

IMPLEMENTACIÓN DE UNA MATRIZ DE SELECCIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS  
Y HERRAMIENTAS EN OPERACIONES DE SUBSUELO PARA LAS FASES DE  
COMPLETAMIENTO, WORKOVER Y ABANDONO EN LOS POZOS DE UN  
CAMPO DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

ANGIE NATALYA MORALES DUCUARA  
ADRIANA MARIA VEGA LÓPEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ, D.C.  
2020

IMPLEMENTACIÓN DE UNA MATRIZ DE SELECCIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS  
Y HERRAMIENTAS EN OPERACIONES DE SUBSUELO PARA LAS FASES DE  
COMPLETAMIENTO, WORKOVER Y ABANDONO EN LOS POZOS DE UN  
CAMPO DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

ANGIE NATALYA MORALES DUCUARA  
ADRIANA MARIA VEGA LÓPEZ

Proyecto de grado para optar por el título de  
INGENIERO DE PETROLEOS

Director  
JUAN CARLOS RODRIGUEZ  
Ingeniero de Petróleos

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BOGOTÁ, D.C.  
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma Director

---

Firma Calificador

Bogotá, D.C. Mayo de 2020

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. Mario Posada García-Peña**

Consejero Institucional

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. María Claudia Aponte Gonzáles**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro**

Secretaria General

**Dra. Alexandra Mejía Guzmán**

Decano Facultad de Ingeniería.

**Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi**

Director programa de Ingeniería de Petróleos

**Dr. Juan Carlos Rodríguez Esparza**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestros agradecimientos, inicialmente, están dirigidos a Dios por permitirnos los medios para culminar nuestra carrera profesional.

A nuestro grupo de orientadores por su tiempo, dedicación, por los comentarios y sugerencias críticas para mejorar nuestro enfoque con el proyecto.

A la ingeniera Yeigmy Claro por el voto de confianza, su tiempo y los conocimientos aportados que fueron una guía para cumplir con los objetivos propuestos.

A todos los profesores que nos compartieron sus experiencias y conocimientos durante toda la carrera, aportando en nuestra formación profesional.

A nuestros padres, por ser el apoyo incondicional durante este camino, por su amor, ejemplo y confianza.

## CONTENIDO

	pág.
GLOSARIO	18
RESUMEN	20
INTRODUCCIÓN	22
1. MARCO TEÓRICO	25
1.1 GEOGRAFIA DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA	25
1.2 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO	26
1.3 SERVICIOS DE ESTUDIO	26
1.3.1 Fracturamiento Hidráulico.	28
1.3.2 Estimulación Matricial.	28
1.3.3 Unidad de Coiled Tubing.	29
1.3.4 Cementación.	30
1.3.5 Registros Eléctricos.	30
1.3.6 Cañoneo	31
1.3.7 Unidad de Slickline	31
1.3.8 Registros de Producción	32
1.3.9 Empaques	32
1.3.10 Tubulares	33
1.3.11 Reacondicionamiento.	33
1.3.12 Unidad Flush-By.	34
1.3.13 Well Testing.	34
2. METODOLOGIA Y DATOS	36
2.1 RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN	37
2.1.1 Recolección de información técnica.	37
2.1.2. Estandarización de parámetros técnicos.	38
2.2 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LA MATRIZ	45
2.2.1 Descripción funcionamiento de la matriz.	45
2.2.2 Secciones que componen la matriz.	47
2.2.3 Interfaz y procesamiento de la información.	48
2.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA MATRIZ	55
2.3.1 Selección de pozos de análisis.	55
2.3.2 Filtros aplicados para la implementación de la matriz.	57
3. RESULTADOS Y ANALISIS	59
3.1 POZO FUA X1-E	59
3.1.1 Primer Filtro FUA X1-E	59

3.1.2 Segundo Filtro FUA X1-E	64
3.1.3 Tercer Filtro FUA X1-E.	65
3.2 POZO FUA X2-E	69
3.2.1 Primer Filtro FUA X2-E.	69
3.2.2 Segundo Filtro FUA X2-E.	73
3.2.3 Tercer Filtro FUA X2-E.	74
3.3 POZO FUA X3-E	78
3.3.1 Primer filtro FUA X3-E.	78
3.3.2 Segundo filtro FUA X3-E.	82
3.3.3 Tercer filtro FUA X3-E.	82
4. CONCLUSIONES	86
5. RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFIA	89
ANEXOS	92

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Herramientas y equipos para Fracturamiento Hidráulico.	28
Cuadro 2. Herramientas y equipos de Coiled Tubing.	29
Cuadro 3. Herramientas y equipos para Cementación.	30
Cuadro 4. Herramientas y equipos de Slickline.	31
Cuadro 5. Herramientas y equipos para Registros de Producción.	32
Cuadro 6. Tipos de empaques.	33
Cuadro 8. Tipos de tubulares para un pozo.	33
Cuadro 9. Herramientas de Reacondicionamiento.	34
Cuadro 10. Herramienta para Well Testing.	35
Cuadro 11. Parámetros comunes por servicios.	43
Cuadro 12. Parámetros para Cañoneo.	94
Cuadro 13. Parámetros para Cementación.	95
Cuadro 14. Parámetros para Coiled Tubing.	96
Cuadro 15. Parámetros para Empaques.	98
Cuadro 16. Parámetros para Estimulación Matricial.	101
Cuadro 17. (continuación).	102
Cuadro 18. Parámetros para Fracturamiento Hidráulico.	104
Cuadro 19. Parámetros para Reacondicionamiento.	105
Cuadro 20. Parámetros para Registros Eléctricos.	108
Cuadro 21. Parámetros para Registros de Producción.	113
Cuadro 22. Parámetros para Slickline.	117
Cuadro 23. Parámetros para Tubulares.	122
Cuadro 24. Parámetros para Well Testing.	124
Cuadro 25. Tabla de valoración de parámetros técnicos.	146

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Clasificación de los servicios de acuerdo a la fase de operación.	27
Diagrama 2. Secciones que componen la Metodología.	36
Diagrama 3. Clasificación de parámetros según componente.	37
Diagrama 4. Proceso de funcionamiento de la matriz de selección técnica.	46
Diagrama 5. Secciones que componen el aplicativo.	47
Diagrama 6. Filtros aplicados para la evaluación de tubulares	58
Diagrama 7. Filtros aplicados para la evaluación de registros eléctricos	58
Diagrama 8. Filtros para la evaluación de cementación	58

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Criterio Adicional.	53
Ecuación 2. Condiciones de porcentaje de evaluación.	54
Ecuación 3. Calificación total por compañía.	55
Ecuación 4. Criterio adicional para cantidad disponible compañía K.	66
Ecuación 5. Criterio adicional para máximo OD compañía K.	66
Ecuación 6. Criterio adicional para presión de colapso compañía K.	66
Ecuación 7. Criterio adicional para cantidad disponible compañía O.	66
Ecuación 8. Criterio adicional para máximo OD compañía O.	66
Ecuación 9. Criterio adicional para presión de colapso compañía O.	66

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa de localización de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia.	25

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1. Cumplimiento de empresas para el servicio de Tubulares.	68
Grafica 2. Valoración de parámetros para el servicio de tubulares.	69
Grafica 3. Cumplimiento de empresas para el servicio de Registros eléctricos.	76
Grafica 4. Valoración de parámetros para el servicio de Registros eléctricos.	77
Grafica 5. Cumplimiento de empresas para el servicio de Cementación.	84
Grafica 6. Valoración de parámetros para el servicio de Cementación.	85

## LISTA DE IMAGENES

	pág.
Imagen 1. Interfaz principal de matriz	48
Imagen 2. Formulario INICIO	49
Imagen 3. Formulario DISPONIBILIDAD	50
Imagen 4. Formulario INPUT	51
Imagen 5. Formulario CUMPLIMIENTO	52
Imagen 6. Formulario EVALUACION	53
Imagen 7. Formulario RESULTADOS	54
Imagen 8. Etapa inicial de la ejecución para la matriz.	60
Imagen 9. Disponibilidad pozo FUA X1-E, filtro 1.	60
Imagen 10. Diligenciamiento input pozo FUA X1-E, filtro 1.	61
Imagen 11. Input pozo FUA X1-E, filtro 1.	62
Imagen 12. Cumplimiento pozo FUA X1-E, filtro 1.	62
Imagen 13. Evaluación pozo FUA X1-E, filtro 1.	63
Imagen 14. Resultados pozo FUA X1-E, filtro 1.	63
Imagen 15. Informe pozo FUA X1-E, filtro 1.	64
Imagen 16. Disponibilidad pozo FUA X2-E, filtro 1.	70
Imagen 17. Input pozo FUA X2-E, filtro 1.	71
Imagen 18. Cumplimiento pozo FUA X2-E, filtro 1.	71
Imagen 19. Evaluación pozo FUA X2-E, filtro 1.	72
Imagen 20. Resultados pozo FUA X2-E, filtro 1.	72
Imagen 21. Informe pozo FUA X2-E, filtro 1.	73
Imagen 22. Disponibilidad pozo FUA X3-E, filtro 1.	78
Imagen 23. Input pozo FUA X3-E, filtro 1.	79
Imagen 24. Cumplimiento pozo FUA X3-E, filtro 1.	79
Imagen 25. Evaluación pozo FUA X3-E, filtro 1.	80
Imagen 26. Resultados pozo FUA X3-E, filtro 1.	81
Imagen 27. Informe para la primera evaluación.	81
Imagen 28. Parámetros de evaluación para la segunda iteración.	126
Imagen 29. Cumplimiento de empresas	126
Imagen 30. Valoración de parámetros para la segunda evaluación.	127
Imagen 31. Resultados de la segunda evaluación	127
Imagen 32. Informe de la segunda evaluación.	128
Imagen 33 Parámetros de evaluación para la tercera iteración	128
Imagen 34. Cumplimiento de empresas.	129
Imagen 35 Valoración de parámetros para la tercera evaluación	129
Imagen 36 resultados tercera evaluación	130
Imagen 37 Informe de la tercera evaluación	130

Imagen 38	Parámetros del segundo filtro	131
Imagen 39	Cumplimiento para el segundo filtro	132
Imagen 40	Valoración parámetros del segundo filtro	132
Imagen 41	Resultado para el segundo filtro	133
Imagen 42	Informe de la segunda evaluación	133
Imagen 43	parámetros para el tercer filtro	134
Imagen 44	Cumplimiento para el tercer filtro	134
Imagen 45	Valoración parámetros del tercer filtro	135
Imagen 46	resultados para el tercer filtro	135
Imagen 47	Informe de la tercera evaluación	136
Imagen 48.	Parámetros para el segundo filtro	137
Imagen 49.	Cumplimiento para el segundo filtro	138
Imagen 50.	Asignación de valores a los criterios del segundo filtro	138
Imagen 51.	Resultados para el segundo filtro	139
Imagen 52.	Informe de los resultados para el segundo filtro	139
Imagen 53.	Parámetros de selección para el tercer filtro	140
Imagen 54.	Cumplimiento para el tercer filtro	140
Imagen 55.	Valores asignados a los parámetros del tercer filtro	141
Imagen 56.	Resultados para el tercer filtro	141
Imagen 57.	Informe para los resultados del tercer filtro	142
Imagen 58.	Disponibilidad de equipos de cañoneo.	143
Imagen 59.	Input de equipos de cañoneo.	144
Imagen 60.	Cumplimiento de equipos de cañoneo.	144
Imagen 61.	Evaluación técnica de equipos de cañoneo.	145
Imagen 62.	Resultados de equipos de cañoneo.	145

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Información del diseño del pozo FUA X1-E.	56
Tabla 2. Información del estado actual de pozo FUA X2-E.	56
Tabla 3. Especificaciones técnicas del equipo usado para el abandono.	57
Tabla 4. Información operacional del pozo FUA X1-E	59
Tabla 5. Resultados pozo FUA X1-E.	67
Tabla 6. Resultados pozo FUA X2-1.	75
Tabla 7. Resultados pozo FUA X3-E.	83

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>Anexo A.</b> Columna estratigráfica de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena	91
<b>Anexo B.</b> Cuadro de parámetros	92
<b>Anexo C.</b> Imágenes de la segunda y tercera evaluación de Tubulares	124
<b>Anexo D.</b> Imágenes de la segunda y tercera evaluación de Registros Eléctricos	129
<b>Anexo E.</b> Imágenes de la segunda y tercera evaluación de Cementación	135
<b>Anexo F.</b> Imágenes de la evaluación del servicio de Cañoneo	141
<b>Anexo G.</b> Recomendación tabla de valoración de parámetros	144

## GLOSARIO

**CROSSOVER SPOOL:** accesorio instalada en tuberías para realizar un cambio de diámetro en el sistema.

**CASING (CSG):** es un tubular con el cual se realiza el revestimiento del pozo para asegurar la integridad del mismo.

**DAÑO DE FORMACIÓN:** una reducción en la capacidad natural de un yacimiento para producir sus fluidos, tales como una disminución de la porosidad o de la permeabilidad, o de ambos en las zonas cercanas alrededor del pozo.<sup>1</sup>

**DRIFT:** conocido como el diámetro libre de una tubería, es el máximo diámetro que puede tener una herramienta para que pueda pasar dentro de una tubería sin sufrir atascamientos.<sup>2</sup>

**ESPACIO ANULAR:** es el espacio existente entre la tubería de revestimiento y la tubería de producción, o la tubería de revestimiento con la formación a través del cual puede fluir un fluido.

**GR:** siglas de un registro eléctrico conocido como gamma ray con el cual se busca correlacionar las formaciones a través de la caracterización de la litología de la misma.

**HHP:** siglas en inglés. Hydraulic Horsepower. Se refiere a la unidad de potencia hidráulica, caballos de potencia.

**LODO:** conocido como fluido de perforación, es una mezcla de agua y aditivos que cumple con diferentes funciones como refrescar la broca, controlar la presión de pozo, ayudar a soportar el peso de la sarta, ayudar a la limpieza del pozo, entre otros.

**INPUT:** datos de entrada.

**MANIFOLD:** conocido como colector múltiple, conjunto de válvulas que permiten distribuir, controlar y monitorear el flujo de los fluidos provenientes de diferentes pozos.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary. [Sitio WEB]. USA.: Schlumberger. [01 marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/>.

<sup>2</sup> PEREZ, Luis y PEREZ, Criterios de diseño, cálculo y selección de tuberías de tuberías en base al criterio de las prestaciones equivalentes. [en línea]. Argentina: Universidad de Buenos Aires. [2007]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_criterio\\_seleccion\\_tuberias.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_criterio_seleccion_tuberias.pdf).

<sup>3</sup> SCHLUMBERGER. Op. Cit.

**MATRIZ:** forma de almacenamiento que contiene una serie de elementos del mismo tipo. Estructuras donde el acceso a la información se realiza de manera vectorial con filas y columnas.<sup>4</sup>

**PERMEABILIDAD:** es la capacidad de una roca para permitir el flujo de fluidos a través de ella, medida normalmente en unidades de darcies o milidarcies.

**SCRUBBER:** equipo diseñado para el manejo de gas, se encarga de separar el vapor de agua que aún está presente en la corriente de gas, el cual no pudo ser separado previamente en la facilidad de producción.

**TARGET:** es el objetivo, es decir la formación productora o yacimiento.

**TEE:** accesorio que permiten conectar tuberías del mismo diámetro, pero en diferentes direcciones, con ángulos rectos.

**TOC:** siglas en inglés. Total Organic Content. Se refiere a la concentración de material orgánico existente en las rocas generadoras.<sup>5</sup>

**VÁLVULA CHECK:** dispositivo usado en sistemas hidráulicos para permitir el paso del fluido en una sola dirección.

---

<sup>4</sup> BELL, Douglas y Parr, Mike. Java para estudiantes. México: Pearson educación, 2003. 162 p. ISBN 0130323772.

<sup>5</sup> SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary. [Sitio WEB]. USA.: Schlumberger. [01 marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/>.

## RESUMEN

En la etapa de planeación de una intervención a subsuelo es primordial el proceso de selección de los equipos y herramientas a implementar; para ello se manejan variables y parámetros operacionales que proporcionan el estado actual de pozo; esta información debe cotejarse con las especificaciones técnicas de cada unidad y componente de los servicios, y así determinar cuál es el equipo óptimo para la operación; usualmente, este tipo de procesos implica altos tiempos del recurso humano.

Este trabajo de grado describe el proceso de construcción de una matriz de selección técnica de herramientas y equipos para operaciones de subsuelo, que permite manejar grandes volúmenes de información, y acceder a ella de manera eficiente. Esta se construyó usando la herramienta Visual Basic for Applications de Excel. El funcionamiento consiste en el ingreso de datos y ciertas especificaciones, para luego procesar la información, y como resultado, obtener los equipos y herramientas que más se ajusten a los parámetros ingresados.

La validación de la herramienta se realizó con su implementación en tres pozos de un campo de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, donde se tenía información como profundidad del trabajo, presión de yacimiento, temperatura de yacimiento, entre otros datos claves para el diseño de la intervención, los resultados obtenidos por la matriz fueron comparados con los equipos que se implementaron, los cuales se encuentran descritos en el programa de la operación que se divulgó y socializó con los ingenieros de ECOPEPETROL S.A., encargados de desarrollar la intervención, los que fueron seleccionados por un método no computarizado.

**Palabras clave:** COMPLETAMIENTO, WORKOVER, ABANDONO, MATRIZ.

## **ABSTRACT**

The selection process of the equipment and tools to be implemented is essential in the planning stage of a subsoil intervention; for this purpose, variables and operational parameters are used that provide the current state of the well; this information must be checked against the technical specifications of each unit and service component, and thus determine which is the optimal equipment for the operation; usually, this type of process involves high human resource times.

This degree work describes the process of building a technical selection matrix of tools and equipment for subsurface operations, which allows to handle large volumes of information, and to access it efficiently. This was built using Excel's Visual Basic for Applications tool. The operation consists of entering data and certain specifications, then processing the information, and as a result, obtaining the equipment and tools that best fit the parameters entered.

The validation of the tool was carried out with its implementation in three wells in a field in the Valle Medio del Magdalena Basin, where information was available such as depth of work, reservoir pressure, reservoir temperature, among other key data for the intervention design, the results obtained by the matrix were compared with the equipment that was implemented, which are described in the program of the operation that was disclosed and socialized with the engineers of ECOPETROL S.A., who were selected by a non-computerized method.

**Key Words:** COMPLETION, WORKOVER, ABANDON, MATRIX.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se refiere a la implementación de una matriz de selección técnica de equipos y herramientas en operaciones de subsuelo para las fases de completamiento, workover y abandono. La propiedad principal de este tipo de herramienta es la capacidad y eficacia que poseen para manejar grandes volúmenes de información que resultan en la optimización de tiempos productivos para las compañías.

El desarrollo de este proyecto nace del interés por mejorar el proceso de selección de estos equipos que se emplean en los trabajos de intervención a pozos, teniendo en cuenta la amplia variedad de equipos ofertados obedece a un trabajo de análisis estricto y extenso.

Adicionalmente, hacer la selección de manera adecuada no sólo contribuye a las prácticas seguras y responsables durante las intervenciones; sino que se evita el rediseño de la intervención, lo cual representa mayores tiempos en la etapa de planeación, impidiendo la optimización de costos operativos.

Con el fin de recurrir a herramientas que garanticen el almacenamiento y acceso a la información de manera eficaz y organizada, Cortés Carrillo Juan Felipe y Mayorga Barrera Tania Yineth (2018), desarrollaron el trabajo de grado titulado “Diseño de una metodología del análisis del ciclo de vida de los pozos para campos Pareto de la cuenca del Valle Medio del Magdalena”, en el que construyen una matriz de evaluación de riesgos que valora ciertos parámetros para que una vez ejecutada la matriz, se obtenga el grado de integridad del pozo, basado en su ciclo de vida.

La selección se logra conociendo información de los parámetros operacionales del pozo con el objetivo de seleccionar el equipo que más se ajuste a dichas condiciones. La información relacionada con los equipos y herramientas ofrece un panorama de múltiples opciones, en la que el manejo adecuado de ésta permite una elección lo más acertada posible; disminuyendo así el nivel de incertidumbre durante el desarrollo este proceso de selección y planeación.

El limitado análisis que se ha realizado durante la selección de equipos y herramientas ha imposibilitado la identificación de limitaciones que éstas puedan poseer frente ambientes operativos extremos; lo cual ha impedido, a su vez, la consideración de opciones de mejora tales como la implementación de nuevas tecnologías para la compañía.

Para el desarrollo del proyecto se evalúan los siguientes servicios: fracturamiento hidráulico, estimulación matricial, unidad coiled tubing, cementación, registros (eléctricos, de cementación y producción), cañoneo, unidad slickline, empaques, tubulares, pesca y molienda, flush-by, y well testing. Durante el análisis técnico se consideran parámetros operacionales, técnicos y de yacimiento que consideran los datos de entrada para iniciar la evaluación en la matriz de selección.

El enfoque del proyecto está determinado a contemplar y evaluar todas las posibles opciones con las que cuenta la compañía para ejecutar los equipos y herramientas óptimas para sus trabajos en subsuelo, mejorando el análisis técnico, y a su vez, asegurando la integridad de la intervención. Con los resultados obtenidos al final del proyecto se logrará establecer si con la implementación de la matriz de selección técnica con lenguaje de programación Visual Basic se contribuyó a la oportunidad de mejora con la optimización del tiempo empleado en los procesos de selección.

El objetivo general de este proyecto fue implementar una matriz de selección técnica de equipos y herramientas en operaciones de subsuelo para las fases de completamiento, workover y abandono en los pozos de un campo ubicado en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Los objetivos específicos fueron:

- Describir las generalidades geológicas de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.
- Definir las generalidades de las diferentes intervenciones subsuelo que se desarrollan en el campo, y los equipos y herramientas requeridos en cada una de ellas.
- Estandarizar los parámetros que serán base de comparación para el procesamiento de la información.
- Diseñar una matriz de selección con los equipos y herramientas ofrecidos en el mercado a ECOPETROL S.A. para las intervenciones a pozo.
- Validar la matriz de selección para las fases de completamiento, workover y abandono, ejecutadas en un campo de la Cuenca de Valle Medio del Magdalena.

Para cumplir con los objetivos específicos propuestos para este proyecto, es necesario cumplir con las siguientes actividades de la siguiente manera:

El primer objetivo, descripción de las generalidades geológicas de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, en donde se especifica la geología petróleo (roca generadora, roca almacén y roca sello) y cantidad de campos petrolíferos que han sido descubiertos en esta zona, se encuentra en el capítulo de Marco teórico, al igual que el segundo objetivo, definiciones de las diferentes intervenciones de subsuelo que se hacen en el campo, aquí está la información referente al motivo por el cual se podría realizar, equipos y herramientas que son implementadas.

La estandarización de los parámetros que serán base de comparación para el procesamiento de la información, correspondiente al tercer objetivo, se desarrolla en el capítulo de Metodología y datos, en el ítem de identificación y clasificación de los parámetros para cada servicio; en este mismo capítulo se encontrara el objetivo referente al diseño de la matriz de selección, pero este tema se trata a profundidad en el ítem de construcción de la matriz de selección.

El último objetivo, relacionado con la validación de la matriz, se cumple en el capítulo de metodología, a través de su implementación en pozos de un campo de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. Luego, se realiza el correspondiente análisis de los

resultados, para los cuales se van a tener en cuenta tres filtros y de esta forma establecer cuál de las empresas que ofrecen el servicio tiene más versatilidad en equipos y herramientas y así decir cuál es el equipo que se debe correr en cada servicio y a cuál empresa se le debe dar la asignación.

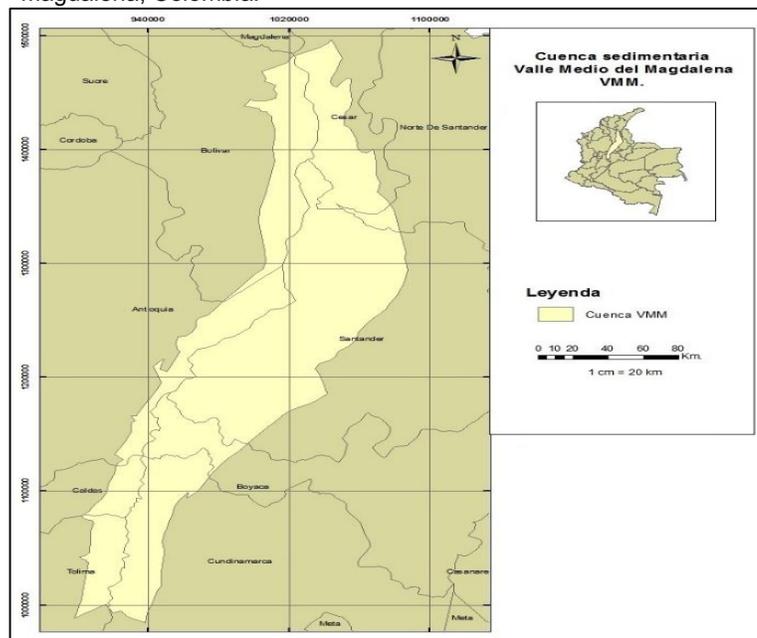
# 1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, inicialmente, se describe geográficamente el lugar de implementación de la matriz de selección técnica y la geología del petróleo; luego, se detallan los trece (13) servicios que se van a evaluar en esta, su importancia, y los equipos y herramientas correspondientes a cada uno de ellos.

## 1.1 GEOGRAFIA DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

La implementación de este proyecto se realiza en un campo de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena la cual está localizada entre las cordilleras central y oriental de Colombia. Abarca un área de 34000 km<sup>2</sup> (7900000 acres)<sup>6</sup>. Comprende parte de los departamentos de Santander, Tolima, Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, entre otros. **(Figura 1)**. Durante toda la historia exploratoria de la cuenca se han descubierto 41 campos petrolíferos con alrededor de 1.900 MMBO y 2,5 TCF.

**Figura 1.** Mapa de localización de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, Colombia.



**Fuente:** elaboración propia, con base en GRUPO DE INVESTIGACION EN INGENIERIA DE RECURSOS HIDRICOS. Hidrovisor. [Sitio WEB]. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. [2014]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/invhidrovm/Descripcion/cuenca-sedimentaria-valle-medio-del-magdalena>.

<sup>6</sup> BARRERO, Dario. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. En: Agencia Nacional de Hidrocarburos. [sitio web]. Bogotá: ANH and B&M Exploration Ltda. [2007]. Archivo pdf.

## 1.2 GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

En cuanto a la geología del petróleo de esta cuenca: sus principales rocas generadoras son calizas cretácicas y lutitas provenientes de las formaciones La Luna, Simití y Tablazo. Éstas poseen un alto contenido de material orgánico (TOC) que se encuentra entre el 1% y 6%, valores que se consideran buenos y representan la alta efectividad de éstas como rocas generadoras. Las rocas reservorio son arenas provenientes de las formaciones Lisama, Esmeraldas-La Paz y Colorado-Mugrosa; con porosidades promedio de entre 15% y 20%, y permeabilidades que oscilan entre los 20 md y 600 md. Los sellos se logran con las lutitas marinas provenientes de las formaciones Simití y Umir, y arcillas dúctiles de las formaciones Esmeralda y Colorado. Esta cuenca presenta fallas anticlinales asimétricas asociadas a cabalgamientos bajo la superficie y estructuras dúplex, las cuales generan los entrampamientos. La información geológica de cuenca en mención se complementa con la columna estratigráfica que se encuentra en el **Anexo A**.

## 1.3 SERVICIOS DE ESTUDIO

A continuación, se describen trece (13) servicios que serán objeto de estudio en este trabajo de grado, de los cuales se encuentra información referente a los equipos y herramientas requeridos en cada uno de ellos y su principio técnico. En el (**Diagrama 1.**) Se muestra una clasificación de estos servicios dependiendo la fase de operación.

Esta clasificación se realiza teniendo en cuenta que:

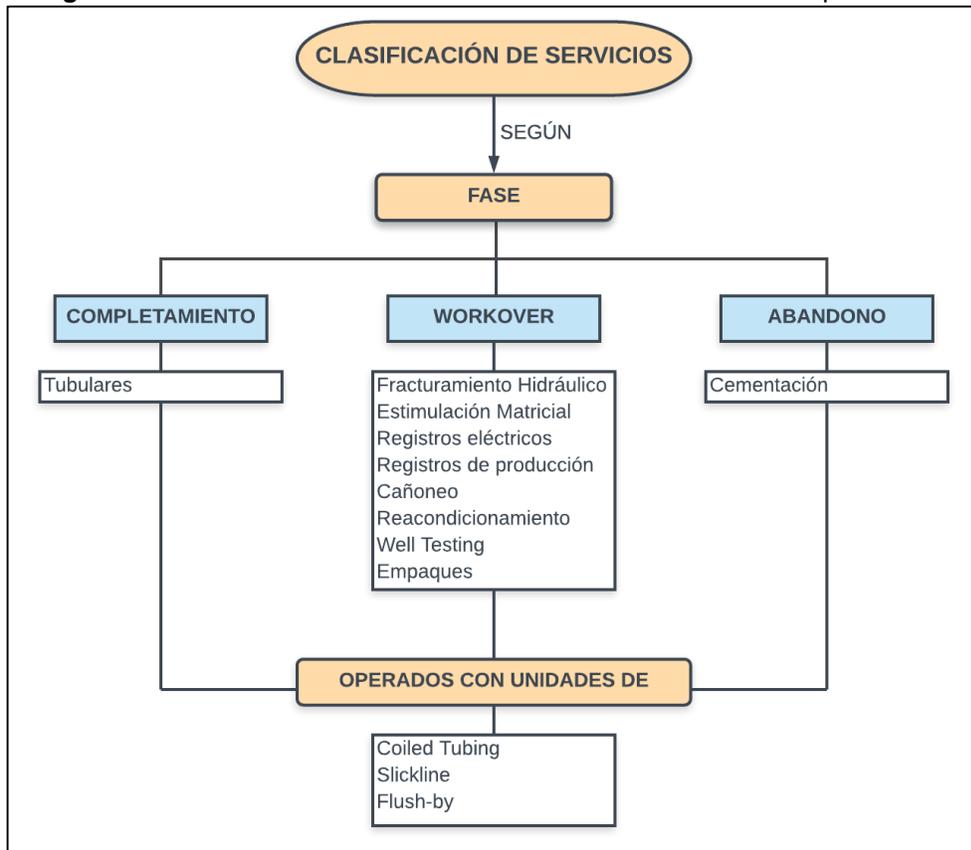
- Completamiento de pozos, “Es el diseño, selección e instalación de tubulares, herramientas y equipos en un pozo con el propósito de converger, bombear y controlar la producción o inyección de fluidos”<sup>7</sup>. Para determinar el tipo de completamiento es necesario conocer el estado mecánico del pozo, las propiedades de los fluidos a producir y las características de la formación en consideración.
- Workover. El término se refiere al reacondicionamiento de pozos a través de técnicas o procesos que permitan ejecutar mantenimientos, estimulaciones, correcciones y mejorías. Estos trabajos de intervención, referidos a servicios de mantenimientos y estimulaciones, tienen el objetivo de aumentar la producción del pozo; y en cuanto al ámbito de reparaciones y correcciones, el objetivo es continuar la producción de hidrocarburos de la manera más controlada.

---

<sup>7</sup> LEAL, Tulio. Manual de completación. [en línea]. Marzo de 2003. Disponible en: <https://es.slideshare.net/georgehsterling/manual-de-completacin>.

- Abandono de pozos. Esta es la última fase en la historia operativa de un pozo, ocurre cuando, por razones económicas, operativas o ambientales, se efectúa su cierre temporal o permanente, dejándolo inactivo. El objetivo de un abandono es garantizar el aislamiento de zonas productoras con el fin de evitar la migración de fluidos entre ellas, hacia superficie y/o hacia zonas acuíferas. De acuerdo al Ministerio de Minas y Energía de Colombia, esta operación “incluye no solo la ubicación de tapones mecánicos y de cemento para aislar los diferentes intervalos permeables, sino también el desmantelamiento de facilidades y equipos de producción, así como la limpieza y restauración ambiental de las zonas donde se hayan realizado operaciones de exploración, evaluación o producción.”<sup>8</sup>

**Diagrama 1.** Clasificación de los servicios de acuerdo a la fase de operación.



**Fuente:** elaboración propia.

<sup>8</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Resolución 40048 (16, enero, 2015). Por la cual se establecen medidas en materia de exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos convencionales continentales y costa afuera. En: Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D.C., 2015. 18 p.

**1.3.1 Fracturamiento Hidráulico.** Según BUSTOS, J., es el proceso mediante el cual se inyecta un fluido al pozo, a un caudal y presión que supera la capacidad de admisión matricial de la formación expuesta en la perforación, que origina un incremento de presión y la posterior ruptura de la roca.<sup>9</sup>

El objetivo de realizar un fracturamiento hidráulico es aumentar la productividad de un pozo donde el escenario más común es implementarlo en formaciones de baja permeabilidad, en la que las fracturas generadas crean un canal de conexión entre las fracturas más pequeñas de la roca. Los equipos y herramientas requeridos para intervenciones con fracturamiento hidráulico se describen en el (**Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Herramientas y equipos para Fracturamiento Hidráulico.

Sistemas	Equipos	Descripción
<b>Apuntalante</b>	Tráiler de transporte	Carga el apuntalante y lo transporta hasta su punto de almacenamiento.
<b>Fluido base</b>	Tanques de almacenamiento	Contienen el fluido sin químico (generalmente, agua).
	Tanques Gel Pro	Contienen el gel para su hidratación y crear el fluido fracturante.
<b>Aditivos</b>	Tanques de almacenamiento	Almacenan los aditivos a condiciones óptimas.
	Tolvas	Permiten la medición y adición adecuada del aditivo al proceso.
<b>Mezclado</b>	Tina agitadora	Mezcla el fluido fracturante con el apuntalante y los aditivos.
<b>Transferencia</b>	Mangueras	Transfieren los fluidos en todas las etapas.
	Bombas centrífugas	Extraen fluidos desde tanques hacia bombas de alta presión.
	Tornillos de apuntalante	Transportan el apuntalante desde su almacenamiento hacia la tina agitadora.

**Fuente:** elaboración propia.

**1.3.2 Estimulación Matricial.** La estimulación matricial es un proceso de inyección de fluido en la formación, sea ácido o solvente, a presiones inferiores a la presión de fractura, para mejorar la producción o la capacidad de flujo de un pozo.<sup>10</sup>

De acuerdo a la litología de la formación que se quiere tratar, el objetivo de la estimulación varía; teniendo en cuenta que el mecanismo del trabajo de una estimulación se da para la remoción del daño en la formación (skin), disolución de

<sup>9</sup> BUSTOS CEDEÑO, Jairo G. Aplicación de la Fractura Hidráulica en la Cuenca Oriente Ecuatoriana. [en línea]. Tesis de maestría. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España: 2013. [Consultado 16 marzo 2019]. Disponible es: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1198/1/T-SENESCYT-000329.pdf>.

<sup>10</sup> SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary. [Sitio WEB]. USA.: Schlumberger. [01 marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/>.

material sólidos que esta taponando los poros de la roca, o puede ocurrir que la formación no tenga daño y requiera aplicarse un trabajo de estimulación enfocado a mejorar ciertas propiedades de la roca, como permeabilidad, entre otros.

En la literatura consultada se encuentra que los equipos en superficie requeridos para una estimulación son similares a los implementados en un fracturamiento, la diferencia radica en la potencia implementada; pues en una estimulación se trabaja con, aproximadamente 2000 HHP, mientras que en un fracturamiento hidráulico la potencia mínima de operación ejecutada es de, generalmente, 4000 HHP. Adicionalmente, se exceptúan los equipos referentes al material apuntalante, puesto que en una estimulación matricial no es necesario trabajar con este tipo de material.

**1.3.3 Unidad de Coiled Tubing.** Está definida como una unidad de tubería flexible enrollada que está compuesta de una aleación de acero y carbón, lo cual le atribuye las características de flexibilidad, anti-oxidación y resistencia. Esta versatilidad aporta ciertas ventajas en su aplicación, pues permite optimización en tiempos y costos operacionales, para su ejecución no es necesario ahogar el pozo, además de las múltiples intervenciones que se pueden ejecutar a través de ésta. Los equipos y herramientas requeridos en una unidad de coiled tubing se describen en el (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Herramientas y equipos de Coiled Tubing.

Sistemas	Equipos	Descripción
<b>Cabezal de inyección</b>	Arco guía (Goose Neck)	Provee dirección y alineación de la tubería flexible a través de unos rodillos incorporados.
	Stripper	Proporciona un sello de presión alrededor de la tubería flexible a través de empaques.
	Carrete	Envuelve la tubería flexible durante el transporte de la unidad y durante operaciones.
	Level-Wind	Dispositivo que permite alinear la tubería cuando se envuelve o devana del carrete.
	Contador de tubería	A través de ruedas engranadas cuenta la tubería que pasa a través de él.
<b>Sistema de control</b>	Consola	Permite operar, monitorear y controlar las variables y parámetros relevantes de la operación.
<b>Sistema de potencia</b>	Motor, compresor, acumulador de energía, etc.	Proporciona la energía necesaria para operar la unidad a través de una fuente de alimentación independiente
<b>Sistema preventivo de reventones</b>	Arietes ciegos	Sellan el pozo a través de la compresión del elastómero
	Arietes cortadores de tubería	Rompen o parten la tubería, pero no sellan los arietes
	Arietes de corte de deslizamiento	Poseen dientes para adherirse a la tubería, resistiendo presiones para evitar el movimiento de la misma
	Arietes de tubería (stripping)	Se ajustan a cualquier superficie a través de un sello de elastómero. Aísla presión del espacio anular

Fuente: elaboración propia.

**1.3.4 Cementación.** El abandono y taponamiento es una operación con el objetivo de dejar inactivo un pozo de forma permanente (en este caso) o temporal a través del bombeo de tapones de cemento con el objetivo de aislar zonas permeables y evitar la migración de fluidos. La normatividad del país establece requisitos mínimos para ejecutar esta actividad con el fin de asegurar la integridad del pozo y las zonas aledañas protegiendo el subsuelo. Los equipos y herramientas implementadas en un trabajo de cementación para abandono de pozos se describen en el **(Cuadro 3)**.

**Cuadro 3.** Herramientas y equipos para Cementación.

Sistemas	Equipos	Descripción
<b>Superficie</b>	Cabeza de cementación	Se conecta en la parte superior del casing, posee conexiones laterales para las líneas de las distintas lechadas.
	Unidad de cementación	Se encarga de bombear la lechada directamente al pozo diversas variables de bombeo.
	Unidad de bombeo de cemento	Compuesto por bombas triplex para impulsar lechada, y centrífugas para succión de agua y recirculación de fluidos.
	Sistema de mezclado de cemento	Mezcla los componentes necesarios para preparar la lechada.
<b>Subsuelo</b>	Nipple guía	Válvula de flujo ubicada al principio de la sarta, en fondo de pozo.
	Tubería	Medio a través del cual se bombean los tapones de cemento. Puede ser tubería de perforación, producción o flexible.
	Tapones de desplazamiento	Accesorio que sirve para separar el lodo de desplazamiento del cemento.

**Fuente:** elaboración propia.

Para realizar un abandono es conveniente hacer una toma de registros para establecer la profundidad de los tapones, retirar el cabezal de producción e instalar BOP's, perforar el collar y la zapata de fondo, y posteriormente, ejecutar el bombeo del tren de fluidos para el respectivo abandono de pozo. Uno de los parámetros considerados para el desarrollo de esta actividad son: ID del casing, volúmenes y propiedades de lechada, datos de presión, entre otros.

**1.3.5 Registros Eléctricos.** Permiten interpretar y determinar las propiedades petrofísicas y mecánicas de las rocas, al igual que las propiedades mecánicas del pozo. Correr estos registros es fundamental para realizar los cálculos de volúmenes de reservas, modelar el yacimiento, determinar los tipos de fluidos presentes en él, conocer litología de la formación, espesores de interés, entre otros.

Los equipos básicos de registros eléctricos en superficie son: tráiler de registro donde se encuentran las herramientas computarizadas de interpretación de datos,

la guaya que es el móvil para subir o bajar la sarta de registro, y la cabeza de registros compuesta por poleas para movimiento de guaya, indicador de peso y bloque viajero.

**1.3.6 Cañoneo.** El objetivo de una operación de cañoneo es establecer comunicación entre el yacimiento y el pozo a través de orificios creados desde el revestimiento, atravesando el cemento hasta la formación objetivo. El cañoneo permite evaluar zonas productoras, ejecutar trabajos de cementación y mejorar producción de hidrocarburos.

Para ejecutar este trabajo, se requiere implementar una unidad de registros eléctricos para asegurar condiciones de revestimiento y profundidad de zona de interés. La herramienta consta de un tren de explosivos en fondo conformado por: un detonador, el cual genera la señal para detonar las cargas explosivas, un cordón detonante que es un sistema de conexiones que permite la transmisión de energía del detonador hacia las cargas, y las cargas explosivas que son los dispositivos donde se encuentran los explosivos.

**1.3.7 Unidad de Slickline.** Esta unidad opera con un cable de acero liso, no conductor eléctricamente. Una de las ventajas de estas operaciones, es que representan disminución de costos que se evidencian en el valor de los equipos y herramientas, en el transporte de la unidad y herramientas (considerando que es liviana y de bajo peso), requiere menor cantidad de personal, entre otros. En el **(Cuadro 4)** se describen los equipos que componen una unidad Slickline.

**Cuadro 4.** Herramientas y equipos de Slickline.

Sistemas	Equipos	Descripción
<b>Unidad de potencia</b>	Motor Diesel	Suministra la potencia necesaria para el funcionamiento del sistema hidráulico y el carrete de Slickline.
<b>Sistema hidráulico</b>	Bomba hidráulica, motor hidráulico, válvulas de control, etc.	Transmite la energía generada por el sistema de potencia y controla la velocidad, flujo y potencia del carrete.
<b>Sistema de control de presión</b>	Stuffing box	Hace sello alrededor del cable y contiene la presión del pozo a través de una caja de empaques y accesorios.
	Lubricadores	Accesorios que permiten bajar o sacar herramientas durante la operación, sin matar el pozo.
	Preventora de reventones	Previene y controla reventones en el pozo. Actúan cuando se presentan fugas en el lubricador o en el stuffing box.

**Fuente:** elaboración propia.

**1.3.8 Registros de Producción.** Es una medición en sitio que se realiza para describir la naturaleza y el comportamiento de los fluidos en pozo o alrededor del mismo. Adicionalmente, estos registros permiten determinar variaciones en algunos parámetros operacionales o del yacimiento que son importantes para identificar posibles problemas en los pozos de producción y/o inyección.

También, permiten identificar límites del yacimiento para el desarrollo del campo, evaluar eficiencia de tratamientos, detectar zonas ladronas o canalizaciones de cemento y monitorear producciones o inyecciones. Los equipos implementados en este tipo de servicios se describen en el **(Cuadro 5)**.

**Cuadro 5.** Herramientas y equipos para Registros de Producción.

Equipos	Descripción
<b>Camioneta de registros</b>	Integrada por el malacate, cable, y equipo computarizado para interpretación de datos.
<b>Lubricador</b>	Tubería utilizada para almacenar la herramienta antes de ingresar al pozo.
<b>Cable</b>	Conductor simple usado como móvil para bajar o sacar la herramienta de medición.
<b>Manguera de purga</b>	Usada para aliviar presión en el lubricador después de los registros.
<b>Líneas de grasa</b>	Aseguran el sello hidráulico alrededor del cable.

**Fuente:** elaboración propia.

**1.3.9 Empaques.** Son dispositivos de fondo que se instalan para dar sello entre la tubería y el revestimiento con el fin de evitar el flujo vertical de fluidos por el espacio anular del revestimiento. Los elementos sellantes están constituidos de un producto de goma de nitrilo y se usan en instalaciones térmicas, pozos cretácicos y pozos de producción de gas seco. En el **(Cuadro 6)** se describen los tipos de empaques mecánicos que se van a desarrollar en la matriz de selección técnica.

**Cuadro 6.** Tipos de empaques.

Tipos	Empaques	Descripción
<b>Mecánicos</b>	Empaques de compresión	Poseen un sistema de anclaje al revestidor, no tiene válvula interna de circulación, el elemento sellante puede trabajar hasta 250°F.
	Empaques de compresión doble	Posee doble anclaje y adicionalmente cuenta con un sistema de candados hidráulicos, los cuales se accionan mediante la presión hidráulica.
	Empaques de tensión	Presentan las cuñas y cono invertidos, por tal motivo el sistema de anclaje se activa tensionando la tubería.
	Empaques de tensión y compresión	De tipo mecánico, recuperables, presentan la versatilidad de que se pueden asentar aplicándole esfuerzos de compresión, tensión y rotación.
	Empaques permanentes	Diseñados para alta presión y temperatura, generalmente usados en completamientos donde prevén trabajos de fractura.

**Fuente:** elaboración propia.

**1.3.10 Tubulares.** “Una tubería es un elemento cilíndrico hueco compuesto generalmente de acero con una geometría definida por un diámetro y espesor del cuerpo que lo conforma”<sup>11</sup>. Esta tubería deber tener la capacidad de soportar los esfuerzos de carga axial (tensión y compresión), presión externa, presión interna, entre otros. En el (**Cuadro 7**) se describen los tipos de tubería que se encuentran en el desarrollo de las etapas de un pozo, desde su revestimiento hasta su período productivo.

**Cuadro 7.** Tipos de tubulares para un pozo.

Tipos	Descripción
<b>Revestimiento</b>	Su función es proteger las paredes del pozo, con el fin de evitar derrumbes y aislar manifestaciones del líquido o gases.
<b>Completamiento</b>	Su principal función es proporcionar la integridad al pozo.
<b>Producción</b>	Son el medio por el cual es conducido el fluido proveniente del yacimiento hasta superficie, o también conduce los fluidos de superficie hasta el yacimiento.

**Fuente:** elaboración propia.

**1.3.11 Reacondicionamiento.** En ECOPETROL S.A., el término se emplea para referirse a herramientas necesarias para ejecutar operaciones de pesca y molienda, las cuales se realizan con el fin de remover o recuperar un material, herramienta o tubería que impiden el desarrollo de las actividades secuenciales. Pueden ocurrir

<sup>11</sup> GOMEZ, Kevin. Tipos y características de tuberías para elaboración de pozos petroleros. [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.: 2017. [Consultado 28 febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14078/TESIS%20Tipos%20y%20caracter%3%ADsticas%20de%20tuber%3%ADas%20para%20elaboraci%3%B3n%20de%20%20pozos%20petroleros.pdf?sequence=1>

por varias causas, algunas de las más usuales son: fallas de equipos de superficie, descuidos humanos, u operaciones mal efectuadas. De acuerdo a su sistema de operación, existen diversos tipos de herramientas de pesca descritas en el (**Cuadro 8**).

**Cuadro 8.** Herramientas de Reacondicionamiento.

Tipo	Herramientas	Descripción
N/A	Bloques de impresión	Poseen un cuerpo de acero tubular corto cuyo extremo inferior está provisto de un bloque de material blando.
	Canasta de pesca	Implementada en formaciones blandas y cuando el pescado son trozos de metal pequeños.
	Imanes de recuperación	Usados para recuperar conos de barrenas, cojinetes, recortes fresados y pasadores, o retirar escombros metálicos.
Herramientas de captura externa	Pescante de cuñas	Cuentan con una ranura helicoidal en el tazón y con grapas. Permite limar el tope del pescado.
	Pescante de cuñas de agarre corto	Es usado cuando la parte expuesta del pescado es demasiado corta.
Herramientas de captura interna	Terraja de pesca	Usada con pescados que tenga una conexión tipo caja.
	Macho cónico	Usado cuando el pescado tiene un diámetro interno restringido, permite labrar nuevas roscas mientras se atornilla.
	Arpones	Funciona como el pescante de cuñas, se emplea solo cuando este no es apropiado.
Herramientas de martilleo	Martillo	Libera golpes de impacto sobre el pescado.
Herramientas de molienda	Fresas	Usados para preparar el tope del pescado y así poder adaptar una herramienta de pesca, también permite triturar accesorios.
	Molinos y zapatas	Usados para realizar cortes en pescados de gran diámetro.

Fuente: elaboración propia.

**1.3.12 Unidad Flush-By.** Creada en los años 50 por la necesidad de inyectar fluido caliente en los pozos. Con el paso del tiempo se han integrado herramientas, sistemas neumáticos e hidráulicos, lo que permitió ampliar su rango de operación. Esta unidad consta de un tanque de almacenamiento de fluidos, bomba triplex para inyectar fluidos al pozo, y una torre de izaje. Diseñado para destapar pozos arenados, desarrollar operaciones de pruebas de integridad, inyección de fluidos, lavado de tubing, entre otras.

**1.3.13 Well Testing.** Se dividen en: pruebas de fondo, las cuales se realizan con el fin de obtener información que permita la caracterización del yacimiento y, de esta manera, estimar, entre otros factores, el daño de la formación; y las pruebas en superficie, que se refiere a las especificaciones para seleccionar tanques y equipos

que forman parte de las facilidades que permitan el debido acopio, tratamiento, almacenamiento y fiscalización de los fluidos de producción.

Algunos de los equipos y herramientas usados para este servicio se especifican en el **(Cuadro 10)**.

**Cuadro 9.** Herramienta para Well Testing.

Tipo	Equipos / Herramientas	Descripción
<b>Superficie</b>	Múltiple recolección de	Son líneas de flujo que llegan a un sitio en común, con la posibilidad de direccionar el fluido a otros lugares.
	Sistema inyección de químicos de	Consiste en la aplicación de químicos que mejores el tratamiento de los fluidos de producción.
	Separador	Cilindro presurizado usado para separar las tres fases del fluido de producción.
	Tratamiento térmico	Método que favorece el rompimiento de la emulsión.
	<i>Scrubber</i>	Permite extraer el contenido líquido de una corriente de gas a través de su condensación.
	<i>Knock-out Drum</i>	Finaliza la eliminación de partículas líquidas presentes en el gas para luego dirigir el flujo hacia la tea.
	Tea	Tubo vertical que se encarga de quemar el gas proveniente de las distintas facilidades.
	<i>Gun Barrel</i>	Tanque cilíndrico que genera mayor separación del agua libre presente en el crudo mejorando su calidad.
	Tanques de almacenamiento	Almacenan los líquidos o gases en la etapa final del proceso para protegerlos de contaminación.
	<i>Skimming Tank</i>	Tanque que permite la eliminación de trazas de crudo que existan en el agua a través del reboso.
<b>Fondo</b>	<i>Skimmer</i>	Conjunto de piscinas en cemento que permiten la separación del agua y el crudo por diferencia de densidades.
	Gauge Carrier	Herramienta que contiene la memoria y los medidores en tiempo real para los registros.
	Empaques	Herramienta que da sello a los equipos en fondo.
	Válvulas	Controlan el flujo y cierre de los fluidos.

**Fuente:** elaboración propia.

## 2. METODOLOGIA Y DATOS

Para la construcción de la matriz de selección inicialmente se recolectó la información técnica a través de unos formatos para cada servicio a evaluar, diseñados en Microsoft Excel; en ellos se recopiló las especificaciones de cada una de las herramientas y equipos que se implementan en los diferentes servicios a pozos. Adicionalmente, se realizó una estandarización de parámetros técnicos que permitieron la ejecución de las evaluaciones correspondientes.

El objetivo de la matriz consistió en proporcionar un resultado a partir de la evaluación de unos datos de entrada (input) digitada por el usuario. Esta ejecución se visualiza a través de formularios descritos en el diseño. Los resultados obtenidos tuvieron una calificación basada los porcentajes asignados a ciertos criterios. El diseño y ejecución de la matriz se realizó haciendo uso de la herramienta de programación, Visual Basic For Applications en Microsoft Excel.

Para la implementación se seleccionaron tres pozos ya intervenidos, en los cuales la selección de equipos y herramientas del servicio ejecutado se realizó de forma no automatizada.

En el **Diagrama 2** se encuentran las secciones que componen la metodología.

**Diagrama 2.** Secciones que componen la Metodología.



**Fuente:** elaboración propia.

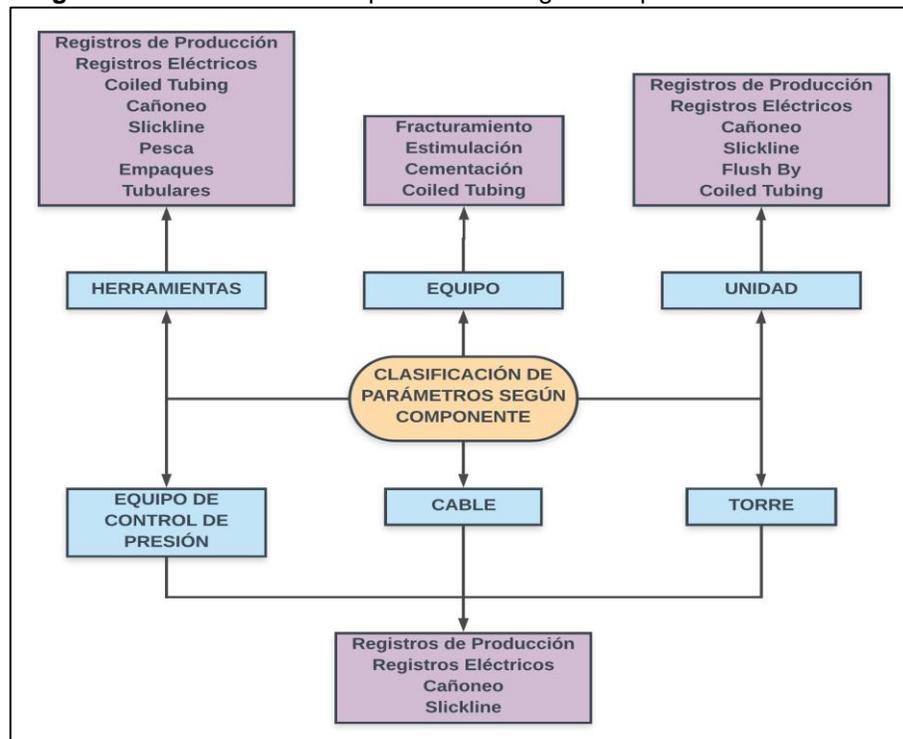
## 2.1 RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN

En el proceso de solicitud, recopilación, y consolidación de la información se diseñó un formato para cada uno de los trece (13) servicios en los que se listaron ciertos parámetros estándares que permitieron una evaluación técnica específica de cada equipo y herramienta ofertada.

**2.1.1 Recolección de información técnica.** Se diseñó un formato de acuerdo a cada servicio que permitió recopilar todas las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos, herramientas y accesorios (si aplica) ofertados en el mercado por las compañías contratistas de ECOPETROL S.A. Estos formatos, a su vez, permitieron la creación de la base de datos de donde se extrae y/o evalúa la información para la ejecución de la matriz. Para la construcción de estos formatos se realizó lo siguiente:

- Clasificación de parámetros por componente. A modo de facilitar el diligenciamiento de los formatos, el manejo de la información, y la programación de la matriz, se realizó una clasificación por componentes en cada servicio (según aplique). En el (**Diagrama 3**) se ilustra la clasificación realizada, y los servicios que le corresponden a cada una.

**Diagrama 3.** Clasificación de parámetros según componente.



Fuente: elaboración propia.

- Validación de parámetros. Con el fin de delimitar los posibles resultados durante el diligenciamiento de los formatos, se validaron ciertos parámetros técnicos a través de la creación de listas de selección (según aplique). Esto permitió normalizar las respuestas, y de esta forma, optimizar la programación de la matriz.

En el **Anexo B** se muestran los cuadros por cada servicio con la clasificación de parámetros por componente, y las correspondientes listas de validación.

**2.1.2. Estandarización de parámetros técnicos.** Para estandarizar los parámetros a evaluar en cada servicio, se obtuvo información, inicialmente, de unas matrices de evaluación técnica que ECOPETROL S.A. posee; de estos documentos se extrajo ciertos parámetros técnicos y porcentajes de calificación.

Adicionalmente, ECOPETROL S.A. facilitó documentos oficiales con las especificaciones técnicas de cada servicio, donde se adquirió información acerca de los equipos, herramientas, accesorios y recursos necesarios para realizar los trabajos de intervención. Dentro de las especificaciones técnicas que este documento proporcionó se encontraron: cantidades mínimas requeridas, rangos de capacidades, diámetros, longitudes, entre otros. Estas especificaciones permitieron establecer otros parámetros.

Para complementar, se consultaron fichas técnicas y catálogos de los servicios en estudio, donde se encontraron más especificaciones técnicas de los equipos y herramientas. También, se consultó de recursos bibliográficos que la Universidad de América tiene a disposición, y de otras fuentes externas.

A continuación, se listan los parámetros estandarizados de todos los servicios considerados en este proyecto, y las razones por las cuales se determinaron.

- Marca, modelo, serial, número de parte, tipo de equipo, nombre comercial: estos parámetros permiten referenciar la herramienta, de modo que sea más eficaz relacionarlo en un proceso de búsqueda o aplicación.
- Presión mínima, presión máxima, presión de trabajo, presión de colapso, presión de estallido: con el objetivo de delimitar las condiciones de trabajo, en cuanto a unidades de presión, a las que puedan estar expuestos o sometidos los equipos y las herramientas de intervención.
- Caudal mínimo bombeo, caudal máximo bombeo: estos se requieren para condicionar las capacidades de bombeo de las unidades y equipos.

- Indicador de presión, indicador de densidad, indicador de caudal, indicador de peso, indicador de profundidad, indicador de tensión: indican el tipo de indicador que se ofrece, análogo y/o digital, para cumplimiento de requerimientos por parte de la compañía operadora que permiten tener un mayor control durante la operación en tiempo real.
- Disponibilidad de sistema de adquisición de datos en tiempo real, disponibilidad impresora, disponibilidad de compresor, software de sistema de seguridad operativo, simulador de temperatura circulante, disponibilidad de sistema electrónico para transmitir señales, sistema de seguridad operativo, sistema de refrigeración, sistema de corte realizado, sistema de anclaje optimo, sistema de adquisición de data tiene Back-up, cantidad disponible para ECOPETROL: conocer la disponibilidad de ciertos sistemas son requerimientos de contratación por parte de la empresa operadora para asegurar que en caso de una eventualidad técnica durante la operación se tengan los medios para identificarla a tiempo y de tomar medias de aseguramiento de inmediato.
- Tipo de conexión superior, tipo conexión inferior, tipo de conexión en boca de pozo: estas especificaciones son indispensables en la planeación de una intervención, para seleccionar equipos y accesorios necesarios.
- Tipo capacidad, máxima y mínima capacidad, capacidad de almacenamiento de cable, capacidad para tensionar cable, capacidad de altura de izaje, capacidad de manejo de varillas huecas PCP, capacidad de almacenamiento N2 en pozo, potencia del motor hidráulico, capacidad de manejo de gas, capacidad de almacenamiento de datos, máxima capacidad de peso, máximo caudal de flujo, cantidad de tanques de recirculación, disponibilidad doble bomba pistón, combinabilidad con otras herramientas de registro: se consideran para identificar la capacidad y versatilidad de la unidad así decidir su implementación de diferentes tipos de servicios.
- Diámetro externo, máximo OD, mínimo ID, espesor, longitud, drift: son necesarios para dimensionar y diseñar una intervención en subsuelo, considerando los diámetros permitidos en pozo.
- Fecha de fabricación, última fecha inspección, fecha certificado de calibración vigente, fecha del certificado del ultimo mantenimiento, fecha de última prueba de tortura, nombre ente certificador, fecha certificado de luz negra, periodicidad de inspección, periodicidad de certificación, periodicidad a bombas pistón, inspección a bombas centrifugas, periodicidad de calibración de manómetros, inspección de espesor de pared a tanques, periodicidad de calibración de válvulas, periodicidad de almacenamiento y descarga de datos, tambores cuentan con protectores laterales, pruebas de tortura: estos parámetros son

requeridos para control de vida útil de la herramienta y permite conocer el estado de la misma, a fin de prevenir fallas y/o accidentes durante su ejecución.

- Metalurgia de tubería, material o-ring, material elementos de sello, dureza del material sellante: conocer el material (aleaciones) de fabricación de la herramienta, accesorio y/o tubería para estimar resistencia a ambientes corrosivos, torsión, etc.
- Cantidad disponible para ECOPEPETROL S.A., longitud promedio por tubo, longitud de lubricadores: dimensionar la profundidad de trabajo que se requiera.
- Rango libraje de trabajo, capacidad de carga de torre, máxima tensión de trabajo, libraje de trabajo, máxima potencia, peso nominal, grado de resistencia: determinar las capacidades de trabajo de los equipos y herramientas, en términos de peso, y la tolerancia a condiciones extremas.
- Tipos de fluidos compatibles, tipos de fluidos no compatibles, servicio con presencia de H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub>, resistencia al H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>, tolerancia a la erosión, medio en el que registra: limitar las condiciones de exposición de las herramientas y equipos.
- Dimensiones de la unidad, esquema de la unidad, altura de trabajo de la torre, peso de la unidad, peso de la torre: delimitar sectores dentro del área de trabajo.
- Descripción software de modelamiento en pozo, precisión de medida de la herramienta, resolución medida de herramienta, profundidad de investigación disponibilidad control automático de densidad, monitoreo en tiempo real con videocámara en la cabeza inyectora, descripción software gerenciamiento historial tubería, simulador de temperatura circulante: conocer las herramientas de modelamiento y permitir dar mayor precisión al trabajo que se esté desarrollando.
- Porcentaje de fatiga, máximo torque, mínimo torque, rating del equipo, rating del fluid-end, tensión máxima de trabajo, tipo de iluminación, unidad autopropulsada, tipo de sensor, rango de diámetro de la tubería que corta, longitud de empalme, longitud del lubricador: estimar limitaciones de las herramientas, en términos de esfuerzos.
- Temperatura máxima de operación: evaluar las condiciones de temperatura en el pozo.
- Tiempo de duración posterior al asentamiento: este parámetro se aplica a empaques, para calcular tiempos operativos.

- Descripción método de asentamiento, permite realizar trabajo de cementación con la herramienta de corrida mecánica en un solo viaje cuando se baja como cement-retainer, descripción software de modelamiento de pozo, descripción tipo de mantenimiento mayor: evaluar condiciones de ejecución de la herramienta bajo distintos escenarios.
- Doble shutdown de emergencia, dispositivo pararrayos, sistema de parada de seguridad en carrera ascendente, geo-membrana, rompeolas, bloqueo físico de acceso a tanques durante operación, bloqueo de sistema hidráulico lock out y/o tag out, alarma sonora para freno de emergencia, apagado de emergencia, sistema polo a tierra, disponibilidad freno de emergencia REEL, : estos parámetros son tenidos en cuenta, por parte de ECOPETROL S.A. como requerimientos para establecer que el equipo está en capacidad de reaccionar ante un problema operacional.
- Capacidad para adaptar un fluid-end con 15000 psi, capacidad mínima de filtración, capacidad máxima de filtración: diseñar una intervención con fracturamiento hidráulico o estimulación.
- Tamaño del empaque, rango de libraje de trabajo, máximo OD antes de asentamiento, presión diferencial que soporta: son parámetros para diseñar una operación para sentar un equipo, permiten conocer si son aptos para las condiciones de completamiento que se pueden tener en el pozo.
- Cantidad de poleas en corona, cantidad de tambores, cantidad de secciones de brazos de BOP, cantidad de manómetros de 0 a 10000 psi, transporta fluidos de control, capacidad mínima de brazo articulado, cantidad de brazos de la herramienta: parámetros requeridos para cálculos y diseño con unidad flush-by.
- Rango de corte adecuado, requiere circulación en punta de pez, tipo de mecanismo para asegurar partes, tipo de mecanismo de liberación, material del mecanismo de agarre, material de la tubería que puede cortar, tipo de cortador, área de aplicación, área de agarre del pescado, permite rotación: aplica a operaciones de pesca, y permite diseñar una operación conociendo limitaciones y posibilidades de escenarios.
- Velocidad de registro, resolución vertical, tipo de cable, tipo de izaje del equipo de presión, longitud de lubricador, longitud de la herramienta, tipo de material del cable, velocidad de registro: estos parámetros permiten determinar el grado de incertidumbre en el registro de una herramienta, adicionalmente permiten decidir si son adecuados para las condiciones que se tienen en el fondo del pozo.

- Máxima capacidad de torre: es necesario conocer si está en capacidad de soportar el BHA (cable, herramienta, tubería) de la operación con un factor de seguridad del 20%.
- Modo de procesamiento de datos: para conocimiento de la compañía operadora permite determinar si es de tipo estacionario o continuo.
- Tipo de explosivo, tipo de carga, grupo/número de la carga: asociado a la penetración que este tendría en la formación y a la forma cómo están organizados dentro del cañón.
- Densidad del disparo: penetración en la formación.
- Fase: distancia entre cañones, distribución de los orificios.
- Peso explosivo: se requiere conocerlo para tenerlo en cuenta en la capacidad de soporte de peso de la unidad.
- Potencia: parámetro que indica la cantidad de energía que tiene la unidad.
- Cantidad de tambores: este permite conocer la capacidad en términos de profundidad que tiene la unidad.
- Tipo de cable del tambor: se busca conocer el diámetro del cable, asociado a la resistencia que ofrece a la temperatura. También es necesario definir si es mono-conductor, poli-conductor o slickline braided; esto para determinar cual tiene más capacidad de transferir la energía.
- Identificación de parámetros comunes. En el **Cuadro 10** se listan sólo los parámetros evaluados en más de un servicio, el chequeo (casillas marcadas con "X") indica en cuál de ellos aplica. Esto con el fin de ilustrar la importancia de estos parámetros en el proceso de la evaluación.

**Cuadro 10.** Parámetros comunes por servicios.

Servicios	Cementación	Coiled Tubing	Empaques	Flush-By	Fracturamiento Y Estimulación	Reacondicionamiento	Registros Y Cañoneo	Slickline	Tubulares	Well Testing
<b>PARÁMETROS COMUNES</b>										
Cantidad disponible para ECOJETROL			X			X	X		X	
Capacidad máxima de tensión (lb)							X			
Componente		X				X	X			
Diámetro externo (in)		X					X	X		
Disponibilidad alarma sonora							X	X		
Disponibilidad freno emergencia malacate							X	X		
Disponibilidad sistema de polo a tierra								X		X
Disponibilidad de indicador de presión y de tensión	X	X					X	X		
Disponibilidad apagado de emergencia	X	X		X			X	X		
Equipo		X					X	X		
Fecha de fabricación (dd/mm/aaaa)		X				X	X	X		
Fecha última certificación (dd/mm/aaaa)	X	X				X	X			
Herramienta						X	X	X		
Longitud (in)		X	X					X		X
Marca		X		X		X	X	X		X
Material			X				X			
Máxima presión (psi)	X				X	X	X			
Máxima temperatura (°F)						X	X			X
Máxima tensión (lb)			X							X
Máximo caudal flujo (bbl/min)			X			X	X			
Máximo diámetro de pase interno (in)							X	X	X	
Máximo OD (in)		X						X		
Metalurgia			X						X	
Mínimo ID (in)			X							
Modelo	X			X			X			
Nombre comercial		X	X			X	X	X	X	X
Número de corridas mínimas por pozo			X			X	X			X
Número de parte		X	X			X	X			
Peso (lb)							X	X		

**Cuadro 11.** (continuación).

Servicios	Cementación	Coiled Tubing	Empaques	Flush-By	Fracturamiento Y Estimulación	Reacondicionamiento	Registros Y Cañoneo	Slickline	Tubulares	Well Testing
<b>PARÁMETROS COMUNES</b>										
Peso de la torre (lb)								X		
Peso de la unidad (ton)				X					X	X
Presión de colapso (psi)			X						X	X
Presión de estallido (psi)		X	X				X	X		
Requiere circulación en punta de pez							X			X
Servicio con presencia de H <sub>2</sub> S/CO <sub>2</sub>			X					X		X
Temperatura de trabajo (°F)			X		X					X
Tipo conexión inferior		X	X					X		X
Tipo conexión superior		X	X				X			
Tipo de cable				X		X	X	X		
Tipo de capacidad	X	X			X			X		X
Tipo de iluminación							X	X		
Tipo de izaje del equipo de presión							X			
Tipo de mecanismo de agarre						X	X			
Tipo de mecanismo de liberación									X	X
Tipos de fluidos compatibles			X						X	X
Tipos de fluidos no compatibles			X			X	X			
Torque máximo						X	X			

**Fuente:** elaboración propia.

## 2.2 DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LA MATRIZ

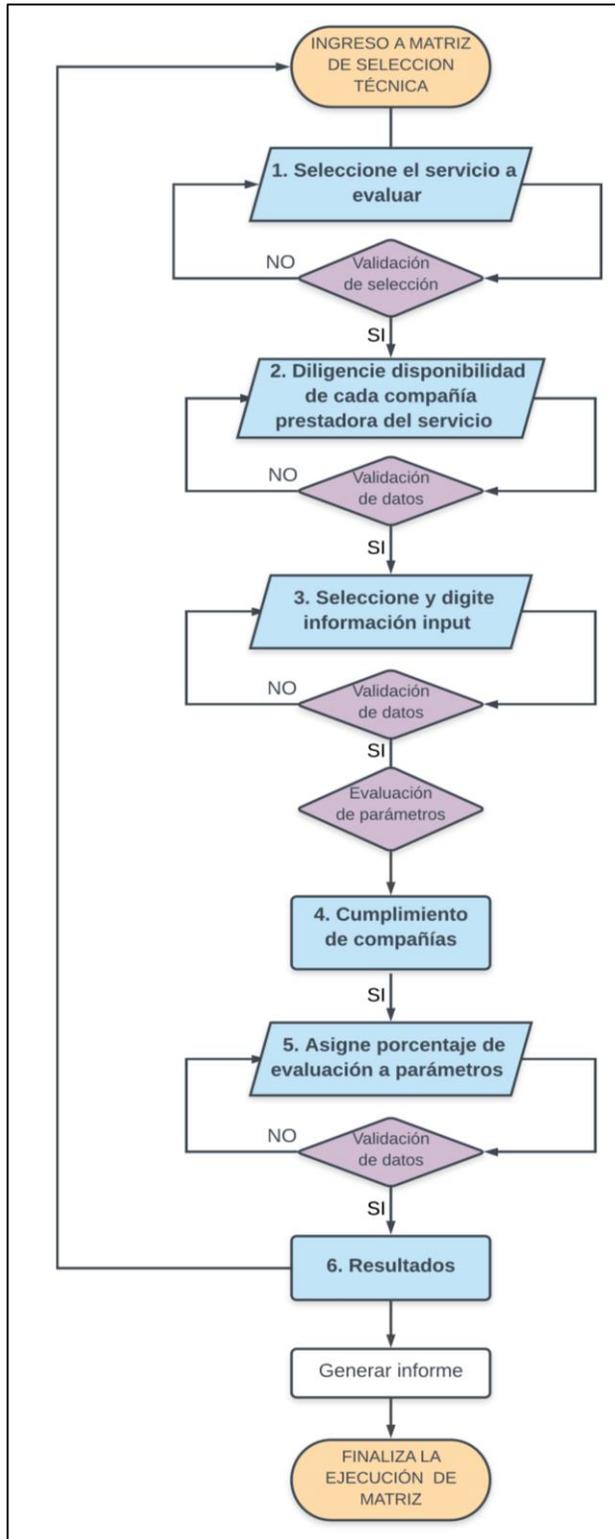
La matriz de selección técnica se construyó con la herramienta de Microsoft Excel, usando el lenguaje de programación de Visual Basic for Applications. Como punto de partida se contó con la programación y creación de una base de datos alimentada a partir de la información recopilada a través de los formatos donde se describieron las especificaciones técnicas de los equipos y herramientas ofertados a ECOPETROL S.A. para los diferentes servicios considerados en el presente trabajo.

**2.2.1 Descripción funcionamiento de la matriz.** La ejecución inicia con la selección del servicio a evaluar, y la disponibilidad que tiene cada compañía en el ofrecimiento de dicho servicio. Luego, se requiere el diligenciamiento de la información input, para que la matriz valide y evalúe el cumplimiento de las compañías con respecto a ello, a través de la comparación de datos.

Posteriormente, el usuario debe asignar un porcentaje de evaluación a cada parámetro seleccionado, mientras la matriz califica el desempeño de cada equipo. Como resultado, la matriz muestra los puntajes de aceptación obtenidos por cada compañía de acuerdo a los porcentajes asignados y calculados durante la ejecución de la matriz.

En el (**Diagrama 4**) se muestra el proceso de funcionamiento general de la matriz. El código de programación no se presentará en el presente documento por motivos de confidencialidad, teniendo en cuenta que ECOPETROL S.A. es la primera compañía en establecer este sistema de evaluación técnica.

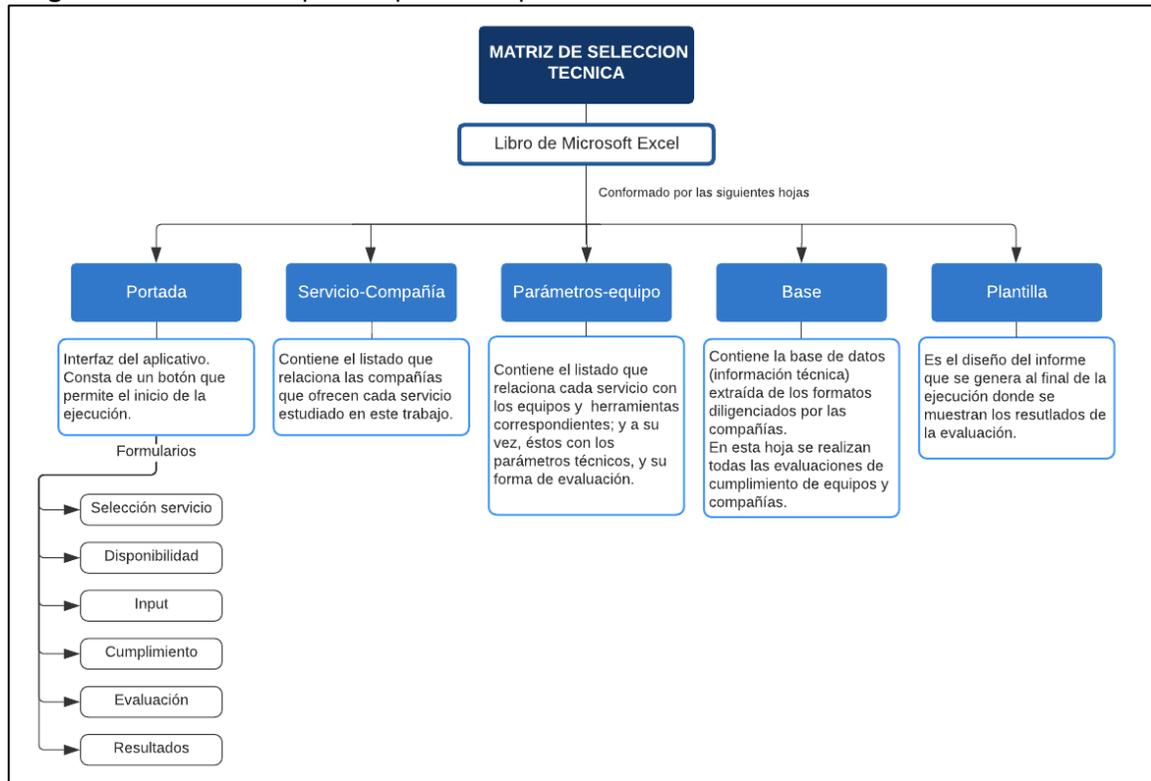
**Diagrama 4.** Proceso de funcionamiento de la matriz de selección técnica.



**Fuente:** elaboración propia.

**2.2.2 Secciones que componen la matriz.** El aplicativo es un libro de Microsoft Excel en el que se adaptó la ejecución de la matriz a las funcionalidades que esta herramienta ofrece. Este libro (Diagrama 5) cuenta con unas hojas diseñadas con una función específica para la ejecución del programa.

**Diagrama 5.** Secciones que componen el aplicativo.



**Fuente:** elaboración propia.

La hoja “Portada” es la única hoja visible para el usuario. Una vez inicia la ejecución de la matriz se muestran 6 (seis) formularios (explicados en el siguiente numeral) que garantizan interacción con el usuario, y un procesamiento adecuado de la información para la selección técnica de equipos y herramientas.

Las hojas “Servicio-compañía” y “Parámetros-equipo” son recursos que se encuentran ocultos en el libro y contienen información constante, la cual es utilizada por la matriz para ser filtrada, extraída y mostrada al usuario, a través de los formularios, para su manejo durante la ejecución.

La hoja “Base” contiene información variable, pues es una base de datos extraída de acuerdo al servicio seleccionado, e información calculada, pues varía de acuerdo a la información input digitada por el usuario. Finalmente, la hoja “Plantilla”, la cual

es duplicada por la matriz para generar en ésta los resultados obtenidos en la evaluación.

**2.2.3 Interfaz y procesamiento de la información.** Este numeral describe la ejecución de la matriz explicando el procesamiento de la información y la evaluación técnica de equipos y compañías a través del paso a paso desde la interfaz principal y los 6 formularios.

Estos formularios permiten al usuario realizar acciones tales como seleccionar entre opciones, digitar información, retroceder o avanzar entre formularios, entre otras, a través de controles propios de la herramienta.

- Interfaz principal (**Imagen 1**). Esta interfaz se encuentra en la hoja “Portada” del libro de Excel. Muestra el botón “IR A EVALUACION” que permite al usuario accionarlo para iniciar la ejecución de la matriz.

**Imagen 1.** Interfaz principal de matriz



**Fuente:** elaboración propia.

Una vez inicia la ejecución se muestra el primero formulario para iniciar el proceso de evaluación.

- Formulario 1 – INICIO (**Imagen 2**). Esta primera sección permite al usuario seleccionar el servicio que desea evaluar a través de botones de opción.

**Imagen 2.** Formulario INICIO



**Fuente:** elaboración propia.

Una vez se selecciona el servicio se genera una variable de servicio que se considera durante la evaluación de equipos y herramientas para filtrado y búsqueda de datos en los recursos de información disponibles.

- Formulario 2 – DISPONIBILIDAD: En este formulario se muestran todas las compañías que ofrecen el servicio previamente definido, y permite diligenciar las fechas de disponibilidad de herramientas y equipos de cada empresa. El diligenciamiento de estas fechas no es obligatorio, pues es un dato de tipo informativo, y no se considera en la evaluación técnica.

**Imagen 3.** Formulario DISPONIBILIDAD

COMPAÑIAS PRESTADORAS	FECHA DISPONIBILIDAD (DD/MM/AAAA)
<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Fuente:** elaboración propia.

Con la variable de servicio definida, la matriz se dirige a la hoja “Servicio-compañía”, extrae las empresas que ofrecen este servicio y muestra la información en las etiquetas de este formulario. Adicionalmente, habilita las cajas de texto para permitir la digitación de información en ellas.

- Formulario 3 – INPUT: En esta sección se plasman las condiciones operativas bajo las cuales se desea evaluar las opciones de equipos y herramientas ofrecidos en el mercado. Para ello, el formulario permite seleccionar los equipos y/o herramientas a evaluar, seleccionar parámetros o aspectos técnicos de cada uno de ellos, y asignar un valor (input).

**Imagen 4.** Formulario INPUT

The screenshot shows a web application window titled "INPUT". The main heading is "INPUT". Below the heading, there are two instructions: "Seleccione los equipos/herramientas a evaluar" and "Seleccione el parámetro a evaluar y asigne un valor de input". The form is organized into three columns: "Equipos/Herramientas", "Parámetro técnico", and "Input". Each column contains a series of dropdown menus. At the bottom left, there is a button labeled "ATRAS". At the bottom right, there is a button labeled "SIGUIENTE" with a cartoon character holding a sign.

**Fuente:** elaboración propia.

Basado en la variable de servicio, la matriz se dirige a la hoja “Equipo-parámetros” y carga las listas “Equipos/Herramientas” con la información relacionada que encuentre para ese servicio. Una vez se seleccione el equipo, de la misma manera la matriz carga las listas “Parámetro técnico” con las especificaciones que aplican a este equipo seleccionado, adicionalmente se habilita la caja de texto que permite digitar información para el input.

Esta información es almacenada en la memoria del aplicativo para ser procesada más adelante.

- **Formulario 4 – CUMPLIMIENTO:** Este formulario de tipo informativo, muestra el cumplimiento de las compañías que ofrecen el servicio en cuestión. Al frente de cada una se indica el resultado obtenido de la evaluación con las siguientes etiquetas posibles: “CUMPLE”, “NO CUMPLE” y “NO INFO”.

**Imagen 5.** Formulario CUMPLIMIENTO

The image shows a web browser window with a green title bar containing the text 'CUMPLIMIENTO' and a close button. The main content area has a white background with the title 'CUMPLIMIENTO' in bold black text. Below the title is the heading 'Compañías'. Underneath is a table with three columns and ten rows. The first column has a single cell per row. The second column has a single cell per row. The third column has a single cell per row. At the bottom left of the form is a button labeled 'ATRAS'. At the bottom right is a button labeled 'SIGUIENTE' next to a cartoon illustration of a green iguana.

**Fuente:** elaboración propia.

Basado en la variable de servicio, la matriz busca la información de los formatos de recolección y extrae esos datos para crear una base de datos en la hoja “Base” relacionando servicio, compañía, equipo, parámetro técnico y valor. Luego, busca en esta base de datos el equipo/herramienta y parámetro evaluados en el formulario INPUT y compara este valor ingresado versus el que proporciona el proveedor a través de los formatos. Esta comparación indica si el equipo cumple o no con las especificaciones requeridas, este resultado se evidencia con un “Verdadero” o “Falso” en la base de datos.

Una vez se evalúa el cumplimiento de los equipos, inicia la evaluación de las compañías; para dar cumplimiento a una compañía es requerido que todos los equipos seleccionados hayan dado “Verdadero” en la evaluación anteriormente descrita. Si la compañía cumple con esto su etiqueta será “CUMPLE”, de lo contrario, “NO CUMPLE”.

Existen compañías que no ofrecen determinados equipos, si este es el caso, el formulario indica que no hay información al respecto, y muestra la etiqueta “NO INFO”

- Formulario 5 – EVALUACIÓN: En esta sección se muestran los equipos y parámetros técnicos evaluados, las empresas que cumplieron, y los porcentajes

de cada equipo (obtenidos a partir de un criterio adicional calculado). Adicionalmente, permite asignar un porcentaje de evaluación a cada parámetro técnico, el cual es almacenado en la memoria para el cálculo de resultados.

Imagen 6. Formulario EVALUACION

Fuente: elaboración propia.

El criterio adicional es un cálculo aplicado a los equipos que cumplieron (**Ecuación 1**), y es interpretado para dar un indicativo del rango de operación de los mismos; se refiere al valor adicional con el que cumple un equipo/herramienta respecto al valor de input con el que fue evaluado.

**Ecuación 1.** Criterio Adicional.

$$CA = \left| \left( \frac{V_{equipo} * 100}{V_{input}} \right) - 100 \right|$$

Donde,

CA: Criterio adicional

$V_{equipo}$ : Especificación del equipo

$V_{input}$ : Dato input

Fuente: ECOPETROL S.A.

Una vez calculado el criterio adicional se hace la correlación con la **Ecuación 2** para determinar el porcentaje final del equipo a través de equivalencias, las cuales permiten asignar un valor de acuerdo al rango en el que se encuentre.

**Ecuación 2.** Condiciones de porcentaje de evaluación.

$$\begin{aligned} 0\% < CA \leq 10\% &= 80\% \\ 10\% < CA \leq 25\% &= 90\% \\ CA > 25\% &= 100\% \end{aligned}$$

Donde,  
CA: Criterio adicional

**Fuente:** ECOPETROL S.A.

- Formulario 6 – RESULTADOS: Esta sección muestra los resultados obtenidos de la evaluación, en la que se visualizan los puntajes obtenidos por cada compañía. Adicionalmente, permite generar un informe en el cual se detalla los resultados obtenidos de la evaluación, y el equipo/herramienta seleccionado.

**Imagen 7.** Formulario RESULTADOS

The image shows a software window titled 'RESULTADOS'. Inside, there is a table with two columns: 'Compañías' and 'Total'. The table has 10 empty rows. Below the table, there is a formula: 
$$\%Compañía = \sum_{i=1} (\%Equipo_i * \%Criterio_i)$$
 To the right of the formula is a cartoon drawing of a dinosaur. At the bottom of the window, there are two buttons: 'ATRAS' on the left and 'GENERAR INFORME' on the right.

**Fuente:** elaboración propia.

La **Ecuación 3** permite calcular el porcentaje de cumplimiento de las compañías, considerando el porcentaje final de cada equipo (%EQi) calculado con la ecuación 2, y el porcentaje asignado por el ejecutor a cada parámetro técnico en el formulario de evaluación (%CRI).

**Ecuación 3.** Calificación total por compañía.

$$\%P_{total} = \sum_{i=1} (\%EQ_i * \%CR_i)$$

Donde,

%Ptotal = Porcentaje total por compañía.

%EQi = Porcentaje por equipo.

%CRi = Porcentaje por parámetro técnico.

**Fuente:** ECOPETROL S.A

## 2.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA MATRIZ

Se realizó la implementación de la matriz en tres (3) pozos ubicados en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena con el objetivo de mostrar el correcto funcionamiento de esta. Se realizaron tres (3) filtros variando los parámetros a evaluar para analizar la diferencia entre los resultados y a la vez establecer la empresa con mayor versatilidad en cuanto a ofrecimiento de equipos y herramientas.

**2.3.1 Selección de pozos de análisis.** Cada pozo se seleccionó basado en la necesidad de implementación de la matriz a cada uno de ellos, considerando inicialmente, que estuvieran ubicados en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena y que los trabajos de intervención relacionados estuvieran contemplados en este trabajo de grado.

Para dos pozos, la herramienta se implementó durante el diseño de las operaciones, es decir, basado en condiciones reales del pozo se seleccionó el equipo óptimo. Este fue el caso del pozo FUA X1-E donde se seleccionó el tubing (Tubulares-Completamiento), y el pozo FUA X2-E donde se seleccionó la herramienta de registro más adecuada (Registros eléctricos).

En el tercer pozo se buscó que ya se hubiera realizado una intervención, para implementar la matriz como una herramienta de verificación de la selección realizada. Este pozo fue el FUA X3-E al cual se le realizó un abandono (Cementación-Abandono).

A continuación, se detalla el contexto del servicio ejecutado en cada uno de los pozos seleccionados, la disponibilidad de información y el fundamento de implementación de la matriz.

- **Pozo FUA X1-E:** Una vez finalizada la etapa de perforación se realiza el diseño del completamiento al pozo en mención con el objetivo de hacer la selección del revestimiento (CSG) y la tubería de producción (Tubing) para dar inicio a la vida productiva del pozo. En la **Tabla 1** se describen las especificaciones técnicas de la tubería casing a instalar en el pozo. La matriz se implementó para realizar la selección del tubing.

**Tabla 1.** Información del diseño del pozo FUA X1-E.

Información de Diseño					
<b>NOMBRE DEL POZO</b>		FUA X1-E			
<b>TIPO DE POZO</b>		Productor			
<b>UBICACIÓN POZO</b>		Cuenca Valle Medio del Magdalena			
<b>TIPO REVESTIDOR</b>	<b>GRADO</b>	<b>DIAMETRO EXTERNO (in)</b>	<b>PESO (lb/ft)</b>	<b>ROSCA</b>	<b>PROFUNDIDAD DE ASENTAMIENTO (ft-MD)</b>
Superficial	N-80	9 5/8	36	Butress	1413
Intermedio	N-80	7	29	Butress	10971

Fuente: ECOPELROL S.A.

- **Pozo FUA X2-E:** En este pozo se finalizó el completamiento de la primera sección y se requirió hacer un perfil, para ello se corrió un registro eléctrico Gamma Ray, el cual mide la radioactividad de la roca emitida por minerales como potasio (K), torio (Th) y uranio (U). Este registro puede ser corrido tanto en hueco abierto como revestido; para este caso se corrió en hueco abierto.

La información disponible, representada en la **Tabla 2**, es diámetro del casing de superficie y la profundidad de la sección. La matriz se implementó con el fin de seleccionar la herramienta Gamma Ray para caracterizar la litología de la segunda sección, por lo cual uno de los parámetros evaluados es el máximo OD de la misma.

**Tabla 2.** Información del estado actual de pozo FUA X2-E.

Información actual de pozo		
<b>NOMBRE DEL POZO</b>	FUA X2-E	
<b>TIPO DE POZO</b>	Productor	
<b>UBICACIÓN POZO</b>	Cuenca Valle Medio del Magdalena	
<b>SECCION</b>	<b>PROFUNDIDAD SECCION (ft-MD)</b>	<b>DIAMETRO HUECO (in)</b>
CSG Superficial	1280	9 5/8

Fuente: ECOPELROL S.A.

- **Pozo FUA X3-E:** Este pozo, con un Run Time de 1600 días se decidió abandonar por no ser económico debido al alto corte de agua, y la imposibilidad de oportunidades de optimización en producción. En la **Tabla 3** se listan algunos de los equipos de superficie implementados en la intervención.

La matriz se implementó para verificar la efectividad de la selección de la unidad de cementación, pues este equipo es de los más relevantes en la operación ya que da cumplimiento a los requerimientos de bombeo y tasa en el trabajo.

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas del equipo usado para el abandono.

Especificaciones técnicas de equipos usados para el Abandono		
<b>NOMBRE DEL POZO</b>	FUA X3-E	
<b>TIPO DE POZO</b>	Productor	
<b>UBICACIÓN DE LA CUENCA</b>	Valle Medio del Magdalena	
<b>EQUIPO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TECNICA</b>	<b>VALOR</b>
Unidad de cementación	Presión máxima (psi)	10000
	Tasa máxima de bombeo (bpm)	10
Batch Mixer	Cantidad de tanques (unidad)	2
	Capacidad (bls)	100
Cabeza de cementación de doble compartimiento y botella de circulación	Presión de trabajo (psi)	8000
	Mínima presión de prueba hidrostática (psi)	10000

**Fuente:** ECOPETROL S.A.

**2.3.2 Filtros aplicados para la implementación de la matriz.** Otro de los objetivos de implementación de la matriz consiste en determinar la versatilidad de las compañías en cuanto al ofrecimiento de equipos y herramientas en los servicios de estudio.

Para ello, se ejecutó la matriz en los servicios de los pozos seleccionados, variando los parámetros técnicos de determinados equipos y analizando los resultados obtenidos. Estas variaciones se conocen como filtros.

A continuación, se especifican los filtros aplicados a los tres servicios estudiados en la implementación, y los parámetros analizados en cada uno de ellos.

- SERVICIO DE TUBULARES

**Diagrama 6.** Filtros aplicados para la evaluación de tubulares

Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad disponible</li> <li>• Máximo OD</li> <li>• Presión de colapso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo OD</li> <li>• Peso nominal</li> <li>• Periodicidad de inspección</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo OD</li> <li>• Máxima tensión</li> <li>• Tipo de conexión</li> </ul>

**Fuente:** elaboración propia.

- SERVICIO DE REGISTROS ELÉCTRICOS

**Diagrama 7.** Filtros aplicados para la evaluación de registros eléctricos

Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo OD</li> <li>• Longitud</li> <li>• Peso de la herramienta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo OD</li> <li>• Máxima temperatura</li> <li>• Máxima presión de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máximo OD</li> <li>• Resolución vertical</li> <li>• Velocidad de registro</li> </ul>

**Fuente:** elaboración propia.

- SERVICIO DE CEMENTACIÓN

**Diagrama 8.** Filtros para la evaluación de cementación

Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo</li> <li>• Peso</li> <li>• Potencia de la unidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máxima capacidad</li> <li>• Disponibilidad de doble bomba pistón</li> <li>• Potencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilidad control automático de densidad</li> <li>• Registro datos de presión, densidad y tasa bombeo</li> <li>• Periodicidad de inspección a bombas pistón</li> </ul>

**Fuente:** elaboración propia

### 3. RESULTADOS Y ANALISIS

Al finalizar las ejecuciones de la matriz para los tres servicios de estudio se evidencian los siguientes resultados en cada pozo.

#### 3.1 POZO FUA X1-E

Se realizó la selección de la tubería de producción (tubing) para el pozo FUA X1-E de acuerdo a la información operacional entregada por ECOPETROL S.A., la cual se refleja en la **Tabla 4**.

**Tabla 4.** Información operacional del pozo FUA X1-E

Información operacional del Pozo FUAX1-E		
<b>ARENA</b>	Prof. interés (ft – MD)	10700-10705
	Temperatura en fondo (°F)	265
	Presión de yacimiento (psi)	3665
	Índice de productividad (BFPD/psi)	5.02
<b>FLUIDOS</b>	Potencial de fluido (BFPD)	1200
	Velocidad simulada (ft/s)	1.03

Fuente: ECOPETROL S.A.

**3.1.1 Primer Filtro FUA X1-E.** A continuación, se evidencia la ejecución y resultados de la matriz. El procedimiento de ejecución es el mismo para todos los filtros realizados.

**Paso I:** Clic en el botón “IR A EVALUACION”, y selección del servicio TUBULARES.

**Imagen 8.** Etapa inicial de la ejecución para la matriz.



**Fuente:** elaboración propia.

**Paso II:** Se diligenció la fecha de disponibilidad de las compañías para el ofrecimiento de los equipos/herramientas.

**Imagen 9.** Disponibilidad pozo FUA X1-E, filtro 1.



**Fuente:** elaboración propia.

**Paso III:** Se seleccionó el equipo de estudio (tubing), y los parámetros técnicos a evaluar (filtros) con los respectivos valores en input. En la **Imagen 10** se evidencia la forma de selección de equipos/herramientas, mismo para selección de parámetros técnicos.

**Imagen 10.** Diligenciamiento input pozo FUA X1-E, filtro 1.

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
TUBING		
HEAVY WEIGHT DRILL PIPE ESPIRALADOS PREMIUM		
HEAVY WEIGHT DRILL PIPE LISOS API		
HEAVY WEIGHT DRILL PIPE LISOS PREMIUM		
LLAVES		
MESAS FALSAS		
OTRO		
TUBERIA DE FRACTURA		
TUBING		

**Fuente:** elaboración propia.

La cantidad de tubos disponibles a evaluar fue de 345, valor obtenido al realizar la división entre la profundidad de interés (10705 ft) y la longitud promedio de cada tubo (31 ft). Para determinar el máximo OD del tubing a evaluar se consideró el diámetro interno del casing intermedio instalado, el cual es de 6.184, la velocidad y caudal de diseño del fluido. Se decide instalar un tubing que tenga un diámetro externo máximo de 3.5 pulgadas para minimizar riesgos operacionales a causa de la expansión de la tubería a instalar.

La presión de colapso, relacionada directamente al nivel de sumergencia del sistema de levantamiento, se presume en 3665 tomando como referencia la presión del yacimiento, la cual sería la máxima presión que se esperaría en el sistema. De acuerdo literatura consultada, se recomienda considerar un porcentaje del 10% adicional, asegurando la capacidad de soporte de presión del tubular, por lo cual se evalúa este parámetro en 4032psi. En la **Imagen 11** se muestra el diligenciamiento de esta ventana.

**Imagen 11.** Input pozo FUA X1-E, filtro 1.

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
TUBING	CANTIDAD TUBOS DISPONIBLE (UNIDAD)	345
TUBING	MÁXIMO OD (in)	3.5
TUBING	PRESIÓN DE COLAPSO (psi)	4032

Fuente: elaboración propia

**Paso IV:** En la **Imagen 12** se evidencia que de las tres empresas que ofrecen el servicio de tubulares sólo dos tiene equipos que cumplen con las especificaciones determinadas.

**Imagen 12.** Cumplimiento pozo FUA X1-E, filtro 1.

Compañías	Compañía	Cumplimiento
CO-G	COMPAÑIA G	NO CUMPLE
CO-K	COMPAÑIA K	CUMPLE
CO-O	COMPAÑIA O	CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

**Paso V:** Este formulario mostró que los equipos ofrecidos por cada compañía tienen rangos de operación similares, esto se evidencia en los porcentajes obtenidos. La distribución de porcentajes a los parámetros evaluados quedó de la siguiente manera: 0.2 para la cantidad disponible, 0.3 para el máximo OD y 0.5 para la presión de colapso. Para esta iteración fue importante destacar la presión de colapso, puesto que la columna de fluido en el pozo es una de las variables más críticas de manejar durante la producción cuando se tiene un bajo índice de productividad.

**Imagen 13.** Evaluación pozo FUA X1-E, filtro 1.

Fuente: elaboración propia.

**Paso VI:** Como era de esperarse desde el formulario anterior, las compañías obtuvieron un mismo porcentaje de evaluación.

**Imagen 14.** Resultados pozo FUA X1-E, filtro 1.

Fuente: elaboración propia.

**Paso VII:** Finalmente, se genera el informe en donde se listan los parámetros seleccionados, porcentajes asignados a estos, datos de input y finalmente muestra el nombre comercial del equipo con el cual las empresas cumplieron, que para las condiciones evaluadas es esperada la relación que existe en el libraje de ambos.

**Imagen 15.** Informe pozo FUA X1-E, filtro 1.

**INFORME DE EVALUACION TÉCNICA**

FUNCIONARIO: USUARIO

FECHA: 21/03/20

**EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

INPUT			
EQUIPOS	PARÁMETROS	%	INPUT
TUBING	CANTIDAD TUBOS DISPONIBLE (UNIDAD)	20	345
TUBING	MÁXIMO OD (in)	30	3.5
TUBING	PRESIÓN DE COLAPSO (psi)	50	4032

**COMPAÑÍAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON**

COMPAÑÍA K 0.92
COMPAÑÍA O 0.92

TENARIS J-55 9.20 lb
TENARIS N-80 9 lb

**Fuente:** elaboración propia.

**3.1.2 Segundo Filtro FUA X1-E.** Se inicia el procedimiento desde el paso 3 teniendo en cuenta que los pasos anteriores (selección de servicio y disponibilidad de compañías) no varían para la evaluación de este segundo filtro.

**Paso III:** Los parámetros a seleccionar en este caso fueron máximo OD, valor que no varía respecto al primer filtro evaluado. Se evaluó el peso nominal del equipo de 9.2 lb/ft; la carga por peso es un parámetro muy importante en el diseño y montaje de las estructuras en superficie, puesto que permite determinar capacidades y posibles esfuerzos durante la operación. Finalmente, se evalúa la periodicidad de inspección de los tubulares para asegurar que las condiciones operativas se encuentren bajo los estándares de calidad permitidos. En la **Imagen 29** del anexo C se encuentra el debido diligenciamiento de este formulario.

**Paso IV:** Se puede evidenciar que al variar dos parámetros se arrojó un cambio evidente en los resultados, pues solo cumple una compañía. Las causas de esta variación se analizarán en el siguiente capítulo. (**Imagen 30**) del anexo C.

**Paso V:** Nuevamente se asigna un valor a cada uno de los parámetros seleccionados para esta evaluación, en este caso el mayor valor fue asignado al peso nominal, pues este parámetro está relacionado al espesor de pared, el cual, a su vez, se relaciona con la resistencia al colapso y estallido del tubing. (**Imagen 31**) del anexo C.

**Paso VI:** Se puede ver que, aunque solo una compañía cumplía con los requisitos establecidos, no cumple con un 100% lo cual es consecuencia del criterio adicional asignado a esta compañía. **(Imagen 32)** del anexo C.

**Paso VII:** El informe correspondiente a esta evaluación se ve en la siguiente imagen. **(Imagen 33)** del anexo C.

**3.1.3 Tercer Filtro FUA X1-E.** Nuevamente, se retoma el procedimiento desde el tercer paso de la ejecución.

**Paso III:** Los parámetros seleccionados en este caso fueron máximo OD, valor que no varía. Se evalúa la máxima tensión, que es el esfuerzo axial generado por el peso de la tubería; el valor que se asignó fue de 100.000 lb. Por otro lado, se evaluó el tipo de conexión NUE-520 con 10 hilos de rosca por pulgada, este tipo de conexión tiene menos resistencia que el cuerpo de la tubería. **(Imagen 34)** del anexo C.

**Paso IV:** Nuevamente al variar dos parámetros encontramos que solo cumple una empresa, la causa se analiza en el siguiente capítulo. **(Imagen 35)** del Anexo C.

**Paso V:** El equipo que cumplió obtuvo un puntaje de 1 en el tipo de conexión, 0.8 en el máximo OD, y 0.35 en la máxima tensión. Los valores asignados a estos parámetros fueron 0.4, 0.25 y 0.35, respectivamente. En la **Imagen 36** del anexo C se muestra el formulario con estos valores.

**Paso VI:** La compañía K obtuvo un puntaje de 88%. **(Imagen 37)** del anexo C.

**Paso VII:** Generación de informe. **(Imagen 38)** del anexo C.

La correcta elección del tubing de producción es de gran importancia porque es el conducto principal por medio del cual se transportan los fluidos desde el yacimiento hasta la superficie. Este también cumple con la función de proteger la tubería de revestimiento (CSG) de factores como presión y corrosión. Como se mencionó previamente en la metodología, para esta selección se tuvieron en cuenta siete parámetros para asegurar la integridad de la operación a realizar.

Al aplicar el primer filtro como se ve en la **(Imagen 8)** las dos empresas cumplen con el mismo porcentaje porque el valor de criterio adicional que es calculado con la **(Ecuación 1)** es igual para todos los parámetros.

A continuación, se encuentran los cálculos del criterio adicional realizados a los equipos evaluados en el filtro 1, y los análisis de resultados del mismo filtro.

**Ecuación 4.** Criterio adicional para cantidad disponible compañía K.

$$CA = \left| \left( \frac{400 * 100}{345} \right) - 100 \right| = 15.94\%$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A.

**Ecuación 5.** Criterio adicional para máximo OD compañía K.

$$CA = \left| \left( \frac{3.5 * 100}{3.5} \right) - 100 \right| = 0\%$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A.

**Ecuación 6.** Criterio adicional para presión de colapso compañía K.

$$CA = \left| \left( \frac{7400 * 100}{4032} \right) - 100 \right| = 83.53\%$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A.

**Ecuación 7.** Criterio adicional para cantidad disponible compañía O.

$$CA = \left| \left( \frac{410 * 100}{345} \right) - 100 \right| = 18.84\%$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A.

**Ecuación 8.** Criterio adicional para máximo OD compañía O.

$$CA = \left| \left( \frac{3.5 * 100}{3.5} \right) - 100 \right| = 0\%$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A.

**Ecuación 9.** Criterio adicional para presión de colapso compañía O.

$$CA = \left| \left( \frac{10530 * 100}{4032} \right) - 100 \right| = 161.2\%$$

**Fuente:** ECOPETROL S.A.

**Tabla 5.** Resultados pozo FUA X1-E.

RESULTADOS POZO FUA X1-E / FILTRO 1									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	CANTIDAD DISPONIBLE			MÁXIMO OD (in)			PRESIÓN DE COLAPSO (psi)		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-K	400	15.9	90	3.5	0	80	7400	84	100
CO-O	400	15.9	90	3.5	0	80	10530	161	100
RESULTADOS POZO FUA X1-E / FILTRO 2									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	PESO NOMINAL (Lb)			MÁXIMO OD (in)			PERIODICIDAD DE INSPECCIÓN		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-K	9.2	0	80	3.5	0	80	SMT	100	100
RESULTADOS POZO FUA X1-E / FILTRO 3									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	TIPO DE CONEXIÓN			MÁXIMO OD (in)			MÁXIMA TENSIÓN (Lb)		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-K	NUE-520	100	100	3.5	0	80	109370	9	80

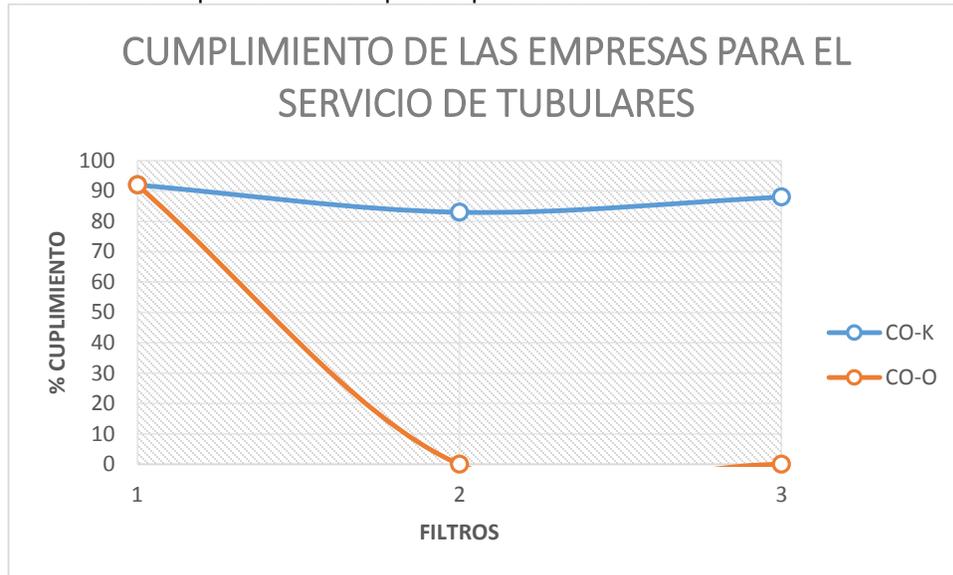
**Fuente:** elaboración propia.

Como se observa en la tabla de resultados, en el filtro 1 ambos equipos obtuvieron el mismo puntaje debido a la parametrización del Criterio Adicional (CA) realizada con la ecuación 3. Sin embargo, la presión de colapso indica que el rango operativo del tubular ofrecido por la compañía O es mucho mayor al de la compañía K. Aunque ambos son técnicamente aceptables, la selección de un equipo sobrevalorado no sólo representaría una inutilidad, sino que, posiblemente, afecte la eficiencia de operación del mismo. De acuerdo a lo anterior, el equipo óptimo de selección sería el tubular ofrecido por la compañía K.

ECOPETROL S.A. busca, a través del aplicativo, establecer la versatilidad en equipos y herramientas con la que cada compañía cuenta. Con los filtros se obtienen diferentes resultados variando los requerimientos, sin embargo, fue sólo la compañía K la que siempre ofertó un tubular que cumpliera con las especificaciones técnicas determinadas en el input.

Teniendo en cuenta el cumplimiento con todos los parámetros, el tubular óptimo es un TENARIS J-55 de 9.2 lb/ft.

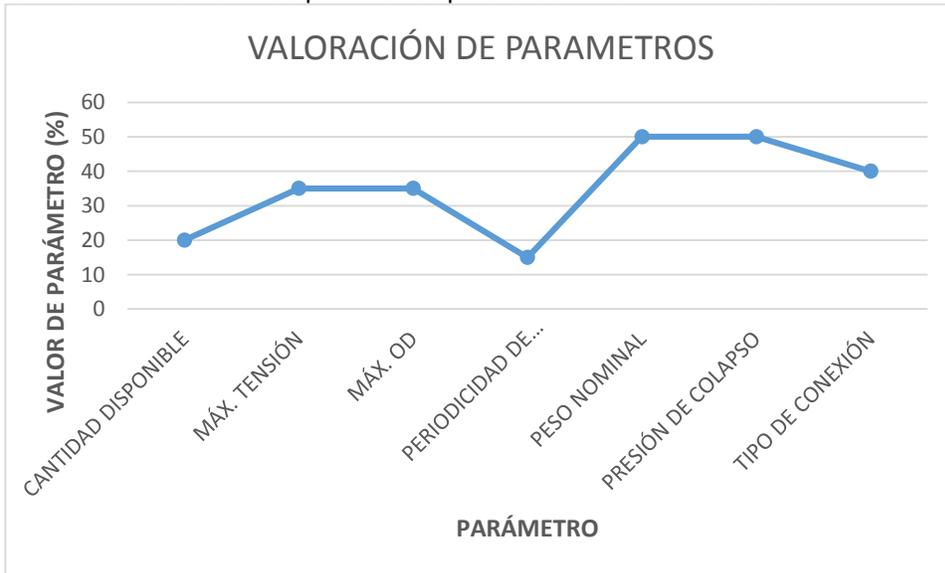
**Grafica 1.** Cumplimiento de empresas para el servicio de Tubulares.



Fuente: elaboración propia.

En la **Grafica 1** se observa el comportamiento de las empresas antes los diferentes filtros aplicados. El resultado del primer filtro mostró que ambas empresas cumplieron con puntajes altos; sin embargo, al aplicar los otros dos filtros la empresa O dejó de cumplir, mientras que la empresa K no sólo cumplía, sino que lo hizo con porcentajes altos. Como estos resultados están ligados directamente al comportamiento individual de cada equipo/herramienta en cada parámetro evaluado, esto indica que la empresa K ofrece tubulares que poseen mayores rangos operativos.

**Grafica 2.** Valoración de parámetros para el servicio de tubulares.



**Fuente:** elaboración propia.

En la **Grafica 2** se muestra los porcentajes evaluados para cada parámetro durante los tres filtros de la ejecución del servicio de tubulares, e indica que los parámetros más relevantes durante las evaluaciones fueron la presión de colapso y el peso nominal del tubular. Ambos parámetros relacionados al diseño de operación del equipo, en cuanto a resistencias y capacidades de carga analizadas en los numerales de filtros de ejecución.

### 3.2 POZO FUA X2-E

Nuevamente se aplican 3 filtros para seleccionar la herramienta de Gamma Ray y posteriormente analizar los diferentes resultados que son arrojados por la matriz.

**3.2.1 Primer Filtro FUA X2-E.** Como se ha mencionado a lo largo del documento, la estructura de la ejecución de la matriz es la misma sin importar el servicio que se esté evaluando, por ese motivo se mostrará el procedimiento desde el paso dos.

**Paso II:** Para este servicio hay nueve empresas que tienen disponibilidad de equipos y herramientas, con los filtros aplicados a continuación se analizará la variabilidad de las diferentes empresas.

**Imagen 16.** Disponibilidad pozo FUA X2-E, filtro 1.

COMPAÑIAS PRESTADORAS	FECHA DISPONIBILIDAD (DD/MM/AAAA)
COMPAÑIA B	05/12/2019
COMPAÑIA C	17/12/2019
COMPAÑIA D	13/12/2019
COMPAÑIA F	23/11/2019
COMPAÑIA G	26/11/2019
COMPAÑIA H	01/12/2019
COMPAÑIA K	02/12/2019
COMPAÑIA L	23/11/2019
COMPAÑIA O	12/12/2019

ATRAS SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia.

**Paso III:** Los parámetros seleccionados para este caso fueron, máximo OD de la herramienta con un valor de 1,69 in, el tamaño de la herramienta es un valor que no se tiene estandarizado porque es un aspecto que debe ser proporcional al tamaño del hueco para evitar problemas con la tasa de conteo de rayos gamma detectados por la herramienta. Adicionalmente, se evaluó la longitud de la herramienta de 4 ft, la cual es la estándar y más usada a nivel comercial; y por último, se evaluó el peso menor o igual a 15 lb, que según las condiciones de diseño del cable, está dentro del rango de libraje aceptable. En la **imagen 17** se muestra el formulario con la información diligenciada.

**Imagen 17.** Input pozo FUA X2-E, filtro 1.

**INPUT**

Seleccione los equipos/herramientas a evaluar      Seleccione el parámetro a evaluar y asigne un valor de input

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
GAMMA RAY	MÁXIMO OD DE HERRAMIENTA (in)	1,69
GAMMA RAY	LONGITUD (ft)	4
GAMMA RAY	PESO (lb)	15

ATRAS
SIGUIENTE

**Fuente:** elaboración propia.

**Paso IV:** Se puede evidenciar que de las nueve compañías que ofrecen el servicio, sólo cumplen la compañía D y L, pues cuentan con una herramienta que se ajusta a las condiciones determinadas en el formulario input.

**Imagen 18.** Cumplimiento pozo FUA X2-E, filtro 1.

**CUMPLIMIENTO**

**Compañías**

CO-B	COMPAÑIA B	NO CUMPLE
CO-C	COMPAÑIA C	NO CUMPLE
CO-D	COMPAÑIA D	CUMPLE
CO-F	COMPAÑIA F	NO CUMPLE
CO-G	COMPAÑIA G	NO CUMPLE
CO-H	COMPAÑIA H	NO CUMPLE
CO-K	COMPAÑIA K	NO CUMPLE
CO-L	COMPAÑIA L	CUMPLE
CO-O	COMPAÑIA O	NO CUMPLE

ATRAS
SIGUIENTE

**Fuente:** elaboración propia

**Paso V:** Se le asignó un valor de 0.6 al parámetro de máximo OD, pues es el factor que más puede afectar la precisión del registro, y se requiere conocer su disponibilidad. Más adelante se aplicará un nuevo filtro variando el OD determinar cuál es la herramienta óptima para correr el registro.

**Imagen 19.** Evaluación pozo FUA X2-E, filtro 1.

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	PUNTAJE EQUIPOS									PUNTAJE PARÁMETROS		
	CO-D COMPAÑIA D	CO-L COMPAÑIA L									PARÁMETRO (FRAC)	
GAMMA RAY	0.8	0.8									MÁXIMO OD DE HERRAMIENTA (in)	0.6
GAMMA RAY	1.0	1.0									LONGITUD (ft)	0.3
GAMMA RAY	1.0	1.0									PESO (lb)	0.1

**CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EQUIPOS**  
 0% < Criterio adicional =< 10% - 80%  
 10% < Criterio adicional =< 25% - 90%  
 Criterio adicional > 25% - 100%

**ATRAS** **SIGUIENTE**

Fuente: elaboración propia.

**Paso VI:** En la **imagen 20** se muestran los resultados obtenidos por las dos empresas que cumplen las cuales obtuvieron el mismo puntaje.

**Imagen 20.** Resultados pozo FUA X2-E, filtro 1.

Compañías	Total
COMPAÑIA D	0.88
COMPAÑIA L	0.88

$$\%Compañía = \sum_{i=1} (\%Equipo_i * \%Criterio_i)$$

**ATRAS** **GENERAR INFORME**

Fuente: elaboración propia.

**Paso VII:** Se generó el respectivo informe, en donde se muestra el parte número de la herramienta a modo de información complementaria de las especificaciones técnicas propias de la misma.

**Imagen 21.** Informe pozo FUA X2-E, filtro 1.

INFORME DE EVALUACIÓN TÉCNICA			
FUNCIONARIO: <u>USUARIO</u>		FECHA: <u>21/03/2020</u>	
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS			
INPUT			
EQUIPOS	PARÁMETROS	%	INPUT
GAMMA RAY	MÁXIMO OD DE HERRAMIENTA (in)	60	1.69
GAMMA RAY	LONGITUD (ft)	30	4
GAMMA RAY	PESO (lb)	10	15
COMPAÑÍAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON			
COMPAÑÍA D	0.8 8	COMPAÑÍA L	0.88
GAMMA RAY PGR020	GAMMA RAY 220206		

**Fuente:** elaboración propia.

**3.2.2 Segundo Filtro FUA X2-E.** Se mostrará el procedimiento desde el paso dos, sabiendo que el procedimiento de ejecución es igual que el implementado en filtros anteriores.

**Paso III:** Los parámetros seleccionados fueron, máximo OD con un valor de 3.63 in, como se mencionó previamente este valor cumple con el requisito de que la herramienta ciertamente puede ingresar al pozo, y lo que se busca con este nuevo valor es conocer es disponibilidad de una herramienta con un diámetro externo mayor asegurar el conteo de los rayos gamma por la distancia entre la herramienta y las paredes de pozo, lo cual afecta el registro teniendo en cuenta que este espacio está lleno de lodo.

Se seleccionó una temperatura máxima de 350 °F, puesto que el pozo mantiene temperaturas que oscilan entre 270 y 285 °F y se quiere conservar un alto rango de tolerancia. Finalmente, se evalúa una máxima presión de 18000 psi considerando el alto peso de lodo usado, el cual aporta altas presiones debido a la columna de fluido. **(Imagen 39)** del anexo D.

**Paso IV:** De las nueve empresas que prestan el servicio, seis tienen una herramienta que cumple con los requerimientos establecidos. **(Imagen 40)** del anexo D.

**Paso V:** Para el máximo OD, máxima temperatura y máxima presión se asignaron 0.6, 0.2 y 0.2, respectivamente. Los puntajes de los equipos en tuvieron alta

variabilidad para cada parámetro evaluado. En la (**Imagen 41**) del anexo de D se muestra estos puntajes.

**Paso VI:** La compañía D cumple con el porcentaje más alto, del 92% como se ve en la (**Imagen 42**) del anexo D.

**3.2.3 Tercer Filtro FUA X2-E.** En esta sección se muestra la ejecución desde el paso III. Se podrán ver las imágenes de los resultados en el anexo D.

**Paso III:** Se eligió un máximo OD de 2.75 in, la resolución vertical está asociada con la capacidad de los detectores de centelleo que contienen cristales de yoduro de sodio, de acuerdo a la guía operacional diseñada por ECOPETROL S.A. se establece que el valor debería ser de 6 in o cercano porque es el espesor de capa más pequeño para el cual la medición puede detectar un cambio significativo, en otras palabras es el alcance del arreglo de receptores, este valor se encuentra relacionado con la precisión requerida y la velocidad de registro, la cual para este caso se asigna un valor de 25 ft/min, que está asociado también a la viscosidad del fluido que está dentro del pozo y la precisión de la herramienta. Entre mayor sea la precisión puede correrse a una mayor velocidad. (**Imagen 44**) del anexo D.

**Paso IV:** De las nueve empresas que prestan el servicio, solo las compañías D, compañía F y compañía O cuentan con una herramienta que cumpla con los requerimientos, siendo la compañía O quien cumple con el porcentaje más alto del 93%. (**Imagen 47**) del anexo D.

**Tabla 6.** Resultados pozo FUA X2-1.

RESULTADOS POZO FUA X2-E / FILTRO 1									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	LONGITUD (Ft)			MÁXIMO OD (in)			PESO (lb)		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-D	1.92	52	100	1.69	0	80	9.5	37	100
CO-L	2	52	100	1.69	0	80	10	37	100
RESULTADOS POZO FUA X2-E / FILTRO 2									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	MAX. TEMPERATURA (°f)			MÁXIMO OD (in)			MAX. PRESIÓN (psi)		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-B	350	0	80	3.63	0	80	20000	11	90
CO-C	400	14	90	3.13	14	90	20000	11	90
CO-D	350	0	80	1.69	53	100	18000	0	80
CO-F	350	0	80	2.75	24	90	20000	11	90
CO-G	350	0	80	3.63	0	80	20000	11	90
CO-O	350	0	80	3.38	7	80	20000	11	90
RESULTADOS POZO FUA X2-E / FILTRO 3									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	RESOLUCIÓN VERTICAL (in)			MÁXIMO OD (in)			VELOCIDAD DE REGISTRO (Ft/min)		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-D	6	0	80	1.69	39	100	30	20	90
CO-F	36	500	100	2.75	0	80	25	0	80
CO-O	26	333	100	2.25	18	90	30	20	90

**Fuente:** elaboración propia.

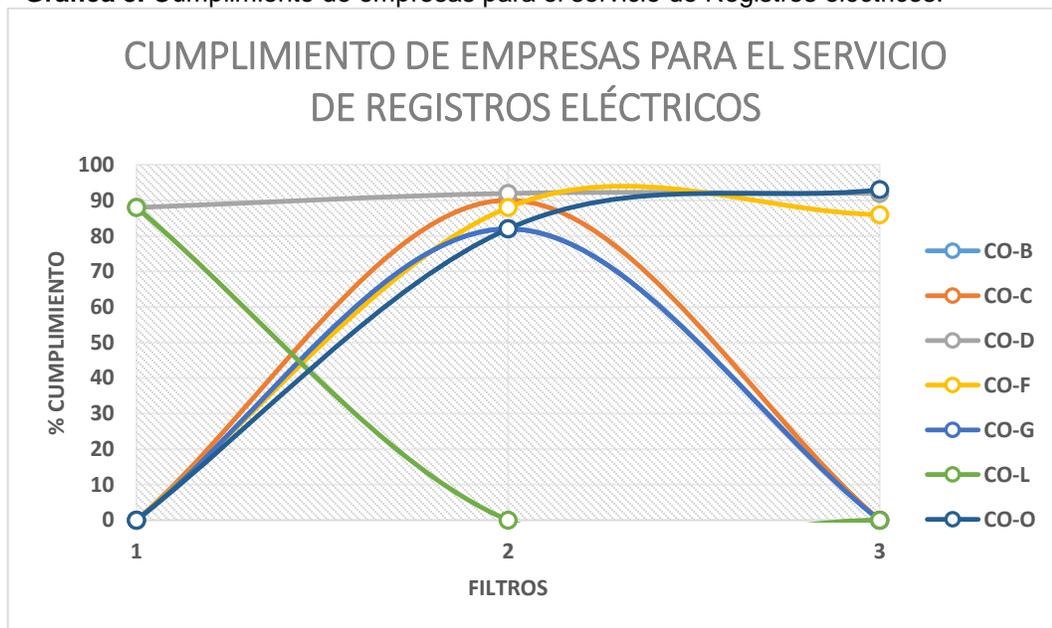
Se realizó la selección de la herramienta gamma ray para tomar el registro y correlacionar las formaciones, verificar el perfil que va tomando el pozo, teniendo en cuenta que los factores que afectan las mediciones son peso y tipo de lodo, velocidad de registro y posición de la herramienta, así mismo se trató de seleccionar parámetros que estuvieran asociados a estos factores como máximo OD porque se requiere que el espacio entre la herramienta y las paredes de la formación no sea tan grande teniendo en cuenta que como el pozo está lleno de lodo se pueden presentar interferencias y de esta forma el registro no tendrá la precisión para tomar las decisiones que se requieran, esta herramienta debe estar centrada con el fin de que la toma del registro sea lo más acertada posible. Se seleccionaron valores de presiones y temperaturas para garantizar que la herramienta soporte condiciones extremas en el pozo. Se evaluó la velocidad de registro la cual está relacionada a la densidad del lodo que se tiene en el pozo, pues este representa una limitación. También se asignó un valor al peso de la herramienta contemplando que como el pozo está lleno de un fluido (lodo) este aporta un factor de flotación, es decir que se presenta una pérdida de peso con lo cual se logra garantizar que el peso de la herramienta y el cable no exceda la capacidad de la unidad de superficie.

Como se evidencia en la **Grafica 3**, sólo las compañías la D y L cuentan con un equipo que cumple con los filtros de la primera evaluación, las dos cumplen con el

88% es decir que no se presenta a simple vista un factor diferenciador entre ellas y que técnicamente, las dos se encuentran en igual condiciones, sin embargo, en los siguientes filtros aplicados la empresa L deja de cumplir con las condiciones requeridas, por lo que no la hace competitiva frente a las demás.

En las siguientes dos evaluaciones realizadas al varias los parámetros se encuentran que las compañías B, C, D, F, G y O entran a competir por la asignación con un equipo que cumple con los requisitos. Pero al aplicar el tercer filtro solo las compañías D, F y O cumplen, al analizar porque dejan de cumplir las otras compañías se encuentra con que el parámetro de resolución vertical es el que descarta las otras compañías por dos motivos, uno es que dos empresas no registraron un valor en esta celda y la otra empresa registro un valor de 4 in lo cual es diferente al margen exigido para esta ejecución.

**Grafica 3.** Cumplimiento de empresas para el servicio de Registros eléctricos.



**Fuente:** elaboración propia.

Al realizar todas las variaciones de parámetros se puede concluir que la compañía D siempre evidenció disponibilidad en los equipos ofrecidos, lo que puede asegurar a la compañía operadora suministro de equipos y herramientas que se ajusten a variabilidades en el diseño de la operación.

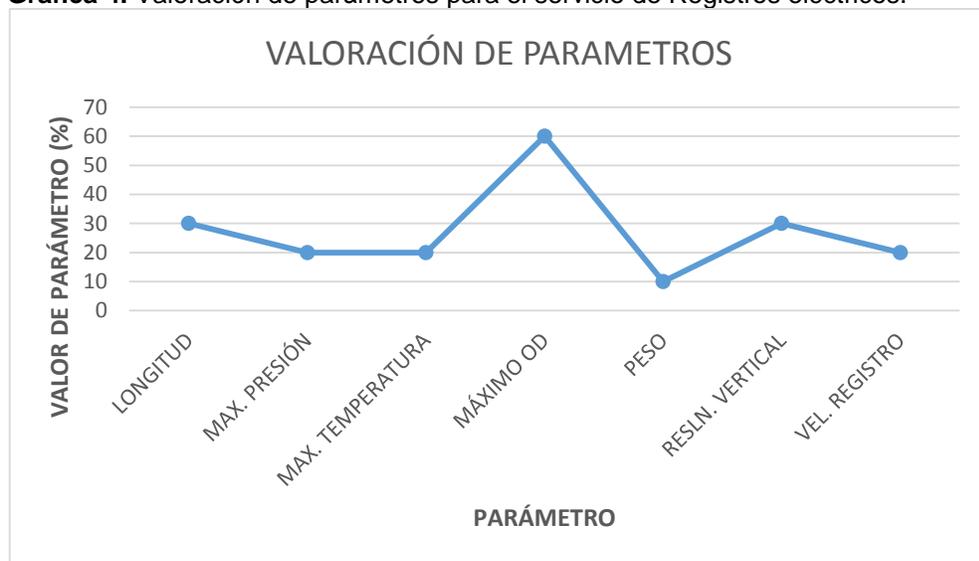
El equipo que debe ser corrido para este servicio debe contar con las siguientes especificaciones técnicas, máximo OD 3.65, temperatura máxima de 350 °F, resolución vertical de 6 in, máxima presión de 18000 psi, velocidad de registro de 60 ft/min y longitud de herramienta de 6 ft las cuales pertenecen al equipo que tienen como parte número GRICCL/Shock que pertenece a la compañía D.

Las especificaciones técnicas mencionadas previamente no son literalmente las ingresadas en el input, ya que para el servicio de tubulares se le fue asignada una desigualdad a cada parámetro, para este caso el máximo OD la matriz toma como verdadero un valor que sea menor o igual al que al ingresado en el input, por este motivo hay varios OD que pueden aplicar pero esta decisión se complementa con los cálculos de criterio adicional realizados en donde se busca dar un plus a la compañía dependiendo el valor de exceso que ofrezca el equipo de dicha compañía, por eso no todas las compañías cumplen con 100%.

Para la temperatura y presión máxima se asignó un verdadero para los valores que fueran menor o igual al input, para la velocidad de registro se considera verdadero los valores que sean mayores o iguales al input porque esta puede ser regulada entonces si se requiere aumentar o disminuir la velocidad esta herramienta tendrá capacidad de respuesta.

En la **Grafica 4**, se muestran los valores porcentuales asignados a cada parámetro durante la evaluación de los tres filtros aplicados.

**Grafica 4.** Valoración de parámetros para el servicio de Registros eléctricos.



**Fuente:** elaboración propia.

Es importante aclarar que este aplicativo es muy versátil, por eso se evidencian diferentes resultados al variar los parámetros, y el parámetro seleccionado depende directamente del tipo de información técnica que se tenga del pozo en estudio porque es con ésta que busca principalmente realizar un match entre lo que se tiene con lo que se requiere (información técnica de la herramienta). El parámetro que más impactó en la evaluación de este servicio fue el máximo OD.

### 3.3 POZO FUA X3-E

El servicio en este pozo fue realizado hace unos meses, aun así, se realiza la evaluación con la matriz para analizar si efectivamente la matriz arroja un resultado similar a la selección hecha de forma manual.

**3.3.1 Primer filtro FUA X3-E.** Se desea realizar la elección de la unidad de cementación más apropiada para garantizar la integridad de la operación, para lo cual se aplicarán nuevamente tres filtros.

**Paso II:** En este formulario se puede apreciar que son seis las empresas que ofrecen el servicio de cementación.

**Imagen 22.** Disponibilidad pozo FUA X3-E, filtro 1.

The screenshot shows a web application window with a green title bar and a white background. The title bar contains the text 'DISPONIBILIDAD' and a red close button. The main content area has the title 'DISPONIBILIDAD' in bold. Below the title, there are two columns: 'COMPAÑIAS PRESTADORAS' and 'FECHA DISPONIBILIDAD'. The second column has a sub-label '(DD/MM/AAAA)'. The table lists six companies with their respective availability dates. At the bottom, there are two buttons: 'ATRAS' and 'SIGUIENTE'. A cartoon crocodile is visible in the bottom right corner of the application window.

COMPAÑIAS PRESTADORAS	FECHA DISPONIBILIDAD (DD/MM/AAAA)
COMPAÑIA A	27/12/2019
COMPAÑIA B	29/12/2019
COMPAÑIA F	03/01/2020
COMPAÑIA G	10/01/2020
COMPAÑIA K	09/01/2020
COMPAÑIA N	20/12/2019

**Fuente:** elaboración propia.

**Paso III:** Los parámetros seleccionados fueron: modelo del equipo de 2010 en adelante, peso del equipo de 34 ton. Finalmente, se evalúa la potencia de la unidad la cual debe ser de 350 hp por cálculos realizados asociados a la velocidad de bombeo.

Imagen 23. Input pozo FUA X3-E, filtro 1.

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	MODELO [FECHA DE FABRICACIÓN] (DD/MM/AAAA)	01/01/2010
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	PESO DEL EQUIPO (ton)	34
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	POTENCIA (hp)	350

Fuente: elaboración propia.

**Paso IV:** Cinco de las seis empresas tienen una unidad de cementación con las características planteadas.

Imagen 24. Cumplimiento pozo FUA X3-E, filtro 1.

Compañías	Compañía	Cumplimiento
CO-A	COMPAÑIA A	CUMPLE
CO-B	COMPAÑIA B	CUMPLE
CO-F	COMPAÑIA F	CUMPLE
CO-G	COMPAÑIA G	CUMPLE
CO-K	COMPAÑIA K	CUMPLE
CO-N	COMPAÑIA N	NO CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

**Paso V:** El mayor valor (0.6) es asignado al criterio de potencia del equipo por ser uno de los parámetros fundamentales en una operación segura. Éste tiene un porcentaje de seguridad del 10% (el valor registrado en el input ya incluye este exceso) para realizar las operaciones de mezcla y bombeo, y asegurar condiciones operacionales óptimas.

La variabilidad de los porcentajes obtenidos por los equipos no permite establecer un comportamiento concreto o influencia de parámetros técnicos. En el análisis global del servicio se evidenciarán aspectos relevantes a esta condición.

**Imagen 25.** Evaluación pozo FUA X3-E, filtro 1.

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	PUNTAJE EQUIPOS					PUNTAJE PARÁMETROS					
	CO-A COMPAÑIA A	CO-B COMPAÑIA B	CO-F COMPAÑIA F	CO-G COMPAÑIA G	CO-K COMPAÑIA K	Asigne puntaje a cada parámetro técnico					
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8					MODELO [FECHA DE FABRICACIÓN] (DD/MM/AAAA)	0.15
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	0.8	0.8	1.0	1.0	0.8					PESO DEL EQUIPO (ton)	0.25
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8					POTENCIA (hp)	0.6

**CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EQUIPOS**

0% < Criterio adicional =< 10% - 80%

10% < Criterio adicional =< 25% - 90%

Criterio adicional > 25% - 100%

**Fuente:** elaboración propia.

**Paso VI:** Las compañías que cumplen con el porcentaje más alto son F y G y la que cumple con el menor porcentaje es la K, en el siguiente capítulo se analizará el motivo por el cual se registran estos porcentajes.

Imagen 26. Resultados pozo FUA X3-E, filtro 1.



Fuente: elaboración propia.

**Paso VII:** Se genera el informe con los resultados para ésta primera evaluación, la información que muestra de los equipos que cumplen son modelo y número parte.

Imagen 27. Informe para la primera evaluación.

EQUIPOS				PARÁMETROS		%	INPUT
UNIDAD_DE_CEMENTACION	MODELO [FECHA DE FABRICACION] (DD/MM/AAAA)			15	01/01/2010		
UNIDAD_DE_CEMENTACION	PESO DEL EQUIPO (ton)			25	34		
UNIDAD_DE_CEMENTACION	POTENCIA (hp)			60	350		

COMPANIAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON

COMPAÑIA A	0.9 2	COMPAÑIA B	0.92	COMPAÑIA F	0.97	COMPAÑIA G	0.9 7	COMPAÑIA K	0.8
ENERFLOW	BJ	SIPETRO N° 1	HALLIBURTON	Schlumberger					
01/01/2014	01/01/2018	24/03/2010	01/01/2015	08/08/2012					
CR-102	4525	PCTLR - 521A	12720662	CPF37712C0109					

Fuente: elaboración propia.

**3.3.2 Segundo filtro FUA X3-E.** Teniendo en cuenta que como se ha ilustrado el proceso de evaluación siempre es el mismo se retomara el paso tres para explicar los parámetros seleccionados.

**Paso III:** Se evaluó la disponibilidad de la doble bomba pistón porque son estas las que registran una mayor eficiencia en el mercado en cuanto a un funcionamiento fiable y, sobre todo, bajos costes de explotación y mantenimiento. Se mantiene el parámetro de la potencia mínima que debe tener la unidad porque el cálculo de este valor está asociado a los caudales de lechada que se deben bombear para abandonar el pozo, por lo cual no se puede variar.

Finalmente, se selecciona que la capacidad máxima de bombeo de la unidad debe ser de 10 bpm la cual está directamente relacionada con el tiempo fragüe del cemento considerando, que esta velocidad debe asegurar que el cemento llegue a la zona de interés antes del tiempo de fragüe. El diligenciamiento de este formulario se puede ver en (**Imagen 49**) del anexo E.

**Paso IV:** Para este filtro solo tres compañías cumplen con los requerimientos. En el anexo E se pueden ver las imágenes asociadas a esta evaluación.

**3.3.3 Tercer filtro FUA X3-E.** Nuevamente se retoma desde el paso III.

**Paso III:** Los parámetros seleccionados para este filtro son disponibilidad de control automático de densidad, el cual es sumamente importante para determinar cambios en el peso de la columna de fluido, lo cual es indicador de los fluidos presentes en ella. Se requiere que la unidad tenga registro de datos como presión, densidad y tasa de bombeo en tiempo real para asegurar un constante seguimiento de la operación, y en caso de un problema operacional identificarlo de inmediato.

Posteriormente se selecciona la periodicidad de inspección a bombas pistón, la cual para este caso debe ser anualmente, esto con el fin de garantizar que están operando de una forma óptima. En la (**Imagen 54**) del anexo E se puede apreciar al diligenciamiento de esta sección.

**Paso IV:** Las empresas que cumplen con estas especificaciones son solo dos.

**Tabla 7.** Resultados pozo FUA X3-E.

RESULTADOS POZO FUA X3-E / FILTRO 1									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	MODELO			PESO EQUIPO (Ton)			POTENCIA (hp)		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-A	01/01/14	4	80	32	6	80	600	71	100
CO-B	01/01/18	7	80	33	3	80	800	121	100
CO-F	24/03/10	0	80	23	32	100	475	36	100
CO-G	01/01/15	5	80	24	29	100	1025	193	100
CO-K	08/08/12	2	80	34	0	80	380	9	80
RESULTADOS POZO FUA X3-E / FILTRO 2									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	CAPACIDAD MÁXIMA			DISPONIBILIDAD DOBLE BOMBA PISTON			POTENCIA (hp)		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-B	8	20	90	SI	100	100	800	129	100
CO-G	10	0	80	SI	100	100	1025	193	100
CO-N	7	30	100	SI	100	100	665	90	100
RESULTADOS POZO FUA X3-E / FILTRO 3									
PÁRAMETRO COMPAÑÍA	CONTROL AUTOATICO DE DENSIDAD			MUESTREO DE DATOS EN TIEMPO REAL			PERIODICIDAD DE INSPECCIÓN A BOMBAS		
	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo	VALOR	CA (%)	%Equipo
CO-B	SI	100	100	SI	100	100	ANUAL	100	100
CO-K	SI	100	100	SI	100	100	ANUAL	100	100

Fuente: elaboración propia.

Con el resultado de los tres filtros aplicados para este servicio, se puede decir que para el primer filtro, aunque son seis las empresas que ofertan el servicio, solo cinco empresas cuentan con una unidad de cementación que cumple con los requisitos, las cuales son compañía A, compañía B, compañía F, compañía G y compañía K. En la **Grafica 5** se muestra el comportamiento de las compañías a través de los tres filtros.

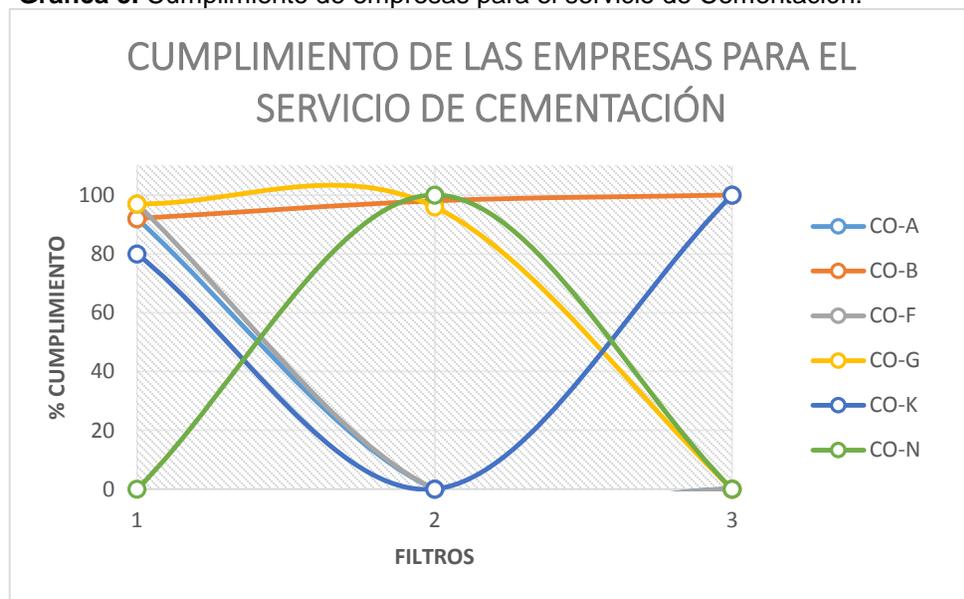
La compañía N no cumplió porque la unidad que estaban ofertando no contaba con la potencia requerida. Se le asignó el mayor valor al parámetro de potencia (0.6) porque es el de mayor importancia de acuerdo a la justificación presentada previamente. Finalmente, se observa que el porcentaje de mayor cumplimiento fue para las compañías F y G, pues sus equipos cuentan con mayores rangos operativos para mayor aplicabilidad. La información que se registra en el informe de este servicio es el parte número de la unidad y el modelo de la misma.

Por otro lado, para el segundo filtro la matriz indica que de las seis empresas solo tres empresas cuentan con un equipo que cumple con los requerimientos, las cuales son compañías B, G y N. El principal factor por el cual las otras compañías no cumplen es porque sus unidades no cuentan con bombas de tipo doble pistón. La mejor compañía en este filtro fue la compañía N porque obtuvo 100% el factor de criterio adicional, las mayores fracciones (0.4) fueron asignadas a los parámetros

de disponibilidad doble bomba pistón y potencia de la unidad, porque dentro de la guía operacional donde la compañía operadora especificó las características debe tener cada equipo y herramienta implementada en un servicio de cementación, allí se especifica que las bombas deben ser tipo pistón.

Finalmente, para el caso del tercer filtro solo las compañías B y K cumplen, y de hecho lo hacen con el 100% es decir las dos se encuentran con la misma capacidad técnica para cumplir con el requerimiento de la operación. El factor que impidió que las demás compañías cumplieran fue disponibilidad de control automático de densidad y el registro de la información como presión y densidad en tiempo real.

**Grafica 5.** Cumplimiento de empresas para el servicio de Cementación.



**Fuente:** elaboración propia.

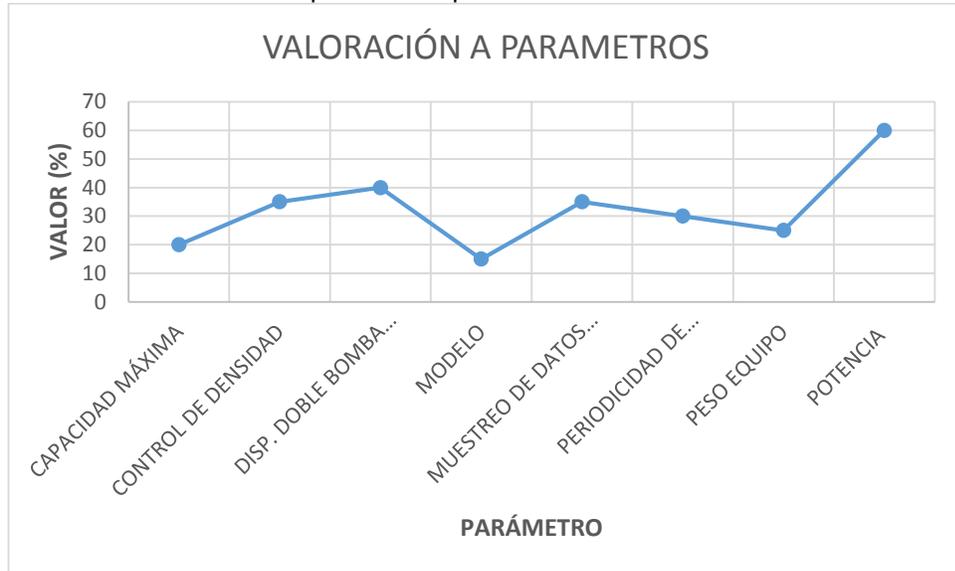
La gráfica permite destacar comportamientos como: la constancia de cumplimiento de la compañía B, la cual obtuvo puntajes por encima del 80% durante los tres filtros aplicados, indicando el mejor performance ante variabilidad de escenarios posibles.

En primer filtro, se observa, que el 83% de las compañías cumplieron, mientras que al avanzar en los filtros 2 y 3 ese porcentaje se redujo a 50% y 33%, respectivamente.

La unidad usada en el servicio, seleccionada de forma manual, efectivamente tiene las mismas características técnicas de la unidad seleccionada con la matriz, la cual es de la compañía B y tiene como parte número BJ733, lo que es de resaltar es que se hace la misma selección en menor tiempo y con los mismos resultados el cual fue uno de las oportunidades de mejora que brinda el proyecto a la selección de equipos y herramientas.

En la **Grafica 6** se muestran los valores porcentuales asignados a los parámetros del servicio de cementación durante la evaluación de los tres filtros.

**Grafica 6.** Valoración de parámetros para el servicio de Cementación.



**Fuente:** elaboración propia.

El parámetro de potencia fue el de mayor impacto en la evaluación, pues su valor determina el objetivo de las operaciones de cementación y delimita las capacidades operativas de los demás equipos y herramientas.

En el **Anexo F** se encuentran imágenes de la evaluación de un servicio de cañoneo, con la intención de mostrar que el proceso descrito en este documento es extrapolable a todos los demás servicios.

## 4. CONCLUSIONES

- Con la ejecución de la matriz se evidencia una optimización del 80% en tiempos del recurso humano durante el proceso de selección de equipos y herramientas. Adicionalmente, el manejo óptimo de la información permitió una mejora en la capacidad de evaluación de varias compañías de forma simultánea, lo cual constituye un análisis más completo.
- La automatización de la selección de equipos y herramientas mejoró el proceso de recopilación de catálogos de todos los proveedores, pues esta información técnica se encuentra almacenada, de forma accesible y organizada, en la base de datos de la matriz. De modo que su disponibilidad permite la evaluación de equipos y herramientas en cualquier momento.
- Los equipos y herramientas evaluados en los tres servicios presentaron las siguientes limitaciones: en registros eléctricos, capacidad de soportar altas presiones y temperaturas, bajas resoluciones verticales, pesos nominales elevados; para tubulares, disponibilidad de unidades, mayores diámetros externos, tipo de conexión; y en cementación, equipos con potencias menores, y baja periodicidad de inspección en equipos y herramientas.
- Los parámetros más relevantes durante las evaluaciones para los diferentes servicios fueron: el máximo OD con un 60% para el servicio de Registros Eléctricos, el peso nominal y la presión de colapso con un 50% para el servicio de tubulares, y la potencia del equipo con un 60% en el servicio de cementación. Estos porcentajes son referentes al total de parámetros evaluados en cada servicio y filtro.
- Para el servicio de Tubulares la compañía K tuvo el mejor comportamiento frente a los tres filtros aplicados, pues siempre cumplió con porcentajes por encima del 80%. En este orden de ideas, el tubing óptimo de selección es el de referencia J-55 y peso de 9.2 lb/ft ofrecido por esta compañía.
- Para el servicio de Registros Eléctricos la compañía D tuvo el mejor comportamiento frente a los tres filtros aplicados en comparación con las 6 compañías que ofrecen este servicio, pues siempre cumplió con porcentajes por encima del 85%. Teniendo en cuenta el análisis de parámetros evaluados, la herramienta Gamma Ray ofertada por esta compañía tiene rangos operativos amplios apta para cualquier tipo de variabilidad en condiciones durante desarrollo del servicio.
- Para el servicio de cementación la compañía B tuvo el mejor comportamiento durante la evaluación de filtros, lo que indica que cuenta con equipos y herramientas versátiles para distintos escenarios que se pueden presentar en

esta operación, con este servicio se comprobó que efectivamente los resultados arrojados por la matriz son los mismos que se obtienen al hacer la selección de forma manual, en el ámbito técnico. El parámetro de mayor importancia para esta evaluación fue el de si la unidad contaba con disponibilidad de control automático de densidad porque este es implementado en unidades de modelos recientes.

- El objetivo de la parametrización del Criterio Adicional (CA) es un indicador del rango de operatividad de los equipos para hacer una selección más acertada. Sin embargo, no siempre el de mayor rango será el equipo más óptimo, puesto que una sobrevaloración incurriría en desaprovechamiento de potencial del equipo o herramienta y/o su trabajo fuera de condiciones óptimas afectando su eficiencia.
- Para el análisis de selección técnica de equipos/herramientas, y versatilidad de compañías se aplicaron tres filtros para evaluar cada servicio, donde se seleccionaron tres parámetros. Una de las razones de esta cantidad de parámetros es para evitar procesos ralentizados durante la ejecución de la matriz.
- Esta matriz permite identificar las limitaciones técnicas en equipos y herramientas ofrecidas por cada una de las compañías contratistas, pues una vez realizadas las evaluaciones el libro de Excel mantiene accesible la hoja “base” donde queda almacenada la información para verificar razones de no cumplimiento.

## 5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda actualizar la información técnica de la base de datos periódicamente, con el fin de evitar que la herramienta se vuelva obsoleta a través del tiempo. De esta forma se asegura que las evaluaciones se desarrollen basadas en la tecnología actual del mercado. La recolección de información para esta actualización se puede realizar a través de los formatos diseñados en este proyecto.
- Asegurar el diligenciamiento de formatos de información técnica basado en las validaciones de datos y formatos establecidos, para así, no generar errores durante la evaluación y ejecución de la herramienta.
- Se recomienda realizar una estandarización de los valores que se pueden asignar a los parámetros técnicos durante la evaluación de cualquiera de los servicios de estudio, de esta forma, se acotan las posibilidades de resultados arrojados por la matriz y se clasifica el nivel de relevancia de estos. En este orden de ideas, el valor asignado al parámetro dejaría de depender por completo del criterio del ejecutor. En el anexo G se encuentra una tabla recomendación para los tres servicios implementados en este proyecto, esta acción se puede replicar a los demás servicios estudiados.

## BIBLIOGRAFIA

ALCALA, Ulises. Registros de Producción (PLT). [en línea]. 20 agosto de 2016. Disponible en: <http://registrosdeproduccion.blogspot.com/>.

BARRERO, Dario. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. En: Agencia Nacional de Hidrocarburos. [sitio web]. Bogotá: ANH and B&M Exploration Ltda. [2007]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Documents/colombian\\_sedimentary\\_basins.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Documents/colombian_sedimentary_basins.pdf).

BELL, Douglas y Parr, Mike. Java para estudiantes. México: Pearson educación, 2003. 162 p. ISBN 0130323772.

BERRY, Sandra. CARREÑO, Javier Alejandro. GUEDES, Flavia. INTISO, Luciana. MORTALI, Giuseppe. NICE, Perry. PALMIERI, Ilson y SCOPPIO, Lucrezia. Alignment of Critical Experimental Parameters of well Stimulation and Scala Dissover Chemicals Corrosion Testing. [en línea]. Louisiana, USA: 2017. [Consultado 18 marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/download/conference-paper/NACE-2017-9633?id=conference-paper%2FNACE-2017-9633>.

BOHADA CORREA, Marlon y LEON QUINTANA, Camilo. Metodología para la selección, diseño y ejecución del reacondicionamiento de pozos inactivos. Aplicación al campo Colorado. [en línea]. Proyecto de pregrado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga: 2009. [Consultado 18 marzo, 2019]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/131328.pdf>.

BUSTOS CEDEÑO, Jairo G. Aplicación de la Fractura Hidráulica en la Cuenca Oriente Ecuatoriana. [en línea]. Tesis de maestría. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España: 2013. [Consultado 16 marzo 2019]. Disponible es: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1198/1/T-SENECYT-000329.pdf>.

CASTRO, Pablo y CASTRO, María. Evaluación técnica-financiera de alternativas para el aumento de la vida útil del equipo choke manifold durante la operación de limpieza de arenas con coiled tubing en el pozo inyector X1 del campo corcel. [en línea]. Proyecto de pregrado. Fundación universidad de América, Bogotá D.C.: 2017. [Consultado 15 marzo 2019]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6460>.

COLOMBIA, MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Resolución 40048 (16, enero, 2015). Por la cual se establecen medidas en materia de exploración y explotación de hidrocarburos en yacimientos convencionales continentales y costa afuera. En: Ministerio de Minas y Energía. Bogotá D.C., 2015. 18 p.

CORTÉS, Juan y MAYORGA, Tania. Diseño de una metodología del análisis del ciclo de vida de los pozos para el campo Pareto de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena. [en línea]. Proyecto de pregrado. Fundación Universidad de América, Bogotá D.C.: 2018. [Consultado 10 marzo, 2019]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7195>.

GRUPO DE INVESTIGACION EN INGENIERIA DE RECURSOS HIDRICOS. Hidrovisor. [Sitio WEB]. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. [2014]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/invhidrovvm/Descripcion/cuenca-sedimentaria-valle-medio-del-magdalena>.

GOMEZ, Kevin. Tipos y características de tuberías para elaboración de pozos petroleros. [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.: 2017. [Consultado 28 febrero, 2019]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14078/TESIS%20Tipos%20y%20caracter%20C3%ADsticas%20de%20tuber%20C3%ADas%20para%20elaboraci%C3%B3n%20de%20%20pozos%20petroleros.pdf?sequence=1>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018 ISBN 9789588585673 153 p.

LEAL, Tulio. Manual de completación. [en línea]. Marzo de 2003. Disponible en: <https://es.slideshare.net/georgehsterling/manual-de-completacin>.

LÓPEZ, Lina y MUÑOZ, José. Diseño de una matriz de decisión para la ejecución de operaciones de pesca en pozos inyectores del campo la Cira Infanta. [en línea]. Tesis de pregrado. Fundación universidad de América, Bogotá D.C.: 2017. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6465>.

NARANJO, Abel. Evaluación de yacimientos de hidrocarburos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2008. 155 p. ISBN 9789587280487

NELSON, Erik. Fundamentos de la cementación de pozos. *Oilfield Review*. 2012, Vol.28, Nro.1, pp. 10.

PEREZ, Luis y PEREZ, Criterios de diseño, cálculo y selección de tuberías de tuberías en base al criterio de las prestaciones equivalentes. [en línea]. Argentina: Universidad de Buenos Aires. [2007]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos\\_criterio\\_seleccion\\_tuberias.pdf](http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_criterio_seleccion_tuberias.pdf).

RENPU, Wan. Advanced well completion engineerig. Amsterdam: Gulf Professional Publishing, 2011. 736 p. ISBN 9780123858689

SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary. [Sitio WEB]. USA.: Schlumberger. [01 marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/>.

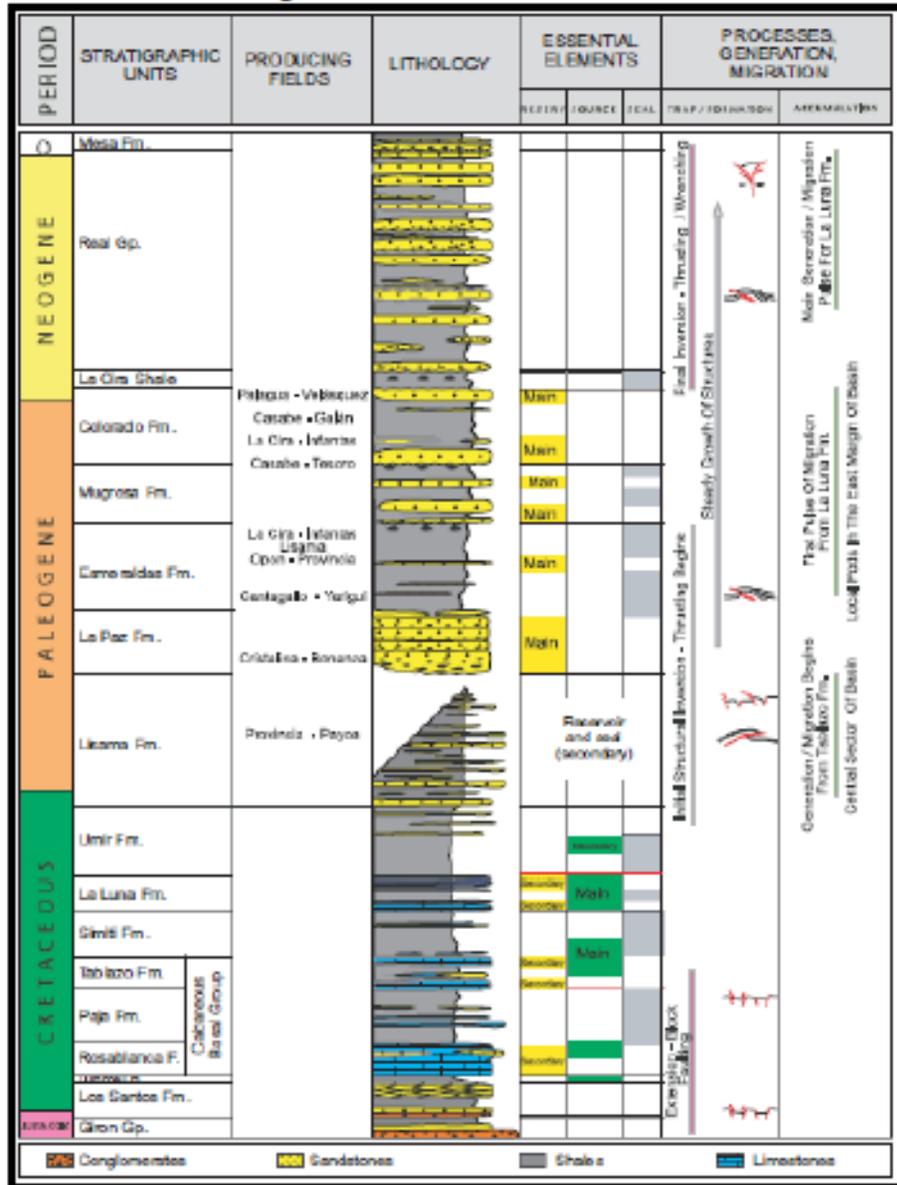
TAMAYO, Cristian. Aplicaciones de coiled tubing (CTU) en la limpieza de perforaciones en u pozo inyector. [en línea]. Tesis de grado. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador: 2011. Disponible en: <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/6000>

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

Figura 3. Columna estratigráfica generalizada de la Cuenca Valle Medio del Magdalena.



Fuente: AGUILERA R. et al. Organic Geochemistry Atlas of Colombia. MIDDLE MAGDALENA VALLEY BASIN. Segunda edición. Colombia, ANH, 2010, Vol. 14. p. 106.

**ANEXO B**  
**CUADRO DE PARÁMETROS**

En los siguientes cuadros se representan las clasificaciones de los parámetros técnicos de acuerdo al servicio de intervención, componentes del servicio; y las listas de validación de información correspondientes.

**Cuadro 11.** Parámetros para Cañoneo.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>CAÑONEO</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	Tamaño del cañón	1 11/16 – 2 - 2 1/8 - 2 ½ - 2 3/4 2 7/8 - 3 1/8 - 3 3/8 – 4 - 4 1/2 4 5/8 - 5 - 6 ¼ - 7
		OD casing (in)	
		Grupo/nombre de carga	
		Tipo de carga	
		Tipo de explosivo	HMX RDX HNS
		Densidad de disparo (spf)	4 – 6 – 8 – 5 – 12 – 13 – 14 - 18 21
		Fase	0° 135° 135°/45° 135°/45°/138° 138° 150°/30° 180° 26°/231° 350°/10° 60° 60°/120° 60°/90°/180° 72° 90°/180°
		Cantidad disponible	
		P/N carga	
		Peso del explosivo (gr)	
		Diámetro agujero entrada (in)	
		Penetración (in)	
		Penetración @5000psi (in)	
		Norma – pruebas	API 19 API RP43
		Temperatura (°F)	

**Fuente:** elaboración propia.

**Cuadro 12.** Parámetros para Cementación.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>CEMENTACIÓN</b>	<b>EQUIPOS</b>	Equipo / componente	Bombas Indicador de presión Indicador de densidad Unidad de cementación Unidad de homogenización Unidad para transporte Líneas de alta presión
		Marca – fabricante	
		Modelo [fecha de fabricación]	
		Serial	
		Tipo	
		Peso del equipo (ton)	
		Potencia (hp)	
		Tipo capacidad	Bombeo Almacenamiento Presión en tee Presión en manifold Presión de trabajo
		Unidad de capacidad	Bbl/min HHP (caballaje) ppg psi
		Capacidad mínima	
		Capacidad máxima	
		Disponibilidad de control automático de densidad [unidad cementación]	
		Disponibilidad doble bomba pistón [unidad cementación]	
		Cantidad de tanques para recirculación [unidad homogenización]	
		Bloqueo físico de acceso a tanques durante operación [unidad homogenización]	
		Bloqueo de sistema hidráulico lock out y/o tag out [unidad homogenización]	
		Disponibilidad compresor [unidad de transporte]	
		Sistema electrónico para muestra de datos como presión, densidad, tasa de bombeo en tiempo real	
		Simulador de temperatura circulante	
		Disponibilidad impresora	
		Disponibilidad sistema de polo a tierra	
		Disponibilidad alarma sonora para freno de emergencia	
		Disponibilidad apagado de emergencia	
		Disponibilidad freno emergencia malacate	

**Cuadro 13.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>CEMENTACIÓN</b>	<b>EQUIPOS</b>	Periodicidad de inspección a bombas pistón	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Periodicidad de inspección a centrifugas	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual Semestral – anual - bianual
		Periodicidad de calibración de manómetros	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual Semestral – anual - bianual
		Periodicidad de inspección espesor de pared de tanques	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual Semestral – anual - bianual
		Periodicidad de calibración de válvulas de alivio	Mensual – bimensual - trimensual Semestral – anual - bianual

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 13.** Parámetros para Coiled Tubing.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>COILED TUBING</b>	<b>EQUIPOS</b>	Equipo	Tubería continua Unidad coiled tubing Unidad de bombeo Unidad de nitrógeno
		Componente	Accesorios - BOP Cabeza inyectora Cabina control Carrotanques Choke manifold Cuenta pies Eq. Control pozo - BOP Eq. Control pozo - Flow t Eq. Control pozo - stripper Generación en sitio n2 Indicador de peso Manifold reel Manómetros y sensores de presión Power pack - acumuladores Power pack - unidad potencia Tubería continua Unidad coiled tubing Cargueros nitrógeno

**Cuadro 14.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>COILED TUBING</b>	<b>EQUIPOS</b>	Modelo [fecha de fabricación]	
		Marca - fabricante	
		Tipo	
		Unidad del rating	Bbl/min HHP (caballaje) ppg psi
		Rating del equipo	
		Diámetro externo (in)	
		Máxima potencia (lb)	
		Longitud (in)	
		Caudal mínimo bombeo	
		Caudal máximo bombeo	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Presión de trabajo (psi) [rating]	
		Presión de colapso (psi)	
		Presión de estallido (psi)	Mensual – bimensual – trimensual - Semestral – anual - bianual
		% de fatiga	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	
		Certificado vigente [anexar]	
		Disponibilidad sistema de adquisición de datos en tiempo real	
		Descripción software de modelamiento en pozo	
		Descripción software gerenciamiento historial tubería	
		Capacidad almacenamiento de N <sub>2</sub> en pozo	
		Dimensiones unidad	
		Peso (ton)	
		Esquema de la unidad	
		Software sistema de seguridad operativo	

**Cuadro 14.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>COILED TUBING</b>	<b>EQUIPOS</b>	Disponibilidad sistema de polo a tierra	
		Disponibilidad alarma sonora para freno de emergencia	
		Disponibilidad apagado de emergencia	
		Disponibilidad freno emergencia reel	
		Monitoreo en tiempo real con videocamara en cabeza inyectora	
		Incluye power pack de backup	
	<b>HERRAMIENTAS</b>	Nombre comercial	
		Cantidad disponible para ECOJETROL	
		Modelo [fecha de fabricación]	
		Máx. presión trabajo (psi)	
		Máx. tensión trabajo (lb)	
		Máximo OD (in)	
		Máximo ID (in)	
		Longitud (in)	
		Tipo conexión superior	
		Tipo conexión inferior	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	
		Certificado vigente [anexar]	

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 14.** Parámetros para Empaques.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>EMPAQUES</b>	<b>HERRAMIENTAS (EMPAQUES FIJOS)</b>	Nombre comercial	
		Tipo de empaque	Brige plug/cement retainer Brige plug/cement retainer fast drill Empaque inflable tipo cap

**Cuadro 15.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>EMPAQUES</b>	<b>HERRAMIENTAS (EMPAQUES FIJOS)</b>	Número de parte	
		Grado de validación (API 11D1)	
		Metalurgia	
		Tamaño del empaque ( ID casing) (in)	
		Rango libraje de trabajo (lb)	
		Máximo OD (antes de asentamiento) (in)	
		Drift diameter (in)	
		Longitud (in)	
		Presión diferencial por arriba / abajo (psi)	
		Presión de estallido (psi)	
		Presión de colapso (psi)	
		Máxima tensión de trabajo (lb)	
		Rango operacional de temperatura (°F)	
		Material O-ring	
		Material elementos de sello	
		Dureza elementos sellantes	
		Servicio con presencia de HS/CO <sub>2</sub>	
		Tipos de fluidos compatibles	
		Tipos de fluidos no compatibles	
		Descripción método de asentamiento	
		Tiempo de duración posterior al asentamiento [mantenimiento presión diferencial] (hr)	
		Adjuntar curva de presión diferencial vs tiempo	
		Permite realizar trabajo de cementación, con la herramienta de corrida mecánica en un solo viaje, cuando se baja como cement-retainer.	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante			

**Cuadro 15.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas	
<b>EMPAQUES</b>	<b>HERRAMIENTAS (EMPAQUES FIJOS)</b>	Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual	
		Certificado vigente [anexar]		
		Cantidad disponible para ECOPETROL		
	<b>HERRAMIENTAS (EMPAQUES RECUPERABLES)</b>	Cantidad disponible para ECOPETROL		
		Número de corridas mínimas por pozo		
		Tipo de empaque	Empaque hidráulico-convencional	
			Empaque hidráulico-fluidos corrosivos	
			Empaque inflable fullbore	
			Empaque inflable multiple-asentamiento tandem	
			Empaque inflable rbp	
			Empaque mecánico thru tubing	
			Mecánico de tensión-convencional	
			Mecánico de tensión-fluido corrosivo	
			Mecánico doble agarre-fluidos corrosivos	
			Mecánico doble agarre-convencional	
			Tapón recuperable-convencional	
			Tapón recuperable-fluidos corrosivos	
			Número de parte	
			Grado de validación (API 11D1)	
			Rango libraje de trabajo (lb)	
Máximo OD (antes de asentamiento) (in)				
Drift diameter (in)				
Longitud (in)				
Adjuntar curva de presión diferencial vs diámetro inflado (psi)				
Presión diferencial por arriba / abajo (psi)				
Presión de estallido (psi)				
Presión de colapso (psi)				
Máxima tensión de trabajo (lb)				
Rango operacional de temperatura (°F)				

**Cuadro 15.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>EMPAQUES</b>	<b>HERRAMIENTAS (EMPAQUES RECUPERABLES)</b>	Máximo caudal flujo (bpm)	
		Material O-ring	
		Metalurgia	
		Material elementos de sello	
		Dureza material sellante	
		Servicio con presencia de H <sub>2</sub> S/CO <sub>2</sub>	
		Tipos de fluidos compatibles	
		Tipos de fluidos no compatibles	
		Tipo conexión superior	
		Tipo conexión inferior	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	
		Certificado vigente [anexar]	

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 15.** Parámetros para Estimulación Matricial.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>ESTIMULACIÓN MATRICIAL</b>	<b>EQUIPOS</b>	Equipo	Control de pozo (PRV) -2" Control de pozo (PRV) -3" Laboratorio móvil Líneas de alta presión Manifold Medidor de caudal Medidor de presión Unidad de aditivos químicos Unidad de adquisición datos Unidad de bombas de transferencia Unidad de bombeo estimulación matricial Mangueras de baja presión Unidad de filtración Unidad de bombeo anular Tanques de almacenamiento fluidos estimulación

**Cuadro 16.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>ESTIMULACIÓN MATRICIAL</b>	<b>EQUIPOS</b>	Equipo	Tanques de almacenamiento de retornos Acid trailer - cisternas
		Marca - fabricante	
		Modelo [fecha de fabricación]	
		Tipo	
		Tipo de camión	
		Unidad del rating	Bbl/min HHP (caballaje) ppg psi
		Rating del equipo	
		Rating de fluid-end	
		Tipo (triplex/quintuplex)	
		Caudal mínimo de la bomba	
		Caudal máximo de la bomba	
		Nombre empresa que realiza inspección	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	
		Nombre empresa que realiza certificación	Mensual – bimensual – trimensual - Semestral – anual - bianual
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	
		Disponibilidad doble shutdown de emergencia	

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 16.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>FLUSH-BY</b>	<b>EQUIPOS</b>	Equipo / componente	Bloque viajero Bombas de lodo Brazo articulado Cable Compresor de aire Cuña Indicador peso de gancho Indicador torque de llave hidráulica Líneas de alta presión

**Cuadro 17.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>FLUSH-BY</b>	<b>EQUIPOS</b>	Equipo / componente	Malacate Mangueras metálicas Pull master Registrador de torque para varillas Rod hook Scrubber Tanques Torre Unidad flushby Válvulas relief Varillas Winche de izaje
		Marca - fabricante	
		Norma aplicada en fabricación de la torre	
		Modelo [fecha de fabricación] (dd/mm/aaaa)	
		Tipo	
		Peso del equipo (ton)	
		Potencia (hp)	
		Tensión de trabajo máxima (lb)	
		Caudal máximo de trabajo (bpm)	
		Diámetro (in)	
		Longitud (mínima, si aplica) (ft)	
		Altura de trabajo de la torre (ft)	
		Resistencia nominal mínima (lb/ft)	
		Presión mínima de operación (psi)	
		Presión máxima de operación (psi)	
		Tipo capacidad	De carga De freno De levante Hidráulica
		Unidad de capacidad	Bbl gpm Lb Mscf Ton
		Capacidad mínima	
		Capacidad máxima	
		Cantidad de poleas en corona	
		Número de líneas de la torre	
		Capacidad de manejo para varillas huecas pcp [unidad]	
		Transporta fluido de control [unidad]	

**Cuadro 17.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>FLUSH-BY</b>	<b>EQUIPOS</b>	Indicador presión de bomba, línea y manifold [monitoreo unidad]	
		Disponibilidad dispositivo pararrayos [torre]	
		Disponibilidad de rompeolas [tanque]	
		Disponibilidad geomembrana [tanque]	
		Disponibilidad sistema de parada de seguridad en carrera ascendente [malacate]	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Norma aplicada en inspección de equipo	
		Registros de inspección [torre]	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	
		Certificado de luz negra	

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 17.** Parámetros para Fracturamiento Hidráulico.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO</b>	<b>EQUIPOS</b>	Equipo	Unidad suministro de propante Blender Control de pozo (PRV) -2" Control de pozo (PRV) -3" Frac head Unidades de bombeo fracturamiento Unidad hidratadora Laboratorio móvil Líneas de alta presión Manifold Medidor de caudal Medidor de densidad Medidor de presión Tree saver Unidad de aditivos químicos Unidad de adquisición de datos

**Cuadro 18.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO</b>	<b>EQUIPOS</b>	Equipo	Unidad de bombeo anular Válvula hidráulica de cabeza de pozo Unidad de filtración Frac tank Catch tank Gel transport
		Marca - fabricante	
		Modelo [fecha de fabricación]	
		Tipo	
		Tipo de camión (Si aplica)	
		Unidad del rating	Bbl/min HHP (caballaje) ppg psi
		Rating del equipo	
		Rating de fluid-end (psi)	
		Tipo (triplex/quintuplex)	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – Bimensual – Trimensual - Semestral – Anual - Bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – Bimensual – Trimensual - Semestral – Anual - Bianual
		Disponibilidad doble shutdown de emergencia	

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 18.** Parámetros para Reacondicionamiento.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REACONDICIONAMIENTO</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	Tipo de herramienta	-Herramientas de pesca external catch y accesorios -Herramientas de pesca internal catch y accesorios -Herramientas percusión y accesorias -Washpipe y accesorios

**Cuadro 19.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>PESCA Y MOLIENDA</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	Tipo de herramienta	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Herramientas de corte y accesorios</li> <li>-Herramientas para reacondicionamiento de pozos</li> <li>-Herramientas para moler</li> <li>-Whipstocks</li> <li>-Internal cutters</li> <li>-Flow release overshots</li> <li>-Flow release spears</li> <li>-Herramientas de pesca chatarra</li> <li>-Herramientas de pesca cable y poor boy</li> <li>-Herramientas well bore clean out</li> <li>-Jaws underreamer</li> <li>-Cyclone bailer</li> <li>-Blade junk mills concave or convex</li> <li>-Taper mills</li> <li>-Dressed with crushed tungsten carbide rotary shoe</li> <li>-Centralizer</li> <li>-Rotating jet</li> <li>-Electric pumping setting tool</li> <li>-Tt motors</li> <li>-Filters</li> <li>-Ct jars</li> <li>-Junk baskets</li> <li>-Hydraulic indexing tool</li> <li>-Hydraulic disconnect</li> <li>-External or internal coiled tubing connector slip type</li> <li>-Internal dimple connector</li> <li>-Dual back pressure valve</li> <li>-Weight bars 3ft to 10ft</li> <li>-Sequency valve</li> <li>-Deployment bar</li> <li>-Sub quick connect</li> <li>-Sub crossover</li> <li>-Joints knuckle</li> <li>-Ball drop</li> </ul>
		Herramienta	
		Cantidad disponible para ECOPETROL	
		No. Parte	
		Tipo de conexión	
		Diámetro externo (in)	
		Máximo diámetro de pase interno (in)	
		Diámetro interno (in)	
		Material de la herramienta	

**Cuadro 19.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>PESCA Y MOLIENDA</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	Longitud de herramienta (ft)	
		Peso de herramienta (lb)	
		Presión máxima de operación (psi)	
		Temperatura máxima de operación (°F)	
		Capacidad máxima de tensión (lb)	
		Torque máximo (lb)	
		Rango de diámetro de la tubería que corta (in)	
		Descripción del sistema de corte realizado	
		Tipo de cortador	
		Material de la tubería que puede cortar	
		Descripción del sistema de anclaje óptimo	
		Tipo de mecanismo de agarre	
		Material del mecanismo de agarre	
		Tipo de mecanismo para asegurar las partes	
		Capacidad de almacenamiento (en tiempo, hr)	
		Área de agarre del pescado (in <sup>2</sup> )	
		Tipo de mecanismo de liberación	
		Permite rotación	
		Requiere circulación en punta de pez	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	

**Fuente:** elaboración propia.

**Cuadro 19.** Parámetros para Registros Eléctricos.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS ELÉCTRICOS</b>	<b>UNIDAD</b>	Equipos	
		Nombre identificación unidad	
		Tipo de unidad	
		Marca	
		Modelo [fecha de fabricación]	
		Peso total unidad (ton)	
		Esquema de unidad	
		Capacidad tensión máx. (lb)	
		Indicador de tensión	Análogo / digital
		Indicador de profundidad	Análogo / digital
		Tipo de iluminación	
		Cantidad de tambores	
		Tambor 1 - tipo de cable	Monoconductor - diametro 1/10" Monoconductor - diametro 1/4" Monoconductor - diametro 1/8" Monoconductor - diametro 3/16" Monoconductor - diametro 5/16" Monoconductor - diametro 7/32" Monoconductor - diametro 9/32" Policonductor - diametro 0.377" Policonductor - diametro 0.474" Policonductor - diametro 0.49" Policonductor - diametro 0.54" Policonductor - diametro 15/32" Policonductor - diametro 3/16" Policonductor - diametro 3/8" Policonductor - diametro 7/16" Slick line braided -diametro 0.108" Slick line braided -diametro 1/4" Slick line braided -diametro 3/16" Slick line braided -diametro 5/16" Slick line braided -diametro 7/32" Slick line carbon -diametro 0.125" Slick line carbon -diametro 0.5" Slick line stainless -diametro 0.125"
		Capacidad de almacenamiento de longitud de cable máx. (ft) - tambor 1	
		Tambores cuentan protectores laterales [HSE]	
		Almacena data de tensión y profundidad por 3 meses o más	
		Sistema de adquisición de data tiene back-up	
		Disponibilidad impresora de papel continuo	

**Cuadro 20.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS ELÉCTRICOS</b>	<b>UNIDAD</b>	Periodicidad de descarga y almacenamiento de información en bases de datos	
		Descripción tipo de mantenimiento mayor	
		Fecha último certificado de mantenimiento	
		Nombre ente certificador	
		Disponibilidad sistema de polo a tierra	
		Disponibilidad alarma sonora para freno de emergencia	
		Disponibilidad apagado de emergencia	
		Disponibilidad freno emergencia malacate	
	<b>TORRE</b>	Componente	
		Tipo de torre	
		Tipo equipo de izaje	
		Peso de la torre (lb)	
		Máxima capacidad en peso (lb)	
		Fecha de la última inspección de luz negra	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
	Certificado vigente [anexar]		
	<b>CABLE</b>	Componente	
		Nombre fabricante	
		Fecha de fabricación	
		Tipo de cable	Braided Carbon Fibra óptica Monoconductor Policonductor Stainless
		Diámetro (in)	
		Longitud disponible (ft)	

**Cuadro 20.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas	
<b>REGISTROS ELÉCTRICOS</b>	<b>CABLE</b>	Peso cable (lb/ft)		
		Tipo material cable		
		Resistencia H <sub>2</sub> S (máx. Concentración en ppm)		
		Resistencia CO <sub>2</sub> (máx. Concentración en ppm)		
		Máxima temperatura (°F)		
		Máxima tensión (lb)		
		Prueba de tortura		
		Fecha de última prueba de tortura		
		Nombre empresa que realiza inspección		
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante		
		Periodicidad de inspección		
		Nombre empresa que realiza certificación		
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante		
		Periodicidad de certificación		
		Certificado vigente [anexar]		
		¿El cable tiene empalme?		
		Longitud de empalme (ft)		
	<b>EQUIPOS DE CONTROL DE PRESIÓN</b>	<b>Equipos</b>	Brida - (API flange adapter) Barrera de sello-BOP (3k psi) Barrera de sello- BOP (5k psi) Barrera de sello- BOP (10k psi) Lubricadores-3k psi (longitud, ft) Lubricadores-5k psi (longitud, ft) Lubricadores-10k psi (longitud, ft) Equipo de inyección de grasa	
		<b>Parámetro</b>	Atrapador de la hta (head catcher) Bop-d Cabezal de control (grease head)+ flow tubes+stuffing box/packoff Dual packoff M3000 Trampa de la hta (tool trap)	

**Cuadro 20.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS ELÉCTRICOS</b>	<b>EQUIPOS DE CONTROL DE PRESIÓN</b>	Nombre comercial	
		Cantidad disponible para ECOJETROL	
		Tipo material	
		Fabricante	
		Longitud del lubricador (ft)	
		Tipo de conexión boca de pozo	
		Tipo de izaje del equipo	
		Número de equipos disponibles	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual -trimensual Semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual -trimensual Semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	
	<b>HERRAMIENTAS</b>	Tipo de herramienta	Caliper Densidad Gamma ray Gamma ray espectral Free point Imágenes microresistivas WBM Imágenes OBM Microesférico Mineralógico Muestras de fluidos en fondo Neutrón Presiones de formación R. Atenuación flexural R. C/o R. CBL VDL R. Densidad de formación en hueco revestido R. Detección de agua detrás del revestimiento R. Espesor de tubería R. GYRO R. Magnético combinado gamma RAY-CCL, con imagen R. Multifinger-caliper R. Registro lithoscanner

**Cuadro 20.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS ELÉCTRICOS</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	Tipo de herramienta	R. Resistividad en hueco revestido R. TOC R. TOC/CO - misma herramienta R. Ultrasónico CBL VDL cemento R. Ultrasónico corrosión Resistividad dual laterolog Resistividad inducción Resistividad triaxial Resonancia magnética Sónico dipolar Sónico largo SP Temperatura de alta resolución Tractor
		Cantidad disponible para ECOPETROL	
		No. Parte	
		Máximo OD de herramienta (in)	
		Longitud (ft)	
		Peso (lb)	
		Medio en que se toma registro	CH – OH – OH/CH
		Cantidad de brazos herramienta	
		Rango compresión (lb)	
		Máxima tensión (lb)	
		Máxima temperatura (°F)	
		Máxima presión (psi)	
		Profundidad de investigación (in)	
		Resolución vertical (in)	
		Velocidad de registro (ft/min)	
		Minerales requeridos para desarrollo del registro	
		Combinabilidad con otras herramientas de registro	
		Medio en el que registra	Agua y gas Agua y oil Agua, oil y gas Gas Oil Oil y gas
		Capacidad de almacenamiento de datos (hr)	
		Modo de procesamiento de datos	Continuo / estacionario

**Fuente:** elaboración propia.

**Cuadro 20.** Parámetros para Registros de Producción.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	Equipos	
		Nombre identificación unidad	
		Tipo de unidad	
		Marca	
		Modelo [fecha de fabricación]	
		Peso total unidad (ton)	
		Esquema de unidad	
		Capacidad tensión máx. (lb)	
		Indicador de tensión	Análogo / digital
		Indicador de profundidad	Análogo / digital
		Tipo de iluminación	
		Cantidad de tambores	
		Tambor 1 - tipo de cable	Monoconductor - diametro 1/10" Monoconductor - diametro 1/4" Monoconductor - diametro 1/8" Monoconductor - diametro 3/16" Monoconductor - diametro 5/16" Monoconductor - diametro 7/32" Monoconductor - diametro 9/32" Policonductor - diametro 0.377" Policonductor - diametro 0.474" Policonductor - diametro 0.49" Policonductor - diametro 0.54" Policonductor - diametro 15/32" Policonductor - diametro 3/16" Policonductor - diametro 3/8" Policonductor - diametro 7/16" Slick line braided -diametro 0.108" Slick line braided -diametro 1/4" Slick line braided -diametro 3/16" Slick line braided -diametro 5/16" Slick line braided -diametro 7/32" Slick line carbon -diametro 0.125" Slick line carbon -diametro 0.5" Slick line stainless -diametro 0.125"
		Capacidad de almacenamiento de longitud de cable máx. (ft) - tambor 1	
		Tambores cuentan protectores laterales [HSE]	
		Almacena data de tensión y profundidad por 3 meses o más	
		Sistema de adquisición de data tiene back-up	
		Disponibilidad impresora de papel continuo	

**Cuadro 21.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	Periodicidad de descarga y almacenamiento de información en bases de datos	
		Descripción tipo de mantenimiento mayor	
		Fecha último certificado de mantenimiento	
		Nombre ente certificador	
		Disponibilidad sistema de polo a tierra	
		Disponibilidad alarma sonora para freno de emergencia	
		Disponibilidad apagado de emergencia	
		Disponibilidad freno emergencia malacate	
	<b>TORRE</b>	Componente	
		Tipo de torre	
		Tipo equipo de izaje	
		Peso de la torre (lb)	
		Máxima capacidad en peso (lb)	
		Fecha de la última inspección de luz negra	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
	Certificado vigente [anexar]		
	<b>CABLE</b>	Componente	
		Nombre fabricante	
		Fecha de fabricación	
		Tipo de cable	Braided Carbon

**Cuadro 21.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>CABLE</b>	Tipo de cable	Fibra óptica Monoconductor Policonductor Stainless
		Diámetro (in)	
		Longitud disponible (ft)	
		Peso cable (lb/ft)	
		Tipo material cable	
		Resistencia H <sub>2</sub> S (máx. Concentración en ppm)	
		Resistencia CO <sub>2</sub> (máx. Concentración en ppm)	
		Máxima temperatura (°F)	
		Máxima tensión (lb)	
		Prueba de tortura	
		Fecha de última prueba de tortura	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	
		Certificado vigente [anexar]	
	¿El cable tiene empalme?		
	Longitud de empalme (ft)		
	<b>EQUIPOS DE CONTROL DE PRESIÓN</b>	Equipos	Brida - (API flange adapter) Barrera de sello-BOP (3k psi) Barrera de sello- BOP (5k psi) Barrera de sello- BOP (10k psi) Lubricadores-3k psi (longitud, ft) Lubricadores-5k psi (longitud, ft) Lubricadores-10k psi (longitud, ft) Equipo de inyección de grasa
		Parámetro	Atrapador de la hta ( head catcher) Bop-d Cabezal de control (grease head)+ flow tubes+stuffing box/packoff Dual packoff M3000 Trampa de la hta (tool trap)

**Cuadro 21.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>EQUIPOS DE CONTROL DE PRESIÓN</b>	Nombre comercial	
		Cantidad disponible para ECOPETROL	
		Tipo material	
		Fabricante	
		Longitud del lubricador (ft)	
		Tipo de conexión boca de pozo	
		Tipo de izaje del equipo	
		Número de equipos disponibles	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual -trimensual Semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual -trimensual Semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	
	<b>HERRAMIENTAS</b>	Tipo de herramienta	Baterías para registro memorizados Fibra óptica Registro GYRO Sensor con activación de oxígeno tipo TPHL Sensor con probetas eléctricas tipo DEFT Sensor de capacidad radial Sensor de capacidad sencillo Sensor de densidad Sensor de densidad (acústico) Sensor de gr-ccl Sensor de presión Sensor de resistividad tipo rat o equivalente Sensor de ruido Sensor de temperatura Sensor flowmeter medidor de caudal Sensor identificación liquido-gas tipo ghost Trazador radiactivo

**Cuadro 21.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>REGISTROS DE PRODUCCIÓN</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	Cantidad disponible	
		No. Parte	
		Máximo OD de herramienta (in)	
		Longitud (ft)	
		Peso (lb)	
		Rango tensión (lb)	
		Compresión (lb)	
		Máxima temperatura (°F)	
		Máxima presión (psi)	
		Precisión de medida herramienta	
		Resolución medida herramienta	
		Profundidad de investigación (ft)	
		Resolución vertical (in)	
		Velocidad de registro (ft/min)	
		Medio en el que registra	Agua y gas Agua y oil Agua, oil y gas Gas Oil Oil y gas
		Servicio en presencia de H <sub>2</sub> S/CO <sub>2</sub>	
		Modo de procesamiento de datos	Continuo / estacionario
No. Corridas			

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 21.** Parámetros para Slickline.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>SLICKLINE</b>	<b>UNIDAD</b>	Nombre comercial	
		Marca	
		Tipo de iluminación	
		Tipo de indicador peso	Análogo / digital
		Tipo indicador de profundidad	
		Cantidad de tambores	
		Tambor 1 - tipo de cable	Monoconductor - diámetro 1/10" Monoconductor - diámetro 1/4" Monoconductor - diámetro 1/8" Monoconductor - diámetro 3/16" Monoconductor - diámetro 5/16"

**Cuadro 22.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>SLICKLINE</b>	<b>UNIDAD</b>	Tambor 1 - tipo de cable	Monoconductor - diámetro 7/32" Monoconductor - diámetro 9/32" Policonductor - diámetro 0.377" Policonductor - diámetro 0.474" Policonductor - diámetro 0.49" Policonductor - diámetro 0.54" Policonductor - diámetro 15/32" Policonductor - diámetro 3/16" Policonductor - diámetro 3/8" Policonductor - diámetro 7/16" Slick line braided -diámetro 0.108" Slick line braided -diámetro 1/4" Slick line braided -diámetro 3/16" Slick line braided -diámetro 5/16" Slick line braided -diámetro 7/32" Slick line carbon -diámetro 0.125" Slick line carbon -diámetro 0.5" Slick line stainless -diámetro 0.125"
		Capacidad de almacenamiento de longitud de cable máx. (ft) - tambor 1	
		Unidad autopropulsada	
		Peso de la unidad (ton)	
		Cilindraje	
		Capacidad (kg/psi)	
		Número de ejes	
		Potencia del motor (hp)	
		Potencia (hp)	
		Descripción sistema de refrigeración	
		Capacidad (gpm)	
		OD cable (in)	
		Capacidad de tensión del cable (lb)	
		Disponibilidad sistema de polo a tierra	
		Disponibilidad alarma sonora	
		Apagado de emergencia	
		Disponibilidad freno emergencia malacate	
		Nombre empresa que realiza inspección	

**Cuadro 22.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>SLICKLINE</b>	<b>UNIDAD</b>	La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual -trimensual Semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual -trimensual Semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	
	<b>TORRE</b>	Equipo	
		Tipo de torre	
		Fecha última inspección de luz negra	
		Equipo de izaje	
		Capacidad altura de izaje (ft)	
		Material	
		Peso de la torre (lb)	
		Capacidad en peso (lb)	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual -trimensual Semestral – anual - bianual
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual -trimensual Semestral – anual - bianual
	Certificado vigente [anexar]		
	<b>CABLE</b>	Nombre comercial del cable	
		Tipo de cable	Braidedline Digital Electricline Slickline
		Fabricante	
		Fecha de fabricación	
		Diámetro externo (in)	

**Cuadro 22.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>SLICKLINE</b>	<b>CABLE</b>	Número de corridas	
		Longitud (ft)	
		Material	
		Resistencia H <sub>2</sub> S (ppm)	
		Resistencia CO <sub>2</sub> (ppm)	
		Tensión máx. De trabajo (lb)	
		Peso (lb/ft)	
		Temperatura de trabajo (°F)	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual - trimensual - semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual - trimensual - semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	
	<b>EQUIPO CONTROL DE PRESIÓN</b>	Equipo	Adaptador de cabeza de pozo Lubricador Stuffing box Tool catcher Tool trap Unidad de sello bop
		Parámetro/especificación	
		Nombre fabricante	
		Tipo de material	
		Parte número	
		Diámetro interno (in)	
		Peso (kg)	
		Presión de trabajo (psi)	
		Cantidad de secciones de brazos [BOP]	
		Tipo conexión superior	
Tipo conexión inferior			
Tipo de conexión boca de pozo			

**Cuadro 22.** (continuación)

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>SLICKLINE</b>	<b>EQUIPO CONTROL DE PRESIÓN</b>	Tipo de activación de stuffing box	
		Tipo de izaje del equipo de presión	
		Servicio en presencia de H <sub>2</sub> S/CO <sub>2</sub>	
		Longitud de lubricador (ft)	
		Cantidad manómetro de 0 - 500 psi	
		Cantidad manómetro de 0 - 1000 psi	
		Cantidad manómetro de 0 - 5000 psi	
		Cantidad manómetro de 0 - 10000 psi	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	
		Certificado vigente [anexar]	
	<b>HERRAMIENTAS</b>	Nombre comercial	Barras de peso Blind box, sand bailer, bailer hidrostática, dump bailer Go devil 2½" x 5' Gs running and pulling tool Hydraulic jar Impresion blocks Kick over tool Knucle joint, x-over Magnetos Mechanical jar Overshot release 3" - 5" Overshot tipo obanon con cuñas para pesca Paraffin cutter Pulling tool jdc w/inconnel spring Pulling tool juc w/inconnel spring Pulling tool model m Pulling tool prs Pulling tool rb w/inconnel spring Pulling tool sb w/inconnel spring Pulling tool ssj w/inconnel spring Rope socket Shifting tool

**Cuadro 22.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>SLICKLINE</b>	<b>HERRAMIENTAS</b>	Nombre comercial	Tapones de prueba Wire grab 2 prong for tubing Wire grab 3 prong for tubing Wirefinder for tubing solid 1-pc wire finder Wireline finder
		Herramienta	
		Cantidad disponible	
		Diámetro nominal (in)	
		Máximo OD (in)	
		Diámetro cuello de pesca (in)	
		Metalurgia	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	
		Certificado vigente [anexar]	

Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 22.** Parámetros para Tubulares.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>TUBULARES</b>	<b>HERRAMIENTA</b>	Tubulares ofertados	Cuñas Drill collars api Drill collars api espiralados Drill collars api lisos Drill collars premium Drill collars premium espiralados Drill collars premium lisos Drill pipe api Drill pipe premium Elevadores Heavy weight drill pipe espiralados api Heavy weight drill pipe espiralados premium

**Cuadro 23.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>TUBULARES</b>	<b>HERRAMIENTA</b>	Tubulares ofertados	Heavy weight drill pipe lisos api Heavy weight drill pipe lisos premium Llaves Mesas falsas Tubería de fractura Tubing
		Nombre comercial	
		Cantidad tubos disponible (unidad)	
		Longitud promedio por tubo (ft)	
		Grado de resistencia	
		Peso nominal (lb)	
		Tipo de conexión	
		Libraje de trabajo (lb)	
		Espesor (in)	
		Máximo od (in)	
		Mínimo id (in)	
		Drift (in)	
		Presión de colapso (psi)	
		Presión de estallido (psi)	
		Máxima tensión (lbs)	
		Maximo caudal de flujo (bpm)	
		Máxima tensión en conexiones (lb)	
		Máximo torque (ft/lb)	
		Mínimo torque (ft/lb)	
		Tipos de fluidos compatibles	
		Tipos de fluidos no compatibles	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección y certificación	Mensual – bimensual - trimensual - semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	

**Fuente:** elaboración propia.

**Cuadro 23.** Parámetros para Well Testing.

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>WELL TESTING</b>	<b>EQUIPOS (SUPERFICIE)</b>	Equipo/muestreo	Equipo de WT en superficie Muestreo en superficie
		Componente	Campamento Tanques Equipo de separación Bombas e inyección Accesorios y tuberías Equipo de cabeza-Sistema de control de presión Cargadero Generador y compresor Equipos Varios Líquido Gas
		Equipo/nombre comercial	
		Descripción	
		Cantidad disponible	
		No. Parte	
		Longitud (in)	
		Temperatura de operación (°F)	
		Presión de trabajo-rango (psi)	
		Capacidad de líquido (bbl) [kva generador]	
		Capacidad de gas (scdf)	
		Tipo conexión de entrada	
		Tipo conexión de salida	
		Dimensiones especiales - peso - modular (ft)	
		Servicio en presencia de H <sub>2</sub> S/CO <sub>2</sub>	
		Tolerancia a la erosión	
		Tipos de fluidos compatibles	
		Tipos de fluidos no compatibles	
		Tipo material	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual – trimensual - semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	

**Cuadro 24.** (continuación).

Servicio	Componentes	Parámetro	Listas
<b>WELL TESTING</b>	<b>EQUIPOS (FONDO)</b>	Equipo/muestreo	
		Componente	Equipos varios fondo Memorias Sistemas inalámbricos Válvulas prueba y circulación Herramientas aislamiento
		Equipo/nombre comercial	
		Descripción	
		Cantidad disponible	
		No. Parte	
		Tipo de sensor	
		OD (in)	
		ID (in)	
		Longitud (in)	
		Número de corridas mínimas por pozo	
		Temperatura de operación (°F)	
		Presión de trabajo (psi)	
		Presión de estallido (psi)	
		Presión de colapso (psi)	
		Máxima tensión de trabajo (lb)	
		Máximo caudal flujo (bpm)	
		Material O-rings	
		Servicio en presencia de H <sub>2</sub> S/CO <sub>2</sub>	
		Tipo conexión superior	
		Tipo conexión inferior	
		Nombre empresa que realiza inspección	
		La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de inspección	Mensual – bimensual - trimensual - semestral – anual - bianual
		Nombre empresa que realiza certificación	
		La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante	
		Periodicidad de certificación	Mensual – bimensual - trimensual - semestral – anual - bianual
		Certificado vigente [anexar]	

**Fuente:** elaboración propia.

## ANEXO C

### IMÁGENES DE LA SEGUNDA Y TERCERA EVALUACIÓN DE TUBULARES

- SEGUNDA EVALUACIÓN

**Imagen 28.** Parámetros de evaluación para la segunda iteración.

The screenshot shows a web application window titled 'INPUT'. It contains a table for entering evaluation parameters. The table has three columns: 'Equipos/Herramientas', 'Parámetro técnico', and 'Input'. The first three rows are populated with data, while the remaining four rows are empty. At the bottom left is an 'ATRAS' button, and at the bottom right is a 'SIGUIENTE' button next to a cartoon iguana icon.

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
TUBING	MÁXIMO OD (n)	3.5
TUBING	PESO NOMINAL (lb)	9.2
TUBING	PERIODICIDAD DE INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN	SEMESTRAL

Fuente: elaboración propia.

**Imagen 29.** Cumplimiento de empresas

The screenshot shows a web application window titled 'CUMPLIMIENTO'. It displays a list of companies and their compliance status. The list is organized into two columns. At the bottom left is an 'ATRAS' button, and at the bottom right is a 'SIGUIENTE' button next to a cartoon iguana icon.

Compañías	
CO-G	COMPAÑIA G
CO-K	COMPAÑIA K
CO-O	COMPAÑIA O

NO CUMPLE  
CUMPLE  
NO CUMPLE

Fuente: elaboración propia.



**Imagen 32.** Informe de la segunda evaluación.

**INFORME DE EVALUACIÓN TÉCNICA**



FUNCIONARIO: USUARIO FECHA: 21/03/20

**EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

INPUT			
EQUIPOS	PARÁMETROS	%	INPUT
TUBING	PESO NOMINAL (lb)	50	9.2
TUBING	MÁXIMO OD (in)	35	3.5
TUBING	PERIODICIDAD DE INSPECCIÓN Y CERTIFICACIÓN	15	SEMESTRAL

**COMPAÑÍAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON**

Compañía K 0.83

**TENARIS**

J-55  
9.20 lb

Fuente: elaboración propia.

- TERCERA EVALUACIÓN

**Imagen 33** Parámetros de evaluación para la tercera iteración

INPUT x

INPUT

Seleccione los equipos/herramientas a evaluar
Seleccione el parámetro a evaluar y asigne un valor de input

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
<input type="text" value="TUBING"/>	<input type="text" value="TIPO DE CONEXIÓN"/>	<input type="text" value="NUE-520"/>
<input type="text" value="TUBING"/>	<input type="text" value="MÁXIMO OD (in)"/>	<input type="text" value="3.5"/>
<input type="text" value="TUBING"/>	<input type="text" value="MÁXIMA TENSIÓN (lbs)"/>	<input type="text" value="100000"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>



Fuente: elaboración propia.

**Imagen 34.** Cumplimiento de empresas.

x
**CUMPLIMIENTO**

**CUMPLIMIENTO**

**Compañías**

CO-G	COMPAÑIA G	NO CUMPLE
CO-K	COMPAÑIA K	CUMPLE
CO-O	COMPAÑIA O	NO CUMPLE

**ATRAS**

**SIGUIENTE**

Fuente: elaboración propia.

**Imagen 35** Valoración de parámetros para la tercera evaluación

x
**EVALUACIÓN**

**EVALUACIÓN TÉCNICA**

PUNTAJE EQUIPOS

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	CO-K COMPAÑIA K								
TUBING	1.0	<input type="text"/>							
TUBING	0.8	<input type="text"/>							
TUBING	0.8	<input type="text"/>							
	<input type="text"/>								
	<input type="text"/>								
	<input type="text"/>								
	<input type="text"/>								
	<input type="text"/>								
	<input type="text"/>								

PUNTAJE PARÁMETROS

Asigne puntaje a cada parámetro técnico

PARÁMETRO	(FRAC)
TIPO DE CONEXIÓN	0.4
MÁXIMO OD (in)	0.25
MÁXIMA TENSIÓN (lbs)	0.35
	<input type="text"/>

**ATRAS**

CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EQUIPOS

0% < Criterio adicional =< 10% - 80%

10% < Criterio adicional =< 25% - 90%

Criterio adicional > 25% - 100%

**SIGUIENTE**

Fuente: elaboración propia

Imagen 36 resultados tercera evaluación

RESULTADOS

**Compañías**

COMPAÑIA K

**Total**

0.88

$$\%Compañía = \sum_{i=1} (\%Equipo_i * \%Criterio_i)$$

ATRÁS

GENERAR INFORME

Fuente: elaboración propia.

Imagen 37 Informe de la tercera evaluación

INFORME DE EVALUACION TECNICA

FUNCIONARIO: USUARIO

FECHA: 21/03/20

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

INPUT			
EQUIPOS	PARÁMETROS	%	INPUT
TUBING	TIPO DE CONEXION	40	NUE-520
TUBING	MAXIMO OD (in)	25	3.5
TUBING	MAXIMA TENSION (lbs)	35	100000

**COMPAÑIAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON**

Compañía K **0.88**

**TENARIS**

J-55

9.20 lb

Fuente: elaboración propia

## ANEXO D

### IMÁGENES DE LA SEGUNDA Y TERCERA EVALUACIÓN DE REGISTROS ELÉCTRICOS

- SEGUNDA EVALUACIÓN

Imagen 38 Parámetros del segundo filtro

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
GAMMA RAY	MÁXIMO OD DE HERRAMIENTA (in)	3.63
GAMMA RAY	MÁXIMA TEMPERATURA (°F)	350
GAMMA RAY	MÁXIMA PRESIÓN (psi)	18000

Fuente: elaboración propia.

Imagen 39 Cumplimiento para el segundo filtro

CUMPLIMIENTO ✕

## CUMPLIMIENTO

**Compañías**

CO-B	COMPAÑIA B	CUMPLE
CO-C	COMPAÑIA C	CUMPLE
CO-D	COMPAÑIA D	CUMPLE
CO-F	COMPAÑIA F	CUMPLE
CO-G	COMPAÑIA G	CUMPLE
CO-H	COMPAÑIA H	NO CUMPLE
CO-K	COMPAÑIA K	NO CUMPLE
CO-L	COMPAÑIA L	NO CUMPLE
CO-O	COMPAÑIA O	CUMPLE

ATRÁS

SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia

Imagen 40 Valoración parámetros del segundo filtro

EVALUACIÓN ✕

## EVALUACIÓN TÉCNICA

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	PUNTAJE EQUIPOS						PUNTAJE PARÁMETROS		
	CO-B COMPAÑIA B	CO-C COMPAÑIA C	CO-D COMPAÑIA D	CO-F COMPAÑIA F	CO-G COMPAÑIA G	CO-O COMPAÑIA O	Asigne puntaje a cada parámetro técnico		
							PARÁMETRO	(FRAC)	
GAMMA RAY	0.8	0.9	1.0	0.9	0.8	0.8		MÁXIMO OD DE HERRAMIENTA (in)	0.6
GAMMA RAY	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8		MÁXIMA TEMPERATURA (°F)	0.2
GAMMA RAY	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9		MÁXIMA PRESTÓN (psi)	0.2

ATRÁS

CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EQUIPOS

0% < Criterio adicional = < 10% - 80%

10% < Criterio adicional = < 25% - 90%

Criterio adicional > 25% - 100%

SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia

Imagen 41 Resultado para el segundo filtro



Fuente: elaboración propia

Imagen 42 Informe de la segunda evaluación

**INFORME DE EVALUACIÓN TÉCNICA**



FUNCIONARIO: USUARIO FECHA: 21/03/2020

**EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

EQUIPOS		INPUT	
		PARÁMETROS	INPUT
GAMMA RAY		MÁXIMO OD DE HERRAMIENTA (in)	60
GAMMA RAY		MÁXIMA TEMPERATURA (°F)	20
GAMMA RAY		MÁXIMA PRESIÓN (psi)	20
			3.63
			350
			18000

**COMPAÑÍAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON**

COMPAÑIA B	0.82	COMPAÑIA C	0.9	COMPAÑIA D	0.92	COMPAÑIA F	0.88	COMPAÑIA G	0.82	COMPAÑIA O	0.82
GAMMA RAY GR		GAMMA RAY 195K4-01		GAMMA RAY GR/CCL/Shock		GAMMA RAY GCEV001		GAMMA RAY 12156200		GAMMA RAY UGRJ117	

Fuente: elaboración propia

- TERCER EVALUACIÓN

Imagen 43 parámetros para el tercer filtro

**INPUT**

Seleccione los equipos/herramientas a evaluar      Seleccione el parámetro a evaluar y asigne un valor de input

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
GAMMA RAY	MÁXIMO OD DE HERRAMIENTA (n)	2.75
GAMMA RAY	RESOLUCIÓN VERTICAL (n)	6
GAMMA RAY	VELOCIDAD DE REGISTRO (R/min)	25

ATRÁS      SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia

Imagen 44 Cumplimiento para el tercer filtro

**CUMPLIMIENTO**

**Compañías**

CO-B	COMPAÑIA B	NO CUMPLE
CO-C	COMPAÑIA C	NO CUMPLE
CO-D	COMPAÑIA D	CUMPLE
CO-F	COMPAÑIA F	CUMPLE
CO-G	COMPAÑIA G	NO CUMPLE
CO-H	COMPAÑIA H	NO CUMPLE
CO-K	COMPAÑIA K	NO CUMPLE
CO-L	COMPAÑIA L	NO CUMPLE
CO-O	COMPAÑIA O	CUMPLE

ATRÁS      SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia

Imagen 45 Valoración parámetros del tercer filtro

✕
**EVALUACIÓN**

**EVALUACIÓN TÉCNICA**

**PUNTAJE EQUIPOS**

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	CO-D	CO-F	CO-O						
	COMPAÑIA D	COMPAÑIA F	COMPAÑIA O						
GAMMA RAY	1.0	0.8	0.9						
GAMMA RAY	0.8	1.0	1.0						
GAMMA RAY	0.9	0.8	0.9						

**PUNTAJE PARÁMETROS**  
Asigne puntaje a cada parámetro técnico

PARÁMETRO	(FRAC)
MAXIMO OD DE HERRAMIENTA (in)	0.5
RESOLUCIÓN VERTICAL (m)	0.3
VELOCIDAD DE REGISTRO (ft/min)	0.2

ATRÁS

CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EQUIPOS

0% < Criterio adicional =< 10% - 80%

10% < Criterio adicional =< 25% - 90%

Criterio adicional > 25% - 100%

SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia

Imagen 46 resultados para el tercer filtro

✕
**RESULTADOS**

**RESULTADOS**

**Compañías**

COMPAÑIA D

COMPAÑIA F

COMPAÑIA O

**Total**

0.92

0.86

0.93

$$\%Compañía = \sum_{i=1}^{n} (\%Equipo_i * \%Criterio_i)$$

ATRÁS

GENERAR INFORME

Fuente: elaboración propia

**Imagen 47** Informe de la tercera evaluación

**INFORME DE EVALUACIÓN TÉCNICA**

**FUNCIONARIO:** USUARIO \_\_\_\_\_

**FECHA:** 21/03/2020 \_\_\_\_\_

**EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

INPUT			
EQUIPOS	PARÁMETROS	%	INPUT
GAMMA RAY	MAXIMO OD DE HERRAMIENTA (in)	50	2,75
GAMMA RAY	RESOLUCION VERTICAL (in)	30	6
GAMMA RAY	VELOCIDAD DE REGISTRO (ft/min)	20	25

**COMPAÑÍAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON**

COMPAÑÍA D 0.92    COMPAÑÍA F 0.86    COMPAÑÍA O 0.93

GAMMA RAY PGR020    GAMMA RAY GCEV001    GAMMA RAY MCGC174

**Fuente:** elaboración propia

## ANEXO E

### IMÁGENES DE LA SEGUNDA Y TERCERA EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE CEMENTACIÓN

- SEGUNDA EVALUACIÓN

Imagen 48. Parámetros para el segundo filtro

**INPUT**

Seleccione los equipos/herramientas a evaluar

Seleccione el parámetro a evaluar y asigne un valor de input

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	CAPACIDAD MÁXIMA	10
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	DISPONIBILIDAD DOBLE BOMBA PISTÓN [UNIDAD CEMENTACIÓN]	SI
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	POTENCIA (hp)	350

**ATRÁS** **SIGUIENTE**

Fuente: elaboración propia

Imagen 49. Cumplimiento para el segundo filtro

CUMPLIMIENTO ✕

## CUMPLIMIENTO

**Compañías**

CO-A	COMPAÑIA A	NO CUMPLE
CO-B	COMPAÑIA B	CUMPLE
CO-F	COMPAÑIA F	NO CUMPLE
CO-G	COMPAÑIA G	CUMPLE
CO-K	COMPAÑIA K	NO CUMPLE
CO-N	COMPAÑIA N	CUMPLE

ATRÁS

SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia.

Imagen 50. Asignación de valores a los criterios del segundo filtro

EVALUACIÓN ✕

## EVALUACIÓN TÉCNICA

**PUNTAJE EQUIPOS**

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	CO-B COMPAÑIA B	CO-G COMPAÑIA G	CO-N COMPAÑIA N						
UNIDAD_DE_CEMENTACION	0.9	0.8	1.0	<input type="text"/>					
UNIDAD_DE_CEMENTACION	1.0	1.0	1.0	<input type="text"/>					
UNIDAD_DE_CEMENTACION	1.0	1.0	1.0	<input type="text"/>					
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**PUNTAJE PARÁMETROS**  
Asigne puntaje a cada parámetro técnico

PARÁMETRO	(FRAC)
CAPACIDAD MÁXIMA	0.2
DISPONIBILIDAD DOBLE BOMBA PISTÓN [UNIDAD CEMENTACIÓN]	0.4
POTENCIA (hp)	0.4
<input type="text"/>	<input type="text"/>

ATRÁS

CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EQUIPOS

0% < Criterio adicional =< 10% - 80%

10% < Criterio adicional =< 25% - 90%

Criterio adicional > 25% - 100%

SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia.

138

**Imagen 51.** Resultados para el segundo filtro



Fuente: elaboración propia.

**Imagen 52.** Informe de los resultados para el segundo filtro

**INFORME DE EVALUACIÓN TÉCNICA**



FUNCIONARIO: USUARIO \_\_\_\_\_ FECHA: 21/03/2020 \_\_\_\_\_

**EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

INPUT			
EQUIPOS	PARÁMETROS	%	INPUT
UNIDAD DE CEMENTACION	CAPACIDAD MAXIMA	20	10/01/1900
UNIDAD DE CEMENTACION	DISPONIBILIDAD DOBLE BOMBA PISTÓN [UNIDAD CEMENTACIÓN]	40	SI
UNIDAD DE CEMENTACION	POTENCIA (hp)	40	350

**COMPAÑÍAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON**

COMPAÑIA B 0.98    COMPAÑIA G 0.96    COMPAÑIA N 1.0

BJ	HALLIBURTON	Tucker Energy Services
06/05/2012	01/01/2015	
BJ733	12720662	CT_1

Fuente: elaboración propia.

- TERCERA EVALUACIÓN

Imagen 53. Parámetros de selección para el tercer filtro

The screenshot shows a window titled 'INPUT' with a green header and a red close button. Below the title, there are two instructions: 'Seleccione los equipos/herramientas a evaluar' and 'Seleccione el parámetro a evaluar y asigne un valor de input'. The main area is divided into three columns: 'Equipos/Herramientas', 'Parámetro técnico', and 'Input'. Each column contains a series of dropdown menus. The first column has six dropdowns, all currently showing 'UNIDAD\_DE\_CEMENTACIÓN'. The second column has six dropdowns, with the first three showing 'ELIDAD DE CONTROL AUTOMÁTICO DE DENSIDAD [UNIDAD CEMENTACIÓN]', 'DE DATOS COMO PRESIÓN, DENSIDAD, TASA DE BOMBEO EN TIEMPO REAL', and 'PERIODICIDAD DE INSPECCIÓN A BOMBAS PISTON'. The third column has six dropdowns, with the first three showing 'SI', 'SI', and 'ANUAL'. At the bottom left is an 'ATRAS' button, and at the bottom right is a 'SIGUIENTE' button next to a cartoon iguana illustration.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 54. Cumplimiento para el tercer filtro

The screenshot shows a window titled 'CUMPLIMIENTO' with a green header and a red close button. Below the title, there is a section labeled 'Compañías'. It contains a list of companies and their compliance status:

Compañía	Cumplimiento
CO-A	NO CUMPLE
CO-B	CUMPLE
CO-F	NO CUMPLE
CO-G	NO CUMPLE
CO-K	CUMPLE
CO-N	NO CUMPLE

At the bottom left is an 'ATRAS' button, and at the bottom right is a 'SIGUIENTE' button next to a cartoon iguana illustration.

Fuente: elaboración propia.

Imagen 55. Valores asignados a los parámetros del tercer filtro

**EVALUACIÓN TÉCNICA**

**PUNTAJE EQUIPOS**

**PUNTAJE PARÁMETROS**  
Asigne puntaje a cada parámetro técnico

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	CO-B COMPAÑIA B	CO-K COMPAÑIA K									PARÁMETRO (FRAC)	
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	1.0	1.0									DISPONIBILIDAD DE CONTROL AUTOMÁTICO DE DENSIDAD (UNIDAD CEMENTACIÓN)	0.35
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	1.0	1.0									SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MUESTRA DE DATOS COMO PRESIÓN, DENSIDAD, TASA	0.35
UNIDAD_DE_CEMENTACIÓN	1.0	1.0									PERIODICIDAD DE INSPECCIÓN A BOMBAS PISTON	0.30

**CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EQUIPOS**  
 0% < Criterio adicional =< 10% - 80%  
 10% < Criterio adicional =< 25% - 90%  
 Criterio adicional > 25% - 100%

**SIGUIENTE**

Fuente: elaboración propia.

Imagen 56. Resultados para el tercer filtro

**RESULTADOS**

Compañías	Total
COMPAÑIA B	1
COMPAÑIA K	1

$$\%Compañía = \sum_{i=1}^{n} (\%Equipo_i * \%Criterio_i)$$

**ATRÁS**
**GENERAR INFORME**

Fuente: elaboración propia.

**Imagen 57.** Informe para los resultados del tercer filtro

**INFORME DE EVALUACIÓN TÉCNICA**

FUNCIONARIO: USUARIO \_\_\_\_\_

FECHA: 21/03/2020 \_\_\_\_\_



**EQUIPOS Y HERRAMIENTAS**

INPUT			
EQUIPOS	PARÁMETROS	%	INPUT
UNIDAD_DE_CEMENTACION	DISPONIBILIDAD DE CONTROL AUTOMÁTICO DE DENSIDAD [UNIDAD CEMENTACION]	35	SI
UNIDAD_DE_CEMENTACION	SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MUESTRA DE DATOS COMO PRESIÓN, DENSIDAD, TA	35	SI
UNIDAD_DE_CEMENTACION	PERIODICIDAD DE INSPECCIÓN A BOMBAS PISTON	30	ANUAL

**COMPAÑÍAS Y EQUIPOS QUE CUMPLIERON**

COMPAÑIA B 1.0	COMPAÑIA K 1.0
BJ 01/01/2019 Z3221051800	Schlumberger 08/08/2007 CPF37606Y1839

**Fuente:** elaboración propia.

## ANEXO F

### IMÁGENES DE LA EVALUACIÓN DEL SERVICIO DE CAÑONEO

Imagen 58. Disponibilidad de equipos de cañoneo.



The screenshot shows a web application window with a green title bar containing the text 'DISPONIBILIDAD' and a close button. The main content area has a white background with the title 'DISPONIBILIDAD' in bold. Below the title, there are two columns: 'COMPAÑIAS PRESTADORAS' and 'FECHA DISPONIBILIDAD'. The second column includes a format instruction '(DD/MM/AAAA)'. The table lists six providers with their respective availability dates. At the bottom, there are two buttons: 'ATRAS' and 'SIGUIENTE', with a cartoon fish character pointing towards the 'SIGUIENTE' button.

COMPAÑIAS PRESTADORAS	FECHA DISPONIBILIDAD (DD/MM/AAAA)
COMPAÑIA B	27/01/2020
COMPAÑIA C	01/02/2020
COMPAÑIA G	02/02/2020
COMPAÑIA K	20/01/2020
COMPAÑIA L	27/01/2020
COMPAÑIA O	25/01/2020

Fuente: elaboración propia.

Imagen 59. Input de equipos de cañoneo.

Equipos/Herramientas	Parámetro técnico	Input
Herramienta cañón	PENETRACIÓN (in)	45
Herramienta cañón	DENSIDAD DE DISPARO (spf)	12
Herramienta cañón	DIAMETRO AGUJERO ENTRADA (in)	0.4

Fuente: elaboración propia.

Imagen 60. Cumplimiento de equipos de cañoneo.

Compañías	Compañía	Cumplimiento
CO-B	COMPAÑIA B	NO CUMPLE
CO-C	COMPAÑIA C	NO CUMPLE
CO-G	COMPAÑIA G	CUMPLE
CO-K	COMPAÑIA K	CUMPLE
CO-L	COMPAÑIA L	CUMPLE

Fuente: elaboración propia.

Imagen 61. Evaluación técnica de equipos de cañoneo.

x
**EVALUACIÓN**

**EVALUACIÓN TÉCNICA**

**PUNTAJE EQUIPOS**

EQUIPOS / HERRAMIENTAS	CO-G COMPAÑIA G	CO-K COMPAÑIA K	CO-L COMPAÑIA L							
Herramienta cañón	0.9	0.9	0.9							
Herramienta cañón	0.8	0.8	0.8							
Herramienta cañón	0.9	0.9	0.8							

**PUNTAJE PARÁMETROS**  
Asigne puntaje a cada parámetro técnico

PARÁMETRO	(FRAC)
PENETRACIÓN (in)	0.25
DENSIDAD DE DISPARO (spf)	0.4
DIAMETRO AGUJERO ENTRADA (in)	0.35

ATRÁS

**CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA EQUIPOS**

0% < Criterio adicional =< 10% - 80%

10% < Criterio adicional =< 25% - 90%

Criterio adicional > 25% - 100%

SIGUIENTE

Fuente: elaboración propia.

Imagen 62. Resultados de equipos de cañoneo.

x
**RESULTADOS**

**RESULTADOS**

Compañías	Total
COMPAÑIA G	0.86
COMPAÑIA K	0.86
COMPAÑIA L	0.83

$$\%Compañía = \sum_{i=1} (\%Equipo_i * \%Criterio_i)$$

ATRÁS

GENERAR INFORME

Fuente: elaboración propia.

## ANEXO G

### RECOMENDACIÓN TABLA DE VALORACION DE PARAMETROS

**Cuadro 24.** Tabla de valoración de parámetros técnicos.

Rango	Parámetro	
60% - 100%	Modelo [fecha de fabricación]	Longitud (ft)
	Potencia (hp)	Peso (lb)
	Disponibilidad doble bomba pistón [unidad cementación]	Medio en que se toma registro
	Capacidad tensión máx. (lb)	Rango compresión (lb)
	Cantidad de tambores	Máxima presión (psi)
	Tambor 1 - tipo de cable	Profundidad de investigación (in)
	Capacidad de almacenamiento de longitud de cable máx. (ft) - tambor 1	Resolución vertical (in)
	Peso de la torre (lb)	Velocidad de registro (ft/min)
	Máxima capacidad en peso (lb)	Medio en el que registra
	Fecha de la última inspección de luz negra	Tubulares ofertados
	Certificado vigente [anexar]	Cantidad tubos disponible (unidad)
	Diámetro (in)	Longitud promedio por tubo (ft)
	Longitud disponible (ft)	Grado de resistencia
	Peso cable (lb/ft)	Peso nominal (lb)
	Tipo material cable	Tipo de conexión
	Resistencia HSS (máx. Concentración en ppm)	Libraje de trabajo (lb)
	Resistencia CO2 (máx. Concentración en ppm)	Espesor (in)
	Máxima temperatura (°F)	Máximo OD (in)
	Máxima tensión (lb)	Mínimo id (in)
	Prueba de tortura	Drift (in)
	Fecha de última prueba de tortura	Presión de colapso (psi)
	Longitud de empalme (ft)	Presión de estallido (psi)
	Cantidad disponible para ECOJETROL	Máxima tensión (lb)
	Longitud del lubricador (ft)	Máximo caudal de flujo (bpm)
	Tipo de conexión boca de pozo	Máxima tensión en conexiones (lb)
	Tipo de izaje del equipo	Máximo torque (ft/lb)
Número de equipos disponibles	Mínimo torque (ft/lb)	
Máximo OD de herramienta (in)		

**Cuadro 25.** (continuación).

Rango	Parámetro	
30% - 59%	Peso del equipo (ton)	Indicador de profundidad
	Capacidad mínima	Almacena data de tensión y profundidad por 3 meses o más
	Capacidad máxima	Sistema de adquisición de data tiene back-up
	Disponibilidad de control automático de densidad [unidad cementación]	Fecha último certificado de mantenimiento
	Cantidad de tanques para recirculación [unidad homogenización]	Nombre ente certificador
	Bloqueo físico de acceso a tanques durante operación [unidad homogenización]	Nombre empresa que realiza inspección
	Bloqueo de sistema hidráulico lock out y/o tag out [unidad homogenización]	La inspección cuenta con aval certificado de la compañía fabricante
	Disponibilidad compresor [unidad de transporte]	Periodicidad de inspección
	Sistema electrónico para muestra de datos como presión, densidad, tasa de bombeo en tiempo real	Nombre empresa que realiza certificación
	Simulador de temperatura circulante	La certificación cuenta con aval certificado de la compañía fabricante
	Disponibilidad sistema de polo a tierra	Periodicidad de certificación
	Disponibilidad alarma sonora para freno de emergencia	Tipo de cable
	Disponibilidad apagado de emergencia	Periodicidad de certificación
	Disponibilidad freno emergencia malacate	¿El cable tiene empalme?
	Periodicidad de inspección a bombas pistón	Cantidad de brazos herramienta
	Periodicidad de inspección a centrifugas	Minerales requeridos para desarrollo del registro
	Periodicidad de calibración de manómetros	Tipos de fluidos compatibles
	Periodicidad de inspección espesor de pared de tanques	Tipos de fluidos no compatibles
	Periodicidad de calibración de válvulas de alivio	Periodicidad de inspección y certificación
	0% - 29%	Indicador de tensión
Periodicidad de descarga y almacenamiento de información en bases de datos		Marca
Nombre fabricante		Esquema de unidad
Tipo material		Tipo de iluminación
Fabricante		Tambores cuentan protectores laterales [HSE]
	Tipo de herramienta	Disponibilidad impresora de papel continuo

**Cuadro 25.** (continuación).

Rango	Parámetro	
0% - 29%	Equipo / componente	Descripción tipo de mantenimiento mayor
	Marca – fabricante	Componente
	Serial	Tipo de torre
	Tipo	Tipo equipo de izaje
	Tipo capacidad	Nombre comercial
	Unidad de capacidad	No. Parte
	Disponibilidad impresora	Combinabilidad con otras herramientas de registro
	Equipos	Capacidad de almacenamiento de datos (hr)
	Nombre identificación unidad	Modo de procesamiento de datos
	Tipo de unidad	