramienta.
- Aumento de gastos al repetir operaciones. Si se debe realizar nuevamente la toma de un registro debido a los datos erróneos, se incurrirán en gastos no planeados.

Así mismo, también hay problemas que pueden ser generados por el raspador al momento de operarse. Entre ellos están:

- Desgaste de material del revestimiento. Al ser una herramienta que exige el contacto físico directo entre materiales, existe cierto riesgo mínimo de que haya un desgaste en la superficie del material del revestimiento. Esto puede ser debido a las cuchillas que no sean compatibles con el material del

revestimiento. Sin embargo, ésto se debe evaluar previo a la operación para así evitar dicho desgaste.

- Mala operación de las cuchillas al momento de accionarse, puede generar un atascamiento de las herramientas durante el recorrido.
- Debido a la fricción de las cuchillas del raspador puede generar posibles grietas en el revestimiento, generando un serio problema y necesitando una cementación secundaria.

Cabe aclarar que los materiales que componen el raspador y sus cuchillas (acero al carbono) están diseñadas para que no afecten la integridad del revestimiento, sin embargo existe un mínimo margen de posible desgaste por la fricción.

## **2.9 RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO**

El raspador rotativo modificado es una herramienta con un diseño mejorado de tipo “todo en uno”, que en una sola pieza integra: set de cuchillas de grado superior fijadas al cuerpo de la herramienta, posicionadas en forma de espiral con un ángulo de ataque más agresivo para raspar la superficie interna del revestimiento, cuenta con una serie de cepillos de alta resistencia compuestos por cerdas metálicas retráctiles, que permiten ajustarse a la cara interior del revestimiento, barriendo pequeños desechos e impurezas presentes y cuenta con un área magnética que se encarga de recuperar todos los desechos metálicos.

Toda la herramienta rota sobre un eje, haciendo el proceso mucho más efectivo. Su movimiento es rotativo y recíproco a la vez.

La herramienta puede configurarse con sólo cepillos, sólo cuchillas o con mayor área magnética.

De acuerdo con lo anterior: el diseño de la herramienta permite el acople con un complemento nombrado por la empresa: “magneto espiralado rotacional”.

El magneto espiralado rotacional permite que los imanes roten sobre su eje haciendo más eficiente el proceso de recolección de residuos. El diseño mejora la capacidad del campo magnético y deja un canal más amplio para recoger residuos ferrosos sin afectar el diámetro externo de la herramienta evitando pegadas y obstrucciones en los viajes. El área y líneas de flujo con las que se diseñó la unidad permiten que el complemento rote al paso del fluido y recoja la carga ferrosa suspendida de manera mucho más eficiente. Los canales espiralados permiten que el material recuperado tenga un área suficiente para acumularse, sin incrementar el diámetro externo, evitando así que la herramienta pueda atascarse.

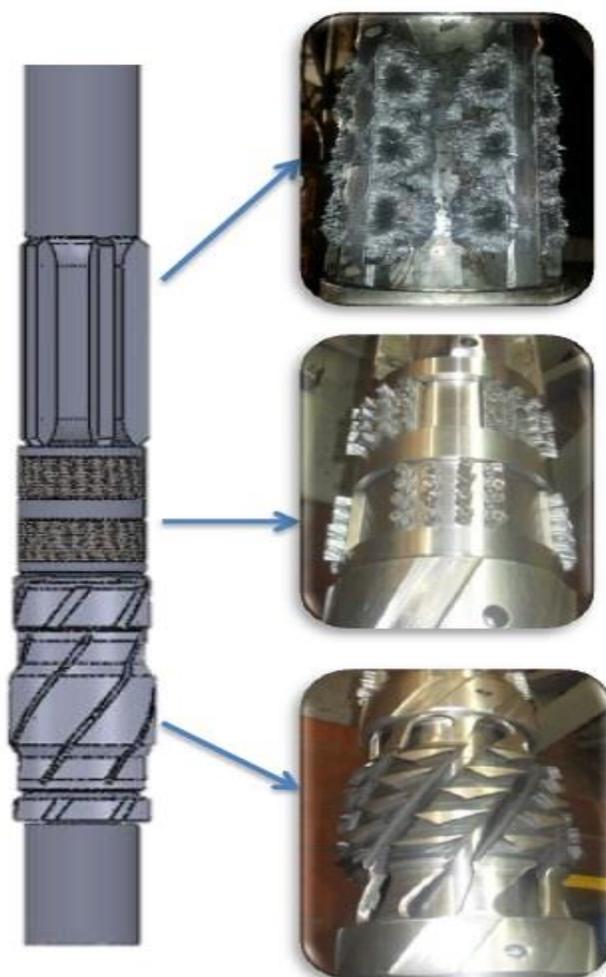
El espacio anular que tiene la herramienta (área total de flujo TFA) y su diseño espiralado minimiza la caída de presión anular del pozo.

## 2.10 CONSTRUCCIÓN DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO

Fabricación en acero de calidad superior, forma espiralada que mejora la acción de limpieza al recoger de inmediato los residuos metálicos y permitiendo mayor área total de flujo.

La herramienta posee un diseño “todo en uno” que en una sola pieza integra 3 sets de limpieza que se complementan entre sí: cuchillas, cepillos y área magnética. Observar **Figura 11**.

**Figura 11.** Diseño del raspador rotativo modificado.



**FUENTE.** Consorcio EMPESA NCT, modificado por el autor.

## 2.11 OPERACIÓN DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO

El principio de funcionamiento del raspador rotativo está accionado mecánicamente por la rotación originada desde la sarta en la mesa rotaria que a su vez obtiene su rotación de un motor eléctrico. Para el correcto funcionamiento, es recomendable realizar una rotación de 40 - 60 RPM.

Puede ser utilizado en sarta de perforación, molida de tapones, apertura de ventanas en el revestimiento, o como parte integral de la sarta de limpieza mecánica, para trabajos donde se esperen residuos metálicos grandes dentro del pozo.

## 2.12 PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LIMPIEZA CON RASPADORES

Para la correcta operación de limpieza con los raspadores dentro de los revestimientos de 7" en el campo Hato Nuevo, Consorcio EMPESA - NCT estableció con base en la similitud de profundidades entre pozos, el programa de limpieza de revestimiento con los siguientes parámetros<sup>2</sup>:

**2.12.1 Peso sobre el gancho.** Con un peso del bloque de 8 Klbs, y el factor de fricción usado fue de 0.25 en revestimiento. Se puede observar un peso bajando de 88.4 Klbs y un peso subiendo de 114.7 Klbs (Tabla 5).

**Tabla 5.** Peso sobre el gancho

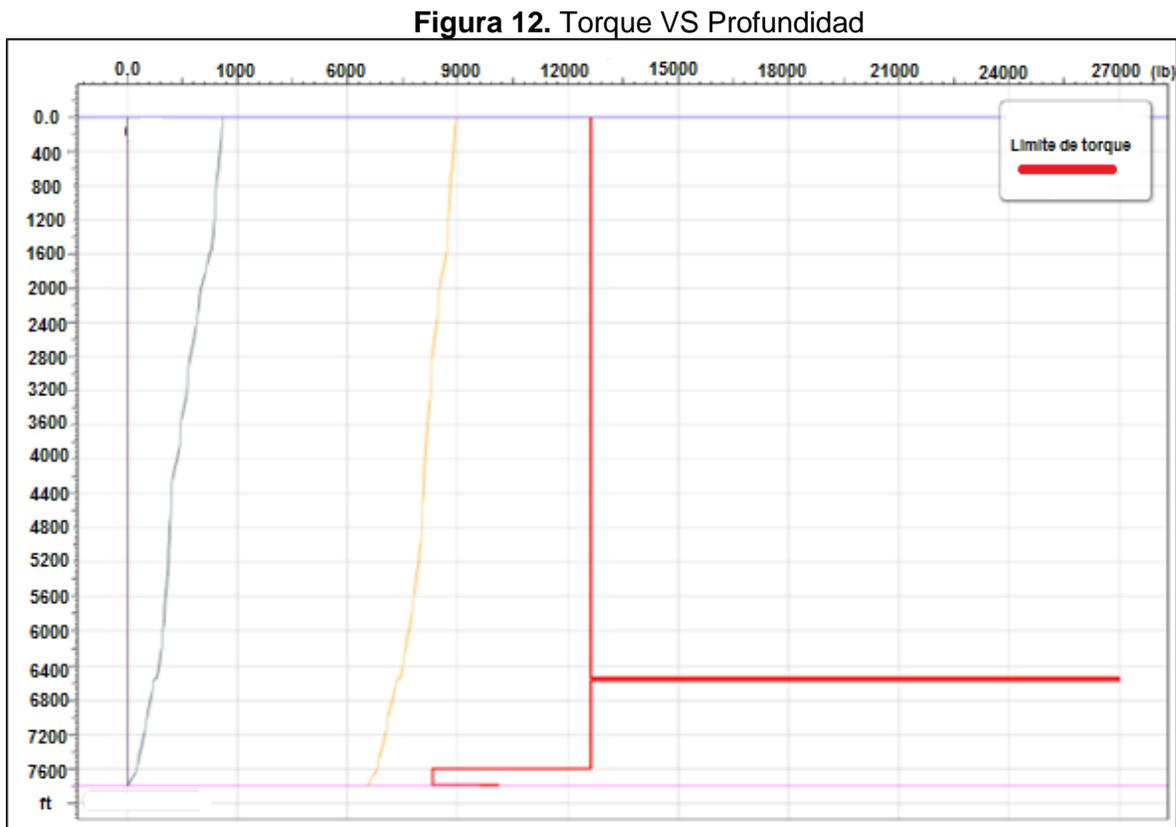
	Peso (Kips)
Peso Subiendo	114.7
Peso Bajando	88.4

**FUENTE.** Elaboración propia

<sup>2</sup> Consorcio EMPESA – NCT, Programa de limpieza de revestimiento, campo Hato Nuevo.

**2.12.2 Torque a lo largo de la sarta.** No se presenta alerta de torque durante el trabajo. Se está por debajo del límite de torque tanto para tubería como para las herramientas de fondo. (Figura 12)

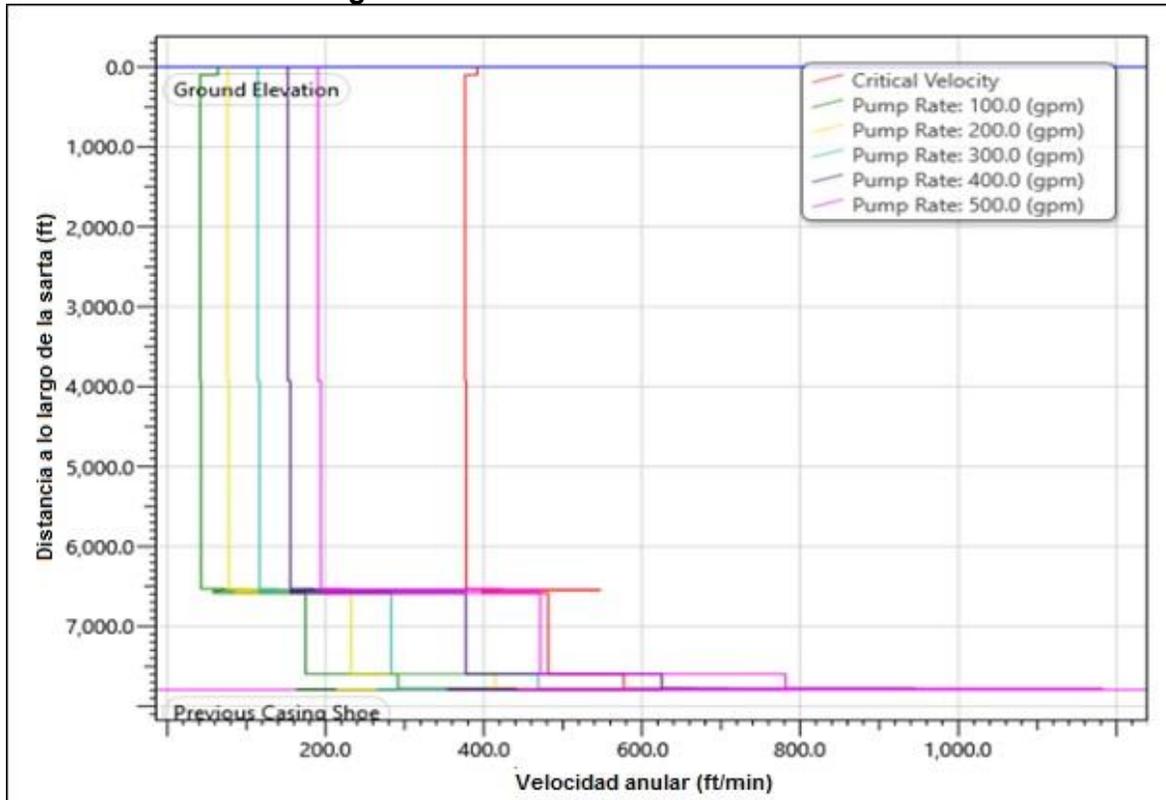
- A. Torque esperado en superficie para rotar la sarta: 2,599 lb-ft
- B. Torque esperado en superficie 8,982 lb-ft; con un peso en la broca de 20klbs y un torque en fondo de 6,500 ft-lbs.



**FUENTE.** Consorcio EMPESA – NCT, Modificado por el autor.

**2.12.3 Velocidad anular.** Para mantener una velocidad anular mayor o igual a 150 fpm, la rata de bombeo se requiere de mínimo 400 gpm que sería el mínimo recomendado. (Figura 13)

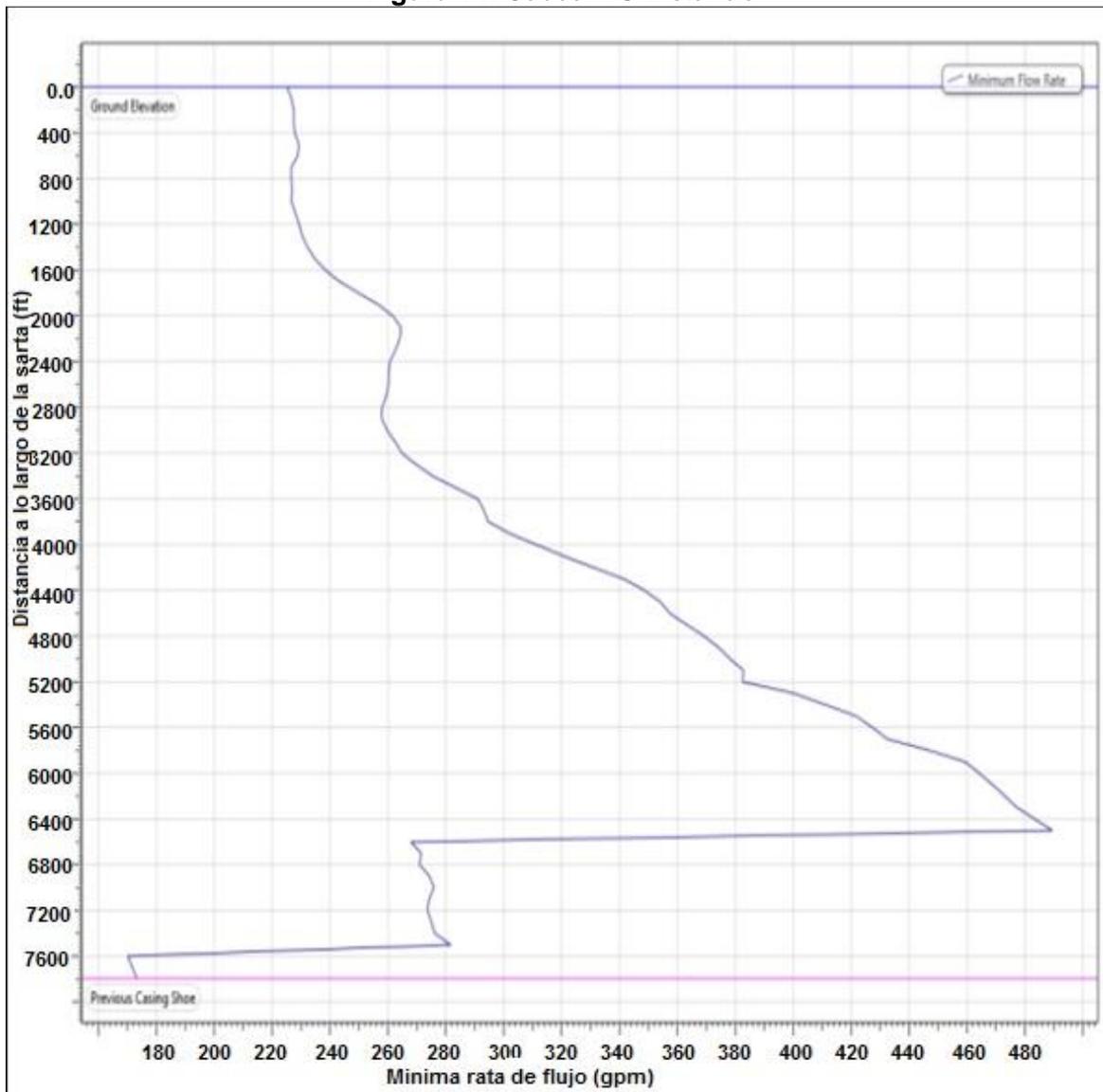
**Figura 13.** Velocidad Anular VS Distancia



**FUENTE.** Consorcio EMPESA – NCT, Modificado por el autor.

**2.12.4 Caudal de flujo.** Se recomienda una tasa de bombeo de mínimo 480 gpm para garantizar la evacuación de los sólidos suspendidos en el anular. (Figura 14)

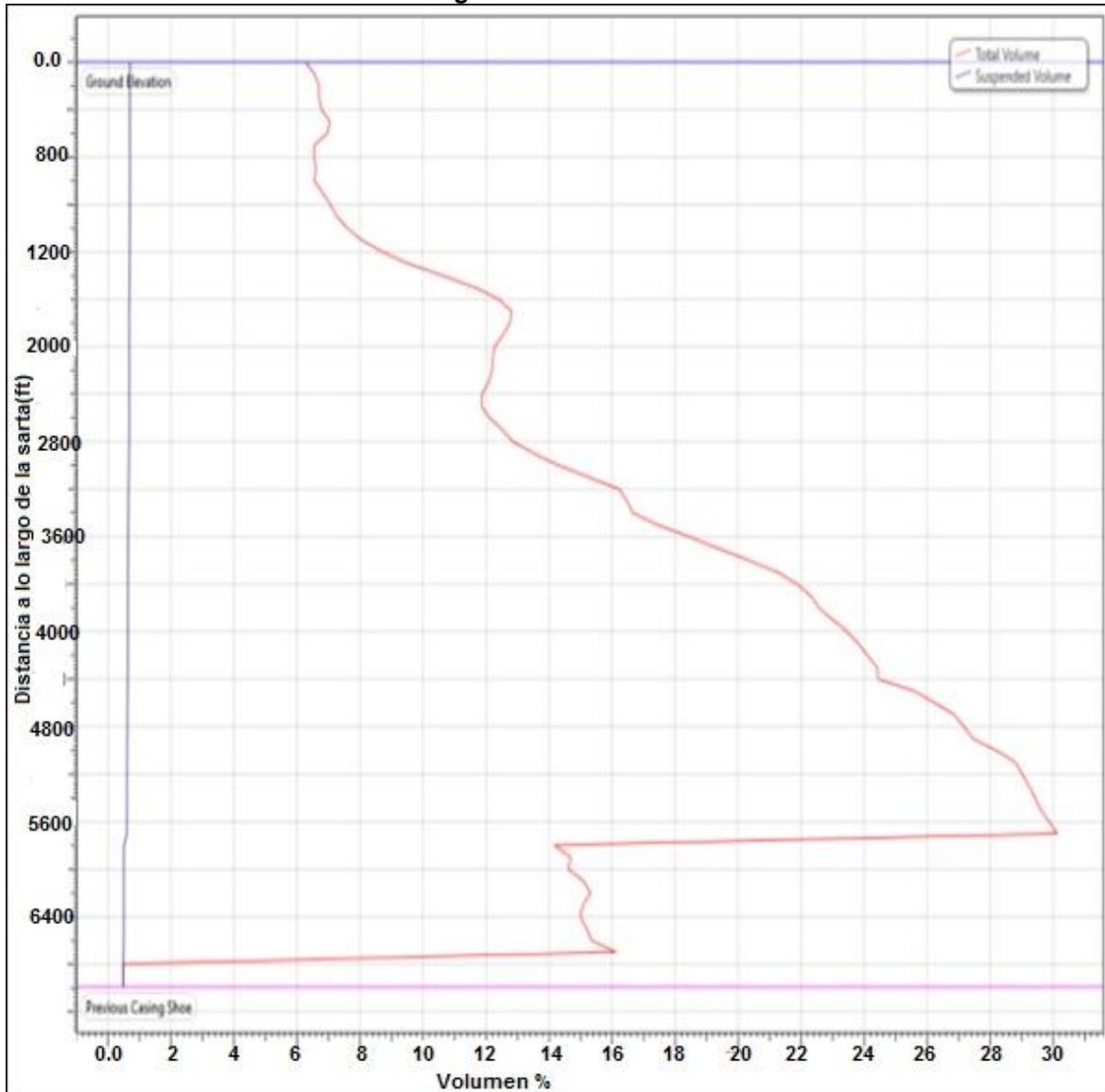
**Figura 14.** Caudal VS Distancia



**FUENTE.** Consorcio EMPESA – NCT, Modificado por el autor.

**2.12.5 Hidráulica de cortes.** Para tener un porcentaje de sólidos en suspensión menor al 1% se debe manejar un caudal mayor o igual a 480 gpm.

**Figura 15.** Hidráulica de cortes



**FUENTE.** Consorcio EMPESA – NCT, Modificado por el autor.

### 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PROCEDIMIENTOS CORRESPONDIENTES A LA CORRIDA DE LAS HERRAMIENTAS RASPADORAS EN EL POZO A2

En este capítulo se presenta el diseño de ensamble (Bottom Hole Assembly) utilizado en las operaciones de limpieza de revestimiento en el pozo A2. Las tres herramientas raspadoras fueron corridas en este pozo, y el BHA fue configurado de manera similar, variando únicamente el tipo de raspador. Lo dicho anteriormente es una gran ventaja para la evaluación técnica a realizar, ya que se podrá comparar la eficiencia de las herramientas en las mismas condiciones operativas y las mismas condiciones de pozo.

Se muestra también el procedimiento operativo para el raspador convencional y el procedimiento operativo correspondiente a las dos herramientas rotativas ya que la maniobra en pozo para ambas se realiza de manera similar.

#### 3.1 DISEÑO SARTA DE OPERACIÓN CON RASPADOR PARA EL POZO A2

Teniendo en cuenta que el pozo A2 es vertical, se diseñó un BHA sencillo de armar y operar, considerando la disponibilidad de las herramientas y equipos a usar.

Por lo anterior, el diseño del BHA incluye las siguientes herramientas:

- a. Broca
- b. Raspador
- c. Sustituto de acople caja x caja (Bit Sub).
- d. Tubería pesada de perforación (Heavy Weight Drill Pipe).
- e. Martillo (Jar).
- f. Tubería pesada de perforación (Heavy Weight Drill Pipe).

Se recomienda bajar siempre el BHA con tubería de perforación.

Usualmente los raspadores se corren con la caja hacia abajo<sup>8</sup>, por esto el diseño del ensamble lleva el sustituto entre el raspador y la tubería pesada de perforación. Las juntas de tubería pesada de perforación se usan por arriba y por debajo del martillo para asegurar su correcto accionar en caso de ser necesario.

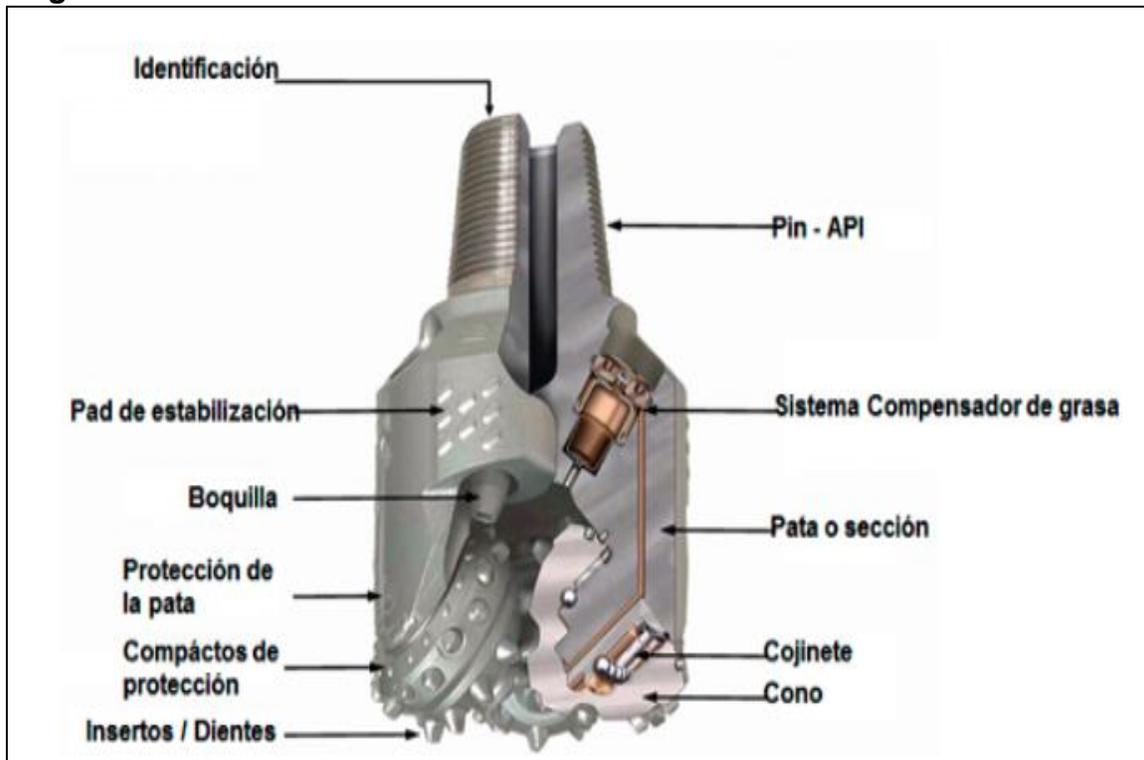
**3.1.1 Broca.** Este es el primer componente del BHA propuesto y su función es guiar y proteger el raspador, a la vez que sale el fluido de limpieza por sus boquillas ayudando a desprender residuos. También se utiliza para moler herramientas atrapadas en fondo y en operaciones de molienda de cemento. Para operaciones de perforación existen dos tipos de broca fundamentales: La broca

---

<sup>8</sup> NATIONAL OILWELL - Downhole Tools, BOWEN FULL CIRCLE CASING SCRAPERS - Instruction manual, Manual No. 5/6255

tricónica que aplasta, comprime y deforma la roca y por otro lado, la broca PDC (Diamante Compacto Policristalino) que barre la cara de la roca por medio de cortes. (Ver Figura 16)

**Figura 16.** Broca Tricónica.



**FUENTE.** GORDON, Orlando. Seminario de rocas de perforación. Nivel básico. Caracas. PDVSA, 2011

**3.1.2 Raspador.** La acumulación de residuos sólidos por cemento, incrustaciones, parafinas y asfáltenos en las tuberías de revestimiento; genera obstrucciones durante la corrida de herramientas en los pozos, lo que lleva a la necesidad de retirar los mismos mediante el uso de raspadores mecánicos.

**3.1.2.1 Raspador convencional.** Es una herramienta usada para realizar la remoción de incrustaciones o residuos de la superficie interna de la tubería de revestimiento. Su movimiento es reciproco “subida-bajada” (Ver Figura 17)

**Figura 17.** Raspador Convencional



**FUENTE.** BOTTA EQUIPMENT. Casing Scraper. {En línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: (<http://www.botta-equipment.com/content/catalog/casing-scraper>)

**3.1.2.2 Raspador rotativo.** El raspador rotativo es una herramienta de limpieza configurada y diseñada para cumplir con el objetivo de chocar al ras con las paredes internas de la tubería, provocando una limpieza del tipo mecánico. Se puede configurar con una sección de cepillos que al entrar en contacto con la superficie de la tubería logra desprender materiales que causan reducción del diámetro del revestimiento. (Ver Figura 18)

**Figura 18.** Raspador rotativo.



**FUENTE.** BILCO TOOLS INC {En línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: (<http://www.bilcotools.com/tough-boy-combo-scraper-brush>)

**3.1.2.3 Raspador rotativo modificado.** Es una herramienta de tipo “todo en 1” la cual integra, cuchillas raspadoras, cepillos y área magnética, logrando así una eficiencia superior en las operaciones de limpieza de tubería de revestimiento. (Ver figura 19)

**Figura 19.** Raspador rotativo modificado



**FUENTE.** Consorcio EMPESA - NCT. Modificado por el autor.

**3.1.3 Sustituto de acople (Bit Sub).** También llamado “Portabroca”, es una unión cuya conexión es caja – caja, en este caso se utiliza para conectar el raspador con la tubería pesada de perforación. (Ver Figura 20)

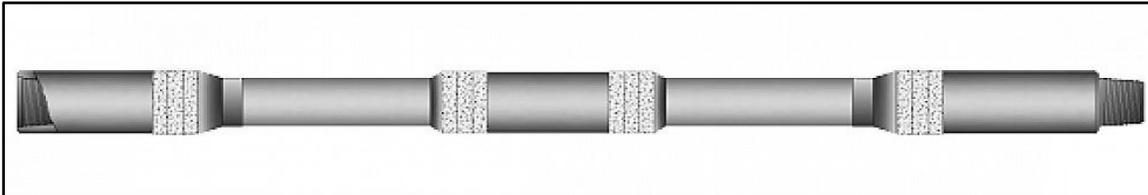
**Figura 20.** Bit Sub (box-box)



**FUENTE.** MAGNUM OIL TOOLS. Pump-Off Bit Sub. {En línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: (<http://www.magnumoiltools.com/products/pump-off-bit-sub>)

**3.1.4 Tubería pesada de perforación (Heavy Weight Drill Pipe).** Posee un peso mayor que la tubería de perforación (Drill Pipe), con dimensiones similares. Su función en el BHA es proveer peso para el correcto accionar del martillo, además provee peso sobre la broca. (Ver Figura 21)

**Figura 21.** Tubería Pesada de Perforación.



**FUENTE.** ROYAL WAGENBORG. Heavy Weight Drill Pipes. {En Línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: <https://www.wagenborg.com/our-companies/wagenborg-oilfield-services/services/drilling-tools-rental/heavy-weight-drill-pipes>

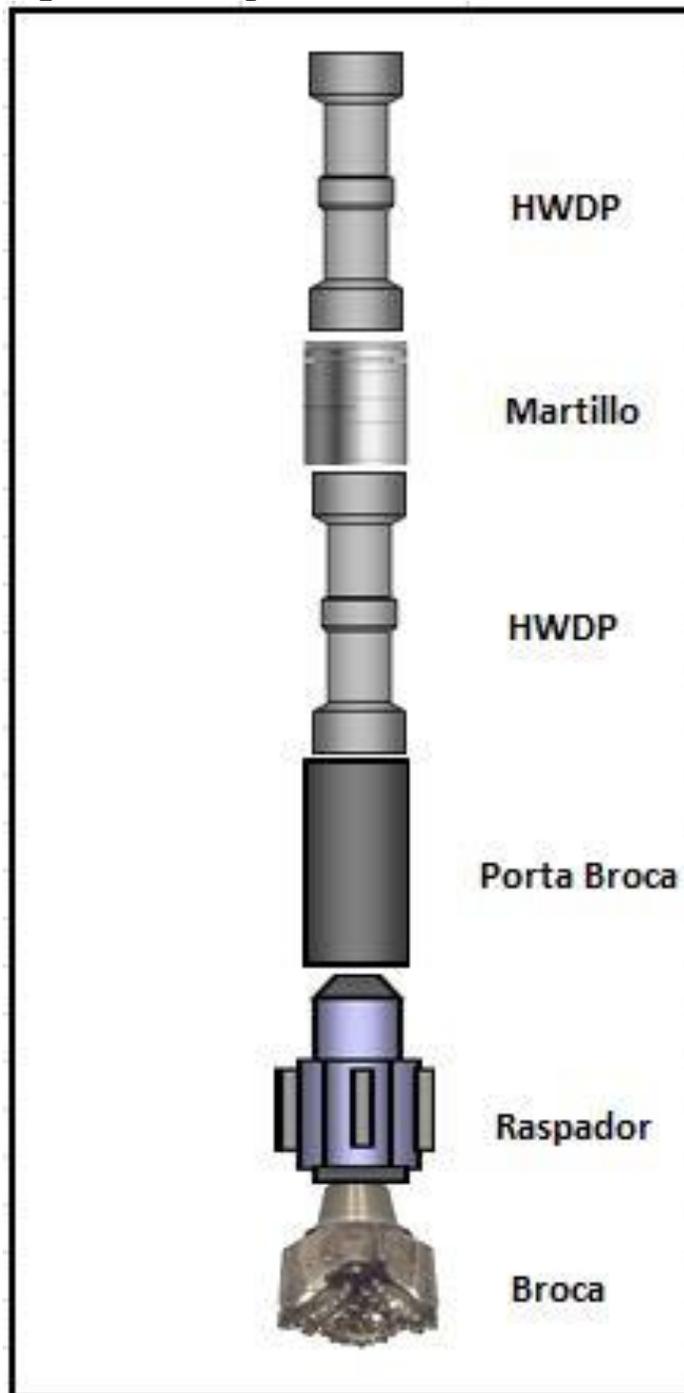
**3.1.5 Martillo (Jar).** Esta herramienta está diseñada para desarrollar un impacto en la sarta ya sea hacia arriba o hacia abajo, para que en caso de un atascamiento logre liberarse y así continuar con el recorrido. Los martillos son comúnmente usados en pozos desviados y así, en caso de pega de tubería, liberarse lo más pronto posible. Los martillos pueden ser mecánicos, hidráulicos o hidromecánicos. (Ver Figura 22)

**Figura 22.** Martillo mecánico.



**FUENTE.** GAOFENG PETRO. Jar Dual. {En Línea}. {28 de mayo de 2018}. Disponible en: ([http://www.gaofeng-petro.com/Products/Drilling-Jars/Mechanical-Drilling-Jar-Type-JZ.html#.W\\_4mLdtKjIU](http://www.gaofeng-petro.com/Products/Drilling-Jars/Mechanical-Drilling-Jar-Type-JZ.html#.W_4mLdtKjIU))

**Figura 23.** Configuración BHA.



**FUENTE.** Consorcio EMPESA - NCT. Modificado por el autor.

### 3.2 PROCEDIMIENTO OPERACIONAL DEL BHA CON EL RASPADOR CONVENCIONAL

Para los diferentes diámetros de revestimiento configurar BHA teniendo en cuenta los diámetros correctos de cada elemento y los pesos adecuados para el correcto funcionamiento del martillo.

#### 1. Armar BHA

<b>BHA :</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Broca tricónica	1
Raspador	1
Bit Sub	1
HWDP	7
Martillo	1
HWDP	20

2. Bajar BHA con tubería de perforación desde superficie hasta el tope del intervalo de interés.

**Nota:** Bajar con circulación últimos 200 pies para evitar taponamiento de la broca, circular con salmuera para controlar el pozo y tener buena limpieza.

3. Bajar a profundidad correspondiente a 1 junta de Drill Pipe.

**Nota:** Bajar tubo a tubo con circulación hasta profundidad base del intervalo de interés.

4. Reciprocarse 2 veces (arriba-abajo)

5. Girar la sarta  $\frac{1}{4}$  de vuelta

**Ejecutar pasos 4 y 5 un total de 4 veces.**

6. Repetir pasos 3 – 5 hasta alcanzar la profundidad de la base del intervalo de interés.

7. Bajar hasta profundidad de pozo.

8. Una vez en fondo circular con píldora viscosa para una mejor limpieza, circular hasta obtener retornos limpios en superficie.

9. Sacar BHA a superficie.

### 3.3 PROCEDIMIENTO OPERACIONAL DEL BHA CON EL RASPADOR ROTATIVO COMÚN O CON EL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO.

Para los diferentes diámetros de revestimiento configurar BHA teniendo en cuenta los diámetros correctos de cada elemento y los pesos adecuados para el correcto funcionamiento del martillo.

#### 1. Armar BHA.

<b>BHA :</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Broca tricónica	1
Raspador	1
Bit Sub	1
HWDP	7
Martillo	1
HWDP	20

2. Bajar BHA con tubería de perforación desde superficie hasta el tope del intervalo de interés.

**Nota:** Bajar con circulación últimos 200 pies para evitar taponamiento de la broca, circular con salmuera para controlar pozo y tener buena limpieza.

3. Empezar rotación de la sarta a 30 RPM

4. Bajar rotando la sarta hasta la profundidad base del intervalo de interés.

**Nota:**

- Bajar tubo a tubo con circulación hasta profundidad base del intervalo de interés.
- Repasar zona de cañoneo con rotación. **(2 veces)**

4. Detener rotación y bajar hasta el fondo del pozo.

5. Una vez en fondo circular con píldora viscosa para una mejor limpieza, circular hasta obtener retornos limpios en superficie.

6. Sacar BHA a superficie.

#### **4. INTERVENCIONES QUE REQUIRIERON LIMPIEZA DE REVESTIMIENTO EN POZOS DEL CAMPO HATO NUEVO**

En este capítulo se presentan los procedimientos de limpieza recomendados para cada pozo, también se presentan los reportes diarios de operaciones correspondientes a intervenciones en las cuales se utilizó raspador.

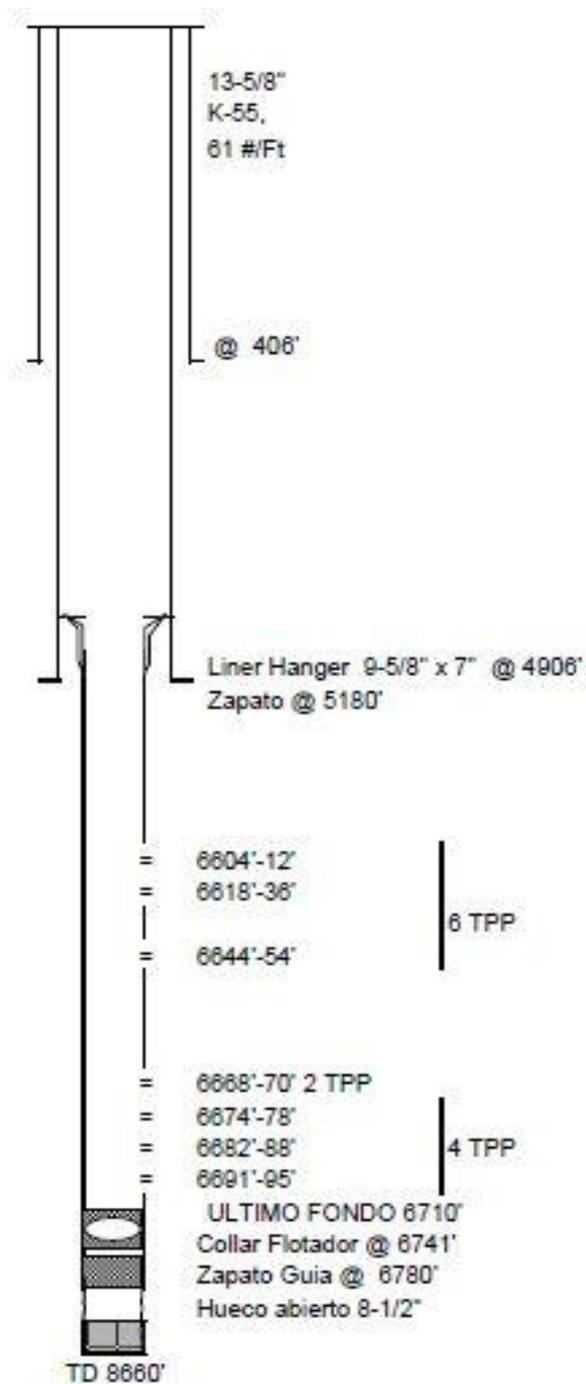
Los programas de limpieza de revestimiento se plantean con base en el diseño de cada pozo y es de suma importancia tenerlos en cuenta para cualquier intervención que se realice.

Cada una de las intervenciones realizada en un pozo se registra hora a hora en los reportes diarios de operaciones.

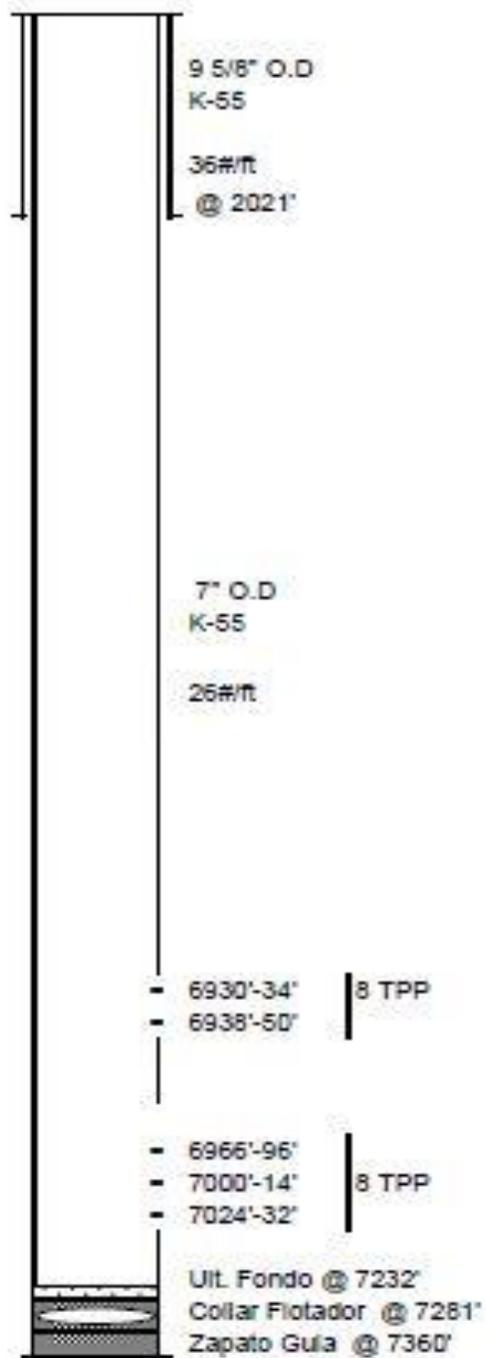
Los reportes diarios de operaciones servirán como punto de partida para la evaluación de resultados, mediante la comparación de las corridas.

A continuación se presenta el diseño del pozo A1 en la figura 24, y el diseño del pozo A2 en la Figura 25.

**Figura 24.** Diseño del pozo A1.



**FUENTE.** Consorcio EMPESA - NCT. Modificado por el autor.

**Figura 25.** Diseño del pozo A2.

**FUENTE.** Consorcio EMPESA - NCT. Modificado por el autor.

#### 4.1 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA CON RASPADOR CONVENCIONAL EN LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO DE LOS POZOS DEL CAMPO HATO NUEVO

Los pozos del campo Hato Nuevo cuentan con un diseño similar y todos poseen revestimiento de 7", por ello: en los procedimientos de raspado se utilizan las mismas configuraciones de BHA, sin embargo el pozo A1 difiere. Se muestra a continuación el procedimiento de limpieza para el pozo mencionado anteriormente y posteriormente se enseña el procedimiento para los demás pozos del campo.

**4.1.1 Procedimiento para el pozo A1.** Este pozo cuenta con revestimiento intermedio de 9 5/8" y Liner de producción de 7", por este motivo su limpieza se debe hacer en 2 sesiones, cada una con diferente diseño de BHA. Raspado sencillo para el revestimiento intermedio, minimizando costos operativos y para el Liner de producción: raspado completo en el intervalo de interés.

##### Limpieza de revestimiento de 9 5/8"

#### 1. Armar BHA # 1

BHA # 1:	
Elemento	Cantidad
Broca tricónica 8 1/2"	1
Raspador 9 5/8 "	1
Bit Sub	1
HWDP 5"	7
Martillo 4 3/4"	1
HWDP 5"	20

2. Bajar BHA # 1 con tubería de perforación de 4 1/2" desde superficie hasta 4890 pies de profundidad.

**Nota:** Bajar con circulación los últimos 200 pies para evitar taponamiento de la broca. Circular con salmuera de 8.4 lpg, a una rata de 250 galones por minuto.

3. Circular con salmuera de 8.4 lpg, a una rata de 300 gpm hasta obtener retornos limpios en superficie.

4. Sacar BHA # 1 a superficie.

## Limpeza de liner de producción de 7”

### 1. Armar BHA # 2

<b>BHA # 2:</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Broca tricónica 6 1/8”	1
Raspador 7 ”	1
Bit Sub	1
HWDP 5”	7
Martillo 4 3/4”	1
HWDP 5”	20

2. Bajar BHA # 2 con tubería de perforación de 4 1/2” desde superficie hasta 4900 pies de profundidad.

3. Bajar hasta 4910 pies, suavemente y con cuidado para minimizar choque en el tope del Liner hanger.

4. Bajar hasta profundidad de 6500 pies

**Nota:** Bajar con circulación los últimos 200 pies.

5. Bajar a profundidad correspondiente a 1 junta de DP.

**Nota:** bajar tubo a tubo con circulación hasta profundidad base del intervalo de interés.

6. Reciprocarse 2 veces (arriba-abajo)

7. Girar la sarta ¼ de vuelta

**Ejecutar los pasos 6 y 7 un total de 4 veces.**

8. Repetir los pasos 5 – 7 hasta alcanzar la profundidad de 6710 pies

15. Una vez en fondo circular con píldora viscosa para una mejor limpieza, circular a una tasa de 250 gpm hasta obtener retornos limpios en superficie.

16. Sacar BHA a superficie.

**4.1.2 Procedimiento para los pozos A2, A3 y A4.** Dada la similitud de los pozos A2, A3 y A4, ya que todos poseen revestimiento de 7" y profundidades semejantes, se mostrará a continuación un procedimiento de limpieza, donde se integran los intervalos y las profundidades de los 3 pozos.

### Limpieza de revestimiento de 7"

#### 1. Armar BHA # 1

<b>BHA # 1:</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Broca tricónica 6 1/8"	1
Raspador 7 "	1
Bit Sub	1
HWDP 5"	7
Martillo 4 3/4"	1
HWDP 5"	20

2. Bajar BHA # 1 con tubería de perforación de 4 1/2" desde superficie hasta profundidad de: (6900 pies; A2), (6740 pies; A3), (6500 pies; A4).

**Nota:** Bajar con circulación los últimos 200 pies para evitar taponamiento de la broca. Circular con salmuera de 8.4 lpg, a una rata de 250 galones por minuto.

3. Bajar a profundidad correspondiente a 1 junta de Drill Pipe.

**Nota:** bajar tubo a tubo con circulación hasta profundidad base del intervalo de interés

4. Reciprocar 2 veces (arriba-abajo)

5. Girar la sarta ¼ de vuelta

**Ejecutar los pasos 4 y 5 un total de 4 veces.**

6. Repetir pasos 3 – 5 hasta alcanzar la profundidad de: (7050 pies; A2), 6950 pies; A3), (7180 pies; A4).

7. Bajar hasta profundidad de (7200 pies; A2), (7040; A3), (7220 pies; A4).

8. Una vez en fondo circular con píldora viscosa para una mejor limpieza, circular a una rata de 250 gpm hasta obtener retornos limpios en superficie.

9. Sacar BHA a superficie.

## 4.2 PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA CON RASPADOR ROTATIVO Y RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO EN LAS TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO DE LOS POZOS DEL CAMPO HATO NUEVO

Los procedimientos operativos del raspador rotativo y el raspador rotativo modificado son iguales, a continuación se describe el proceso con las mismas características vistas anteriormente, ya que los pozos, tal y como se mencionó: “cuentan con un diseño similar y todos poseen revestimiento de 7”.

**4.2.1 Procedimiento para el pozo A1.** Se mostrará a continuación el procedimiento de limpieza para el pozo A1 ya que este es el único que posee otras condiciones y debe mostrarse por separado, posteriormente se enseñará el procedimiento con las herramientas rotativas para los demás pozos del campo.

### Limpeza de revestimiento de 9 5/8”

1. Armar BHA # 1.

BHA # 1:	
Elemento	Cantidad
Broca tricónica 8 1/2”	1
Raspador 9 5/8 ”	1
Bit Sub	1
HWDP 5”	7
Martillo 4 3/4”	1
HWDP 5”	20

2. Bajar BHA # 1 con tubería de perforación de 4 1/2” desde superficie hasta 4900 pies de profundidad.

**Nota:** Bajar con circulación los últimos 200 pies para evitar taponamiento de la broca. Circular con salmuera de 8.4 lpg, a una rata de 250 galones por minuto.

3. Circular con salmuera de 8.4 lpg, a una rata de 300 gpm hasta obtener retornos limpios en superficie.

4. Sacar BHA a superficie.

## Limpieza de Liner de 7"

### 1. Armar BHA # 2.

<b>BHA # 2:</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Broca tricónica 6 1/8 "	1
Scraper 7 "	1
Bit Sub	1
HWDP 5"	7
Martillo 4 3/4"	1
HWDP 5"	20

2. Bajar BHA # 2 con tubería de perforación de 4 1/2" desde superficie hasta 4900 pies de profundidad.

2. Bajar suavemente y con cuidado para minimizar choque en el tope del Liner hanger, bajar hasta 4910 pies.

3. Bajar hasta profundidad de 6500 pies

**Nota:** Bajar con circulación los últimos 200 pies

4. Empezar rotación de la sarta a 30 RPM

5. Bajar hasta fondo 6710 pies

**Nota:** Repasar zona de cañoneo con rotación. **(2 veces)**

6. Detener rotación.

7. Una vez en fondo circular con píldora viscosa para una mejor limpieza, circular a una rata de 250 gpm hasta obtener retornos limpios en superficie.

8. Sacar BHA a superficie.

### 4.2.2 Procedimiento para los pozos A2, A3 y A4.

De igual manera como se integraron en el procedimiento anterior los respectivos valores de profundidades e intervalos, debido a la similitud entre el diseño de los pozos, ahora se presenta el procedimiento con raspador rotativo y raspador rotativo modificado para los pozos A2, A3 y A4.

## Limpieza de revestimiento de 7"

### 1. Armar BHA # 1

<b>BHA # 1:</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Broca tricónica 6 1/8 "	1
Raspador 7 "	1
Bit sub	1
HWDP 5"	7
Martillo 4 3/4"	1
HWDP 5"	20

2. Bajar BHA # 1 con tubería de perforación de 4 1/2" desde superficie hasta profundidad de: (6900 pies; A2), (6740 pies; A3), (6500 pies; A4)

**Nota:** Bajar con circulación los últimos 200 pies

3. Empezar rotación de la sarta a 30 RPM

4. Bajar rotando la sarta hasta profundidad de (7050 pies; A2), (6950 pies; A3), (7180 pies; A4).

**Nota:** repasar zona de cañoneo con rotación. **(2 veces)**

5. Detener rotación y bajar hasta (7200 pies; A2), (7040 pies; A3), (7220 pies; A4)

6. Una vez en fondo circular con píldora viscosa para una mejor limpieza, circular a una rata de 250 gpm hasta obtener retornos limpios en superficie.

7. Sacar BHA a superficie.

### 4.3 HISTORIAL DE INTERVENCIONES CON USO DE RASPADOR EN LOS POZOS DEL CAMPO HATO NUEVO.

El historial de intervenciones se encuentra representado en los reportes diarios de operaciones, ya que en ellos se consigna toda la información de las operaciones realizadas en los pozos, se detallan los tiempos de cada operación registrando la hora de inicio y la hora de finalización, como también los intervalos de las corridas de herramientas, problemas, etc. De ésta manera es posible tener acceso a la información de las corridas de raspadores realizadas en el campo para su posterior análisis.

**NOTA:** Las modificaciones a los reportes hechas por el autor, corresponden a cambios de los números de servicios de los reportes, y omisión de las fechas de ejecución. Los servicios con numeración "0" corresponden a servicios ejecutados con raspador convencional, los "00" a rotativo y los "000" a rotativo modificado, ésto con el fin de facilitar al lector la comprensión de los reportes.

## 4.3.1 Intervenciones con uso de raspador en el pozo A1 del campo Hato Nuevo.

Tabla 6. Reporte de operaciones, servicio N° 01 pozo A1

REPORTES DIARIO DE OPERACIONES SERVICIO N° 01				POZO A1 – CAMPO HATO NUEVO	REGISTRO RBT
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
DÍA 1	11:00	11:30	00:30	Reunión pre-operacional	
	11:30	12:30	01:00	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida	
	12:30	13:30	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	13:30	14:00	00:30	Tensionar y liberar bomba inserta	
	14:00	23:00	09:00	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor (sinfín) desde 6600 ft (15 paradas dobles / hora)	
	23:00	00:00	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
DÍA 2	00:00	01:30	01:30	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	01:30	09:00	07:30	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6600 ft (15 paradas dobles / hora)	
	09:00	09:30	00:30	Armar BHA # 1	
	09:30	13:30	04:00	Bajar BHA # 1 a 4890 ft (20 paradas dobles / hora)	
	13:30	14:30	01:00	Circular fondo arriba	
	14:30	20:00	05:30	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	20:00	20:30	00:30	Armar BHA # 2	
	20:30	00:00	03:30	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)	
DÍA 3	00:00	02:00	02:00	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)	
	02:00	03:30	01:30	Limpieza con raspador zona de cañoneo (6500 ft - 6710 ft)	
	03:30	04:30	01:00	Circular fondo arriba	
	04:30	12:00	07:30	Subir BHA # 2 (15 paradas dobles / hora)	
	12:00	14:00	02:00	Bajar canasta de prueba <b>Observaciones: falla por restricciones en zona de cañoneo</b>	
	14:00	15:30	01:30	Subir canasta de prueba	
	15:30	16:00	00:30	Armar BHA # 2	
	16:00	21:30	05:30	Bajar BHA# 2 a 6410 ft (20 paradas dobles / hora)	
	21:30	23:30	02:00	Limpieza con raspador zona de cañoneo (6410 ft - 6710 ft)	
	23:30	00:00	00:30	Circular fondo arriba	
DÍA 4	00:00	00:30	00:30	Circular fondo arriba	
	00:30	08:00	07:30	Subir BHA # 2 (15 paradas dobles / hora)	
	08:00	09:00	01:00	Bajar canasta de prueba a 6710 ft (OK)	
	09:00	10:00	01:00	Subir canasta de prueba (OK)	

	10:00	11:30	<b>01:30</b>	Armado Unidad + RIH (120ft/min)
	11:30	12:00	<b>00:30</b>	Corrida registro RBT (30ft/min)(OK)
	12:00	13:30	<b>01:30</b>	POOH (120ft/min)+ desarme unidad
	13:30	19:00	<b>05:30</b>	Bajar sarta de tubería en dobles, hasta 6600 ft (20 paradas dobles / hora)
	19:00	20:30	<b>01:30</b>	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
	20:30	21:30	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	21:30	00:00	<b>02:30</b>	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6600 ft (20 paradas dobles / hora)
<b>DÍA 5</b>	00:00	04:00	<b>04:00</b>	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6600 ft (20 paradas dobles / hora)
	04:00	04:30	<b>00:30</b>	Asentar bomba
	04:30	05:30	<b>01:00</b>	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
	05:30	06:30	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	06:30	07:30	<b>01:00</b>	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida
<b>OBSERVACIONES</b>				Fallas por atascamiento durante bajada y subida de canasta, se requirió segunda limpieza de la zona de interés + 90ft más arriba (6410 ft - 6710 ft)

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 7.** Reporte de operaciones, servicio N° 02 pozo A1

<b>REPORTE DIARIO DE OPERACIONES SERVICIO N° 02</b>				<b>POZO A1 – CAMPO HATO NUEVO</b>	<b>REDISEÑO DE BOMBA</b>
	<b>INICIO</b>	<b>FIN</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>RESUMEN DE OPERACIONES</b>	
<b>DÍA 1</b>	11:00	11:30	<b>00:30</b>	Reunión pre-operacional	
	11:30	12:30	<b>01:00</b>	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida	
	12:30	13:30	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	13:30	14:00	<b>00:30</b>	Tensionar y liberar bomba inserta	
	14:00	23:00	<b>09:00</b>	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6600 ft (15 paradas dobles / hora)	
	23:00	00:00	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
<b>DÍA 2</b>	00:00	01:30	<b>01:30</b>	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	01:30	09:00	<b>07:30</b>	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6600 ft (15 paradas dobles / hora)	

	09:00	09:30	<b>00:30</b>	Armar BHA # 1
	09:30	13:30	<b>04:00</b>	Bajar BHA # 1 a 4890 ft (20 paradas dobles / hora)
	13:30	14:30	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba
	14:30	20:00	<b>05:30</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)
	20:00	20:30	<b>00:30</b>	Armar BHA # 2
	20:30	00:00	<b>03:30</b>	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)
<b>DÍA 3</b>	00:00	02:00	<b>02:00</b>	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)
	02:00	03:30	<b>01:30</b>	Limpieza con raspador zona de cañoneo (6500 ft - 6710 ft)
	03:30	04:30	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba
	04:30	12:00	<b>07:30</b>	Subir BHA # 2 (15 paradas dobles / hora)
	12:00	17:30	<b>05:30</b>	Bajar sarta de tubería en dobles hasta 6603 ft <b>Observaciones: restricción en liner a 6570 ft</b>
	17:30	00:00	<b>06:30</b>	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6570 ft (15 paradas dobles / hora)
<b>DÍA 4</b>	00:00	01:00	<b>01:00</b>	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6570 ft (15 paradas dobles / hora)
	01:00	01:30	<b>00:30</b>	Armar BHA # 2
	01:30	07:00	<b>05:30</b>	Bajar BHA# 2 a 6380 ft (20 paradas dobles / hora)
	07:00	09:00	<b>02:00</b>	Limpieza con raspador intervalo (6380 ft -6710 ft)
	09:00	10:00	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba
	10:00	17:30	<b>07:30</b>	Subir BHA # 2 (15 paradas dobles / hora)
	17:30	23:00	<b>05:30</b>	Bajar sarta de tubería en dobles, hasta 6603 ft (20 paradas dobles / hora)
	23:00	00:00	<b>01:00</b>	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
<b>DÍA 5</b>	00:00	00:30	<b>00:30</b>	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
	00:30	01:30	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	01:30	08:00	<b>06:30</b>	Bajar nueva configuración sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6603 ft (20 paradas dobles / hora)
	08:00	08:30	<b>00:30</b>	Asentar bomba
	08:30	09:30	<b>01:00</b>	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
	09:30	10:30	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	10:30	11:30	<b>01:00</b>	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida
<b>OBSERVACIONES</b>				Restricción durante bajada de tubería de producción @6570 ft, se requirió segunda limpieza en la zona de interés + 120ft más arriba (6380 ft - 6710 ft)

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 8.** Reporte de operaciones servicio N° 03 pozo A1

REPORTE DE SERVICIO N° 03				POZO A1 – CAMPO HATO NUEVO	LIMPIEZA DE PARAFINAS E INCRUSTACIONES
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
DÍA 1	09:30	10:00	00:30	Reunión pre-operacional	
	10:00	11:00	01:00	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida	
	11:00	12:00	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	12:00	12:30	00:30	Tensionar y liberar bomba inserta	
	12:30	21:30	09:00	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6603 ft (15 paradas dobles / hora)	
	21:30	22:30	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	22:30	00:00	01:30	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
DÍA 2	00:00	07:30	07:30	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6603 ft (15 paradas dobles / hora)	
	07:30	08:00	00:30	Armar BHA # 1	
	08:00	12:00	04:00	Bajar BHA # 1 a 4890 ft (20 paradas dobles / hora)	
	12:00	13:00	01:00	Circular fondo arriba	
	13:00	18:30	05:30	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	18:30	19:00	00:30	Armar BHA # 2	
	19:00	00:00	05:00	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)	
DÍA 3	00:00	00:30	00:30	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)	
	00:30	02:00	01:30	Limpieza con raspador zona de cañoneo (6500 ft - 6710 ft)	
	02:00	03:00	01:00	Circular fondo arriba	
	03:00	10:30	07:30	Subir BHA # 2 (15 paradas dobles / hora)	
	10:30	16:00	05:30	Bajar sarta de tubería en dobles, hasta 6603 ft (20 paradas dobles / hora)	
	16:00	17:30	01:30	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	17:30	18:30	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	18:30	00:00	05:30	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6603 ft (20 paradas dobles / hora)	
DÍA 4	00:00	01:00	01:00	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6603 ft (20 paradas dobles / hora)	
	01:00	01:30	00:30	Asentar bomba	
	01:30	02:30	01:00	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)	
	02:30	03:30	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	

	03:30	04:30	<b>01:00</b>	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida
<b>OBSERVACIONES</b>				
Programa de limpieza (OK) Sin novedades.				

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 9.** Reporte de operaciones servicio N° 0004 pozo A1

REPORTES DIARIO DE OPERACIONES SERVICIO N° 0004				POZO A1 – CAMPO HATO NUEVO	REDISEÑO DE BOMBA
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
<b>DÍA 1</b>	11:00	11:30	<b>00:30</b>	Reunión pre-operacional	
	11:30	12:30	<b>01:00</b>	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida	
	12:30	13:30	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	13:30	14:00	<b>00:30</b>	Tensionar y liberar bomba inserta	
	14:00	23:00	<b>09:00</b>	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6603 ft (15 paradas dobles / hora)	
	23:00	00:00	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
<b>DÍA 2</b>	00:00	01:30	<b>01:30</b>	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	01:30	09:00	<b>07:30</b>	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6603 ft (15 paradas dobles / hora)	
	09:00	09:30	<b>00:30</b>	Armar BHA # 1	
	09:30	13:30	<b>04:00</b>	Bajar BHA # 1 a 4890 ft (20 paradas dobles / hora)	
	13:30	14:30	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba	
	14:30	20:00	<b>05:30</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	20:00	20:30	<b>00:30</b>	Armar BHA # 2	
	20:30	00:00	<b>03:30</b>	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)	
<b>DÍA 3</b>	00:00	02:00	<b>02:00</b>	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)	
	02:00	04:00	<b>02:00</b>	Limpieza con raspador modificado @ 30 RPM, zona de cañoneo (6500 ft -6710 ft)	
	04:00	05:00	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba	
	05:00	12:30	<b>07:30</b>	Subir BHA # 2 (15 paradas dobles / hora)	
	12:30	18:00	<b>05:30</b>	Bajar sarta de tubería en dobles, hasta 6606 ft (20 paradas dobles / hora)	
	18:00	19:30	<b>01:30</b>	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	19:30	20:30	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	20:30	00:00	<b>03:30</b>	Bajar nueva configuración sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6606 ft (20 paradas dobles / hora)	

<b>DÍA 4</b>	00:00	03:00	<b>03:00</b>	Bajar nueva configuración sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6606 ft (20 paradas dobles / hora)
	03:00	03:30	<b>00:30</b>	Asentar bomba
	03:30	04:30	<b>01:00</b>	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
	04:30	05:30	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	05:30	06:30	<b>01:00</b>	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida
<b>OBSERVACIONES</b>			Programa según lo planeado (OK) Sin novedades.	

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 10.** Reporte de operaciones servicio N° 0005 pozo A1

<b>REPORTE DIARIO DE OPERACIONES SERVICIO N° 0005</b>				<b>POZO A1 – CAMPO HATO NUEVO</b>	<b>LIMPIEZA DE PARAFINAS E INCRUSTACIONES</b>
	<b>INICIO</b>	<b>FIN</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>RESUMEN DE OPERACIONES</b>	
<b>DÍA 1</b>	09:30	10:00	<b>00:30</b>	Reunión pre-operacional	
	10:00	11:00	<b>01:00</b>	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida	
	11:00	12:00	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	12:00	12:30	<b>00:30</b>	Tensionar y liberar bomba inserta	
	12:30	21:30	<b>09:00</b>	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6606 ft (15 paradas dobles / hora)	
	21:30	22:30	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	22:30	00:00	<b>01:30</b>	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
<b>DÍA 2</b>	00:00	07:30	<b>07:30</b>	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6606 ft (15 paradas dobles / hora)	
	07:30	08:00	<b>00:30</b>	Armar BHA # 1	
	08:00	12:00	<b>04:00</b>	Bajar BHA # 1 a 4890 ft (20 paradas dobles / hora)	
	12:00	13:00	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba	
	13:00	18:30	<b>05:30</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	18:30	19:00	<b>00:30</b>	Armar BHA # 2	
	19:00	00:00	<b>05:00</b>	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)	
<b>DÍA 3</b>	00:00	00:30	<b>00:30</b>	Bajar BHA# 2 a 6500 ft (20 paradas dobles / hora)	
	00:30	02:30	<b>02:00</b>	Limpieza con raspador modificado @ 30 RPM zona de cañoneo (6500 ft -6710 ft)	
	02:30	03:30	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba	
	03:30	11:00	<b>07:30</b>	Subir BHA # 2 (15 paradas dobles / hora)	

	11:00	16:30	<b>05:30</b>	Bajar sarta de tubería en dobles, hasta 6606 ft (20 paradas dobles / hora)
	16:30	18:00	<b>01:30</b>	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
	18:00	19:00	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	19:00	00:00	<b>05:00</b>	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6606 ft (20 paradas dobles / hora)
<b>DÍA 4</b>	00:00	01:30	<b>01:30</b>	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6606 ft (20 paradas dobles / hora)
	01:30	02:00	<b>00:30</b>	Asentar bomba
	02:00	03:00	<b>01:00</b>	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
	03:00	04:00	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	04:00	05:00	<b>01:00</b>	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida
<b>OBSERVACIONES</b>		Programa de limpieza (OK) Sin novedades.		

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

#### 4.3.2 Intervenciones con uso de raspador en el pozo A2 del campo Hato Nuevo.

**Tabla 11.** Reporte de operaciones, servicio N° 01 pozo A2

REPORTE DE SERVICIO N° 01				POZO A2 – CAMPO HATO NUEVO	TOMA DE REGISTRO PLT
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
<b>DÍA 1</b>	02:00	02:30	<b>00:30</b>	Reunión pre-operacional	
	02:30	03:30	<b>01:00</b>	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida	
	03:30	04:30	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	04:30	05:00	<b>00:30</b>	Tensionar y liberar bomba inserta	
	05:00	14:00	<b>09:00</b>	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
	14:00	15:00	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	15:00	16:30	<b>01:30</b>	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	16:30	00:00	<b>07:30</b>	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
<b>DÍA 2</b>	00:00	00:30	<b>00:30</b>	Armar BHA # 1	
	00:30	06:30	<b>06:00</b>	Bajar BHA # 1 a 6900 ft (20 paradas dobles / hora)	
	06:30	07:30	<b>01:00</b>	Limpieza con raspador zona de cañoneo (6900 ft -	

				7050 ft)
	07:30	09:00	01:30	Circular fondo arriba
	09:00	17:00	08:00	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)
	17:00	19:00	02:00	Bajar canasta de prueba <b>Observaciones: Restricción</b>
	19:00	20:00	01:00	Subir canasta de prueba
	20:00	20:30	00:30	Armar BHA # 1
	20:30	00:00	03:30	Bajar BHA # 1 a 6800 ft (20 paradas dobles / hora)
DÍA 3	00:00	02:30	02:30	Bajar BHA # 1 a 6800 ft (20 paradas dobles / hora)
	02:30	04:30	02:00	Limpieza con raspador intervalo (6800 ft -7100 ft)
	04:30	06:00	01:30	Circular fondo arriba
	06:00	14:00	08:00	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)
	14:00	15:30	01:30	Bajar canasta de prueba (OK)
	15:30	16:30	01:00	Subir canasta de prueba
	16:30	00:00	07:30	Armado de sarta PLT, RIH wireline con running tool y sarta, corridas a 30; 60; 90 ft/min. Pruebas de flujo, estabilización de pozo por 12 horas. Corridas a 30; 60; 90 ft/min. POOH wireline y sarta.
DÍA 4	00:00	00:00	24:00	Armado de sarta PLT, RIH wireline con running tool y sarta, corridas a 30; 60; 90 ft/min. Pruebas de flujo, estabilización de pozo por 12 horas. Corridas a 30; 60; 90 ft/min. POOH wireline y sarta
DÍA 5	00:00	04:30	04:30	Armado de sarta PLT, RIH wireline con running tool y sarta, corridas a 30; 60; 90 ft/min. Pruebas de flujo, estabilización de pozo por 12 horas. Corridas a 30; 60; 90 ft/min. POOH wireline y sarta.
	04:30	10:30	06:00	Bajar sarta de tubería en dobles, hasta 6920 ft (20 paradas dobles / hora)
	10:30	12:00	01:30	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
	12:00	13:00	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	13:00	20:00	07:00	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6920 ft (20 paradas dobles / hora)
	20:00	20:30	00:30	Asentar bomba
	20:30	21:30	01:00	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
	21:30	22:30	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	22:30	23:30	01:00	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida
<b>OBSERVACIONES</b>				Por restricción se requirió segundo viaje de limpieza 100 ft por arriba y 50ft por debajo del intervalo de interés.

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 12.** Reporte de operaciones, servicio N° 002 pozo A2

REPORTE DE SERVICIO N° 002				POZO A2 – CAMPO HATO NUEVO	LIMPIEZA DE PARAFINAS
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
DÍA 1	02:00	02:30	00:30	Reunión pre-operacional	
	02:30	03:30	01:00	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida	
	03:30	04:30	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	04:30	05:00	00:30	Tensionar y liberar bomba inserta	
	05:00	14:00	09:00	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
	14:00	15:00	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	15:00	16:30	01:30	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	16:30	00:00	07:30	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
DÍA 2	00:00	00:30	00:30	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
	00:30	01:00	00:30	Armar BHA # 1	
	01:00	07:00	06:00	Bajar BHA # 1 a 6900 ft (20 paradas dobles / hora)	
	07:00	08:30	01:30	Limpieza con raspador rotativo @ 30 RPM (6900 ft - 7080 ft)	
	08:30	09:30	01:00	Circular fondo arriba	
	09:30	17:30	08:00	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	17:30	00:00	06:30	Bajar sarta de tubería en dobles, hasta 6920 ft	
DÍA 3	00:00	01:30	01:30	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	01:30	02:30	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	02:30	09:00	06:30	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6920 ft (20 paradas dobles / hora)	
	09:00	09:30	00:30	Asentar bomba	
	09:30	10:30	01:00	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)	
	10:30	11:30	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	11:30	12:30	01:00	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida	
<b>OBSERVACIONES</b>				Programa de limpieza según lo previsto (OK) Sin novedades.	

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 13.** Reporte de operaciones, servicio N° 0003 pozo A2

REPORTE DE SERVICIO N° 0003				POZO A2 – CAMPO HATO NUEVO	REGISTRO CEMENTO Y RECAÑONEO
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
DÍA 1	11:00	11:30	00:30	Reunión pre-operacional	
	11:30	12:30	01:00	Retirar el horse head (caremulo)	
	12:30	13:00	00:30	Retirar barra pulida y stuffing box	
	13:00	14:00	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	14:00	14:30	00:30	Tensionar y liberar bomba inserta	
	14:30	23:30	09:00	Subir sarta de varillas en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
	23:30	00:00	00:30	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
DÍA 2	00:00	00:30	00:30	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	00:30	02:00	01:30	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	02:00	09:30	07:30	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
	09:30	10:00	00:30	Armar BHA # 1	
	10:00	15:30	05:30	Bajar BHA# 1 a 6900 ft (20 paradas dobles / hora)	
	15:30	17:00	01:30	Limpieza con raspador modificado @ 30 RPM (6900 ft -7080 ft)	
	17:00	18:00	01:00	Circular fondo arriba	
	18:00	00:00	06:00	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
DÍA 3	00:00	02:00	02:00	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	02:00	00:00	22:00	Armado sarta de cañones, RIH sarta, correlación GR. Cañoneo, POOH	

<b>DÍA 4</b>	00:00	00:00	<b>24:00</b>	Armado sarta de cañones, RIH sarta, correlación GR. Cañoneo, POOH
<b>DÍA 5</b>	00:00	04:30	<b>04:30</b>	Armado sarta de cañones, RIH sarta, correlación GR. Cañoneo, POOH
	04:30	05:00	<b>00:30</b>	Armar BHA # 1
	05:00	10:30	<b>05:30</b>	Bajar BHA# 1 a 6900 ft (20 paradas dobles / hora)
	10:30	12:00	<b>01:30</b>	Limpieza con raspador modificado @ 30 RPM (6900 ft -7080 ft)
	12:00	13:00	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba
	13:00	21:00	<b>08:00</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)
	21:00	00:00	<b>03:00</b>	Bajar sarta de tubería en dobles hasta 6920 ft (20 paradas dobles / hora)
<b>DÍA 6</b>	00:00	03:00	<b>03:00</b>	Bajar sarta de tubería en dobles hasta 6920 ft (20 paradas dobles / hora)
	03:00	04:30	<b>01:30</b>	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
	04:30	05:30	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	05:30	12:00	<b>06:30</b>	Bajar sarta de varillas en dobles, hasta 6920 ft (20 paradas dobles / hora)
	12:00	12:30	<b>00:30</b>	Asentar bomba
	12:30	13:30	<b>01:00</b>	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
	13:30	14:30	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	14:30	15:00	<b>00:30</b>	Instalar barra pulida y stuffing box
	15:00	16:00	<b>01:00</b>	Instalar horse head
<b>OBSERVACIONES</b>			Programa según lo previsto (OK) Sin novedades.	

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

Tabla 14. Reporte de operaciones, servicio N° 04 pozo A2

REPORTE DE SERVICIO N° 04				POZO A2 – CAMPO HATO NUEVO	AISLAMIENTO DE ZONA
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
DÍA 1	03:00	03:30	00:30	Reunión pre-operacional	
	03:30	04:30	01:00	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida	
	04:30	05:30	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	05:30	06:00	00:30	Tensionar y liberar bomba inserta	
	06:00	15:00	09:00	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
	15:00	16:00	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	16:00	17:30	01:30	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	17:30	00:00	06:30	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
DÍA 2	00:00	01:00	01:00	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)	
	01:00	01:30	00:30	Armar BHA # 1	
	01:30	07:30	06:00	Bajar BHA # 1 a 6900 ft (20 paradas dobles / hora)	
	07:30	08:30	01:00	Limpieza con raspador zona de cañoneo (6900 ft - 7050 ft)	
	08:30	09:30	01:00	Circular fondo arriba	
	09:30	17:30	08:00	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	17:30	23:30	06:00	Bajar empaque con sarta de tubería, hasta 6960 ft (20 paradas dobles / hora)	
	23:30	00:00	00:30	Asentar empaque	
DÍA 3	00:00	00:30	00:30	Subir sarta de tubería, <b>desde 6960 ft hasta 6920 ft</b>	
	00:30	02:00	01:30	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	02:00	03:00	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	03:00	09:30	06:30	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6920 ft (20 paradas dobles / hora)	
	09:30	10:00	00:30	Asentar bomba	
	10:00	11:00	01:00	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)	
	11:00	12:00	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	12:00	13:00	01:00	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida	
<b>OBSERVACIONES</b>				Programa según lo previsto (OK) Sin novedades.	

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 15.** Reporte de operaciones, servicio N° 0005 pozo A2

REPORTE DE SERVICIO N° 0005			POZO A2 – CAMPO HATO NUEVO	AISLAMIENTO DE ZONA
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES
DÍA 1	03:00	03:30	00:30	Reunión pre-operacional
	03:30	04:30	01:00	Retirar motor PCP de superficie y barra pulida
	04:30	05:30	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	05:30	06:00	00:30	Tensionar y liberar bomba inserta
	06:00	15:00	09:00	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)
	15:00	16:00	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	16:00	17:30	01:30	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
	17:30	00:00	06:30	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)
DÍA 2	00:00	01:00	01:00	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6920 ft (15 paradas dobles / hora)
	01:00	01:30	00:30	Armar BHA # 1
	01:30	07:30	06:00	Bajar BHA # 1 a 6900 ft (20 paradas dobles / hora)
	07:30	08:00	00:30	Limpieza con raspador modificado @ 30 RPM, intervalo (6900 ft -6958 ft)
	08:00	09:00	01:00	Circular fondo arriba
	09:00	17:00	08:00	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)
	17:00	23:00	06:00	Bajar empaque con sarta de tubería, hasta 6952 ft (20 paradas dobles / hora)
	23:00	23:30	00:30	Asentar empaque
	23:30	00:00	00:30	Subir sarta de tubería, <b>desde 6952 ft hasta 6920 ft</b>
DÍA 3	00:00	01:30	01:30	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
	01:30	02:30	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	02:30	09:00	06:30	Bajar sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6920 ft (20 paradas dobles / hora)
	09:00	09:30	00:30	Asentar bomba
	09:30	10:30	01:00	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
	10:30	11:30	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla

	11:30	00:00	<b>00:30</b>	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida
<b>OBSERVACIONES</b>				
Programa según lo previsto (OK) Sin novedades.				

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

#### 4.3.3 Intervenciones con uso de raspador en el pozo A3 del campo Hato Nuevo.

**Tabla 16.** Reporte de operaciones, servicio N° 01 pozo A3

REPORTE DE SERVICIO N° 01				POZO A3 – CAMPO HATO NUEVO	REDISEÑO DE BOMBA
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
DÍA 1	11:00	11:30	<b>00:30</b>	Reunión pre-operacional	
	11:30	12:30	<b>01:00</b>	Retirar el horse head (caremulo)	
	12:30	13:00	<b>00:30</b>	Retirar barra pulida y stuffing box	
	13:00	14:00	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	14:00	14:30	<b>00:30</b>	Tensionar y liberar bomba inserta	
	14:30	23:30	<b>09:00</b>	Subir sarta de varillas en dobles, desde 6816 ft (15 paradas dobles / hora)	
	23:30	00:00	<b>00:30</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
DÍA 2	00:00	00:30	<b>00:30</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	00:30	02:00	<b>01:30</b>	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	02:00	09:30	<b>07:30</b>	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6816 ft (15 paradas dobles / hora)	
	09:30	10:00	<b>00:30</b>	Armar BHA # 1	
	10:00	15:30	<b>05:30</b>	Bajar BHA# 1 a 6740 ft (20 paradas dobles / hora)	
	15:30	17:00	<b>01:30</b>	Limpieza con raspador zona de cañoneo (6740 ft - 6950 ft)	
	17:00	18:00	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba	
	18:00	00:00	<b>06:00</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
DÍA 3	00:00	02:00	<b>02:00</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	02:00	08:00	<b>06:00</b>	Bajar sarta de tubería en dobles hasta 6819 ft (20 paradas dobles / hora)	
	08:00	09:30	<b>01:30</b>	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	09:30	10:30	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	

10:30	17:00	<b>06:30</b>	Bajar nueva configuración sarta de varillas en dobles, hasta 6819 ft (20 paradas dobles / hora)
17:00	17:30	<b>00:30</b>	Asentar bomba
17:30	18:30	<b>01:00</b>	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
18:30	19:30	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
19:30	20:00	<b>00:30</b>	Instalar barra pulida y stuffing box
20:00	21:00	<b>01:00</b>	Instalar horse head
<b>OBSERVACIONES</b>			Rediseño según lo previsto (OK) Sin novedades.

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 17.** Reporte de operaciones, servicio N° 002 pozo A3

REPORTE DE SERVICIO N° 002				POZO A3 – CAMPO HATO NUEVO	REGISTRO CEMENTO Y RECAÑONEO
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
<b>DÍA 1</b>	11:00	11:30	<b>00:30</b>	Reunión pre-operacional	
	11:30	12:30	<b>01:00</b>	Retirar el horse head (caremulo)	
	12:30	13:00	<b>00:30</b>	Retirar barra pulida y stuffing box	
	13:00	14:00	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	14:00	14:30	<b>00:30</b>	Tensionar y liberar bomba inserta	
	14:30	23:30	<b>09:00</b>	Subir sarta de varillas en dobles, desde 6816 ft (15 paradas dobles / hora)	
	23:30	00:00	<b>00:30</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
<b>DÍA 2</b>	00:00	00:30	<b>00:30</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	00:30	02:00	<b>01:30</b>	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	02:00	09:30	<b>07:30</b>	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6816 ft (15 paradas dobles / hora)	
	09:30	10:00	<b>00:30</b>	Armar BHA # 1	
	10:00	15:30	<b>05:30</b>	Bajar BHA# 1 a 6740 ft (20 paradas dobles / hora)	
	15:30	17:30	<b>02:00</b>	Limpieza con raspador rotativo @ 30 RPM (6740 ft - 6950 ft)	
	17:30	18:30	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba	
	18:30	00:00	<b>05:30</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
<b>A</b>	00:00	02:30	<b>02:30</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	

	02:30	00:00	<b>21:30</b>	Armado sarta de cañones, RIH sarta, correlación GR. Cañoneo, POOH
<b>DÍA 4</b>	00:00	00:00	<b>24:00</b>	Armado sarta de cañones, RIH sarta, correlación GR. Cañoneo, POOH
<b>DÍA 5</b>	00:00	04:30	<b>04:30</b>	Armado sarta de cañones, RIH sarta, correlación GR. Cañoneo, POOH
	04:30	05:00	<b>00:30</b>	Armar BHA # 1
	05:00	10:30	<b>05:30</b>	Bajar BHA# 1 a 6740 ft (20 paradas dobles / hora)
	10:30	12:30	<b>02:00</b>	Limpieza con raspador rotativo @ 30 RPM (6740 ft - 6950 ft)
	12:30	13:30	<b>01:00</b>	Circular fondo arriba
	13:30	21:30	<b>08:00</b>	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)
	21:30	00:00	<b>02:30</b>	Bajar sarta de tubería en dobles hasta 6816 ft (20 paradas dobles / hora)
<b>DÍA 6</b>	00:00	03:30	<b>03:30</b>	Bajar sarta de tubería en dobles hasta 6816 ft (20 paradas dobles / hora)
	03:30	05:00	<b>01:30</b>	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería
	05:00	06:00	<b>01:00</b>	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	06:00	12:30	<b>06:30</b>	Bajar sarta de varillas en dobles, hasta 6816 ft (20 paradas dobles / hora)
	12:30	13:00	<b>00:30</b>	Asentar bomba
	13:00	14:00	<b>01:00</b>	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)
	14:00	15:00	<b>01:00</b>	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla
	15:00	15:30	<b>00:30</b>	Instalar barra pulida y stuffing box
	15:30	16:30	<b>01:00</b>	Instalar horse head
<b>OBSERVACIONES</b>			Programa según lo previsto (OK) Sin novedades.	

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

#### 4.3.4 Intervenciones con uso de raspador en el pozo A4 del campo Hato Nuevo.

**Tabla 18.** Reporte de operaciones, servicio N° 001 pozo A4

REPORTE DE SERVICIO N° 001				POZO A4 – CAMPO HATO NUEVO	CAMBIO S.L.A. MECÁNICO A PCP
	INICIO	FIN	TIEMPO	RESUMEN DE OPERACIONES	
DÍA 1	11:00	11:30	00:30	Reunión pre-operacional	
	11:30	12:30	01:00	Retirar el horse head (caremulo)	
	12:30	13:00	00:30	Retirar barra pulida y stuffing box	
	13:00	14:00	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	14:00	14:30	00:30	Tensionar y liberar bomba inserta	
	14:30	23:30	09:00	Subir sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) desde 6581 ft (15 paradas dobles / hora)	
	23:30	00:00	00:30	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
DÍA 2	00:00	00:30	00:30	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	00:30	02:00	01:30	Instalar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	02:00	09:30	07:30	Subir sarta de tubería en dobles, desde 6581 ft (15 paradas dobles / hora)	
	09:30	10:00	00:30	Armar BHA # 1	
	10:00	15:30	05:30	Bajar BHA# 1 a 6490 ft (20 paradas dobles / hora)	
	15:30	20:30	05:00	Limpieza con raspador rotativo @ 30 RPM (6490 ft - 7180 ft)	
	20:30	21:30	01:00	Circular fondo arriba	
	21:30	00:00	02:30	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
DÍA 3	00:00	05:30	05:30	Subir BHA # 1 (15 paradas dobles / hora)	
	05:30	11:30	06:00	Bajar sarta de tubería en dobles hasta 6581 ft (20 paradas dobles / hora)	
	11:30	13:00	01:30	Retirar BOP de tubería, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para tubería	
	13:00	14:00	01:00	Instalar BOP de varilla, mesa de trabajo y herramientas de trabajo para varilla	
	14:00	20:30	06:30	Bajar nueva configuración sarta de varillas en dobles, más rotor(sinfín) hasta 6584 ft (20 paradas dobles / hora)	
	20:30	21:00	00:30	Asentar bomba	
	21:00	22:00	01:00	Prueba de integridad de la tubería con presión. Prueba funcionamiento de la bomba (OK)	
	22:00	23:00	01:00	Retirar BOP de varilla, mesa de trabajo y	

				herramientas de trabajo para varilla
	23:00	00:00	<b>01:00</b>	Instalar motor PCP de superficie y barra pulida
<b>OBSERVACIONES</b>			Cambio de sistema de levantamiento artificial (OK) Sin novedades. (OK)	

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

## 5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de lo que fueron las corridas de las herramientas de raspado: la convencional, la rotativa común y la rotativa modificada, para así tener mayor claridad a la hora de evaluar los parámetros que determinarán la eficiencia de la herramienta rotativa modificada en este tipo de operaciones de limpieza.

Se presenta cuadro resumen con la información obtenida de las corridas anteriores en los pozos del campo Hato Nuevo, con las herramientas convencionales y con la nueva información obtenida de la herramienta rediseñada, cabe resaltar que se logró obtener información adicional de corridas con los tres tipos de herramientas raspadoras en los pozos A1, A3 y A4, información que es de valiosa utilidad y se incluyó en el proyecto para así realizar una evaluación técnica más completa.

Teniendo en cuenta los tiempos de viaje de las herramientas durante las corridas y los NPT, se establece el punto de partida para la evaluación técnico financiera propuesta.

**Tabla 19.** Cuadro resumen de resultados - corridas en revestimiento 7”

REPORTE N°	OPERACIÓN	POZO	TIPO DE RASPADOR	NPT	LONGITUD DE CORRIDAS (FT)	DURACION DE CORRIDAS(MIN)	VELOCIDAD DE CORRIDAS (FT/MIN)
01	REGISTRO RBT	A1	CONVENCIONAL	X	510	210	2.43
02	REDISEÑO DE BOMBA		CONVENCIONAL	X	540	210	2.57
03	LIMPIEZA PARAFINAS		CONVENCIONAL		210	90	2.33
0004	REDISEÑO DE BOMBA		MODIFICADO		210	120	1.75
0005	LIMPIEZA PARAFINAS		MODIFICADO		210	120	1.75
01	REGISTRO PLT	A2	CONVENCIONAL	X	450	180	2.50
002	LIMPIEZA PARAFINAS		ROTATIVO		180	90	2.00
0003	CBL RECAÑONEO		MODIFICADO		360	180	2.00
04	AISLAMIENTO DE ZONA		CONVENCIONAL	X	150	60	2.50
0005	AISLAMIENTO DE ZONA		MODIFICADO		58	30	1.93
01	REDISEÑO BOMBA	A3	CONVENCIONAL		210	90	2.33
002	CBL RECAÑONEO		ROTATIVO		420	240	1.75
001	MECÁNICO A PCP	A4	ROTATIVO		690	300	2.30

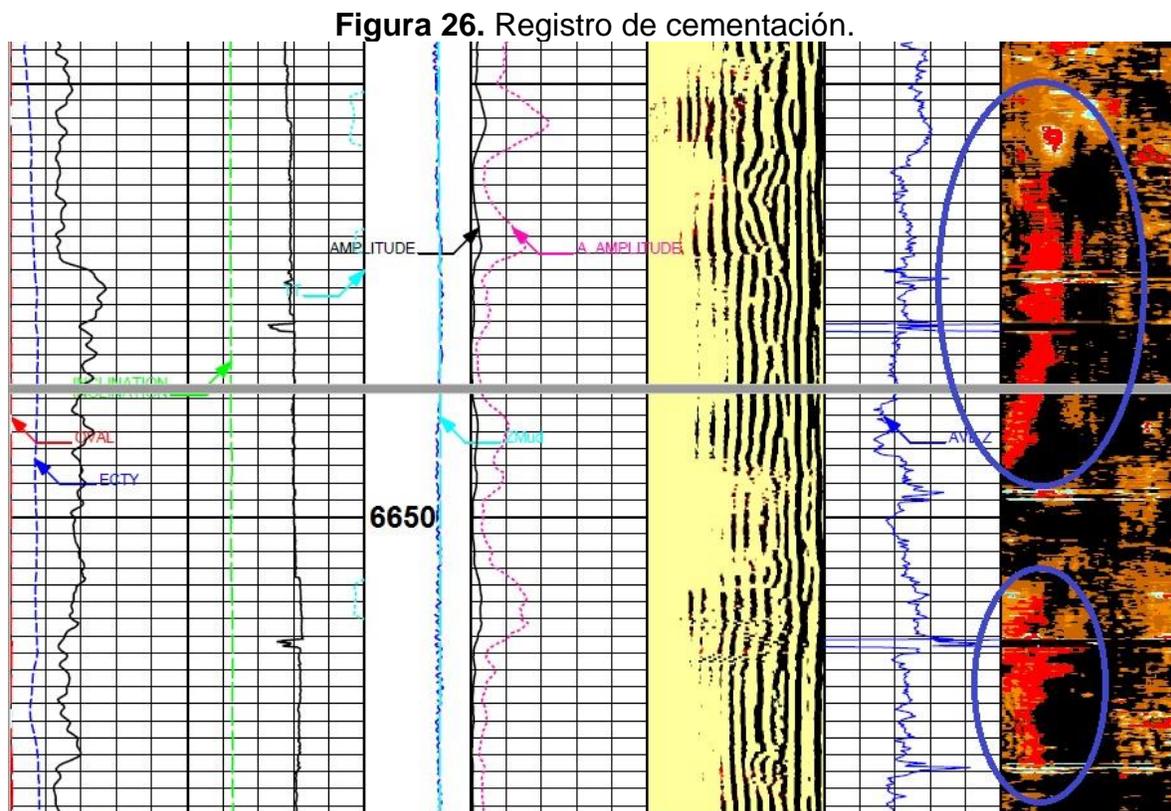
FUENTE Tabla 19: Elaboración Propia.

## 5.1 RESULTADOS RASPADOR CONVENCIONAL

El valor más bajo de velocidad operativa de 2.33 ft/min de la herramienta convencional, es superior a las velocidades de corridas de los otros tipos de raspadores en todas las intervenciones a pozo observadas.

Se puede observar que fueron realizadas seis intervenciones que incluyeron corridas de la herramienta dentro de tubería de revestimiento de 7". En tres reportes de operaciones se mencionan problemas de restricciones: dos corridas de herramientas wireline en los pozos A1 y A2 y una operación de bajada de tubería de producción en el pozo A1. Éstas restricciones causaron NPT, representados en segundas corridas de wireline y segundos viajes de tubería, además de segundas corridas con el raspador.

En la operación correspondiente a la toma de registro de cementación para el pozo A1, se puede ver que incluso después de ser limpiado por segunda vez la operación no fue efectiva, residuos adheridos a la pared del revestimiento causan errores en la graficación del registro. Ver figura 26.



**FUENTE.** Consorcio EMPESA-NCT, Modificado por el autor.

Se observa que para el pozo A2 hay dos reportes correspondientes a aislamiento de zona con bajada de empaque, en la primera intervención no hubo sello efectivo debido a la mala limpieza del revestimiento, ya que los empaques requieren de una zona de adherencia completamente limpia.

## **5.2 RESULTADOS RASPADOR ROTATIVO COMÚN**

En las intervenciones de limpieza de parafinas en el pozo A2, la velocidad operativa de 2.00 ft/min fue superior a la del raspador rotativo modificado.

En el pozo A3 fue utilizado en las operaciones de limpieza durante un servicio de recañoneo y toma de registro CBL, se observó un buen comportamiento de la herramienta en ésta intervención.

Durante la limpieza de revestimiento realizada en el pozo A4, la velocidad operativa de 2.30 ft/min fue la mayor alcanzada por ésta herramienta.

Las tres operaciones realizadas con la herramienta rotativa estuvieron dentro de lo planeado, y no se incurrió en gastos correspondientes a NPT.

## **5.3 RESULTADOS RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO**

En la intervención de recañoneo y toma de registro CBL realizada en el pozo A2 presentó un excelente comportamiento, considerando que la limpieza requerida después de ésta intervención es exigente debido a la necesidad de remover la mayor cantidad de residuos metálicos y eliminar cualquier incrustación que pueda generar restricciones a las herramientas wireline, el comportamiento del raspador y su área magnética funcionó según lo esperado y su velocidad operativa de 2.00 ft/min fue satisfactoria y superior a la del raspador rotativo común.

En el pozo A2 durante una intervención de aislamiento de zona, realizó una excelente limpieza a la zona de interés donde se requería asentar un empaque, ya que en la anterior intervención no se logró el objetivo por mala adherencia, ésta última como consecuencia de limpieza ineficiente por un raspador convencional.

En el pozo A1, para las operaciones de limpieza de parafinas y el rediseño de bomba se lograron excelentes remociones de materiales no deseados dentro del revestimiento, sin embargo en éstos casos su velocidad operativa de 1.75 ft/min fue inferior a la de las otras dos herramientas raspadoras.

Se evidencia la excelente función operativa de la herramienta modificada, ya que en las intervenciones a pozo donde se hizo uso de ella, no hubo ningún contratiempo y su funcionamiento fue el esperado.

#### 5.4 EFICIENCIA DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO MEDIANTE PARÁMETROS TEÓRICOS

Como anteriormente se mencionó, el raspador rotativo modificado presenta mayores ventajas en su uso frente al convencional y el rotativo común. Para esto se definieron unos parámetros para poder evaluar la herramienta rotativa modificada correctamente mediante una matriz de evaluación.

El valor de los criterios de evaluación se definió de la siguiente manera:

**Tabla 20.** Criterios de evaluación

Hubo más de un beneficio	3
Hubo un beneficio	2
No hubo beneficio	1

FUENTE. Elaboración propia.

El porcentaje asignado a cada uno de los ítems incluidos en la matriz de evaluación, corresponde a la importancia que representa para Consorcio EMPESA – NCT cada uno de éstos parámetros.

**Tabla 21.** Matriz de evaluación de parámetros técnicos.

Parámetros	Porcentaje	Convencional	Rotativo	Modificado
Barrido de Limpieza	43%	1	3	3
Costo	15%	3	2	2
Mantenimiento	13%	1	2	2
Operación	10%	1	2	3
Vida Útil de la herramienta	10%	1	2	2
Disponibilidad de las herramientas	3%	3	2	2
Facilidad de Instalación	3%	2	2	3
Traslados	3%	2	2	2
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>	<b>1.42</b>	<b>2.43</b>	<b>2.56</b>

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

Como resultado de la matriz, se puede decir que el raspador rotativo modificado al tener una calificación de 2.56 puntos de 3 posibles, es la mejor herramienta.

Entre los parámetros evaluados se encuentra el barrido de limpieza y la herramienta que tuvo mayor calificación fue la herramienta rotativa modificada. Esta herramienta, como se ha mencionado, garantiza una mayor limpieza ya que integra cuchillas, cepillos y magneto, maximizando su eficiencia.

Otro parámetro técnico, que se analizó es el mantenimiento. Este influye ya que el raspador convencional tiende a no tener en si un mantenimiento, ya que es más “desechable”. Por lo tanto, la vida útil también tiende a ser más corta para esta herramienta.

La operación de la herramienta, otro parámetro a evaluar, muestra como a pesar de ser más simple el diseño de la convencional, la operación de la rotativa común y rotativa modificada es buena debido a que no necesita un BHA diferente al convencional, y la rotativa modificada no necesita de anexos, por lo tanto también es simple pero ofreciendo una mayor facilidad en el ensamble.

La herramienta rotativa modificada obtuvo la mayor calificación en el parámetro facilidad de instalación, esto por ser una herramienta “todo en uno” lo que reduce el número de conexiones y así menos operaciones de torque, por lo tanto disminuye directamente la exposición al riesgo del personal.

Se tiene entonces que las ventajas técnicas del raspador rotativo modificado son superiores, Así mismo se debe tener en cuenta que a pesar de que el raspador convencional, también realiza una buena labor en condiciones de revestimiento “normales”, los riesgos post-limpieza son mayores ya que puede causar posibles alteraciones en los registros o mediciones que se deseen realizar, así como tiempos no planeados e incremento en costos.

## 6. ANÁLISIS FINANCIERO

En este capítulo se realiza el análisis financiero con su respectiva evaluación, el análisis se realiza a partir de tres escenarios de inversión económica, concernientes al pozo A2, cabe mencionar que en este pozo se corrieron las tres herramientas mencionadas a lo largo del proyecto, logrando así una comparación efectiva ya que las condiciones de pozo son las mismas.

Los escenarios propuestos corresponden al uso en el pozo A2 de la herramienta convencional, rotativa común y rotativo modificado.

La viabilidad del uso de la herramienta rotativa modificada, en las operaciones de limpieza de revestimiento para las operaciones en el campo Hato Nuevo, se determinará mediante el método: Costo anual uniforme equivalente.

### 6.1 CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS DE COSTOS

Para la evaluación se tiene en cuenta la eficiencia de limpieza de cada una de las herramientas anteriormente evaluadas, como también los costos operativos causados por segundas corridas y NPT causados por la ineficiente limpieza.

Con el uso de la herramienta modificada se observó una disminución en los tiempos no planeados, reducción de repeticiones de operaciones por limpieza ineficiente y así mismo, una disminución en los costos de operación.

El proyecto evalúa la viabilidad financiera del uso en las operaciones de limpieza del raspador rotativo modificado, considerando la disminución de costos por NPT en relación con la eficiencia de la herramienta.

Para realizar la evaluación financiera de este proyecto se utilizó la metodología del Costo anual uniforme equivalente (CAUE) desde el punto de vista de la empresa prestadora de servicios “Empresa de Petróleo y Gas & Energías Renovables S.A.S.” Se utilizó como unidad monetaria de valor corriente, el dólar estadounidense. La tasa de interés de la compañía es de 15% efectivo anual con un horizonte de tiempo de un año evaluado.

El proyecto requiere análisis de costos de operación (OPEX), teniendo en cuenta un escenario que haga referencia al uso de la herramienta rotativa modificada.

## 6.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)

Son los costos incurridos en el lanzamiento de un producto, un negocio o una empresa. Serían los costos del día a día en los que incurre la compañía, que irían desde los costos por ventas, administración, mantenimiento, producción, hasta los de publicidad, salarios, materia prima o suministros, entre otros. En definitiva, serían la suma de costos operativos de una empresa<sup>9</sup>.

Se presentan los valores de los costos correspondientes a un periodo contable mensual.

**Tabla 22.** Costos equipo de workover por mes

COSTOS EQUIPO DE WORKOVER POR MES	
CONCEPTO	DÓLARES (USD)
Alquiler equipo	214560
Servicio de alimentación, transporte y camarería	62291
Servicio de personal y gastos administrativos	166110
Alquiler martillo de 4 3/4"	9100
Servicio de telecomunicaciones y seguridad industrial	20763
Costos operacionales ; mantenimientos y consumibles	96898
Movilizaciones	131504
<b>TOTAL</b>	<b>701226</b>

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

**Tabla 23.** Costos ocasionales por reposición equipo de workover por mes

COSTOS OCASIONALES POR REPOSICIÓN EN EQUIPOS WORKOVER POR MES	
CONCEPTO	DÓLARES (USD)
Drill pipe 4 1/2" OD	1400
Pup joints 4 1/2" OD, 15 ft length	531
Sustitutos (crossover, bitsub, saver) cualquier tamaño y conexión	890
Broca tricónica 6 1/2"	3400
<b>TOTAL</b>	<b>6221</b>

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

Las operaciones de workover en el campo Hato Nuevo tienen un promedio de cuatro operaciones por mes. Por lo tanto se presenta la tarifa para cuatro corridas de raspador mensuales.

<sup>9</sup>—BACA CURREO, Guillermo. Ingeniería económica, 8 ed. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano, 2007, p. 197.

**Tabla 24.** Costos raspadores por mes

TARIFAS RASPADORES POR 4 CORRIDAS MES	
CONCEPTO	DÓLARES (USD)
Convencional	12528
Rotativo común	17132
Rotativo modificado	17132

Fuente: Consorcio EMPESA - NCT, modificado por el autor.

### 6.3 EVALUACIÓN FINANCIERA

En este capítulo se determina la viabilidad financiera de este proyecto utilizando la metodología del Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE).

**6.3.1 Tasa de interés de oportunidad (TIO).** Es la tasa de interés más alta que un inversionista sacrifica con el objetivo de realizar un proyecto<sup>10</sup>. La evaluación financiera se realizó utilizando una tasa de interés de oportunidad (TIO) del 15% mensual, esto de acuerdo al porcentaje esperado de ganancias comparando diferentes empresas que realizan el mismo servicio dentro de su portafolio de productos. La compañía " Empresa de Petróleo y Gas & Energías Renovables S.A.S" estima que el realizar el servicio de las corridas del raspador rotativo modificado, es atractiva debido a que es un equipo que tiene una inversión relativamente baja, tiene un valor de salvamento recuperable y no genera mayores costos de mantenimiento.

**6.3.2 Flujo de caja.** El flujo de caja, presenta un detalle de ingresos y egresos de dinero que tiene una empresa en un período dado. Algunos ejemplos de ingresos son los ingresos por venta, el cobro de deudas, alquileres, el cobro de préstamos, intereses. Ejemplos de egresos o salidas de dinero, son el pago de facturas, pago de impuestos, pago de sueldos, préstamos, intereses, amortizaciones de deuda, servicios públicos, entre otros.

**6.3.2.1 Escenario A (Herramienta Convencional).** Se presenta el flujo de caja del equipo de workover asociado al raspador convencional en el pozo A2.

**Tabla 25.** Flujo de caja escenario A.

Movimientos	USD
Ingresos	0
Egresos	719975
Flujo de Caja	- 719975

Fuente. Elaboración propia.

<sup>10</sup> BACA CURREO, Guillermo. Ingeniería económica, 8 ed. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano, 2007, p. 198.

Se procede a calcular el valor presente neto (VPN), valor necesario para el cálculo de costo anual uniforme equivalente.

**Ecuación 1.** Valor presente neto.

$$VPN(i) = \frac{FC}{(1 + i)^n}$$

**FUENTE.** G. Baca Currea, ingeniería económica, 8th ed. Bogotá: fondo Educativo Panamericano, 2007, p. 197.

Donde:

$i$  = Corresponde a la tasa de interés de oportunidad.

$n$  = Corresponde al número de periodos.

FC = corresponde al flujo de caja en el periodo.

Al ser un estudio de costos donde no se tienen ingresos, se discrimina el signo negativo del flujo de caja.

**Ecuación 2.** Valor presente neto escenario A.

$$VPN(15\%) = \frac{719975}{(1 + 0,15)^1}$$

$$VPN(15\%) = USD 626065$$

**6.3.2.2 Escenario B (Herramienta rotativa común).** Se presenta el flujo de caja del equipo de workover asociado al raspador rotativo común en el pozo A2.

**Tabla 26.** Flujo de caja escenario B.

Movimientos	USD
Ingresos	0
Egresos	724579
Flujo de Caja	- 724579

Fuente. Elaboración propia.

Se procede a calcular el valor presente neto (VPN), valor necesario para el cálculo de costo anual uniforme equivalente.

Al ser un estudio de costos donde no se tienen ingresos, se discrimina el signo negativo del flujo de caja.

**Ecuación 3.** Valor presente neto escenario B.

$$VPN(15\%) = \frac{724579}{(1 + 0,15)^1}$$

$$VPN(15\%) = USD 630068$$

**6.3.2.2 Escenario C (Herramienta rotativa modificada).** Se presenta el flujo de caja del equipo de workover asociado al raspador rotativo modificado en el pozo A2.

**Tabla 27.** Flujo de caja escenario C

Movimientos	USD
Ingresos	0
Egresos	724579
Flujo de Caja	- 724579

Fuente. Elaboración propia.

Se procede a calcular el valor presente neto (VPN), valor necesario para el cálculo de costo anual uniforme equivalente.

Al ser un estudio de costos donde no se tienen ingresos, se discrimina el signo negativo del flujo de caja.

**Ecuación 4.** Valor presente neto escenario C.

$$VPN(15\%) = \frac{724579}{(1 + 0,15)^1}$$

$$VPN(15\%) = USD 630068$$

**Tabla 28.** Flujo de caja de los 3 escenarios.

Escenario	USD
A	- 719975
B	- 724579
C	- 724579

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 29.** Valor presente neto de los 3 escenarios.

Escenario	USD
A	626065
B	630068
C	630068

Fuente. Elaboración propia.

**6.3.3 Costo anual uniforme equivalente (CAUE).** Aunque en el nombre aparece la palabra anual, el método se usa en cualquier tipo de periodo contable es decir, mensual, trimestral semestral, etc.

El costo anual uniforme equivalente de un proyecto de inversión no es otra cosa que sus costos e ingresos, si los hay, presentes y futuros, medidos en términos del costo anual uniforme al cual equivalen.

Así mismo, el criterio de decisión se basará tanto en si el CAUE es positivo como en escoger el proyecto que genere un menor valor de CAUE.

La principal ventaja de este método para evaluar proyectos sobre los otros, es que no requiere que la comparación se lleve a cabo sobre el mínimo común múltiplo de años cuando las alternativas tienen diferentes vidas útiles. Es decir, el CAUE de una alternativa debe calcularse para un ciclo de vida solamente. Porque, como su nombre lo indica, el CAUE es un costo anual equivalente para toda la vida del proyecto. Si el proyecto continuara durante más de un ciclo, el costo anual equivalente para el próximo ciclo y subsiguiente, será exactamente igual que para el primero, suponiendo que todos los flujos de caja fueron para el mismo ciclo.

Para efectos de cálculos, se deben tomar en cuenta que los costos se les asignan el signo positivo y a los ingresos el signo negativo.

La **Ecuación 5**, se utiliza para calcular el costo anual uniforme equivalente.

**Ecuación 5.** Costo anual uniforme equivalente.

$$CAUE = VPN * \frac{(1 + i)^n * i}{(1 + i)^n - 1}$$

**FUENTE.** G. Baca Currea, ingeniería económica, 8th ed. Bogotá: fondo Educativo Panamericano, 2007, p. 197.

Donde:

$VPN$  = valor presente neto.

$i$  = tasa de interés de oportunidad.

$n$  = número de periodos.

**Ecuación 6. CAUE Escenario A.**

$$CAUE_A = 626065 * \frac{(1 + 0,15)^1 * 0,15}{(1 + 0,15)^1 - 1}$$

$$CAUE_A = 719975$$

**Ecuación 7. CAUE Escenario B.**

$$CAUE_B = 630068 * \frac{(1 + 0,15)^1 * 0,15}{(1 + 0,15)^1 - 1}$$

$$CAUE_B = 724579$$

**Ecuación 8. CAUE Escenario C.**

$$CAUE_c = 630068 * \frac{(1 + 0,15)^1 * 0,15}{(1 + 0,15)^1 - 1}$$

$$CAUE_c = 724579$$

**Tabla 30. CAUE de los 3 escenarios.**

<b>Escenario</b>	<b>CAUE</b>
A	719975
B	724579
C	724579

Fuente. Elaboración propia.

El método utilizado para realizar la evaluación financiera recomienda escoger el proyecto que genere un menor valor de CAUE, dado lo anterior se tiene que el escenario A correspondiente a la herramienta raspadora convencional resulta ser la mejor opción a escoger, ésto estrictamente en el ámbito financiero.

## CONCLUSIONES

- El raspador rotativo modificado es una herramienta de excelente calidad y rango operativo, se evidenció durante su uso en las operaciones de limpieza de revestimiento de 7" que para cualquier intervención a pozo que requiera limpieza, ésta herramienta es la mejor opción ya que su configuración de cuchillas mejoradas, cepillos y magneto funcionó eficientemente y no tuvo problemas operativos, obtuvo así una calificación de 2.56 puntos de 3 posibles logrando el mejor resultado en la evaluación técnica.
- El raspador rotativo común es una opción viable para la limpieza de revestimiento durante todo tipo de intervenciones a pozo, sus resultados en la evaluación técnica fueron muy cercanos a la herramienta modificada, ya que su eficiencia de limpieza y velocidad operativa de hasta 2.30 ft/min lo hacen una herramienta muy competitiva.
- La herramienta convencional sigue siendo parte fundamental de las operaciones de limpieza en revestimiento por su disponibilidad y sencillo funcionamiento, característica que se ve reflejada en los tiempos operativos, llegando hasta velocidades de 2.57 ft/min. En operaciones de limpiezas de parafinas no tuvo ninguna dificultad operativa.
- Las cifras financieras favorecen al raspador convencional, ya que su costo de USD 3132 por cada corrida, es USD 1151 más económico que los raspadores rotativo común y rotativo modificado, esta cifra representa un ahorro del 26.87% respecto al costo de las herramientas rotativas, esta razón lo ubica como la principal opción, pero es muy posible que el ineficiente desempeño de esta herramienta impacte significativamente la frecuencia de la operación generando costos y tiempos no planeados. Como se observó en el cuadro comparativo y evaluación técnica, su efectividad fue sólo de 33%.
- Los costos operativos de USD 4283 por corrida, similares en ambas herramientas rotativas debido a la competencia entre las empresas prestadoras de servicios, hacen de la herramienta rotativa modificada una excelente opción a elegir.

## RECOMENDACIONES

- El raspador rotativo modificado y el raspador rotativo común tienen un alto poder de limpieza, sin embargo su marcada diferencia de diseño, con mejor ángulo de ataque de las cuchillas raspadoras y sección magnética en la herramienta modificada, la hacen perfecta para las operaciones de limpieza dentro de intervenciones a pozo que puedan desprender residuos de metal, tales como: cañoneo, molienda de herramientas atrapadas en fondo, apertura de ventanas, etc. Se recomienda su uso siempre y cuando sea posible.
- El costo por corrida de las dos herramientas rotativas es el mismo, por lo tanto, se recomienda usar preferiblemente el raspador rotativo modificado ya que su relación costo beneficio es superior.
- La herramienta convencional por causa de su baja calificación en la evaluación técnica, sólo es recomendada para usarla en pozos que no hayan presentado problemas de restricciones, y en intervenciones de poca dificultad, tales como limpieza de parafinas y rediseño de bomba.
- Proponer una evaluación técnico financiera del uso de los raspadores rotativos usados en operaciones de limpieza, dentro de operaciones de Drill out, apertura de ventanas, molienda de herramientas atrapadas en fondo, etc.

## BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN COMPLETION TOOLS. Casing Scraper. {En línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: (t)

ANH. Colombia: The perfect environment for Hydrocarbons. {En línea}. {05 mayo de 2018} Disponible en: (<http://ronda2010.anh.gov.co/region.php?id=52&dec=70>)  
BACA CURREO, Guillermo. Ingeniería económica, 8 ed. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano, 2007, p. 197.

BOTIL OIL TOOLS INDIA PVT. Casing Clean Up Tools. {En línea}. {27 de febrero de 2018} Disponible en: (<http://www.botilindia.com/Casing%20Clean%20Up%20Tools.pdf>)

DIARIO DEL HUILA. El Petróleo y la reversión en el Huila. Primera Página. Neiva. Diario del Huila, 1994.

E&M PETRO GROUP. Drill Collar. {En línea}. {20 de mayo de 2018}. Disponible en: (<https://www.drillpipesupply.com/project/drill-collars/>)

GAOFENG PETRO. Jar Dual. {En Línea}. {28 de mayo de 2018}. Disponible en: (<http://www.gaofeng-petro.com/Products/Drilling-Jars/Integral-Mechanical-Drilling-Jar-Type-JSZ.html#.Wxg6k0gvzI>)

GERENCIA NACIONAL DE CAMPOS MENORES. Ficha técnica campo Hato Nuevo. Colombia. 2014.

GIRALDO, Martha. Historia de Hocol en Colombia. {En línea}. {05 mayo de 2018} disponible en: (<https://www.hocol.com.co/nosotros/historia>).

GLOBAL SPEC. Drill Pipe Information. {En línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: ([https://www.globalspec.com/learnmore/specialized\\_industrial\\_products/mining\\_equipment/drill\\_pipe](https://www.globalspec.com/learnmore/specialized_industrial_products/mining_equipment/drill_pipe))

GORDON, Orlando. Seminario de rocas de perforación. Nivel básico. Caracas. PDVSA, 2011.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, 1 ed. Bogotá: ICONTEC, 2008. 33 p.

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5613. 1 ed. Bogotá: El instituto, 2008. 38 p.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. 1 ed. Bogotá: El instituto, 1998. 23 p.

JIMÉNEZ DÍAZ, Giovanni. Análisis de la deformación y modelo estructural basado en datos paleomagnéticos y cinemáticos en el sector sur del Valle Superior del Magdalena (anticlinal de la Hocha). Trabajo de investigación (Master en Geología). Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Geociencias. 2008, 46p.

LAKE PETRO. Drill Collar. {En línea} {20 de mayo de 2018} Disponible en: (<http://www.lakepetro.com/ProductShow.asp?ClassID=21&ID=1556&name=Drill%20Collar>)

LOGAN OIL TOOLS. Casing Scrapers. {En línea}. {27 de febrero de 2018} Disponible en: (<http://www.rubicon-oilfield.com/wp-content/uploads/Rubicon-F620-Casing-Scrapers.pdf>)

MAGNUM OIL TOOLS. Pump-Off Bit Sub. {En línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: (<http://www.magnumoiltools.com/products/pump-off-bit-sub>)

MINISTERIO DE AMBIENTE. Dirección de Licencias, Permisos y Trámites Auto No. 736. Bogotá. Ministerio de Ambiente, 2007.

MORET, Gregorio. BHA y Diseño de BHA. Trabajo de investigación (Maestría en Perforación Petrolera). Anaco, Universidad Nacional Experimental Politécnica De La Fuerza Armada Nacional. Facultad de Ingenierías. 2012, 23p.

MOSQUERA MESA, Ricardo. Economía Política y Cultura - Huila años 80. Neiva: Editorial Universidad Surcolombiana, 1995. 24p.

ODFJELL WELL SERVICES. OWS Wellbore clean-up technology. {En Línea}. {4 de marzo del 2018}. Disponible en: ([https://www.odfjellwellservices.com/media/1363/razrdillo\\_casing\\_scraper\\_20170302.pdf](https://www.odfjellwellservices.com/media/1363/razrdillo_casing_scraper_20170302.pdf))

ROCKPECKER. Bits. {En Línea}. {20 de mayo de 2018}. Disponible en: (<http://rockpecker.com/bits/>)

ROYAL WAGENBORG. Heavy Weight Drill Pipes. {En Línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: <https://www.wagenborg.com/our-companies/wagenborg-oilfield-services/services/drilling-tools-rental/heavy-weight-drill-pipes>

RUBIANO DAZA, Henry. La industria petrolera en el Huila en la década del 90. Trabajo de investigación (Magister en Historia). Bogotá, Universidad Nacional De Colombia. Facultad de ciencias sociales y humanas. 2010, 133p.

RUGAO YAOU CO., LTD. Herramientas de reacondicionamiento. {En línea}. {4 marzo de 2018} Disponible en: (<http://yaoumachinery.es/6-workover-tool.html>)

SALAS, Ortiz Camilo. Huila - La montaña Luminosa. Neiva: Fondo de autores Huilenses, 2000. 185p.

SOLLROC. Sollroc Drilling. Tools. {En línea}. {10 de mayo de 2018} Disponible en: (<http://spanish.dth-tools.com/tricone-drill-bit-for-hard-medium>)

TASMAN OIL TOOLS. Casing Scrapers. {En línea}. {{4 de marzo de 2018}. Disponible en: (<https://www.tasmanoiltools.com/wp-content/uploads/Casing-Scraper-1.pdf>)

WENZEL DOWNHOLE. Hydraulic/Mechanical Drilling Jar. {En línea}. {20 de mayo de 2018} Disponible en: (<http://downhole.com/portfolio-items/hydraulic-mechanical/>)

WORKSTRINGS INTERNATIONAL. Equipment. {En línea}. {7 de mayo del 2018}. Disponible en: (<http://workstringsinternational.com/equipment/accessories/subs/>)

ANEXO A

REGISTRO FOTOGRÁFICO DEL RASPADOR ROTATIVO MODIFICADO



