

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-FINANCIERO DE LA PERFORACIÓN
CON TALADROS DE TUBERÍA FLEXIBLE HÍBRIDOS EN EL CAMPO CAÑO
SUR**

**MARIO ALBERTO MÉNDEZ NIÑO
GIANFRANCO TAGLIAFERRI ZAMBRANO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.
2019**

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-FINANCIERO DE LA PERFORACIÓN
CON TALADROS DE TUBERÍA FLEXIBLE HÍBRIDOS EN EL CAMPO CAÑO
SUR.**

**MARIO ALBERTO MÉNDEZ NIÑO
GIANFRANCO TAGLIAFERRI ZAMBRANO**

**Proyecto integral de grado para optar por el título de
INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**Director
Heriberto Quebrada Tabares
Ingeniero de petróleos**

**Co-director
Benjamín Alexis Garavito Linares
Ingeniero de petróleos**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C.
2019**

Nota de aprobación

Ing. Ivan Eduardo Peñaloza Cristancho

Ing. Yatnielah Isbel Pirela Ropero

Ing. Miguel Angel Rodríguez Reyes

Bogotá D.C Febrero 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería de Petróleos (E)

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

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

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a mis padres, quienes me dieron todo el apoyo económico y más importante aún emocional para poder seguir adelante cada día con mi carrera, a mi hermano quien siempre estuvo presente para acompañarme en momentos difíciles, a mi hermana quien me dio consejos para nunca rendirme, a mi tío y mi primo quienes fueron los que me impulsaron para estudiar esta carrera, a mis abuelos por ser personas incondicionales en cualquier momento y a toda mi familia por darme todo ese amor incondicional.

A Mario Méndez quien fue mi compañero de colegio, universidad y finalmente mi compañero de tesis.

A los profesores quienes fueron los que más aportaron sus conocimientos para formar un buen ingeniero.

Por ultimo a Diana Rodríguez, la persona que me acompañó de forma incondicional durante este todo este proceso, por darme alientos en los momentos que lo necesitaba, por siempre estar presente sin importar que pasara, por ser mi amiga, compañera de estudio y más importante aún mi novia.

Gianfranco Tagliaferri Zambrano

DEDICATORIA

Este Proyecto se lo dedico a mis padres por todo su apoyo incondicional, que me permitió lograr mis metas y por ser mi ejemplo a seguir.

A mis hermanas que me dieron fuerzas y ánimos cuando más lo necesitaba, y por toda la ayuda que me dieron.

A mi compañero de tesis por colaborar en este proyecto, y por ayudarme durante mi carrera.

Mario Alberto Méndez Niño

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas las personas que se vieron involucradas de una u otra forma en la realización de este proyecto. A nuestro director el ingeniero Heriberto Quebrada Tabares quien nos brindó todo su conocimiento y orientación, a nuestro co-director el Ingeniero Benjamín Alexis Garavito Linares quien aportó todo el apoyo logístico, a la empresa ACIPET por brindarnos las instalaciones y el personal necesario, a la empresa SepSpec quienes se encargaron de otorgarnos todo el asesoramiento e información del proyecto.

A nuestro director de la Fundación Universidad de América, Ing. Iván Peñaloza, quien ayudó con toda la orientación técnica, al orientador financiero Vicente Calad quien asesoró la viabilidad del proyecto y la orientadora geológica, la Geóloga María Chamorro quien nos ayudó en toda la orientación geológica.

Se agradece especialmente a la Fundación Universidad de América, nuestro segundo hogar donde nos instruyeron durante toda la carrera de Ingeniería de petróleos.

CONTENIDO

	pág
RESUMEN	25
INTRODUCCION	26
OBJETIVOS	27
1. GENERALIDADES GEOLOGICAS	28
1.1 HISTORIA	28
1.2 LOCALIZACIÓN	29
1.3 MARCO GEOLÓGICO	31
1.3.1 Columna Estratigráfica.	31
1.3.2 Estratigrafía.	31
1.3.3 Geología estructural.	34
1.3.4 Geología de Petróleo.	34
1.4 HISTORIA DE PRODUCCIÓN	36
1.4.1 Método de producción.	36
1.4.2 Tiempo de producción.	36
1.4.3 Número de pozos	36
2. MARCO TEORICO	38
2.1 PERFORACIÓN	38
2.1.1 Evaluación geológica.	38
2.1.2 Perspectiva Geofísica	38
2.2 ETAPAS DE LA PERFORACION	39
2.2.1 Rig up.	39
2.2.2 Perforación.	39
2.2.3 Rig down.	41
2.2.4 Cementación y revestimiento.	41
2.3 TALADROS DE PERFORACIÓN	41
2.3.1 Taladros Off Shore.	42
2.3.2 Taladros On Shore.	43
2.3.3 Taladros híbridos.	44
2.4 PARTES DE UN TALADRO DE PERFORACIÓN	45
2.4.1 Sistema para mover la tubería.	45
2.4.2 Sistema de circulación.	46
2.4.3 Sarta de perforación y broca.	49
2.4.4 Sistema de preventoras de presión	53
2.5 CLASIFICACIÓN DE POZOS	55
2.5.1 Fin con el cual se construyó.	55
2.5.2 Uso que se le dé.	56
2.5.3 Clasificación por perfil.	58

3. PERFORACIÓN CON TUBERIA FLEXIBLE	61
3.1 ANTECEDENTES	61
3.1.1 Historia Coiled Tubing.	61
3.1.2 Uso de CTD.	62
3.2 HIGH COILED TUBING DRILLING	63
3.2.1 Perforación con HCTD.	63
3.2.2 Aplicación del CT.	64
3.2.3 Aplicación del HCTD.	65
3.2.4 Beneficios.	66
3.2.5 Limitantes.	66
4. COMPARACION TALADROS CONVENCIONALES E HIBRIDOS	69
4.1 TIEMPOS	69
4.1.1 Pozo vertical.	70
4.1.2 Pozo horizontal.	73
4.2 COSTOS	77
4.3 PROBLEMAS DE PERFORACION	77
4.3.1 Pegas en los taladros.	78
4.3.2 Reventones en los taladros	78
4.4 CONTRATISTAS	79
4.5 VIDA UTIL DE LA TUBERIA DE PERFORACION	79
5. MATRIZ DE SELECCIÓN	81
5.1 LA MATRIZ DEL PERFIL COMPETITIVO (MPC)	81
5.2 PESOS DE LA MATRIZ	83
5.3 TALADROS COMPARADOS	83
5.4 PESOS EN LAS SUB-MATRICES	84
5.5 MATRIZ DEL POZO	85
5.5.1 Factores de la Matriz de pozo.	86
5.5.2 Resultados de la matriz de pozo.	90
5.5.3 Análisis de la sub-matriz de Pozo.	96
5.6 MATRIZ TÉCNICA	96
5.6.1 Factores de la matriz técnica.	97
5.6.2 Resultados matriz técnica.	102
5.6.3 Análisis de la sub-matriz de Técnica.	107
5.7 MATRIZ FINANCIERA	108
5.7.1 Factores de la matriz financiera	108
5.7.2 Resultados de la matriz financiera	111
5.7.3 Análisis de la sub-matriz de Financiero.	116
5.8 MATRIZ AMBIENTAL	116
5.8.1 Factores de la matriz ambiental.	117
5.8.2 Importancia del Impacto.	123
5.8.3 Resultados de la matriz ambiental.	126

5.8.4	Análisis de la sub-matriz de ambiental	131
5.9	MATRIZ DE SELECCIÓN	131
5.9.1	Factores de la matriz de selección general.	132
5.9.2	Resultados matriz de selección general	132
5.10	ANÁLISIS DE LA MATRIZ DE SELECCIÓN	134
6.	CAPÍTULO FINANCIERO	136
6.1	INVERSIÓN INICIAL	136
6.1.1	Tiquetes.	137
6.1.2	Viáticos.	138
6.1.3	Taladro.	140
6.1.4	Mantenimiento.	141
6.1.5	Transporte.	141
6.1.6	Impuestos.	143
6.2	COSTOS DE PERFORACIÓN	144
6.2.1	Transporte en campo.	144
6.2.2	Personal.	146
6.2.3	Perforación.	147
6.3	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	151
6.4	COMPARACIÓN ECONÓMICA	155
6.4.1	Inversión inicial.	155
6.4.2	Costos de perforación.	157
6.4.3	Recuperación de la inversión.	159
6.5	RENTABILIDAD	160
7.	CONCLUSIONES	162
8.	RECOMENDACIONES	163
	BIBLIOGRAFÍA	164

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características de la Formación Carbonera	35
Tabla 2. Comparación historial HCTD VS Convencional en Chittim Ranch	70
Tabla 3. Tiempos operacionales en pozos verticales de 3500 ft (tvd/md)	71
Tabla 4. Comparación campaña de perforación para 30 pozos verticales	72
Tabla 5. Tiempos de perforación para pozos horizontales 5200 ft en MD	74
Tabla 6. Comparación campaña de desarrollo para 30 pozos horizontales	76
Tabla 7. Ejemplo de matriz de selección	82
Tabla 8. Peso de las matrices	83
Tabla 9. Secciones de la matriz del pozo	86
Tabla 10. Pesos en matriz del pozo	87
Tabla 11. Matriz del pozo para taladro ADT-168	91
Tabla 12. Matriz del pozo para taladro PW118	92
Tabla 13. Matriz del pozo para taladro Foremost CTR	93
Tabla 14. Matriz del pozo para taladro PW127	94
Tabla 15. Matriz del pozo para taladro P1013	95
Tabla 16. Secciones de la matriz técnica	97
Tabla 17. Pesos matriz técnica	98
Tabla 18. Matriz técnica para taladro ADT-168	103
Tabla 19. Matriz técnica para taladro PW118	104
Tabla 20. Matriz técnica para taladro Foremost CTR	105
Tabla 21. Matriz técnica para taladro PW127	106
Tabla 22. Matriz técnica para taladro P1013	107
Tabla 23. Secciones de la matriz financiera	108
Tabla 24. Pesos matriz financiera	109
Tabla 25. Matriz financiera para taladro ADT-168	111
Tabla 26. Matriz financiera para taladro PW118	112
Tabla 27. Matriz financiera para taladro Foremost CTR	113
Tabla 28. Matriz financiera para taladro PW127	114
Tabla 29. Matriz financiera para taladro P1013	115
Tabla 30. Secciones de la matriz ambiental	116
Tabla 31. Secciones de la matriz de impacto ambiental	117
Tabla 32. Matriz Ambiental para taladros de Coiled Tubing	127
Tabla 33. Matriz Ambiental para taladros convencionales de 1000 hp	128
Tabla 34. Matriz ambiental para taladros convencionales de 500 hp	129
Tabla 35. Matriz de impacto ambiental	130
Tabla 36. Secciones de la matriz de selección general	132
Tabla 37. Factores de la matriz de selección general	132
Tabla 38. Matriz de selección para taladro ADT-168	133

Tabla 39. Matriz de selección para taladro PW118	133
Tabla 40. Matriz de selección para taladro Foremost CTR	133
Tabla 41. Matriz de selección para taladro PW127	134
Tabla 42. Matriz de selección para taladro P1013	134
Tabla 43. Tasa de cambio	136
Tabla 44. Presupuesto interno inversión inicial	137
Tabla 45. Margen de error inversión inicial	137
Tabla 46. Cotización tiquetes	138
Tabla 47. Margen de error tiquetes	138
Tabla 48. Cotización hospedaje	139
Tabla 49. Transporte Houston	140
Tabla 50. Extras viaje	140
Tabla 51. Total viáticos	140
Tabla 52. Margen de error viáticos	140
Tabla 53. Transporte terrestre taladro USA	142
Tabla 54. Transporte marítimo taladro	142
Tabla 55. Transporte terrestre taladro Colombia	143
Tabla 56. Transporte inicial taladro	143
Tabla 57. Margen de error transporte	143
Tabla 58. Tipos de transporte en campo	145
Tabla 59. Transporte campaña 15 pozos	145
Tabla 60. Transporte campaña 30 pozos	145
Tabla 61. Transporte campaña 45 pozos	146
Tabla 62. Transporte campaña 60 pozos	146
Tabla 63. Salario personal taladro HCTD	147
Tabla 64. Tiempos campaña de perforación HCTD	148
Tabla 65. Costos campañas pozos verticales	149
Tabla 66. Costos campañas pozos horizontales	150
Tabla 67. Costos campañas pozos mixtos	151
Tabla 68. Recuperación de inversión campaña pozos verticales	152
Tabla 69. Recuperación de inversión campaña pozos horizontales	153
Tabla 70. Recuperación de inversión campaña pozos mixtos	154
Tabla 71. Margen de error recuperación de la inversión	155
Tabla 72. Inversión inicial taladro convencional	156
Tabla 73. Diferencia inversiones iniciales	156
Tabla 74. Diferencia porcentuales inversiones iniciales	157
Tabla 75. Diferencia costos de perforación	158
Tabla 76. Tiempos perforación convencional	158
Tabla 77. Diferencias porcentuales ítems costos de perforación	159
Tabla 78. Diferencias porcentuales costos de perforación	159
Tabla 79. Comparación recuperación de la inversión	160

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación de las Brocas	51
Cuadro 2. Línea del tiempo de la tubería flexible	62
Cuadro 3. Línea del tiempo del uso de la tubería flexible	63
Cuadro 6. Aplicaciones de la tubería flexible en la industria	65
Cuadro 7. Aplicabilidad HCTD	66
Cuadro 8. Beneficios de la CTD	66
Cuadro 9. Limitantes de la CTD	66
Cuadro 10. Beneficios de fluidos utilizados en CTD	67
Cuadro 11. Beneficios de perforar con Top Drive	68
Cuadro 12. Calificaciones en la matriz	83
Cuadro 13. Factores matriz ambiental	118
Cuadro 14. Valores matriz ambiental	120

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa de la cuenca de los llanos Orientales	30
Figura 2. Columna Estratigráfica	31
Figura 3. Grafica de producción acumulada del Campo Caño Sur	37
Figura 4. Taladros de perforación	42
Figura 5. Taladros off shore	43
Figura 6. Taladro hibrido HCTD	44
Figura 7. Top Drive	46
Figura 8. Bomba de lodo	48
Figura 9. Sarta de perforación	49
Figura 10. Clasificación de brocas	50
Figura 11. Coiled Tubing	52
Figura 12. BOPs	55
Figura 13. Pozo inyector de agua caliente	57
Figura 14. Perfiles de pozo	59
Figura 15. Línea del tiempo de la tubería flexible	61
Figura 16. Línea del tiempo del uso de la tubería flexible	62
Figura 18. Gráfica de tiempos operacionales para pozos verticales	71
Figura 19. Comparación campaña de perforación para pozos verticales	72
Figura 20. Estado mecánico de un tipo de pozo horizontal del Campo Caño Sur	74
Figura 21. Gráfica de tiempos operacionales para pozos horizontales	75
Figura 22. Tiempos de perforación para campaña de 30 pozos horizontales	76
Figura 23. Pasos de la matriz ambiental	119

LISTA DE ABREVIATURAS

BHA: bottom Hole Assembly
BOP: blowout Preventer
COL\$: pesos Colombianos
COL\$/U: pesos Colombianos por unidad
CT: coiled tubing
CTD: coiled tubing drilling
EX: extension
FT: pies
HCTD: high coiled tubing drilling
Km: kilómetros
MO: momento
PE: persistencia
ROP: rate of perforation
RV: reversibilidad
TD: total depth
TRM: tasa de cambio del peso colombiano
TOC: contenido de carbón orgánico
UB: underbalanced
UBD: underbalanced drilling
UB CTD: underbalanced coiled tubing drilling
USD: dólares americanos
USD/U: dólares americanos por unidad

GLOSARIO

ABIGARRADO: hace referencia a la roca o sedimento que presenta colores variados y-o vivos.

ACUÍFERO: es una formación geológica caracterizada por la acumulación de agua en el subsuelo. Por lo general esta tiene un flujo que se encuentra conectado con la superficie.

ARCILLOLITAS: tipo de roca compuesta en un cincuenta por ciento por minerales arcillosos de aproximadamente 4 micras. Además se caracteriza por ser altamente compacta.

ARENISCAS: roca sedimentaria de origen detrítico, con textura detrítica, un tamaño de grano de 0.062 mm a 2 mm de tipo arena y está compuesta principalmente por cuarzo y pequeñas cantidades de feldespato.

ANTICLINAL: pliegue de diversas capas del subsuelo de forma ascendente.

BACK REAMING: es un proceso de repaso en el pozo perforado que consiste en aumentar el diámetro del pozo al momento de levantar la tubería.

BOQUILLA: es una sección de la broca la cual se encarga de disparar el lodo de perforación a alta presión.

BROCA: es un componente esencial de la sarta de perforación encargada de romper la roca mediante la rotación y así abrirse paso hasta la zona deseada.

BUZAMIENTO: es el ángulo que se produce entre la formación y un plano horizontal.

CABEZAL DE CEMENTACIÓN: es la maquinaria utilizada para cementar el pozo luego de la perforación de una sección.

CALIZA: roca sedimentaria, con textura micrítica a esparítica, granos que varían de finos a gruesos, generalmente un poco rasposos y compuesta por más de un 50% calcita y en ocasiones pequeñas cantidades de arcilla, hematita, siderita, cuarzo, aragonito, óxido de hierro, entre otros.

CAMPAÑA DE PERFORACIÓN: es un proyecto encargado de construir un cierto número de pozos cumpliendo un cronograma.

CAMPO: es un lugar utilizado con el fin de desarrollar diversas actividades relacionadas con la industria petrolera.

CARGAS: es la unidad utilizada para cuantificar la cantidad de camiones o contenedores necesarios que ocupa el taladro en su transporte.

CEMENTACIÓN: es el proceso de bombeo de cemento en el anular del pozo para darle más estabilidad a este en compañía del revestimiento.

CHERT: variedad de cuarzo, que varía de un color pardo a amarillo o negro, relacionado con formaciones sedimentarias.

CIZALLAMIENTO: es una de las características de los fluidos no Newtonianos como lo es el lodo que expresa el cambio de su viscosidad bajo esfuerzos cortantes.

CLUSTER: grupo de pozos que se encuentra en una locación generalmente con una organización geométrica para mejorar la producción de la zona, anteriormente se realizaban de forma más desordenada y hoy en día todavía podemos ver este tipo de distribución.

COILED TUBING: tipo de tubería flexible que se encuentra enrollada la cual puede ser de diversos diámetros y tiene diversos usos como puede ser la perforación y el mantenimiento de un pozo.

CONCORDANCIA: es el paralelismo y la relación geométrica entre dos formaciones estratigráficas superpuestas.

CONIFICACIONES: comportamiento del agua en el yacimiento de forma cónica alrededor de los fondos de pozo por cambios de presiones. Esto se da por producciones aceleradas de crudo y existen diversos métodos para evitarlo como mantener presiones de producción restringidas o construir pozos horizontales.

CONTACTO AGUA – PETRÓLEO: es la profundidad en el yacimiento en la cual se encuentra la fase de agua con la fase de aceite sin mezclarse.

CONTACTO PETRÓLEO – GAS: es la profundidad en el yacimiento en la cual se encuentra la fase gaseosa con la fase de aceite sin mezclarse.

CORAZONAMIENTO: es un proceso que se realiza durante la perforación con una broca especial, la cual permite obtener muestras de roca en forma de cilindro de una cierta profundidad y en algunos casos incluso manteniendo las características de presión y temperatura. Esto con el fin de estudiarlos en laboratorio de superficie.

CRETÁCICA: uno de los periodos del Mesozoico. Se encuentra entre 65 y 145 millones de años.

CRUDO: fluido compuesto por cadenas de carbono hidrogenado el cual se extrae de la tierra y se utiliza para producir diversos derivados.

CORTES: trozos de roca que son retirados durante la construcción de un pozo.

CUADRILLAS: es el personal que se encarga del funcionamiento de un taladro durante la perforación. Está compuesto por diversos trabajadores como obreros e ingenieros.

DAÑO DE FORMACIÓN: cualquier cambio físico o químico que se da en la formación durante procesos industriales ya sea perforación, cementación e incluso producción.

EMPAQUETAMIENTO: es una condición de la perforación caracterizada por la acumulación de cortes entre la cara del pozo y la sarta de perforación.

ENGRANPADOR: también conocido como encuellado, es uno de los obreros encargados de la perforación.

EOCENO: uno de los periodos del Paleógeno. Se encuentra entre 34 y 56 millones de años.

ESCUDO: sección de la corteza continental donde se crea y se mantiene el basamento desde el Precámbrico.

ESPESOR: es la diferencia entre las profundidades de la base y el tope de una formación geológica.

ESQUISTOS: tipo de roca con estructura plana, compuesta por granos planares. Se clasifica como roca metamórfica.

ESTABILIZADOR: es una de las secciones de la sarta de perforación que se encarga de mantener en una posición correcta toda la tubería. La sarta puede tener uno o más estabilizadores dependiendo de las necesidades.

EXPLORACIÓN: actividad desarrollada en la industria del petróleo con el fin de encontrar nuevas fuentes de crudo.

ESTRATIGRAFÍA: rama de la geología encargada de estudiar las sucesiones sedimentarias con el fin de conocer la naturaleza, disposición, correlación y ordenación de estas.

FALLA: formación geológica caracterizada por fracturar grandes secciones de roca formando así dos bloques. Además se caracteriza por contar un el desplazamientos de estos.

FELDESPATO: término utilizado para denominar un grupo de minerales ubicados en la clase de silicatos y subclase de tectosilicatos.

FILITAS: tipo de roca compuesta por granos finos. Se clasifica como roca metamórfica.

FLUORESCENCIA: es una característica de ciertos materiales que consiste en una reacción a una luz ultravioleta que le da una marcada luminiscencia.

FORMACIÓN: es una unidad litostratigrafica fundamental de rocas continuas laterales, caracterizada por ser la acumulación de roca durante el mismo periodo geológico, además de poseer un grupo de características que lo diferencian de otras formaciones.

FRACTURAMIENTO: es el proceso encargado de romper la roca con el fin de aumentar la permeabilidad de esta conectado los poros que no se encuentra interconectados.

GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO: rama de la geología encargada de estudiar las características de yacimientos petrolíferos además de su formación y prospección.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL: rama de la geología encargada de estudiar la geometría de las rocas, su formación y su respectiva evolución.

ÍNDICE DE HIDROGENO: es una ecuación que relaciona la cantidad de átomos de hidrógeno que componen una porción de un volumen determinado sobre la cantidad de átomos de hidrogeno que componen una porción de un volumen de agua determinada.

INFRAYACENTE: formación que se encuentra reposando por debajo de otra.

INYECCIÓN: es un proceso que mediante una bomba se transfiere fluido desde superficie hasta yacimiento con diversos fines.

KELLY: es una de las opciones que existen en la perforación para transmitir la rotación a la sarta mediante una tubería que rota

KEROGENO: se caracteriza por tener un contenido del 80% al 90% de materia orgánica, se encuentra en roca sedimentaria y es la principal fuente para la formación del petróleo. Se puede dividir en diversos tipos dependiendo de su origen.

LAVADOR: es lo fluido bombeado entre el lodo y el cemento para separarlos y limpiar la zona antes de la cementación.

LECHADA: fluido conformado principalmente por agua y un tipo determinado de cemento además de diversos químicos necesario para el proceso de cementación.

LIMOLITA: roca sedimentaria de origen detrítico, con textura clástica, con tamaño de granos de 1/16 mm a 2mm equidimensionales y su composición es heterogénea de óxidos ferrosos

LINK TILT: es el sistema de inclinación de enlace que hace parte del Top drive.

LOCACIÓN: zona en la cual se realizará uno o varios procesos de perforación. Debe estar preparada previamente para poder mantener y soportar el peso de todos los equinos además de ser una zona limpia y seca para poder trabajar.

LODO: es una mezcla líquida utilizada durante la perforación, bombeada desde superficie y recirculada. Es esencial para este proceso y puede ser base agua o aceite más los diversos químicos necesarios.

LUTITA: roca sedimentaria de origen detrítico con textura pelítica, con granos finos y compuesta por partículas del tamaño de la arcilla, grupo de la caolinita y restos de cuarzo, feldespato mica, hematita, epidota y limonita

MARCO GEOLÓGICO: es una de las secciones del capítulo geológico encargado de describir la estratigrafía, geología estructural y geología del petróleo asociados a una zona de interés.

MARTILLO: es una de las secciones de la sarta de perforación utilizada para dar golpes de peso a la tubería y de esta forma moverla con aumentos de energía. Se puede utilizar durante la perforación en momentos de pega dependiendo de las condiciones bajo las cuales se encuentra.

MATRIZ: sistema matemático utilizado para toma de decisiones dándole peso ponderada a cada una de las características de las opciones.

MIGRACIÓN: es la acción del movimiento del petróleo y gas desde la roca madre hasta la roca reservorio o trampa a través de los poros o discontinuidades de las diversas rocas.

MIOCENO: una de las épocas del Neógeno. Se encuentra entre 5 y 23 millones de años.

MOTOR DE FONDO: este motor es utilizado para darle rotación a la broca de perforación. Funciona mediante el flujo de fluido.

MOUSE HOLE: espacio que se encuentra entre la mesa rotaria y el suelo de la locación donde se realizan las conexiones de tubería.

OFF SHORE: o costa afuera es el término utilizado para especificar una ubicación, en este caso se habla de una locación alejada de la tierra firme.

OLIGOCENO: una de las épocas del Paleógeno. Se encuentra entre 23 y 34 millones de años

ON SHORE: o costa adentro es el término utilizado para especificar una ubicación, en este caso se habla de una locación en tierra firme.

PALEOZOICO: una de las e copas del Fanerozoico. Se encuentra entre 542 y 251 millones de años.

PARADA: es la unión de 2 o más sección de tubería utilizada para perforar. Esta unión es mediante una rosca inversa.

PEGA: es una falla durante la perforación la cual consiste en un paro del procedimiento por la inmovilización parcial o total de la sarta.

PERFORACIÓN: procedimiento que se encarga de la construcción de un pozo retirando la roca que se encuentra en la trayectoria de este.

PERFORACIÓN DIRECCIONAL: procedimiento que se encarga de la construcción de un pozo retirando la roca que se encuentra en la trayectoria específica con ángulos y orientaciones determinadas.

PERMEABILIDAD: es una medida de los materiales sólidos la cual consiste en la facilidad con la cual un fluido los atraviesa, si esta es alta el fluido atravesara con mayor facilidad.

PIEDEMONTES: formación geológica caracterizada por ser altamente plana y con muy poca inclinación. En uno de sus costados cuenta con una o varias formaciones

montañosas y a medida que nos acercamos al lado opuesto podemos ver la presencia de la erosión con un alto número de ríos y abanicos fluviales.

PIZARRAS: tipo de roca compuesta por grano ultra fino o muy fino. Se clasifica como roca metamórfica.

PLAN DE PERFORACIÓN: es un número de pasos que se deben seguir con el fin de realizar la perforación deseada. En este se encuentra todo el cronograma y procesos como registros y cementación.

POROSIDAD: es una medida calculada en porcentaje que determina el volumen de espacios porosos de una roca.

POZO: es una construcción realizada con el fin de conectar el subsuelo con la superficie.

PRECÁMBRICO: tiempo geológico entre el Cámbrico y el Fanerozoico.

PRESIÓN HIDROSTÁTICA: es la presión que ejerce la columna de fluido en el pozo.

PRODUCCIÓN: todo proceso en la industria del petróleo encargado de extraer hidrocarburos del subsuelo.

RADIOMETRÍA: estudio de la medición de la radiación electromagnética en una zona determinada.

QUILL: mango del taladro de perforación híbrido HCTD.

RATA DE PERFORACIÓN: es la relación que existe entre distancia sobre tiempo, más específicamente entre profundidad perforada sobre tiempo. Generalmente es medida en metros o pies.

RE-ENTRADA: es la corrección de un pozo realizado una segunda perforación.

REOLOGIA: características físicas de los fluidos que determina sus condiciones de flujo.

RESERVORIO: tipo de roca caracterizada por tener la capacidad de almacenar crudo en ella.

REVENTÓN: también conocido como patada de pozo es uno de los posibles accidentes que se pueden dar durante la perforación y es caracterizado por una explosión no controlada para liberar la presión del yacimiento en superficie.

REVESTIMIENTO: tubería utilizada para proteger y mantener la estabilidad del pozo acompañada del cemento el cual lo adhiere a la cara del pozo.

RIG DOWN: es el proceso de desarme y desinstalación de todos los elementos necesarios para realizar la perforación incluida la torre.

RIG UP: es el proceso del levantado de la torre de perforación y la instalación de todos los elementos necesarios para iniciar con el proceso.

ROCA GENERADORA: tipo de roca perteneciente a una cuenca caracterizada por la presencia de granos finos y material orgánico, este acumulado, preservado y madurado para la formación de petróleo.

ROCA RESERVORIO: tipo de roca capaz de almacenar fluido y permitir el paso a través de ella, caracterizada por la presencia de una porosidad y permeabilidad

ROCA SELLO: tipo de roca caracterizada por su impermeabilidad que forma una barrera alrededor del reservorio que impide el paso de los fluidos.

SARTA DE PERFORACIÓN: es la herramienta que se baja para perforar conectada con la superficie con la tubería y se encuentra en constante contacto con el fondo de pozo.

SILICICLÁSTICA: tipos de rocas constituidas por clastos

SINCLINAL: pliegue de las capas del subsuelo de forma descendente.

SISTEMA DE BOMBEO: es la composición de maquinaria y software utilizado para bombear distintos fluidos dentro del pozo como agua, lodo y cemento.

SLIPS: cuñas de perforación.

SUPRAYACE: formación que se encuentra reposando por encima de otra.

TALADRO: maquinaria encargada de realizar la perforación con el fin de construir el pozo. Existen diversos tipos y clasificaciones de taladros y cada uno de ellos es utilizado para diversos trabajos son distintas características.

TALADRO HIBRIDO: este tipo de taladro se caracteriza por poder perforar ya sea con tubería rígida o con tubería flexible como el coiled tubing.

TARGET: es la zona a la cual debe llegar la broca de perforación para finalizar con la perforación de pozo.

TERCIARIA: tiempo geológico entre el Paleógeno y el Neógeno.

TIEMPO DE SECADO: como su nombre lo indica es el tiempo que tardara el cemento en secarse o convertir su estado a sólido. Este tiempo puede cambiarse con químicos como acelerantes dependiendo de las necesidades.

TOP DRIVE: es una variante de transmisión de rotación más efectiva que la Kelly y que nos permite utilizar paradas completas a la hora de perforar.

TORRE DE PERFORACIÓN: también conocida como mástil es una de las secciones más importantes de un taladro la cual se encarga de levantar, sostener y aplicar peso a la tubería de perforación utilizada.

TUBERÍA DE PERFORACIÓN CONVENCIONAL: tubería rígida de diversos diámetros y características utilizada para la perforación de un pozo.

VISCOSIDAD: es una característica de los fluidos que determinan la resistencia de estos a fluir.

WORKOVER: es un proceso en la industria del petróleo que consiste en el mantenimiento de pozos con diversos fines.

YACIMIENTO: formación geológica caracterizada por la acumulación en este caso de hidrocarburos ya sea líquidos o gaseosos y en la mayoría de casos con presencia de agua. Cuenta con algunas características fundamentales para la industria como los son la porosidad y permeabilidad. Además de esto debe estar acompañada por una formación impermeable que evite el flujo de los fluidos como lo puede ser una falla, un anticlinal o incluso un domo salino.

RESUMEN

Al iniciar el proyecto se describió las generalidades geológicas del Campo Caño Sur donde posteriormente se realizaría el estudio. Se describió tanto las partes como tipos y funciones de un taladro de perforación y como este proyecto trata de taladros híbridos de tubería flexible se hizo énfasis en ellos. Luego se explicó el método de perforación de este y las diferencias con un taladro convencional de perforación y se explicó de forma detallada la ventana de aplicabilidad del taladro HCTD.

En el proyecto se analizó la viabilidad técnica y financiera del uso de taladros de perforación híbridos con tubería flexible en el Campo Caño Sur en el Meta, para esto, se realizaron diversas matrices de selección donde comparamos taladros convencionales utilizados en el Campo, taladro de tubería flexible y taladros híbridos de tubería flexible. De esta forma se pudo determinar entre todos estos cuál era el taladro más conveniente para una campaña de perforación agrupando todo en una matriz principal. Se compararon los datos históricos de perforaciones someras a cinco mil pies de los taladros convencionales y los híbridos en diversas locaciones con el fin de mostrar con hechos los resultados de la aplicabilidad de la tecnología HCTD.

Se realizó el estudio financiero con el fin de determinar si es económicamente rentable el uso de taladros híbridos de tubería flexible en el Campo Caño Sur basándose en el presupuesto de la perforadora para la compra, mantenimiento y transporte del talador y los costos de perforación con el fin de construir una tabla de amortización para ver los tiempos de recuperación de la inversión.

Palabras claves: Perforación, Taladros Híbridos, Tubería Flexible, Matriz de Selección.

INTRODUCCION

La perforación en la industria petrolera es una de las actividades más importantes encargada conectar yacimientos petrolíferos con superficie por medio de pozos. Estos pozos se encuentran bajo diversas condiciones de presión, temperatura y profundidad, y dependiendo de esto se deben utilizar diversas maquinarias con características específicas llamados taladros de perforación.

Debido a los altos costos y tiempos que lleva realizar una perforación cada día se busca la manera de mejorar las tecnologías de los taladros con el fin de disminuir estos tiempos. Si un taladro de perforación disminuye los tiempos y costos de perforación significa que podrá construir más pozos en menos tiempos y con menos inversión, aumentando las ganancias. Por esta razón la perforación en la industria petrolera es tan importante.

Los taladros híbridos con tubería flexible son utilizados desde hace aproximadamente 20 años en países como Estados Unidos y Canada con el fin de perforar pozos someros de máximo cinco mil pies de profundidad con la posibilidad de que sean direccionales. Disminuyendo así los tiempos de perforación y aumentando el número de pozos construidos.

En Colombia existe un número importante de yacimiento que cuentan con una zona de interés somera como es el caso del Campo Caño Sur, pero aun así se siguen utilizando taladros con tecnología convencional y tuberías rígidas los cuales realizan el trabajo de forma correcta, pero con altos tiempos y costos. Por esta razón, ciertos campos en Colombia son ideales para realizar perforaciones con tubería flexible.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la viabilidad técnica y financiera de la perforación con taladros de tubería flexible híbridos HCTD en el Campo Caño Sur.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1) Describir las generalidades geológicas del Campo Caño Sur en el Meta.
- 2) Describir el método de perforación con taladros de tubería flexible híbridos HCTD.
- 3) Definir los parámetros de aplicabilidad de la tecnología de perforación HCTD.
- 4) Realizar matriz de selección de método de perforación entre tecnología HCTD y perforación convencional.
- 5) Comparar los datos históricos de las perforaciones convencionales en el Campo Caño Sur y los datos de perforación con tecnología HCTD para pozos someros horizontales de máximo 5000 pies en MD.
- 6) Evaluar la viabilidad financiera del proyecto mediante una relación costo beneficio.

1. GENERALIDADES GEOLOGICAS

Se presenta la historia, localización, marco geológico e historia de producción del Campo Caño Sur Este de la Cuenca de los Llanos Orientales en Colombia.

1.1 HISTORIA

El 20 de junio de 2005, la Agencia Nacional de Hidrocarburos y Ecopetrol S.A firmaron un contrato de exploración y explotación sobre un área de 610.000 hectáreas, “cobijado por el esquema de pago de regalías de variables para crudos pesados entre el 6% y el 18,75%, dependiendo de los niveles de producción”.¹

A finales del 2010, Ecopetrol (operadora del Campo Caño Sur) perforó dos pozos de tipo estratigráfico, el Pozo Mago-1 (noviembre) fue descubridor de hidrocarburo y alcanzó una profundidad total de 3300 Ft, y el Pozo Draco-1 (diciembre), el cual confirmó acumulación de hidrocarburos a una profundidad de 3284 Ft, siendo la roca almacenadora La Unidad Arenisca Basales de la Formación Carbonera, con un espesor neto petrolífero que oscila entre 10 y 20 Ft.

En el año 2011, la operadora perforó cinco pozos de tipo exploratorio, los cuales igualmente, encontraron en la Unidad de Arenisca Basales hidrocarburo, son ellos: el Pozo Mito-1 (perforado en mayo) con una profundidad de 3310 Ft; el Pozo Fauno-1 (perforado en mayo) con profundidad de 3256Ft; el Pozo Pinocho-1 (perforado en junio) con profundidad de 3500 Ft; el Pozo CSE-8 ST1 (perforado en agosto) con una profundidad de 4594 Ft; y el Pozo Trasgo-1 (perforado en octubre) con una profundidad de 2934 Ft. En el 2012, Ecopetrol con el Pozo horizontal Embrujo 1-ST2, que alcanzó una profundidad de 5.121 Ft, encontró hidrocarburo en la misma Unidad estratigráfica.

El 23 de octubre de 2013 se declaró la comercialidad del Campo Caño Sur, después de perforar 61 pozos, entre estratigráficos, exploratorios y delimitadores. A principios del 2016 y por un periodo aproximado de ocho meses, el Campo Caño Sur suspendió la producción, debido a los bajos precios del crudo. A octubre 2018, Ecopetrol continúa siendo la operadora, y sobre el Campo Caño Sur Este, el cual tiene un área de 54.309 hectáreas, lleva a cabo tanto operación de producción como un proyecto de desarrollo.²

¹ EL ESPECTADOR. Ecopetrol declara comercialidad de hallazgo petrolero con reservas de 22.4 millones de barriles [en línea]. Diciembre, 2013. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/economia/ecopetrol-declara-comercialidad-de-hallazgo-petrolero-r-articulo-462328>. (30, Julio, 2014)

² ACIPET. Caño Sur Este, ejemplo de producción eficiente en escenarios de precios bajos. [En línea]. Congreso Colombiano del Petróleo. Bogotá D.C (Colombia). [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: <https://congresoacipet.com/wp-content/uploads/2017/Tec/TEC-113.pdf>

1.2 LOCALIZACIÓN

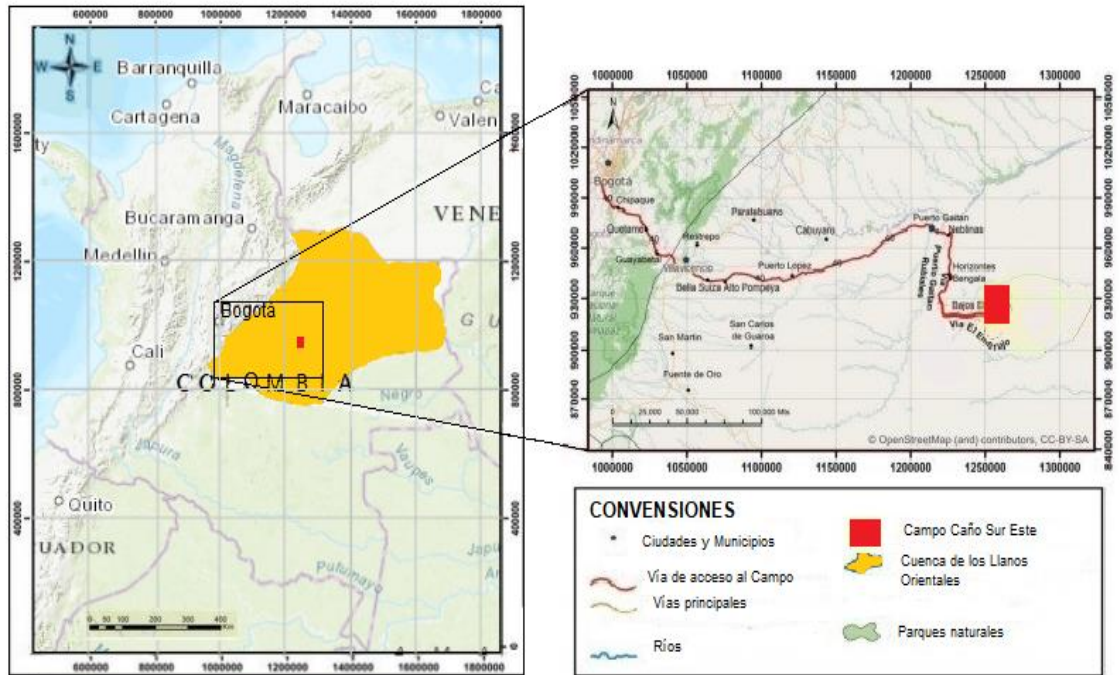
El Campo Caño Sur está ubicado en Colombia, en la Cuenca de los Llanos Orientales, en el Departamento del Meta, en el Municipio de Puerto Gaitán, a 200 km, hacia el sur Este de Villavicencio, y a aproximadamente 320 Km de la ciudad de Bogotá, esta Campo es vecino de los Campos Quifa y Rubiales.

Para acceder al Campo Caño Sur, hay una red vial con varias vías nacionales, veredales y municipales. Desde Bogotá se entra a la carretera nacional pavimentada llamada Ruta 40 hacia el sur-este hasta Villavicencio en un recorrido de 86 Km, de Villavicencio hasta el municipio de Puerto López hacia el este en un recorrido de 79 Km, de Puerto López a Puerto Gaitán hacia el noreste con un recorrido de 111 Km, para posteriormente entrar en la vía Puerto Gaitán Rubiales hacia el sur con un recorrido de 60 km, y finalmente se toma la vía El Embrujo hacia el este con un trayecto de 27 Km.³ La segunda forma, es por vía aérea, que se realiza dos veces por día, por medio de las aerolíneas HELISTAR, empresa con la que Ecopetrol tiene vínculos, en un trayecto directo hacia el Campo con orientación hacia el sureste, con un recorrido de 270 Km.

En la **Figura 1** se puede ver la localización de la Cuenca de los Llanos Orientales y del Campo Caño Sur Este en un mapa geológico de Colombia.

³ ACIPET. Caño Sur Este, ejemplo de producción eficiente en escenarios de precios bajos. [En línea]. Congreso Colombiano del Petróleo. Bogotá D.C (Colombia). [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: <https://congresoacipet.com/wp-content/uploads/2017/Tec/TEC-113.pdf>

Figura 1. Mapa de la cuenca de los llanos Orientales



Fuente: ArcGIS for Desktop. Versión 10.3.0.4322: ESRI Inc. Disponible en ESRI Inc. Modificado por el autor.

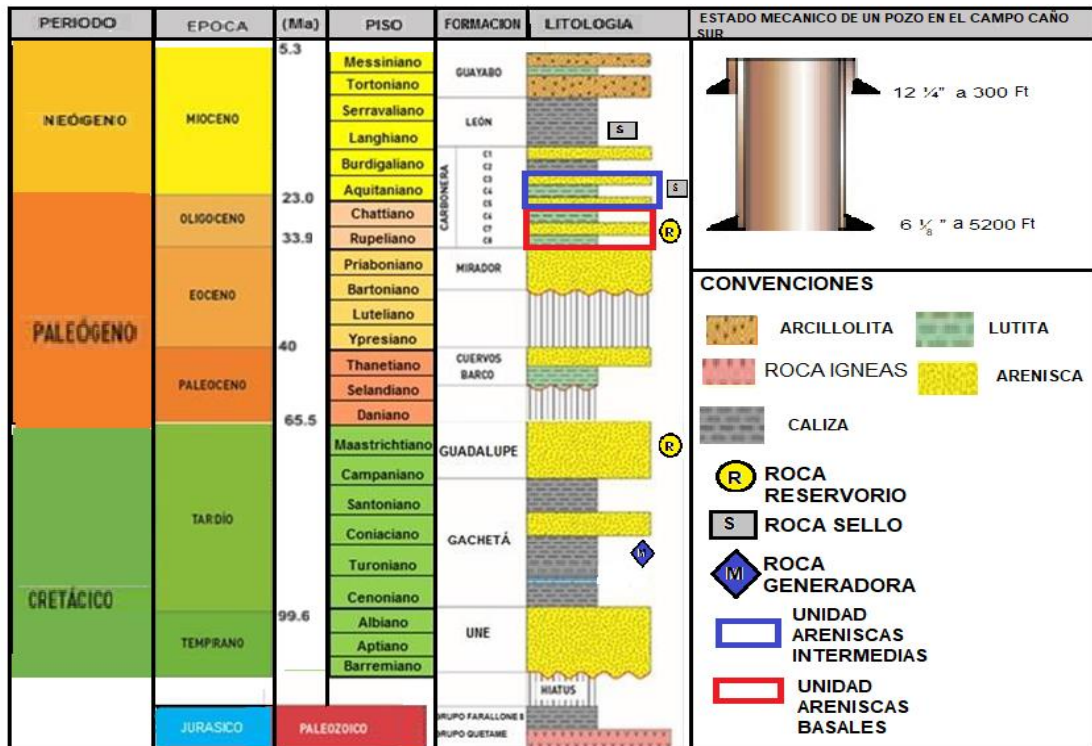
1.3 MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca de los Llanos Orientales, en donde se localiza el Campo Caño Sur, es de tipo Antepaís, asimétrica, con una secuencia de sedimentos cretácicos y terciario descansando discordantemente sobre el Basamento. En esta sección se describe la estratigrafía, geología estructural y geología del petróleo asociados al Campo Caño Sur.

1.3.1 Columna Estratigráfica. En la **Figura 2** se presenta la columna estratigráfica generalizada de la Cuenca de los Llanos Orientales y el Campo Caño Sur, resaltando las Unidades estratigráficas perforadas en este Campo.

La Cuenca de los Llanos Orientales presenta Unidades estratigráficas que van desde el Paleozoico hasta el reciente. El pozo más profundo del Campo alcanzó la Formación Carbonera del Oligoceno.

Figura 2. Columna Estratigráfica



Fuente: PACIFIC EXPLORATION & PRODUCTION, Evaluación de las reservas de petróleo y gas diciembre 2014. Modificado por el autor.

1.3.2 Estratigrafía. En esta sección se describen las Unidades estratigráficas presentes en la Cuenca, de la más antigua a la más reciente, haciendo énfasis en aquellas atravesadas por los pozos del Campo. Las edades, litologías, espesores, y ambientes de depositación de cada Formación, se describen principalmente con base en datos presentados en el Léxico Estratigráfico Internacional de Julivert, y de De Porta, y el libro Evolución geológica de Colombia del autor Toussaint.

- **Formación Une.** Según Julivert, se considera que la Formación Une fue depositada entre el cretácico inferior y superior. Su litología consiste en areniscas ricas en cuarzo con intercalaciones menores de lutitas y limolitas con alto contenido de carbón. La Formación Une tiene un espesor promedio de 350 FT, su espesor crece hacia el noroeste y presenta un valor de cero en el límite de erosión. Fue depositado en un ambiente marino. La Formación Une infrayace a la Formación Gachetá concordantemente. Esta Formación no ha sido alcanzada por los pozos del Campo Caño Sur.

- **Formación Gachetá.** La Formación Gachetá se depositó en el Cretáceo Superior, en el Cenominiano-Campaniano. Su litología consiste en intercalaciones de caliza y areniscas en la parte superior de granos muy bien seleccionados con fluorescencia amarilla, según Toussaint “Los paquetes de areniscas presentan cemento silíceo y calcáreo de manera ocasional”⁴. El espesor de la Formación Gachetá se estima entre los 200 FT. Se depositó en ambiente marino. Esta Formación infrayace de forma concordante a la Formación Guadalupe. Esta Formación no ha sido alcanzada por los pozos del Campo Caño Sur.

- **Formación Guadalupe.** Según M. Julivert⁵, la Formación Guadalupe pertenece al periodo Cretáceo Superior, entre el Santoniano al Maastrichtiano. Su litología consiste en areniscas cuarzosas de grano fino, con intercalaciones de arcillolitas, limolitas silíceas y chert. En el área del Campo Caño Sur presenta calizas y areniscas cementadas con carbonato. El espesor de esta Formación varía de 80 hasta 200 Ft. El ambiente en que se depositó es marino. La Formación Guadalupe infrayace de forma discordante a la Formación Barco. Esta Formación no ha sido alcanzada por los pozos del Campo Caño Sur.

- **Formación Barco.** De acuerdo con DE PORTA⁶, pertenece al Paleógeno, exactamente en la época del Paleoceno. Su litología se compone de areniscas masivas, pobremente clasificadas, y lutitas de color gris en el tope, con intercalaciones de capas de carbón. Esta Formación tiene un espesor total de 350 Ft. Su ambiente de depositación es continental. La Formación Barco infrayace de forma concordante a la Formación Los Cuervos. Esta Formación no es alcanzada por los pozos del Campo Caño Sur.

- **Formación Los Cuervos:** La formación Los Cuervos se considera del Paleógeno, y se encuentra entre las edades del Paleoceno y Eoceno temprano. Según Porta “Litológicamente la formación consta de shales carbonáceas, gris oscuras, arcillitas intercaladas con limolitas micáceocarbonosas, areniscas de

⁴ TOUSSAINT. Jean Francois. Evolucion geológica de Colombia. Colombia, 1996. P.28

⁵ JULIVERT. M. Léxico Estratigráfico Internacional. Colombia, 1968. Vol. 5. p. 50

⁶ DE PORTA J. Léxico Estratigráfico internacional. Paris, 1974. P 130

grano fino y carbones.”⁷ El espesor de esta formación varía entre 200 a 600 Ft. Se depositó en un ambiente marino. La Formación Los Cuervos infrayace de forma discordante a la Formación Mirador.

- **Formación Mirador.** De acuerdo con DE PORTA, esta Formación se depositó en el Paleógeno, entre el periodo del Eoceno inferior y medio;” Esta formación está compuesta principalmente de areniscas, lutitas y arcillitas intercaladas”⁸. El espesor de la Formación Mirador es de 30 ft a 150 ft. Esta Formación se depositó en un ambiente continental y fluvial a transicional con influencia mareal. Esta Formación infrayace de forma concordante a la Formación Carbonera. Esta Formación no es alcanzada por los pozos del Campo Caño Sur.

- **Formación Carbonera.** Esta Formación pertenece al Paleógeno, a las edades entre el Eoceno Medio y el Oligoceno Inferior. De acuerdo con DE PORTA “Consta de arcillitas grises a gris verdoso y pardas con areniscas y con algunos lechos de lignito en su parte inferior y superior”.⁹ El espesor de esta formación se encuentra entre 400 a 560 Ft. El ambiente en que se depositó es continental, lo que es confirmado por la amplia distribución de mantos de carbón y de fósiles vegetales. La Formación Carbonera infrayace de forma concordante a la Formación León. Es la Formación objetivo de los pozos Caño Sur. A continuación, se describen las principales características de las Unidades operacionales, con base en datos del Campo Caño Sur.

- **Unidad Carbonera Areniscas Basales.** Su litología consiste en cuarzo-arenitas, arenitas subarcosicas, gris claras, de grano fino a grueso, regularmente seleccionadas, con un rango de porosidad entre 29 a 34%, y permeabilidades entre 5 a 10 darcies, en el Campo Caño Sur. Las areniscas están compuestas por cuarzo mono cristalino y cuarzo poli cristalino, además de feldespato potásico. El espesor de esta Unidad varía entre 180 a 200 Ft.

- **Unidad Carbonera Intermedia.** La litología de esta Unidad consiste en una serie de intercalaciones de arenisca gris, de granos finos a medio, con selección regular, desmenuzables y arcillolitas grises verdosa, modestamente compactadas. En el Campo Caño Sur, el espesor varía entre 360 a 415 Ft. El ambiente de deposición es costero bajo.

- **Unidad C2.** Su litología consiste por lutitas gris, fisil, laminar, modestamente compacta, y algunas limolitas grises verdoso. En el Campo Caño Sur, el espesor de esta Unidad varía entre 100 a 200 Ft.

- **Unidad C1.** Su litología consiste en areniscas gris, blancas, de grano fino a grueso, sub-angular, sub-redondeada, regularmente seleccionada, con

⁷ DE PORTA Léxico Estratigráfico internacional. Paris, 1974. P270

⁸ DE PORTA Léxico Estratigráfico internacional. Paris, 1974. P320

⁹ DE PORTA Léxico Estratigráfico internacional. Paris, 1974. P160

intercalaciones de lutitas gris verdoso. En la base predomina arcillolitas con lentes de areniscas. El espesor de esta Unidad en el Campo Caño Sur está entre 70 a 80 Ft.

- **Formación León.** De acuerdo con Julivert, pertenece al Neógeno, en la edad del Mioceno inferior. ¹⁰ "Está formada predominantemente por shales de color gris y gris verdoso, con raras capas delgadas de areniscas con láminas carbonáceas. Tanto en la base como en la parte superior de la formación las shales tienden a pasar a limos".¹¹ Esta Formación tiene un espesor promedio de 550 Ft. Se considera que se depositó en un ambiente continental, esta Formación presenta canales fluviales. Esta Formación infrayace de forma concordante a la Formación Guayabo. Esta Formación es atravesada por los pozos del Campo Caño Sur.
- **Formación Guayabo.** De acuerdo con DE PORTA, esta Formación corresponde al Neógeno. La litología de esta Formación la compone areniscas de grano medio a grueso de color gris, regularmente seleccionada en su mayoría, con delgadas intercalaciones de arcillolitas y limolitas moteadas en la parte superior, y en la parte inferior predominan las arcillolitas y limolitas abigarradas con intercalaciones de carbón y areniscas. ¹² El espesor de la Formación Guayabo varía entre 1100 y 1300 Ft. El ambiente en que se depositó es continental. Esta Formación suprayace concordantemente a la Formación León. Esta Formación es atravesada por los pozos del Campo Caño Sur.

1.3.3 Geología estructural. La Cuenca de los Llanos Orientales es de tipo antepaís, la deformación del área del Campo Caño Sur Este se enmarca por una serie de eventos tectónicos demostrados por la superposición de varios estilos estructurales que afectan la secuencia sedimentaria desde el Paleozoico al Reciente. En el sector del Paleozoico existen plegamientos y fallamientos posiblemente son potencialmente prospectables. La estructura del Campo Caño Sur corresponde a un monoclinal orientado en una dirección N50°E, con buzamiento de 0.1° a 1.2° en dirección Noroeste.

1.3.4 Geología de Petróleo. A continuación, se describen brevemente los principales parámetros asociados al sistema petrolífero del Campo Caño Sur:

- **Roca generadora.** Las calizas de la Formación Gachetá son las principales rocas generadoras de la Cuenca de los Llanos Orientales.¹³ Esta formación posee un kerógeno tipo II y III, con un contenido de carbono orgánico (TOC) que varía entre 1 y 3%, y tiene un espesor efectivo entre 50 a 100 metros. El índice

¹⁰ JULIVERT.M. Léxico Estratigráfico Internacional. Colombia, 1968. Vol. 5. p. 332

¹¹ DE PORTA Léxico Estratigráfico internacional. Paris, 1974. P324

¹² DE PORTA Léxico Estratigráfico internacional. Paris, 1974. P190

¹³ Ibid. Pago, 34

de hidrogeno (HI) depende de la madurez, llegando a valores aproximados de 400 mg HC/ G TOC.

Lutitas ricas en materia orgánica, en las formaciones terciarias: Los Cuervos, Mirador y Carbonera (C8)¹⁴, se consideran potencialmente generadoras.

- **Roca reservorio.** Las principales rocas reservorios de la Cuenca de los Llanos Orientales son areniscas presentes en las Formaciones Une, Carbonera (las areniscas de esta Formación corresponden a las Unidades: C1, C3, C5, y C7), y Guadalupe. En la **Tabla 1** se muestra el espesor, la porosidad y la permeabilidad de las areniscas Unidades C1, C3, C5 y C7 de la Formación Carbonera.

Tabla 1. Características de la Formación Carbonera

Unidad	Espesor	Porosidad	Permeabilidad
	Ft	%	Md
C1	683.43	18	500 – 2500
C3	199.32	19	100 – 600
C5	565.62	14	100 – 600
C7	393.69	23	500 – 3500

Fuente: Elaboración propia

El reservorio del Campo Caño Sur Este corresponde a la prte superior de las Areniscas Basales de la Unidad Carbonera, con una porosidad entre 25 y 30% y permeabilidades de 5 a 11 Darcys, y con espesor neto entre 10 y 20 Ft.

- **Roca sello.** El sello regional en la Cuenca corresponde a la Formación León, debido a sus arcillolitas. Para el caso del Campo Caño Sur, las lutitas de las Unidades C-2, C-4, C-6 Y C-8 de la Formación Carbonera, además de las lutitas cretácicas en las Formaciones Guadalupe y Gachetá, actúan como sellos intraformacionales.¹⁵ El sello lateral está formado por el acuñamiento de la Unidad contra el Paleozoico.
- **Migración.** Se han documentado dos pulsos de migración en la Cuenca de los Llanos Orientales en la cual el primero comenzó hacia el Eoceno tardío y terminó

¹⁴ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Información geológica y geofísica. [En línea]. Ronda Colombia 2010. [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20\(pdf\)-Ronda%20Colombia%202010.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20(pdf)-Ronda%20Colombia%202010.pdf)

¹⁵ Ibid.,

en el Oligoceno; el segundo empezó en el Mioceno y continua en la actualidad.¹⁶ La migración se produjo desde el occidente hasta encontrar el acuífero de las Areniscas Basales de la Unidad Carbonera contra el Basamento Preterciario.

- **Trampas.** En la Cuenca de los Llanos Orientales, la exploración se ha concentrado en fallas normales antitéticas, sin embargo, también son un objetivo exploratorio los anticlinales asociados a fallas inversas.¹⁷ En el área del Campo Caño Sur Este, “la trampa es de tipo estructural, constituida por el bloque levantado de una falla normal de alto ángulo y bajo desplazamiento, que pone en contacto las Arenas Basales con miembros arcillosos de la Formación Carbonera; El salto de esta falla se estima que alcanza los 10 pies”¹⁸.

1.4 HISTORIA DE PRODUCCIÓN

El Campo Caño Sur Este obtuvo la comercialidad en el año 2013, con una producción inicial de 800 barriles por día, el petróleo producido en el Campo Caño Sur es un black oil con 11-15 ° API, y con bajo GOR de 9-19 CF/BI, con viscosidad promedio de 260 cP a temperatura de yacimiento. La presión inicial era entre 1125 psi y 1200 psi.

1.4.1 Método de producción. La producción del Campo Caño Sur Este, desde los primeros pozos hasta la actualidad (octubre de 2018), es debido a un acuífero activo que proporciona una presión que se ha mantenido y que es lo suficiente para un buen drenaje.

En el Campo Caño Sur Este se han implementado bombas ESP en pozos horizontales, para que el crudo pueda llegar a superficie. Además, en este Campo hay un pozo inyector en la locación de Mito-2, acompañado de un sistema de tratamiento de agua, para mejorar la calidad del agua de producción e inyectarla. En la actualidad (2018) la producción se ha mantenido con estos métodos.

1.4.2 Tiempo de producción. El Campo Caño Sur ha estado produciendo alrededor de 5 años desde el 2013, hasta la actualidad (2018), con un cese de operaciones a principios del 2016, que duró 8 meses, debido al bajo precio del crudo, siendo explotado por Ecopetrol S.A.

1.4.3 Número de pozos. En el Campo Caño Sur se han perforado 88 pozos, de los cuales 26 se ubican en el área Oeste, 2 en el área central y 60 en el área Este. En Caño Sur Este, solo 16 fueron productores y uno se convirtió en inyector, los demás fueron pozos de tipo delimitador. En mediano plazo, se proyecta la perforación de 239 pozos. Se planea a largo plazo la perforación de varios pozos

¹⁶ Ibid.,

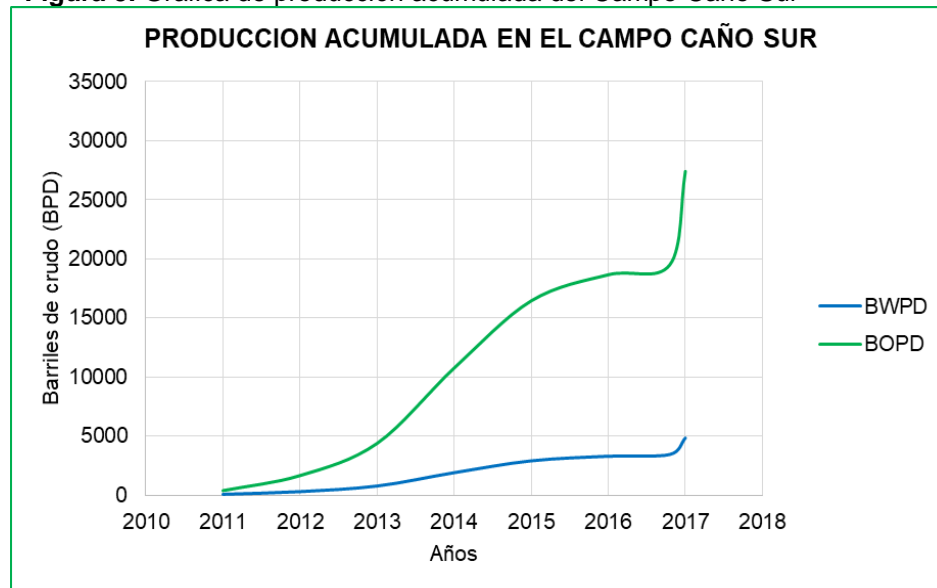
¹⁷ Ibid.,

¹⁸ Ibid. p. 22.

horizontales con un espaciamiento de 30-40 acres.¹⁹ Ecopetrol encontró que “los pozos someros que van desde los 3000 pies a 7000 pies se tienen producciones potenciales de petróleo en el rango de 120 a 780 BPD”.

En la **Figura 3** presenta la Producción Acumulada del Campo Caño Sur tanto de petróleo como de agua. En este caso no presentamos gas puesto que no hay producción de este y se puede observar un cese y posterior aumento de la producción en el año 2016, en donde los primeros 8 meses del año el Campo fue cerrado por la crisis, pero posterior a esto fue reabierto.

Figura 3. Grafica de producción acumulada del Campo Caño Sur



Fuente: Elaboración propia. Basado en ASOCIACION COLOMBIANA DEL PETROLEO. Informe estadístico petrolero. Consultado: <https://acp.com.co/web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-estadistico-petrolero>. (01 de noviembre de 2018).

¹⁹ ACIPET. Caño Sur Este, ejemplo de producción eficiente en escenarios de precios bajos. [En línea]. Congreso Colombiano del Petróleo. Bogotá D.C (Colombia). [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: <https://congresoacipet.com/wp-content/uploads/2017/Tec/TEC-113.pdf>

2. MARCO TEORICO

Para empezar a entender en qué consisten los taladros híbridos con tubería flexible (*coiled tubing*) y el proceso para realizar perforaciones en la industria petrolera es necesario entender algunos conceptos previos los cuales serán explicados a continuación.

2.1 PERFORACIÓN

La perforación de pozos es una actividad que se realiza desde el inicio de esta industria porque sin ella sería imposible explotar un yacimiento a no ser que el crudo emane hasta la superficie de forma natural. Esto nos lleva a que sea una actividad muy evolucionada y que cada día sea más complicado encontrar tecnologías innovadoras en esta área.

La perforación es una de las principales actividades que se desarrollan en la industria petrolera la cual es realizada posteriormente a la exploración y previamente a la producción. Se realiza con el fin de conectar el reservorio con la superficie por medio de un pozo para poder iniciar la producción de hidrocarburos. La perforación se realiza con un taladro el cual está compuesto por diversas partes y es operado por una cuadrilla. Existen diversos tipos de taladros y tal vez la clasificación más general es la de taladros para *on shore* y *off shore*.

Para iniciar la construcción de un pozo es necesario tener previamente estudios que sustenten la actividad puesto que es una inversión de capital alta y se busca compensarla de forma financiera. Los estudios que se deben realizar previamente son: Evaluación Geológica y Perspectiva Geofísica.

Estos análisis no sustentan del todo el éxito de la perforación, pero si dan una idea de lo que se puede lograr al finalizar la actividad.

2.1.1 Evaluación geológica. Esta evaluación consta en el análisis de la información geológica que se conoce de la región tales como el tipo de roca, estructuras geológicas como anticlinales o sinclinales e incluso fallas. Esta data puede brindar indicios sobre la existencia de hidrocarburos en la zona, lo cual permite saber si la zona es prometedora o de lo contrario no es rentable continuar con la perspectiva geofísica.

2.1.2 Perspectiva Geofísica. Como indica su nombre es la relación de los datos físicos y geológicos que se utilizan para sustentar la información existente previamente de la evaluación geológica. Esto además nos brinda información sobre la roca sedimentaria donde se forman los hidrocarburos tales como el grosor y la forma de las estructuras. Los métodos utilizados en la perspectiva geofísica son: Evaluación magnética, Evaluación de gravedad, y Evaluación de sísmica.

2.2 ETAPAS DE LA PERFORACION

Las etapas de la perforación son los diversos pasos que se deben realizar antes, durante y después de la construcción de un pozo. Estas son constituidas por el *rig up*, *rig down*, perforación, cementación registros e incluso el transporte.

2.2.1 Rig up. El *rig up* en la industria petrolera hace referencia a todo proceso de descargue e instalación de los elementos necesarios para la perforación. Un taladro HCTD cuenta con un mínimo de 9 cargas, mientras que un taladro convencional puede llegar a ser 25 o incluso 30.

Las cargas mínimas son; Taladro, casa del perro, zona de lodos, área de almacenamiento de tubería, bomba número uno, bomba número dos, carrete y mástil. Para un *rig up* con un transporte de 20 millas (32 km) se pueden emplear alrededor de 3 horas.

El tiempo de *rig up* es muy importante hay que tenerlo en cuenta a la hora de realizar análisis financiero puesto que son tiempos en los cuales los taladros no están trabajando. Un corto tiempo de *rig up* es fundamental para recuperar ganancias de una forma más rápida.

El *rig up* de un proceso convencional es aproximadamente 5 veces el tiempo de un sistema HCTD puesto que el número de cargas es el doble o el triple lo cual demora y dificulta más el transporte y por otra parte son muchos más elementos que toca instalar al momento de arribar a la locación.

2.2.2 Perforación. La perforación con taladros híbridos se puede realizar ya sea con tubería convencional de 3 ½ pulgadas gracias a que cuenta con top drive como con tubería flexible de 2 7/8, 3 ¼ y 3 ½. Este es un punto favorable puesto que dependiendo de la necesidad y las condiciones se pueden utilizar cualquiera de las dos formas de perforación.

Con HCTD las profundidades son someras con un máximo de 5000 pies pero que se alcanzan en cortos tiempos aproximadamente de un día. La perforación puede ser tanto verticales como direccionales incluyendo horizontales puesto que cuenta con herramientas direccionales en todo momento por la flexibilidad de la tubería.

Luego de la instalación de las cargas se inicia el proceso de perforación el cual es caracterizado por seguir ciertas coordenadas y llegar a un *target* con el fin de cumplir con el plan de perforación ya determinado. De esta forma podemos cumplir con la trayectoria más conveniente para la construcción del pozo.

Por otra parte, es necesario un sistema de bombeo de lodos el cual facilitara el proceso de perforación, lubricando enfriándolo, retirando cortes, proporcionando energía al motor de fondo e incluso dándole estabilidad a las paredes del pozo.

Esta actividad se caracteriza por la rotación de la broca aplicando peso para aumentar el torque y cortar los distintos tipos de roca. Esta roca es subida a

superficie mediante el sistema de bombeo. La roca faltante en el subsuelo es el inicio de la construcción de nuestro pozo.

Las etapas en las cuales se divide la construcción del pozo son:

- El punto de inicio
- Hueco de superficie
- Hueco intermedio
- Profundidad total

2.2.2.1 Punto de inicio. Es la primera actividad de perforación que se realiza para poder iniciar con la construcción del pozo como menciona Hawker y Vogot “Típicamente, un conductor amplio, hasta de 36” de diámetro, puede ser forzado desde la superficie con repetidos golpes de martillo. Los sedimentos que quedan contenidos pueden ser ahí perforados y los retornos y cortes circulados a través de un diverter. Bajando la tubería, más que perforando, se evitará que los sedimentos en superficie sean arrancados, lo que haría frágil la formación donde se apoya el taladro. Así se proporciona un anclaje firme a la preventoras.”²⁰

2.2.2.2 Hueco en superficie. Hace referencia a la primera sección que se perfora del pozo la cual viene cementada y protegida con un *casing* (tubería de revestimiento). Como explica Hawker y Vogot esta sección es la más frágil de todo el pozo puesto que no cuenta con buena compactación del terreno lo cual no facilita la cementación del revestimiento a las paredes del hueco.²¹

2.2.2.3 Hueco intermedio. Es la sección que debe realizarse posteriormente a la cementación y a las pruebas de integridad de la sección anterior para determinar si es seguro continuar con el procedimiento. Posteriormente se repiten las mismas acciones del hueco superficial. En este punto se pueden realizar varias secciones dependiendo de las necesidades de la perforación y de las condiciones con las cuales se desea llegar al *target* como lo son los diámetros de la tubería. Para la tecnología HCTD solo contamos con una sección en el hueco intermedio puesto que solo se puede realizar perforaciones someras donde no es necesario realizar más de dos secciones para todo el pozo.

2.2.2.4 Profundidad total. Como lo menciona Hawker y Vogot es cuando se “alcanza la profundidad final en un pozo (*total Depth*) (TD), el revestimiento que se requiera se bajará dentro del pozo con tubería de perforación y colgada con un colgador (*hanger*) desde adentro del revestimiento anterior. En este caso se le llamará *liner*, pero los procedimientos de cementación y prueba serán exactamente los mismos que para cualquier revestimiento. Obviamente a medida que el pozo se

²⁰ HAWKER, David y VOGT, Karen, Datalog wellsite operations manual. Perforación de un pozo. Calgary: Datalog, 2002, P. 70.

²¹ Ibid., p. 71

hace más profundo, las necesidades de un casing mucho más largo son mucho más costosas si se corriera revestimiento desde el fondo hasta la superficie que si sólo se cubre la sección de hueco abierto.”²²

2.2.3 Rig down. Este procedimiento se realiza posterior a la perforación y es completamente lo opuesto al *rig up*, hace referencia a todo proceso de desinstalación y cargue de los elementos previamente utilizados para la construcción del pozo. De la misma forma que con el *rig up*, el *rig down*, debe ser lo más rápido posible y generando los menores costos puesto que un taladro que se encuentre en proceso de desinstalación, cargue y transporte es un taladro que no se encuentra perforando.

2.2.4 Cementación y revestimiento. Los objetivos principales de este procedimiento según Hawker y Vogot son:

- Evitar que las formaciones se derrumben dentro del pozo.
- Aislar formaciones inestables o con problemas.
- Proteger formaciones productivas.
- Proporcionar mayor tolerancia en caso de una patada o *kick*.
- Permite pruebas de producción.
- Sirve para la conexión de equipo de superficie y equipo de producción.²³

La cementación se realiza de forma convencional luego de la perforación con el fin de proteger y aislar el revestimiento. Luego de la perforación, se baja el revestimiento del diámetro necesitado instalando los centralizadores.

Con el revestimiento en fondo se instala el cabezal de cementación, se acondiciona el lodo para iniciar el procedimiento, se prueban las líneas con 500 y 2000 psi, se bombea el lavador, se mezcla la lechada y se bombea, se libera el tapón superior y se desplaza con agua fresca.

El cemento utilizado durante este procedimiento debe cumplir con ciertas características dependiendo de lo que se necesite como puede ser el tiempo de secado, la viscosidad, la resistencia, la densidad y más.

2.3 TALADROS DE PERFORACIÓN

El taladro de perforación es un grupo de elementos destinados a la construcción del pozo y cada una de estas partes cumple una función importante dependiendo de las características de la perforación.

En la industria del petróleo y gas existen diversos tipos de taladros, cada uno con características distintas y que cumplen diversos objetivos. Se han creados diversos

²² Ibid., p. 72

²³ Ibid., p. 89

tipos y por esto existe una gran variedad de ellos por lo cual se han clasificado bajo diversos parámetros.

En la primera división encontramos los taladros según la zona donde se vayan a utilizar ya sea *Off Shore* (costa afuera) u *On Shore* (costa adentro) como podemos observar en la **Figura 4**.

Figura 4. Taladros de perforación

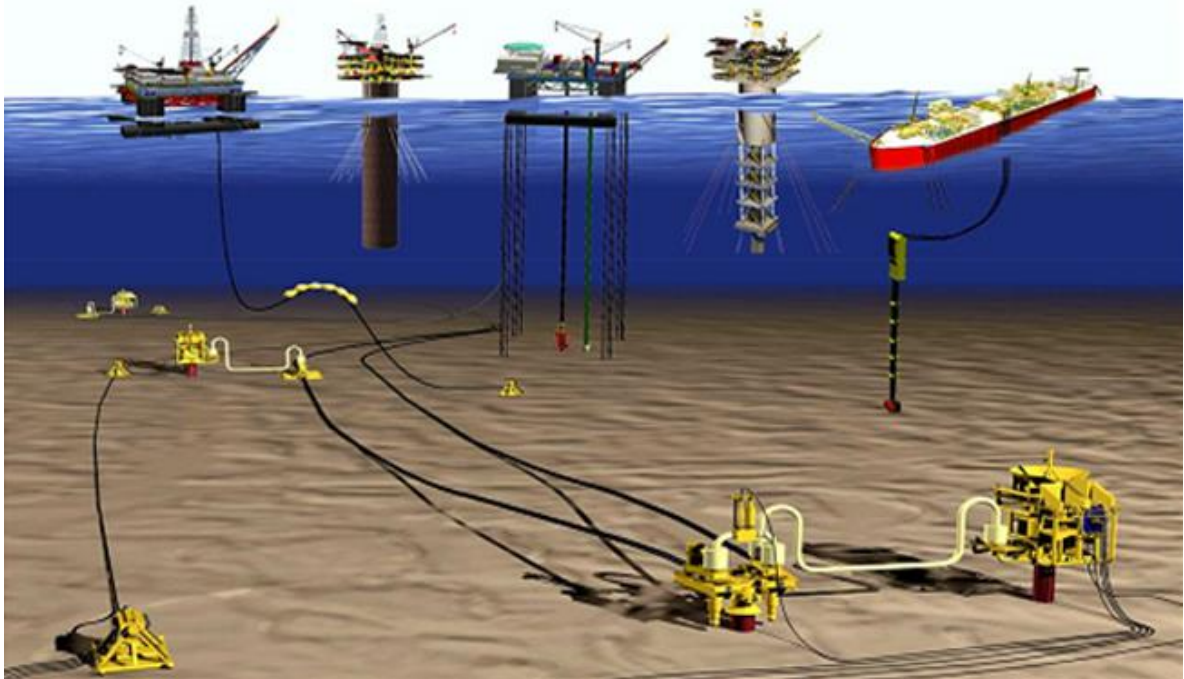


Fuente: BARINAS. Instalación de taladros de perforación, [en línea] <https://www.barinas.net.ve/media/panas/instalacion-taladros-perforacion-extraer-petroleo-imagen-referencial>. Consultado: Noviembre 1, 2018.

2.3.1 Taladros Off Shore. “Existen diferentes tipos de torre de perforación en mar adentro y su uso depende principalmente de la profundidad del agua en que se ve a operar. Las instalaciones temporales (que se pueden llevar de un sitio a otro) usadas para la perforación exploratoria, se pueden sentar en el lecho del mar, o bien anclar en la posición deseada.”²⁴ En la **Figura 5** se pueden observar los diversos tipos de taladros *off shore* que existen en la actualidad, pero hay que tener en cuenta que estos pueden tener algunas variaciones dependiendo de las necesidad de la perforación.

²⁴ Ibid., p. 10

Figura 5. Taladros off shore



Fuente: KERVI. Servicio de perforación marina, [en línea] <http://oilservice.keruigroup.com/kr/es/product/heavy/1041.html>. Consultado: Noviembre 1, 2018.

Para las perforaciones costa afuera se utilizan taladros como el *Plataforma ring* y el *Jack up* los cuales se caracterizan por encontrarse anclados en el fondo marino y trabajar en profundidades de 150 a 200 metros de profundidad con respecto al nivel del mar. También hay taladros que se encuentran de cierta forma anclados y pueden trabajar a profundidades de 1000 a 1500 metros de profundidad como el *Semi sub* y el *Drilling ship*. Para finalizar con los taladros off shore existe una variante de los *Semi sub* y *Drilling ship* los cuales cuenta con un sistema de posicionamiento dinámico lo cual les permite perforar a una profundidad de 3000 metros por debajo del nivel del mar.

2.3.2 Taladros On Shore. “Las torres de perforación en tierra se diseñan en general sobre el principio de mástil en cantilever (en contrapeso, quiere decir, que es una viga empotrada en un extremo y libre en el otro), lo que facilita el transporte y armado del equipo. La torre de perforación se transporta en secciones al sitio donde se va a hacer la perforación, dichas secciones se arman horizontalmente sobre el suelo y luego, con la ayuda del malacate, se levanta a posición vertical.”²⁵

Por otro lado, los taladros costa adentro llamados *Land rig* se no cuentan como tal con una clasificación, más bien se identifican por medio de una ficha técnica la cual determina la ventana de operación de cada uno de ellos.

²⁵ Ibid., p. 10

Algunas de las características son la potencia máxima, el torque y peso que pueden ejercer y las profundidades en las cuales pueden operar. El taladro se selecciona según las necesidades que se tengan durante la operación.

2.3.3 Taladros híbridos. En este trabajo se hará referencia a una de las pocas variantes que tienen los taladros de perforación que pueden trabajar tanto en costa adentro como en costa afuera y es llamado *Hybrid rig* como se puede observar en la **Figura 6** mediante la tecnología HCTD (*High Coiled Tubing Drilling*) la cual se caracteriza por utilizar en vez de tubería de perforación un *coiled tubing* de un diámetro más robusto el cual viene enrollado en un carrete y puede llegar hasta los 5000 pies de profundidad.

“La tecnología de perforación usando la tubería enrollada – *Coiled Tubing* (HCTD) es un método de perforación que optimiza los tiempos de perforación reduciéndolos de manera importante ya que se minimizan las conexiones de tubería, adicionalmente brinda una ventaja que es la circulación constante de fluido de perforación durante esta, mitigando la posibilidad de problemas como pegas y empaquetamientos, esto ha generado altas tasas de éxito de la perforación híbrida con *Coiled Tubing* logrando excelentes resultados en campañas de desarrollo de campos.”²⁶

Figura 6. Taladro híbrido HCTD



Fuente: DIRECT INDUSTRY. Unidad de perforación multifuncional rotativa, [en línea] <http://www.directindustry.es/prod/foremost-industries-lp/product-57851-1388679.html>. Consultado: Noviembre 1, 2018.

²⁶ Quebrada, Heriberto. Resumen. Viabilidad técnico financiera de la perforación con tubería flexible para incorporar la tecnología en Ecopetrol S.A. Bogotá: Advanced Drilling Technologies Colombia, 2014, P.3.

2.4 PARTES DE UN TALADRO DE PERFORACIÓN

Como se mencionó anteriormente un taladro de perforación cuenta con diversos sistemas que cumplen diversas acciones. No todos los taladros cuentan con las mismas partes puesto que estas dependen de las características de la perforación, pero existen sistemas que son básicos y obligatorios para la conformación de un taladro.

2.4.1 Sistema para mover la tubería. Para el sistema de movimiento de tubería Hawker y Vogt hablan sobre sus usos básicos.

“El sistema de movimiento de tubería tiene varias funciones básicas:

- Soportar el peso de la sarta de perforación, posiblemente varios cientos de toneladas.
- Llevar hacia adentro y hacia afuera, según el caso, la sarta de perforación.
- Mantener el peso aplicado sobre la broca durante la perforación y el rimado.”²⁷

El mástil es el encargado de levantar, sostener y aplicar fuerza en la tubería de perforación, además de descender la tubería de revestimiento. Este en los taladros híbridos es el elemento que visualmente cambia más con respecto a uno convencional pero realmente cumple con las mismas funciones.

Para rotar la sarta de perforación y la broca es necesario ya sea una *Kelly y swivel* o una unidad de *Top drive*. La primera se caracteriza por una sección tubular que es conectada mediante una rosca con la parte más somera de la tubería de perforación y transmite el movimiento de rotación a la broca en el fondo del pozo. En cambio el *Top drive* como se puede observar en la **Figura 7** es un sistema más moderno el cual permite agregar incluso paradas completas sin necesidad de desconectarla lo cual lo convierte en un sistema mucho más rápido y eficiente.

²⁷ HAWKER y VOGT. Op. Cit., p. 19.

Figura 7. Top Drive



Fuente: Nov. TDS-8SA Top Drive, [en línea] https://www.nov.com/Segments/Rig_Technologies/Rig_Equipment/Offshore/Top_Drive_Systems/Fixed_Electric_Top_Drives/TDS-8_Top_Drive.aspx. Consultado: Noviembre 1, 2018.

El sistema HCTD de un taladro híbrido cumple con estas mismas funciones, pero con varias diferencias mecánicas. Al no utilizar tubería rígida no es posible utilizar ni *Top drive* ni *Kelly* puesto que el *Coiled Tubing* no aguanta la fuerza de torsión. Por este motivo se utiliza un motor de fondo el cual mediante la presión del fluido de perforación rota la broca dejando el resto de tubería flexible sin ningún tipo de rotación. Esto facilita la perforación de pozos desviados gracias a la flexibilidad de la tubería y a la presencia del motor de fondo, además de esto disminuyó en gran porcentaje la posibilidad de una pega de cualquier tipo.

Para los movimientos ascendentes y descendentes se utiliza el sistema de elevación el cual se encarga de agarrar la tubería mediante los brazos del elevador mientras las cuñas lo sostienen en superficie. Posteriormente la grúa con ayuda del mástil realiza los viajes necesarios. Para esta tarea es necesario un grupo de trabajadores que con la utilización de herramientas, llaves y cuñas conectan los brazos de elevación con la tubería.

2.4.2 Sistema de circulación. Este sistema de circulación es utilizado para mantener un flujo constante de fluido dentro del pozo durante toda la actividad de perforación y según Hawker y Vogt tienen diversos objetivos:

- “Para enfriar y lubricar la broca de perforación y la sarta de perforación con el fin de minimizar su desgaste, prolongar su vida y reducir costos.

- Para remover los fragmentos de roca perforados, o los cortes que vienen del pozo. Esto no sólo mantiene el anular limpio, sino que permite su análisis en la superficie para la evaluación de la formación.
- Para balancear las presiones altas de fluido que se pueden presentar en algunas formaciones y minimizar el potencial de *patadas* o *reventones*. La seguridad del personal de los taladros y el taladro mismo es de primordial importancia en cualquier operación de perforación.
- Para estabilizar el diámetro interior del pozo y las formaciones que ya han sido perforadas.”²⁸

La zona de lodos es el lugar donde se almacenan y mezclan los lodos de perforación y las lechadas de cementación. Cuenta con tanques para su almacenamiento y mezcladores para la producción de este. Los tanques tienden a tener volúmenes correspondientes a las necesidades de la perforación para que en ningún momento haga falta fluido. Existen diversos tipos de tanques como:

- Tanque de pre-mezcla
- Piscina de succión
- Piscina de reserva
- Piscina de la zaranda
- Tanque de viaje
- Tanque de píldora

Las bombas están encargadas de bombear los fluidos de perforación, lavadores, tapones y lechadas al pozo en las diversas etapas de la perforación. Estos fluidos son fundamentales para poder construir los pozos de manera exitosa, por esta razón las bombas son fundamentales. En la **Figura 8** se puede observar cómo es una bomba de un taladro convencional. Dependiendo de las necesidades un taladro puede utilizar varias, pero siempre contará con dos, una que se encuentre en uso y la segunda para casos de emergencia.

²⁸ Ibid., p. 26

Figura 8. Bomba de lodo



Fuente: MINPROMEX. Bombas de lodo. [En línea] <https://minpromex.com/producto/bombas-de-lodo/>. Consultado Noviembre 1, 2018.

Los lodos utilizados pueden variar dependiendo de las condiciones físico-químicas bajo las cuales se realizará el trabajo de perforación y los materiales de las herramientas utilizadas. Puede variar la acidez, viscosidad, densidad y propiedades reológicas. Estas mismas características pueden variar a voluntad o de forma involuntaria durante la actividad. La clasificación más general de los tipos de lodos es mediante su composición, dependiendo de la base que se utiliza para crearlos:

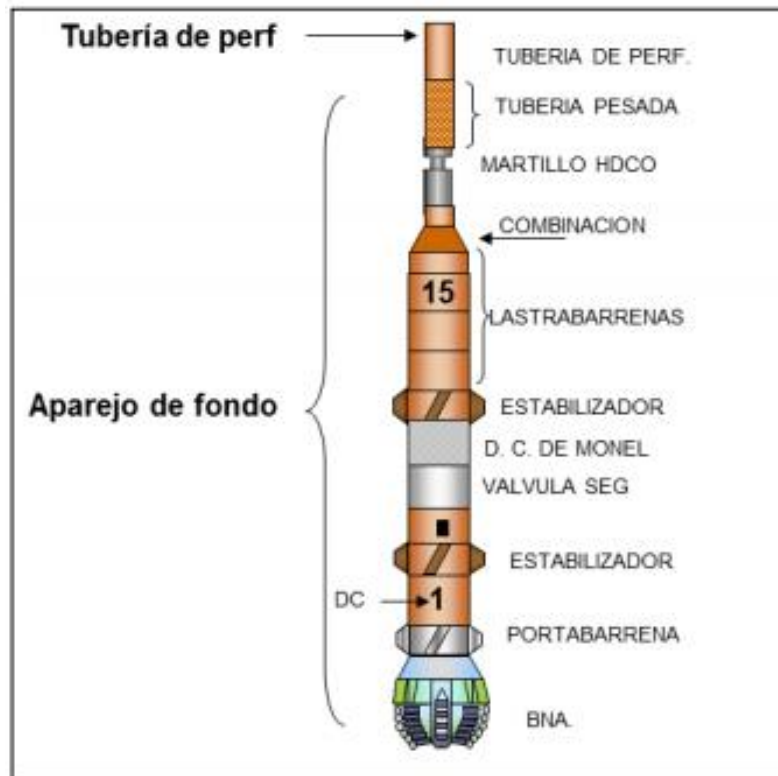
- Base agua
- Base aceite
- Espumosos

El control de sólidos por otra parte no es del todo parte del sistema de circulación, pero es muy importante para un buen mantenimiento del lodo. Una de las características más importantes del lodo es que tiene la capacidad de retirar los cortes que se producen mientras se perfora. Estos cortes son llevados a superficie y allí deben ser retirados del lodo para que este no cambie sus propiedades. El control de sólidos se encarga de este proceso mediante diversos medios. Uno de ellos se fundamenta físicamente en el diferencial de densidades, de esta forma los

cortes decantan en las piscinas y posteriormente se recogen. Otro sistema muy utilizado es la tolva la cual retira los sólidos utilizando un filtro.

2.4.3 Sarta de perforación y broca. La sarta de perforación es la composición de diversas herramientas que se utilizan para perforar el pozo como se puede observar en la **Figura 9**. Una sarta se selecciona dependiendo de las condiciones bajo las cuales se perforará posteriormente. Condiciones como a profundidad, los diámetros deseados, la forma del pozo, el tipo de roca y que tan consolidada se encuentra.

Figura 9. Sarta de perforación



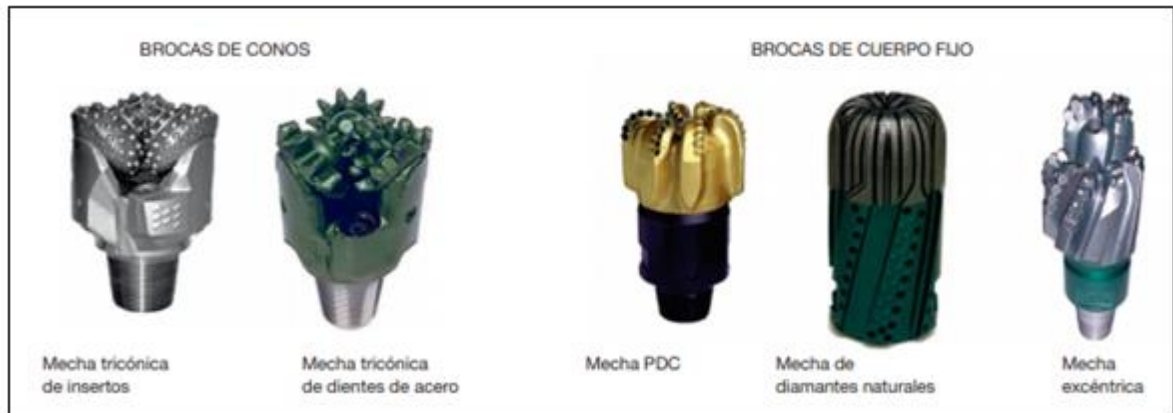
Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO. Fortalecimiento de pozos durante la perforación “stress cage”, [en línea] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7581/Tesis.pdf?sequence=1>. Consultado Noviembre 1, 2018.

Según la Hawker y Vogt la sarta de perforación está compuesta por: “tubería de perforación y botellas, collares, porta-mechas o *drillcollars*, con una cierta cantidad de componentes menores y conecta los sistemas de superficie con la broca de perforación.”²⁹

²⁹ HAWKER y VOGT. Op. Cit., p. 19.

2.4.3.1 Brocas. De abajo hacia arriba podemos encontrarnos inicialmente con la broca la cual corta la roca con movimientos rotacionales. Existen diversos tipos de brocas como se puede observar en la **Figura 10**, cada una de estas se utiliza para cumplir diversas necesidades.

Figura 10. Clasificación de brocas



Fuente: PDVSA. Geología, hidráulica y brocas de perforación. (1997) Instituto de desarrollo profesional y técnico, [en línea] <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/784/1/1034302975-2011-2-IP.pdf>. Consultado Noviembre 1, 2018.

Estas se componen por:

- Las boquillas, las cuales se encargan de disparar con alta presión el lodo de perforación el cual en algunas zonas es capaz de romper la formación por si sola. Direccionando la boquilla podemos definir la inclinación y dirección de la perforación.
- Los conos son elementos en la punta de la broca los cuales poseen los dientes encargados de moler la roca mientras giran. Una broca puede estar compuesta de uno o tres conos.
- La falda es el elemento que recubre todo el lateral de la broca protegiéndola de desgaste normal de la perforación y de daños no programados por mala utilización.
- La rosca es la parte superior de la broca y es donde se conecta con el resto de la sarta de perforación. Esta rosca es inversa a la dirección en la cual rota la sarta para así evitar una desconexión.

La clasificación que le dan Hawker y Vogt la podemos observar en la **Cuadro 1** la cual presenta los tipos de roca según diversos aspectos.

Cuadro 1. Clasificación de las Brocas

Serie Tipo de estructura de corte	1	Suave	Diente tallado	
	2	Media		
	3	Dura		
	4	Muy suave	Cinzel	Inserto Carburo Tungsteno
	5	Suave	Cónica	
	6	Media		
	7	Dura		
	8	Muy Dura		
Tipo Grado de Dureza de la estructura de corte	1-4	1 – más suave 4 – más duro		
Opción de Diseño Diseño de rodamiento y protección de calibrador	1	Producto estándar		
	2	Perforación con aire		
	3	Calibre del diámetro protegido		
	4	Rodamiento sellado		
	5	Calibrador protegido y rodamiento sellada		
	6	Rodamiento de buje sellado por fricción.		
	7	Rodamiento de buje sellado por fricción., Calibre del diámetro protegido.		
	8	Direccional		
	9	Otra		

Fuente: DATALOG 2001. Manual de perforación, procedimientos y operaciones en el pozo, [en línea] https://www.u-cursos.cl/usuario/c19094b1ea89f1f08e243796b671e2e5/mi_blog/r/Manual_de_Perforacion_Procedimientos_y_Operaciones_en_el_Pozo.pdf. Consultado: Noviembre 1, 2018.

2.4.3.2 Tubería de perforación. Como su nombre lo indica es la unión de tubos de 30 pies de largo aproximadamente el cual conecta los elementos de superficie con la broca en el pozo. Los tubos se caracterizan por tener de un lado una rosca macho y del otro una hembra, de esta forma es posible que se conecten entre ellos. La unión de dos o más tubos es llamada parada y elementos como el *Top drive* permiten bajar paradas de dos o incluso 3 tubos. Para realizar las conexión ya sea de dos o más tubos es necesario demorarse el menor tiempo posible, puesto que durante estos tiempos de conexión el taladro no está perforando y existe una alta probabilidad de pega de la tubería.

Por otra parte, el sistema HCTD se caracteriza por no tener tiempos de conexión, esto se da gracias a que toda la tubería es una sola sección y no existe la necesidad de conectar, esto da como consecuencia una perforación mucho más rápida y más segura.

El *coiled tubing* es una tubería enrollable como se puede observar en la **Figura 11** la cual se utiliza para diversas actividades como mantenimiento, inyección, fracturamiento e incluso producción, últimamente se está utilizando para perforaciones someras.

Se caracteriza por diámetros pequeños los cuales facilitan la recolección y el transporte por el poco espacio que ocupa. Dependiendo de la actividad para la cual sea utilizado es necesario 1 o 2 cargas. Para el uso del *coiled tubing* para la perforación híbrida es necesario aumentar los diámetros desde 2-7/8 a 3-1/2.

Figura 11. Coiled Tubing



Fuente: BAKER HUGHES. Coiled tubing systems and services, [en línea] <https://www.bhge.com/upstream/well-intervention/coiled-tubing-systems-and-services>. Consultado: Noviembre 1, 2018.

Es posible tener toda una sección de tubería de hasta 5000 pies de longitud gracias al carrete. El carrete es un elemento fundamental para la perforación HCTD pues es el lugar donde se enrolla la tubería flexible. Este carrete es de diversos tamaños dependiendo de la profundidad a la cual se necesite perforar y los diámetros utilizados.

Durante la perforación esta gira soltando la tubería flexible a una velocidad la cual depende de la rata de perforación. Esto permite reducir tiempos puesto que no hay necesidad de conectar la tubería convencional.

Es necesaria especificar que un taladro de perforación híbrida como su nombre lo indica puede trabajar ya sea con tubería convencional rígida como con *coiled tubing* gracias a que cuenta con *top drive*.

2.4.3.3 Drillcolar. Hawker y Vogt hablan sobre el *Drillcolar*: “Los Drillcollars son tubos de pared gruesa, rígidos y de alto peso que son la parte más importante del ensamblaje de fondo Bottom Hole Assembly (BHA), posicionados entre la tubería de perforación y la broca. Cumplen varias funciones importantes:

- Proporcionar peso para la broca.
- Proporcionar la resistencia para que los *drillcollars* estén siempre en compresión.
- Proporcionar el peso para asegurar que la tubería de perforación siempre se mantenga en tensión para evitar que se tuerza.
- Proporcionar rigidez o consistencia para que la dirección del pozo se mantenga.
- Producir un efecto de péndulo, permitiendo que los pozos casi verticales puedan ser perforados.”³⁰

Los elementos seleccionados para la conformación del *Drillcolar* dependen de las condiciones de la perforación, por esta razón es muy importante tener conocimiento de la zona y de la experiencia de perforación de pozos aledaños.

2.4.4 Sistema de preventoras de presión. Se caracteriza por la presencia de elementos como válvulas utilizadas para controlar las presiones de los fluidos del pozo. Este sistema es fundamental para la seguridad de toda la operación de perforación puesto que es capaz de evitar los reventones.

Los reventones son accidentes durante las actividades de perforación causados por la diferencia de las presiones entre la presión hidrostática de la columna de fluido de perforación y la presión de la formación. Existen diversas condiciones de presión durante la perforación:

- Sobre-balance
- Balanceado
- Bajo-balance

La mejor condición de precio para realizar una perforación segura es cuando la presión hidrostática y la presión de la formación se anulan dando como resultado un pozo balanceado. Esto se consigue igualando las presiones cambiando algunas condiciones del lodo como puede ser su densidad

³⁰ Ibid., p. 40

Sobre-balance es una condición buena para la perforación en cuanto a seguridad laboral puesto que la presión hidrostática es mayor a la presión de la formación por lo cual no es posible un reventón, pero si se habla de la calidad de la perforación no es muy conveniente trabajar bajo esta condición, puesto que el fluido de perforación dañara la formación penetrando en ella y cambiando sus condiciones originales.

Bajo-balance es la condición más peligrosa para realizar una perforación puesto que la presión de la formación es mayor a la hidrostática y en cuanto se llegue a la roca reservorio toda la energía de este se liberará de forma descontrolada y probablemente causara daños en superficie.

La forma más sencilla de controlar un reventón es cerrando el pozo y para esto es necesaria la presencia de la BOPs, una de ellas se puede observar en la **Figura 12**. Hawker y Vogt explican que condiciones deben cumplir las válvulas BOPs.

- “Cerrar la cabeza del pozo para evitar que haya fluido que escape hacia la superficie y exista el riesgo de una explosión.
- Poder dejar salir fluidos del pozo bajo condiciones controladas seguramente.
- Habilitar que pueda ser bombeado fluido de perforación hacia el pozo, bajo condiciones controladas, para balancear las presiones del pozo y evitar influjo mayor (matar el pozo).
- Permitir movimiento de la sarta.”³¹

³¹ Ibid., p. 46

Figura 12. BOPs



Fuente: RIG MANUFACTURE, Cameron 10K Bop Stack. [En línea] <https://www.rigmanufacturing.com/2015/09/17/cameron-ciw-type-u-bop-10k-blowout-preventer-stack-annular-double-single-spool-valves-rebuilt-16a/>. Consultado: Noviembre 1, 2018.

2.5 CLASIFICACIÓN DE POZOS

Alrededor del planeta existen alrededor de 40.000 campos petroleros y en cada uno de ellos existen grandes cantidades de pozos y ningún pozo es exactamente igual a otro por esta razón se crearon distintas formas de clasificarlos buscando así organizar de mejor forma los procesos de perforación.

2.5.1 Fin con el cual se construyó. Una de las clasificaciones más importantes es identificando el fin con el cual se construyó el pozo de esta forma podríamos diferenciar fácilmente diversos tipos.

- Tenemos inicialmente el exploratorio el cual es utilizado para determinar la existencia de algún hidrocarburo, ya sea líquido o gaseoso. Por lo general este es el primer pozo que se perfora en un campo que puede ser exitoso.
- Luego está el productor y el no productor o seco que se diferencia por la presencia o ausencia de hidrocarburo. Un pozo exploratorio se convierte en productor o no productor en el momento que se llega al yacimiento. Es importante tener en cuenta que un pozo seco no es lo ideal puesto que la misión

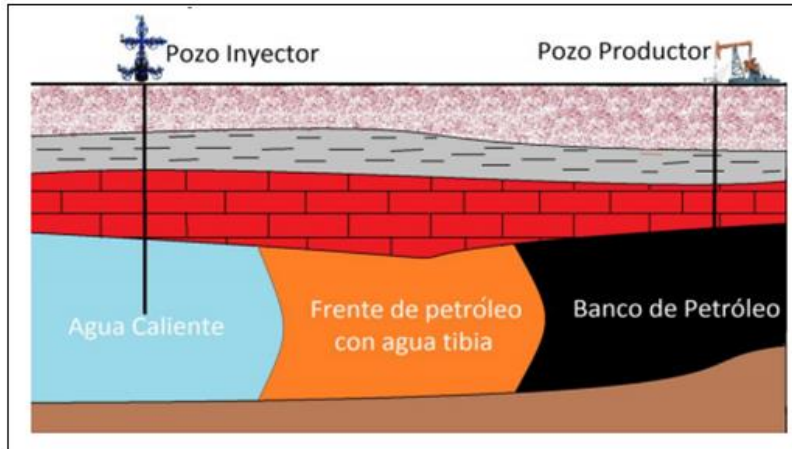
de la industria petrolera es encontrar petróleo y extraerlo entre otras, pero una inversión de este tamaño no se pierde del todo, este pozo se puede utilizar para actividades secundarias.

- El de avanzada por otra parte nos permite determinar el tamaño del yacimiento y sus límites. Este tipo de pozo es muy importante puesto que nos facilita la tarea de calcular cuánto petróleo hay en el yacimiento y cuanto de este se puede producir, además de esto nos pueden determinar las profundidades de los contactos agua-petróleo y gas-petróleo los cuales son indispensables para mantener una producción estable.
- Finalmente el de desarrollo nos permite iniciar el programa de producción puesto que es perforado en una zona donde está confirmada la existencia de hidrocarburo. Estos pozos suelen ser los más comunes de todos, puesto que son los más rentables y los que generalmente aumentan la producción. Al ser construidos en una zona donde está comprobada la existencia de hidrocarburo es una inversión prácticamente segura.

2.5.2 Uso que se le dé. Por otro lado tenemos los pozos según el uso que se les dé como los son:

- Los pozos productores los cuales se utilizan para producir hidrocarburo ya sea gas o aceite. Estos son los pozos más importantes en toda la industria puesto que determinan de forma directa la producción de una petrolera.
- Los inyectores pueden ser originalmente productores y posteriormente se decide cambiar su uso por diversos motivos. Estos son utilizados como se puede observar en la **Figura 13** para inyectar diversas sustancias con el fin de aumentar la producción en un pozo o incluso en un *cluster*. Estos pozos aportan de forma indirecta a la producción gracias a que con algo de inversión en ellos se les puede aumentar drásticamente la producción de un campo. El fluido a inyectar se selecciona dependiendo de las necesidades, estos pueden ser, agua, vapor, gas, polímeros, CO₂ e incluso N₂.

Figura 13. Pozo inyector de agua caliente



Fuente: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO, Inyección de CO₂ en el área de Coapechaca. [En línea] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.10/2213/1/Inyecci%C3%B3n%20de%20CO2%20en%20el%20Area%20de%20Coapechaca.pdf>. Consultado: Noviembre 1, 2018.

- Existe un grupo de pozos que son los estratigráficos y observadores los cuales son más que todo para el estudio de la zona como puede ser la estratigrafía, geología y el comportamiento del yacimiento a medida que pasa el tiempo. Estos pozos inicialmente no se perforan buscando que sean estratigráficos, generalmente fueron pozos secos o incluso pozos productores que ya no aportan hidrocarburos.
- Los pozos de disposición son aquellos que son utilizados para la inyección de agua de producción para no verterla en la superficie ya sea en mares ríos y lagos. Esta actividad se realiza generalmente cuando las zonas de vertimiento no se encuentran en lugares accesibles o cercanos y los costos de transporte son elevados. Para poder inyectar agua de producción esta debe cumplir con ciertos parámetros de pureza como lo está la salinidad, la alcalinidad e incluso la temperatura, esto se determina según diversos entes ambientales y generalmente no son las mismas condiciones en todos los países.
- Los pozos de alivio son utilizados cuando ocurren emergencias generalmente en pozos de producción, lo que se hace es perforar un pozo que tenga como target una sección del pozo en emergencia para así desviar el crudo que sube a superficie y aliviar la presión. Por lo general se termina matando el pozo en emergencia. Estos pozos no generan ningún tipo de ganancia y por lo general son altamente costosos por la complejidad y precisión que se debe tener al momento de la construcción.

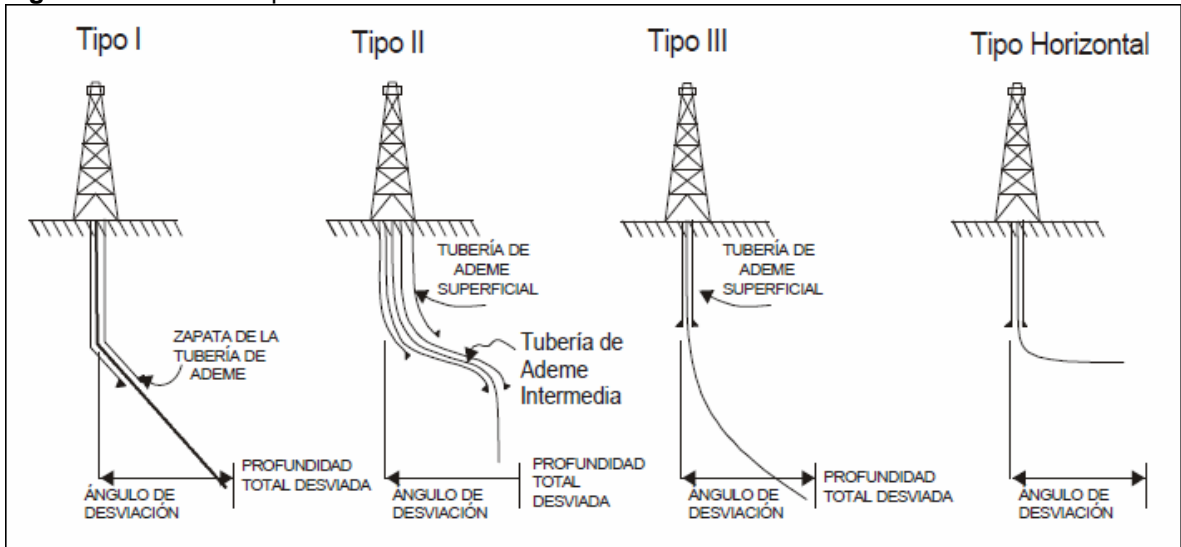
- Por último, los pozos de servicio son aquellos por los cuales se realizan procedimientos de mantenimiento o acciones para mejorar la producción del yacimiento como puede ser inyecciones químicas térmicas u otros. Como se especifica anteriormente estos pozos tampoco se construyen buscando este uso, por lo general fueron pozos secos o productores que ya no aportan fluidos a superficie. Esta conversión se realiza para disminuir costos y no tener que construir un nuevo pozo.

2.5.3 Clasificación por perfil. La clasificación por perfil se caracteriza por la forma que tenga el pozo como se puede observar en la **Figura 14**. Inicialmente los pozos se perforaban sin entender ciertamente su forma, pero con el paso de los años se descubrió que los pozos perforados sin ningún tipo de sistema direccional no eran completamente verticales. Esto se debe a que en largas distancias las materias pueden tener cierta maleabilidad por las altas temperaturas, esto daba como consecuencia pozos que no eran del todo verticales con un cierto grado de inclinación. La tecnología evolucionó y se pudo demostrar que para construir un pozo 100% vertical era necesario un sistema de perforación dirección, además de poderle dar la forma necesaria al pozo.

La perforación direccional tiene diversas funciones y ventajas y por esta razón se hace referencia directa a este tipo de perforación. Una ventaja es la posibilidad de tener un gran número de pozos con una única plataforma lo cual aumentara la producción disminuyendo el área afectada, esto hace referencia que con una sola plataforma en superficie con una sola perforación salen diversas ramificaciones. También se pueden realizar los pozos de alivio en caso de emergencia y los *sidetrack* los cuales son esenciales en la industria para corregir errores. También se puede perforar en zonas de difícil acceso donde la superficie se encuentra ocupada o no se puede establecer en la zona una locación.

La perforación direccional permite poner la locación en una zona más alejada y de forma direccional llegar al target y de la misma forma para yacimientos que se encuentren en fondos marinos pero que se pueden acceder desde la costa.

Figura 14. Perfiles de pozo



Fuente: STEEMIT, Vídeo de Perforación Petrolera y Gas Direccional. [En línea] <https://steemit.com/petroleum/@achaepe/video-de-perforacion-petrolera-y-gas-direccional>. Consultado: Noviembre 1, 2018.

- Los pozos verticales son por lo general pozos que no tienen un ángulo de desviación mayor a 5 grados, pero es importante tener en cuenta que si lo que se busca es tener un pozo vertical con muy poco ángulo de inclinación es necesario utilizar herramientas direccionales para corregir las desviaciones que se puedan dar durante el procedimiento puesto que una falla puede desviar la broca de la misma forma que lo puede hacer un cambio de estrato.
- Los pozos desviados se diferencian de los verticales porque tienen más de 5 grados de inclinación por lo cual podríamos decir que los pozos horizontales también se encuentran dentro de este grupo. Podemos ver desviaciones de diversos tipos como “S”, “S” especial, “J” y “J” especial. La forma que tome la desviación depende de la geología de la zona y de diversos factores como evitar atravesar una falla o determinadas formaciones. Un pozo en forma de “S” se utiliza para evitar algo que se encuentra en el subsuelo como ya se mencionó, una falla, una formación e incluso un acuífero para evitar la contaminación de aguas subterráneas. Por otro lado, los pozos con forma de “J” son construidos principalmente porque el *target* proyectado en superficie se encuentra en una locación donde no se puede perforar con facilidad, ya sea una ciudad, un pueblo o incluso una formación de agua superficial como puede ser un lago, río e incluso el mar. Según lo anterior podemos perforar pozos con un *target* que se encuentre *off shore* desde la costa, de esta forma disminuiríamos costos de perforación.
- Por último, los pozos horizontales, los cuales como su nombre lo dice se caracterizan por tener la última sección completa o parcialmente horizontal, esto

se realiza para aumentar la producción al incrementar el área de contacto con el yacimiento, también para evitar conificaciones en yacimientos con altos contenidos de agua donde el agua tiende a conificarse en pozos previamente perforados. Además de esto, se puede aumentar la producción en yacimientos con alta permeabilidad vertical. Los pozos horizontales se dividen en si en tres grupos dependiendo del ángulo de desviación. Los de radio largo que van de 2 a 6 grados cada 100 pies, radio medio de 6 a 60 grados por cada 100 pies y radio corto que va de 1.5 a 3 grados cada 20 o 40 pies.

3. PERFORACIÓN CON TUBERÍA FLEXIBLE

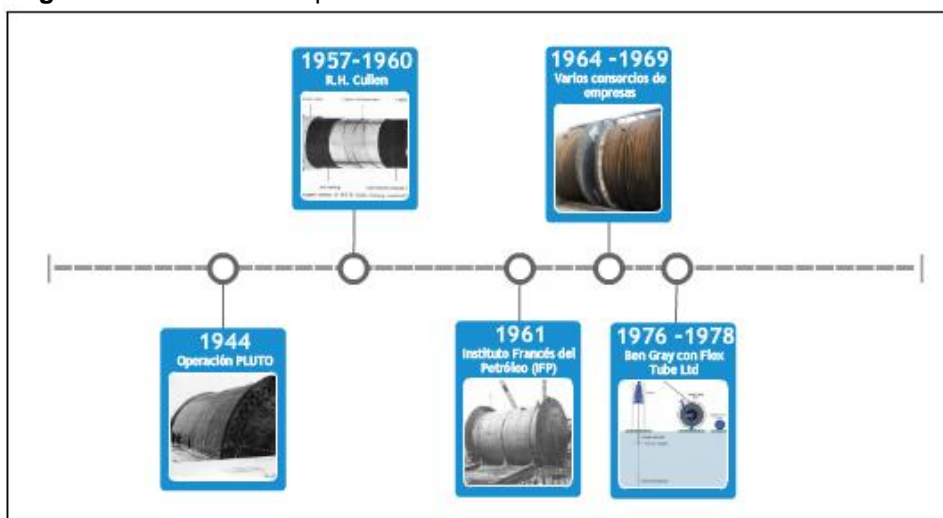
En este capítulo, se describe brevemente la historia de la tubería flexible y su implementación en la industria del petróleo, sus aplicaciones, además de ventajas, limitaciones y los principales parámetros para la aplicabilidad en perforación usando CT y HCT. Esto con el fin de entender a profundidad la tecnología y desarrollar una buena matriz de selección en capítulos futuros.

3.1 ANTECEDENTES

Comercialmente se conoce a la tubería flexible en la industria petrolera desde los años 60'S, y se ha convertido en un equipo muy utilizado en muchos servicios de pozos y trabajos de *workover*, y desde los últimos años en trabajos de perforación de pozos.

3.1.1 Historia Coiled Tubing. La **Figura 15** muestra una línea de tiempo, que describe la historia de la tubería flexible, desde sus inicios en la Segunda Guerra Mundial, hasta su implementación en la industria petrolera.

Figura 15. Línea del tiempo de la tubería flexible



Fuente: Elaboración propia

La **Cuadro 2** menciona los sucesos cronológicos de la historia de la tubería flexible, está relacionada con la línea de tiempo vista anteriormente.

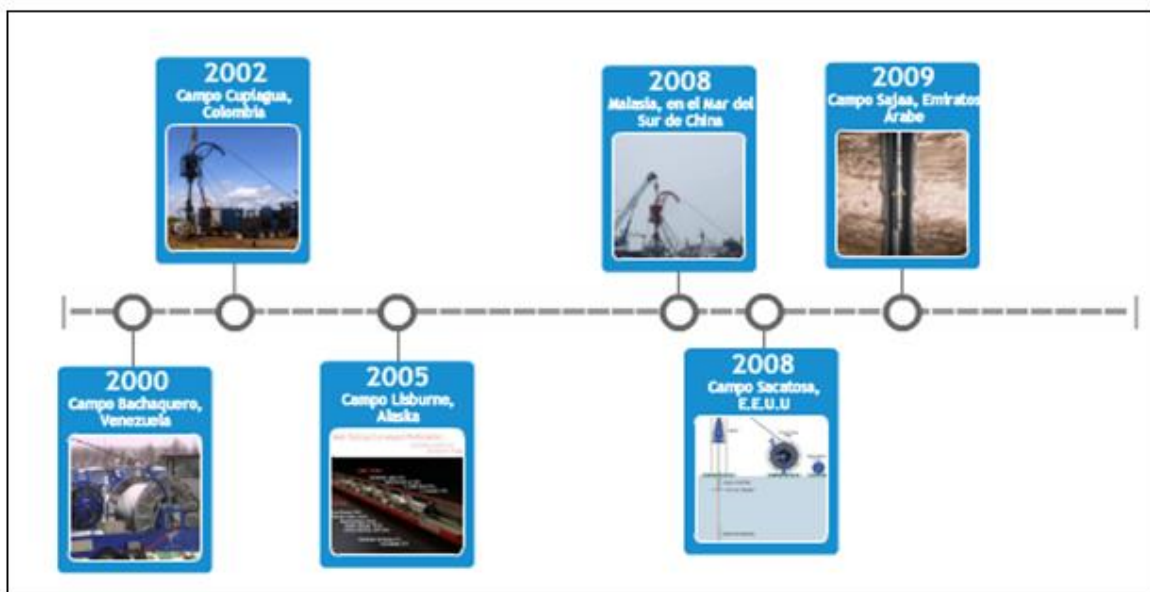
Cuadro 2. Línea del tiempo de la tubería flexible

○ 1944	Plan secreto creado para instalar líneas a lo largo del Canal de la Mancha durante la segunda guerra mundial
○ 1957-1960	Perforó dos pozos a una profundidad de casi 1.000 Ft, utilizando cable eléctrico dentro de la tubería, un BHA con motor eléctrico y drill collars
○ 1961	Perforó más de 21.000 Ft de huecos, en tierra y costa afuera, a una máxima profundidad de 3.380 pies.
○ 1964 -1969	Desarrollaron una tubería de más de 12.000 pies.
○ 1976 -1978	Ensamblaron el Rig No. 11, con el que perforaron 16 pozos verticales someros de gas en Canadá

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Uso de CTD. La esta **Figura 16** se puede observar la línea de tiempo de la tubería flexible en la industria petrolera, específicamente en la perforación de pozos someros en Venezuela, Colombia, Estados Unidos, Arabia y en el sur de China, además en que campos se ha implementado.

Figura 16. Línea del tiempo del uso de la tubería flexible



Fuente: Elaboración propia

La **Cuadro 3** está relacionada con la línea de tiempo anterior, describiendo los sucesos que muestra esta última en diversos lugares del mundo, con el fin de ver en qué países y sus respectivos campamentos se han implementado.

Cuadro 3. Línea del tiempo del uso de la tubería flexible



Fuente: Elaboración propia

3.2 HIGH COILED TUBING DRILLING

El equipo de perforación HCTD posee la tecnología de *Coiled Tubing* usando tubería enrollada y la tecnología convencional para perforar con el sistema de *Top Drive* montando en una torre de 65 ft de altura disponible para el manejo de tubulares convencionales como el Drill pipe.

Con esta tecnología se puede ejecutar las operaciones normales que se realizan durante la perforación de pozos. La tubería flexible puede ser introducida en el pozo con más facilidad desde superficie, por lo que es atractiva para pozos muy desviados y horizontales.

Las características físicas de las tuberías flexibles y las tuberías convencionales de un diámetro similar son las mismas, con el beneficio de que no es necesario estibarla tramo por tramo para bajarla o retirarla del pozo, “ya que se le desenrolla o enrolla en un carrete accionado mecánicamente como si fuera una manguera, permitiendo así un mejor y más rápido almacenamiento y transporte”.

3.2.1 Perforación con HCTD. La perforación con HCTD es igual a la realizada convencionalmente, sin embargo, combina el *coiled tubing* y el *drill pipe*, utilizando un sistema de *Top Drive* que hace rotar la sarta de perforación y el trepante, este sistema es manejado a control remoto desde la consola de perforación.

Para perforar con *Top Drive*, primero se baja el *Top Drive* y se extiende hasta por encima del *mouse hole*, luego se realiza la conexión con *quill* y se eleva el *Top Drive* a lo largo de la torre, se los link tilt y el elevador se aseguran a la tubería, posteriormente se realiza la conexión (utilizando las llaves cadenas para mantener la tubería), una vez realizado la conexión se retiran las cuñas de perforación (slips) de la mesa de perforación, finalmente se activan las bombas de lodo desde la cabina del perforador y se procede a perforar.

Para perforar con tubería continua, se usa una pieza de tubería continua en sustitución de la sarta de perforación, y se emplea generalmente un motor de desplazamiento positivo para llegar a la formación acumuladora. El poder hidráulico se transmite mediante bombas en superficie.

Cuando se perfora con una presión de formación que excede la presión la presión hidrostática ejercida, se conoce como perforación bajo balance (Underbalanced Drilling). La presión hidrostática es ejercida por una columna de lodo, que puede ser base agua o base aceite, aireado o espumado, etc.

Este tipo de perforación se utiliza para mejorar la ROP, eliminando los riesgos de pegas diferenciales y pérdidas de circulación, y protegiendo la formación productora. Generalmente, es menos costoso perforar bajo balance que perforar convencionalmente, por lo que se realiza para reducir costos de perforación y obtener más ganancias al producir un reservorio.

La unidad de coiled tubing es un equipo adecuado para perforar bajo balance, y así, obtener los beneficios de reducción de costos y producción mejorada. Es importante que el equipo de seguridad funcione adecuadamente, y que se tomen todas las medidas de precaución, porque las patadas de pozo son más severas.

La **Figura 17** compara las presiones hidrostáticas y las presiones de yacimiento, en perforaciones convencionales y bajo balance.

Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Aplicación del CT. La perforación con *coiled tubing* se aplica en la perforación de pozos, tanto verticales como direccionales, que pueden ser pozos nuevos o intervenciones a pozos ya existentes como re-entradas y profundizaciones, además también perforación en desbalance, esta tecnología se utiliza generalmente para pozos someros de menos de 5.000 ft.

Con la unidad convencional de CTD se puede desarrollar “extensiones o profundizaciones de pozos, re-entradas (sidetracks) a través de completamientos existentes, pozos de drenaje horizontales y sidetracks donde se muele el completamiento”.

La **Cuadro 6** especifica las aplicaciones más destacadas que tiene la tubería flexible en la industria petrolera.

Cuadro 4. Aplicaciones de la tubería flexible en la industria

Aplicaciones de la tubería flexible en la industria
Limpieza y remoción de rellenos.
Evaluación de pozos e inducciones sin nitrógeno.
Limpiezas químicas
Inducción con nitrógeno.
Limpieza con fluidos nitrificados.
Estimulaciones reactivas (Ácidos).
Estimulaciones no reactivas (Solventes y surfactantes).
Cementación (Tapones y Forzamientos).
Instalación de sartas de velocidad.
Limpieza con Jet de alto Impacto (Alta Presión).
Aplicación de perforación/fresado.
Pescas.
Bajar completaciones con CT.
Registros de presión y temperatura en modo memoria.
Cañoneo de pozos.

Fuente: Elaboración propia

3.2.3 Aplicación del HCTD. Con la tecnología híbrida de perforación con tubería flexible (HCTD) se aplica principalmente para perforar pozos nuevos someros (menos de 5.000 ft), tanto verticales como desviados, y también en operaciones de corazonamiento.

También se utiliza la tecnología HCTD para realizar corridas y cementación de revestimientos y para las actividades previas a la perforación, como por ejemplo alistamiento de pozo (retiro de completamiento) y aislamiento zonal.

La unidad de HCTD se aplica a formaciones poco consolidadas, ya que no tiene el suficiente peso en la sarta como para perforar formaciones muy consolidadas. La velocidad en las operaciones de *rig up* y *rig down* y mantener una ROP continua son las grandes ventajas del uso de la tecnología HCTD. El diámetro de los huecos hechos con HCTD va desde 7" hasta más de 13³/₄".

La **Cuadro 7** establece los principales parámetros que la tecnología HCTD necesita para poderse implementar en un Campo.

Cuadro 5. Aplicabilidad HCTD

Profundidad máxima	5000 ft
Tipo de formaciones	No consolidadas
Torque Máximo	12715 ft-lb

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Beneficios. La perforación con *coiled tubing* tiene muchas ventajas respecto a la perforación convencional, los beneficios que se obtienen son: La **Cuadro 8** muestra las ventajas que tiene la utilización de CT en la operación de perforación sobre la perforación con tubería rígida.

Cuadro 6. Beneficios de la CTD

Mayor movilidad y menor tamaño de locaciones.
Menor impacto ambiental
Circulación continua durante los viajes
Posibilidad de obtener mayores tasas de construcción de ángulo
Reducción en los tiempos
Menores riesgos en seguridad y salud
Mayor confiabilidad en la transmisión de datos de fondo.

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Limitantes. La tecnología de *coiled tubing* y HCTD presentan pocas limitaciones técnicas, siendo la principal la falta de peso y la inhabilidad de la tubería para rotar, lo cual dificulta la perforación.

La **Cuadro 9** establece las limitaciones que tiene perforar con tubería flexible, en lo que perforar con tubería rígida tiene de cierta forma ventaja.

Cuadro 7. Limitantes de la CTD

Tasas de bombeo, torque y peso sobre la broca reducidos.
Inhabilidad para rotar tubería.
Costos de consumibles
Falta de personal con experiencia

Fuente: Elaboración propia

La **Cuadro 10** especifica las ventajas que tienen los fluidos que se utilizan en la perforación con CT.

Cuadro 8. Beneficios de fluidos utilizados en CTD

Reducción de la fricción de la tubería contra el hueco abierto.
Comportamiento de baja tasa de cizallamiento.
Suspensión de sólidos (viscosidad)
Minimiza riesgo de pegas
Bajo daño de formación
Bajo impacto ambiental (muy baja toxicidad)
Evita la desestabilización del hueco, influjos y pérdidas de circulación (densidad).
Inhibidor de arcillas (tipo Amina)
Revoque mejorado dando estabilidad y protección a las zonas de interés (Filtrado API)
Disminución del torque por aumento de concentración de lubricante

Fuente: Elaboración propia

La **Cuadro 11** establece algunos beneficios que se pueden tener al perforar utilizando mesa rotaria, debido a que la perforación con CT y HCTD utiliza la mesa rotaria.

Cuadro 9. Beneficios de perforar con Top Drive

Beneficios de perforar con Top Drive
La elevadora puede operarse hidráulicamente para moverla hacia el engrampador
En las operaciones de control del pozo, con el top drive aumenta la seguridad del pozo al reducir el desgaste del preventor de reventones (BOP)
Está equipado con una válvula para el cuadrante, operada a control remoto, que reduce la pérdida y derrame del lodo de perforación
Reduce los costos al hacer más eficiente la perforación
Si la estabilidad del pozo lo permite, se puede realizar conexiones en el fondo durante la perforación direccional
Se reduce el tiempo en aquellas funciones que no sean de perforación
Rotación y Circulación continuas durante el movimiento de la sarta de perforación
Reduce los riesgos y costos totales de perforación al minimizar los problemas de agarres por pega diferencial y empaquetamiento
Se perfora y manobra la tubería en barras (3 tubos)
Se aplica el <i>back reaming</i> sin limitaciones
Es una forma más segura y fácil de aplicar, en forma simultánea, la torsión y tensión que se requiere en las operaciones de punto libre y de desenroscado de la sarta.
Utiliza procedimientos de fondo más eficientes y exitosos durante actividades de pesca
En pozos de riesgo de pega diferencial, asegura la llegada del zapato guía del liner de producción hacia el fondo del pozo
Las conexiones se enroscan y desenroscan en cualquier nivel de la torre
Permite la rotación y circulación inmediata cuando se encuentran problemas en el hoyo.
Elimina el peligroso procedimiento de desconexión del cuadrante

Fuente: Elaboración propia

4. COMPARACION TALADROS CONVENCIONALES E HIBRIDOS

En este capítulo se desarrollarán las comparaciones entre un taladro de perforación convencional utilizado en el Campo Caño Sur y un taladro con tecnología HCTD el cual se encuentra en la ventana de aplicabilidad en ese mismo campo. Se analizarán temas como tiempos, vida útil de elementos, problemas de las perforaciones y cualquier tema relacionado con ellos que nos permita diferenciar los dos taladros, dando a entender así los beneficios y características de cada uno de ellos.

4.1 TIEMPOS

El tiempo en todas las industrias del mundo es tal vez el recurso máspreciado y en la industria petrolera no es una excepción, la disminución en tiempo es directamente proporcional a la reducción de costos, por esta razón es muy importante. La perforación con *Coiled Tubing* facilita la perforación disminuyendo los tiempos.

Chittim Ranch es un ejemplo perfecto de esto. Es un campamento petrolero ubicado en Texas, el cual cuenta con 30.000 acres de los cuales 13.000 son productivos. Es un campo antiguo descubierto en el año 1956 donde 10 años después se realizaron los primeros trabajos de inyección. En él año 2008 contaba con 699 pozos productos y 291 pozos inyectoros, los cuales son un número razonable.³²

En el año 2006 según el ingeniero Brady Littleton, se perforaron 32 pozos en un total de 140 días con un promedio de 4.4 pozos diarios con una profundidad media de 1.625 ft. Durante el año 2008 se implementó por primera vez en el campo un taladro híbrido con tubería flexible el cual perforo un total de 81 pozos en tan solo 135 días, con un promedio de 1.67 días por pozo con una profundidad promedio de 1.680 ft de profundidad.³³

Como podemos ver en la **Tabla 2** el número de pozos perforados con el taladro híbrido es más de 2.5 veces el número de pozos dos años atrás perforados con taladros convencionales y además la diferencia de tiempos por pozo con una relación equivalente a casi 2.7 veces.

³² LITTLETON, Brady. Big Whell coiled tubing drilling in Texas. Conoco Phillips Pag. 4, Chittim Ranch Texas, 2009.

³³ Ibid, Pag. 18

Tabla 2. Comparación historial HCTD VS Convencional en Chittim Ranch

Taladro Convencional	Taladro HCTD
Año 2006	Año 2008
32 Pozos	81 Pozos
140 Días	135 Días
4.4 Días/Pozo	1.67 Días/Pozo
1.625 ft	1.680 ft

Fuente: Elaboración propia

Como concluye Brady Littleton en su artículo en el 2008 se redujeron los tiempos de perforación en un 60% con un ciclo completo de 80 horas de un taladro convencional con 32 horas de un HCTD.³⁴

4.1.1 Pozo vertical. Los pozos verticales en el Campo Caño Sur tienen una profundidad de 3500 Ft en TVD, se realizan en 2 Fases, la primera se realiza con tamaño de broca de 12 ¼” y casing de 9 5/8”, y va hasta los 30 Ft; la segunda fase va hasta los 3500 Ft, con tamaño de broca de 8 ½” y casing de 7”.

Para la primera fase, el tiempo efectivo en que se realiza la operación, es de 37 horas, que serían alrededor de 1.5 días, en cambio usando tecnología HCTD, el tiempo efectivo estimado en que se realizaría la misma operación es de 35.5 horas, que serían menos de 1.5 días, lo cual indica una reducción de alrededor de 4.1 %.

Para la segunda fase, el tiempo efectivo en que se ejecuta la operación es de 188.8 horas, lo que es igual a 7.9, en cambio, la misma operación con HCTD, tardaría 116 horas, o 4.8 días. Es decir, que utilizando HCTD para perforar la Fase II, se disminuiría en 38.6%.

Para la operación de completamiento, con tecnología convencional, el tiempo efectivo es de 4.1 días, alrededor de 99 horas, y con HCTD, el tiempo es de 4.4 días, o lo que es lo mismo 105 horas. En la operación de completamiento, la tecnología convencional demora un poco menos, y comparándola con la HCTD, es obtiene 6.1% de reducción de tiempo.

En la **Tabla 3** se muestra la tabla de resumen de tiempos operacionales para pozos verticales. Los tiempos de la perforación convencional son el promedio de lo que tarda esta operación en el Campo Caño Sur, mientras los tiempos de HCTD son extrapolados de lo que se tardó esta tecnología en el Chittim Ranch.

³⁴ Ibid, Pag 20

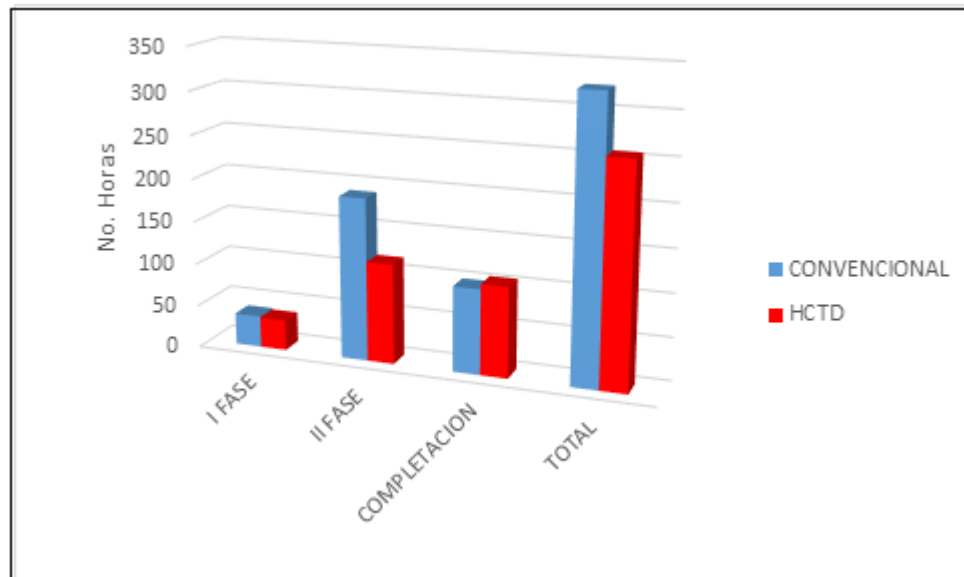
Tabla 3. Tiempos operacionales en pozos verticales de 3500 ft (tvd/md)

Etapa	Bit size /Casing	Convencional		Hctd		Reducción %
		Hrs	Días	Hrs	Días	
I Fase	12-1/4" / 9-5/8"	37	1.5	35.5	1.5	4.1
II Fase	8-1/2" / 7"	188.8	7.9	116	4.8	38.6
Completacion		99	4.1	105	4.4	-6.1
Total		324.8	13.5	256.5	10.7	21.0

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 18** se muestra la gráfica comparando los tiempos de operaciones.

Figura 17. Gráfica de tiempos operacionales para pozos verticales



Fuente: Elaboración propia.

Si se realizaran una campaña de 30 pozos verticales en el Campo Caño Sur, los tiempos efectivos de ambas tecnologías, en operaciones como: rig up, rig down, perforación y movilización, sería:

En la **Tabla 4** se muestra una comparación de los tiempos efectivos para operaciones en una campaña de 30 pozos en el Campo Caño Sur. Los tiempos de la perforación convencional son el promedio de lo que tarda esta operación en el Campo Caño Sur, mientras los tiempos de HCTD son extrapolados de lo que se tardó esta tecnología en el Chittim Ranch.

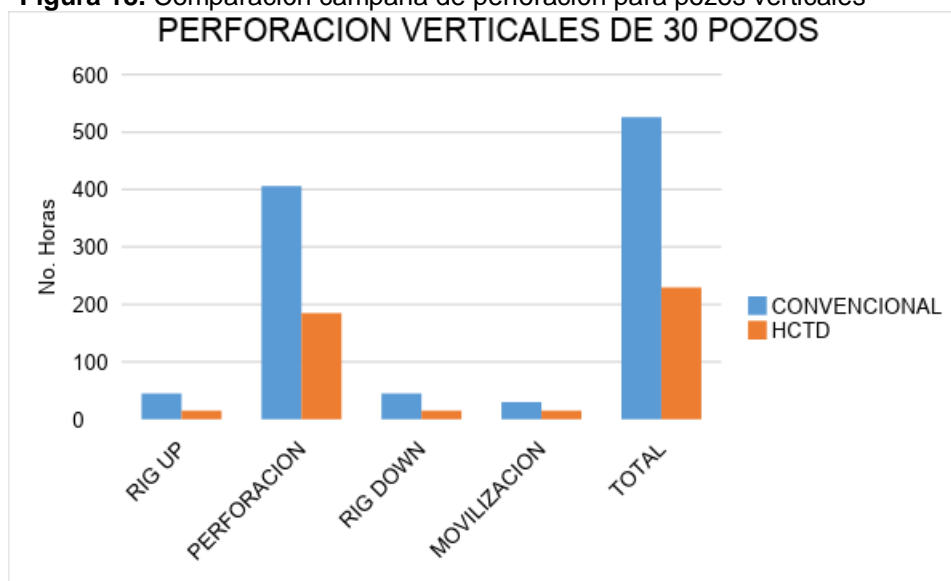
Tabla 4. Comparación campaña de perforación para 30 pozos verticales

Proceso	Convencional	Hctd	
Rig up	45	15	
Perforación	406	320.6	
Rig down	45	15	
Movilización	30	15	
Total	526.0	365.6	Días
	17.5	12.2	Meses
	1.5	1.0	Años
Reducción de tiempo		30.5	

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 19** se muestra una gráfica de los tiempos de operaciones en una campaña de 30 pozos verticales en el campo caño sur.

Figura 18. Comparación campaña de perforación para pozos verticales



Fuente: Elaboración propia

En las operaciones de rig up y rig down, la tecnología convencional se demora 45 días, en contraste la HCTD se demora tan solo 15 días, esto se debe al número de cargas de ambas tecnologías, siendo para el HCTD de tan solo 5- 6 cargas, en cambio los taladros convencionales tienen más de 20 cargas.

Esto último repercute en el tiempo de movilización de ambas tecnologías, por lo que la HCTD tarda solo 15 días en esta operación, y la tecnología convencional hasta 30 días.

Para la perforación de 30 pozos, la tecnología HCTD se demora alrededor de 320 días, y la tecnología convencional más o menos 406 días, sin contar el tiempo que

se puede demorar en solucionar algunos contratiempos, como pegas de tuberías, problema que tiene menos probabilidad de suceder en la tecnología HCTD.

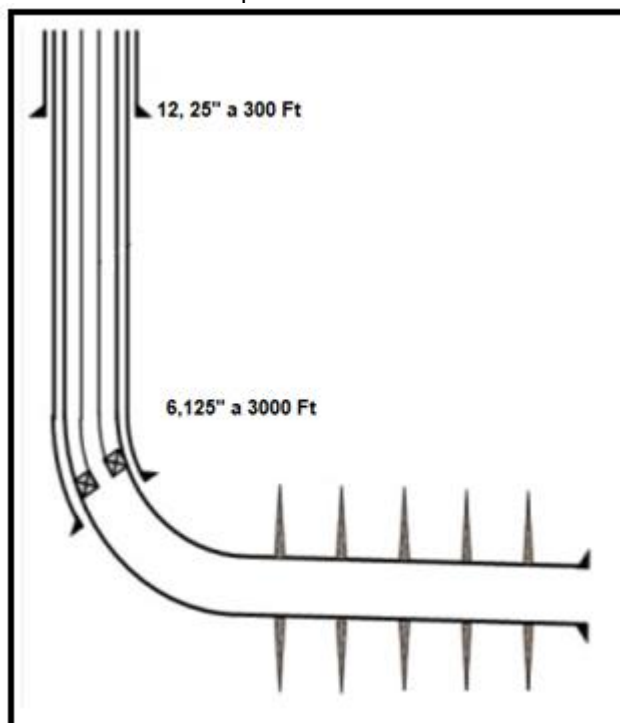
Todo lo anterior demuestra que perforar un pozo, o una campaña de 30 pozos en el campo Caño Sur, se demora menos con la tecnología HCTD, lo que significaría un aumento en las ganancias para la empresa. Para un solo pozo vertical, la reducción en tiempo es de hasta 21%, en cambio para la campaña de 30 pozos es de 30%.

4.1.2 Pozo horizontal. Los pozos horizontales en el Campo Caño Sur tienen una profundidad de 5200 Ft en MD y en TVD de 3200 Ft, se realizan en 2 Fases, la primera se realiza con tamaño de broca de 12 ¼" y casing de 9 5/8", y va hasta los 300 Ft; la segunda fase va hasta los 3200 Ft en TVD y 5200 Ft en MD, se realizaría con broca de 6 1/8" y casing de 4 ½".

Para la primera fase, el tiempo efectivo en que se realiza la operación, es de 37 horas, que sería alrededor de 1.5 días, en cambio el usando tecnología HCTD, el tiempo efectivo estimado en que se realizaría la misma operación es de 35.5 horas, que sería menos de 1.5 días, lo cual indica una reducción de alrededor de 4.1 %.

La **Figura 20** muestra el Estado Mecánico de un pozo horizontal en el Campo Caño Sur Este, con el diámetro de la broca y la profundidad de las dos fases.

Figura 19. Estado mecánico de un tipo de pozo horizontal del Campo Caño Sur



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO. Evaluación petrolera y métodos de explotación del Campo Miquetla en la Cuenca deChicontepec. [En línea]. 2013. [Consultado en noviembre 2018]. Disponible en internet: <https://docplayer.es/45270615-Universidad-nacionalautonomademexico.html>. Modificado por el autor

En la **Tabla 5** se muestra el resumen de tiempos operacionales para pozos horizontales. Los tiempos de la perforación convencional son el promedio de lo que tarda esta operación en el Campo Caño Sur, mientras los tiempos de HCTD son extrapolados de lo que se tardó esta tecnología en el Chittim Ranch.

Tabla 5. Tiempos de perforación para pozos horizontales 5200 ft en MD

Etapa	Bit size /Casing	Convencional		Hctd		Reducción %
		Hrs	Días	Hrs	Días	
I Fase	12-1/4" / 9-5/8"	37	1.5	12	0.5	67.6
II Fase	8-1/2" / 7"	205.6	8.6	32	1.3	84.4
Completacion		24	1.0	24	1.0	0.0
Total		266.6	11.1	68	2.8	74.5

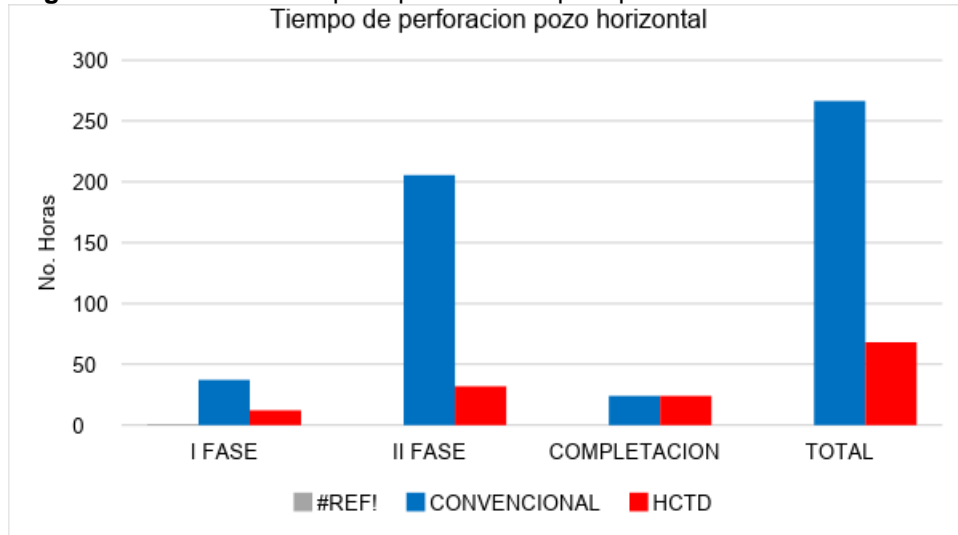
Fuente: Elaboración propia

La última Fase, con tecnología HCTD le tomaría 1.3 días, es decir 32 horas, en contraste con la tecnología convencional que le toma 8.6 días o 205.6 horas, gracia a la tecnología HCTD, el tiempo para realizar la tercera Fase disminuiría hasta un 84.4 % de lo que le tomaría a la tecnología convencional.

Para la operación de completamiento, con tecnología convencional, el tiempo efectivo es de 1 días, alrededor de 24 horas, y con HCTD, el tiempo es de 1 días, o lo que es lo mismo 24 horas. En la operación de completamiento en un pozo horizontal, ambas tecnologías tardan lo mismo.

En la **Figura 21** se muestra la gráfica comparando los tiempos efectivos en que ambas tecnologías realizan operaciones.

Figura 20. Gráfica de tiempos operacionales para pozos horizontales
Tiempo de perforacion pozo horizontal



Fuente: Elaboración propia

Si se realizaran una campaña de 30 pozos horizontales en el Campo Caño Sur, los tiempos efectivos de ambas tecnologías, en operaciones como: rig up, rig down, perforación y movilización, sería:

En la **Tabla 6** se muestra la tabla comparando los tiempos efectivos en operaciones de la tecnología convencional y HCTD. Los tiempos de la perforación convencional son el promedio de lo que tarda esta operación en el Campo Caño Sur, mientras los tiempos de HCTD son extrapolados de lo que se tardó esta tecnología en el Chittim Ranch.

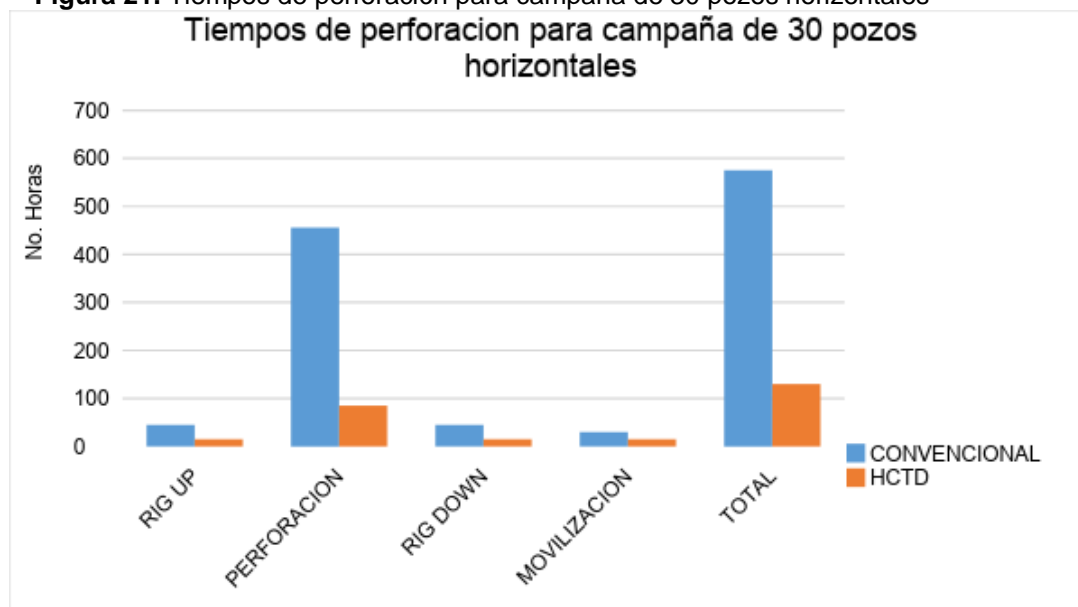
Tabla 6. Comparación campaña de desarrollo para 30 pozos horizontales

Rig up	Convencional	Hctd		
	45	15		
Perforación	455.5	315		
Rig down	45	15		
Movilización	30	15		
Total	575.5	360.0	Días	
	19.2	12.0	Meses	
	1.6	1.0	Años	
Reducción de tiempo		37.4		

Fuente: Elaboración propia

En la **Figura 22** se muestra una gráfica de los tiempos de operaciones en una campaña de 30 pozos horizontales en el campo caño sur.

Figura 21. Tiempos de perforación para campaña de 30 pozos horizontales



Fuente: Elaboración propia

En las operaciones de rig up y rig down, la tecnología convencional se demora 45 días, en contraste la HCTD se demora tan solo 15 días, esto se debe al número de cargas de ambas tecnologías, siendo para el HCTD de tan solo 5- 6 cargas, en cambio los taladros convencionales tienen más de 20 cargas.

Esto último repercute en el tiempo de movilización de ambas tecnologías, por lo que la HCTD tarda solo 15 días en esta operación, y la tecnología convencional hasta 30 días.

Para la perforación de 30 pozos, la tecnología HCTD se demora alrededor de 315 días, y la tecnología convencional más o menos 455.5 días, sin contar el tiempo que se puede demorar en solucionar algunos contratiempos, como pegas de tuberías, problema que tiene menos probabilidad de suceder en la tecnología HCTD.

Todo lo anterior demuestra que perforar un pozo, o una campaña de 30 pozos en el campo Caño Sur, se demora menos con la tecnología HCTD, lo que significaría un aumento en las ganancias para la empresa. Para un solo pozo horizontal, la reducción en tiempo es de hasta 30.8%, en cambio para la campaña de 30 pozos es de 37.4%.

4.2 COSTOS

Los costos de perforación son muy importantes en la industria puesto que a mayor número de perforaciones mayores costos, pero no siempre se obtienen ganancias de estos. Por este motivo es importante reducir estos costos puesto que no siempre se obtiene la recuperación de la inversión deseada. Para que esta industria continúe se tiene que seguir perforando no solo con el fin de aumentar la producción lo cual es muy importante y beneficioso si no también con el fin de aumentar las reservas de un país.

Con el paso de los años las empresas petroleras han adquirido más experiencia y hablando de términos económicos las crisis son los mejores momentos para abrirle los ojos. Por esta razón hoy en día se trata de reducir los costos y así aumentar las ganancias.

Esta tecnología se encarga básicamente de eso, es una herramienta de disminución de costos. Según Brady Littleton en el campo Chittim Ranch durante la campaña de perforación se redujeron los costos por pozo a un increíble 14% y teniendo en cuenta la inflación equivalente hoy en día a un 33%. Es cierto que la tecnología HCTD no es económica a corto plazo, pero si se realiza una tabla de amortización es evidente que es capaz de perforar más pozos en menos tiempos lo cual disminuye los costos por tiempo.³⁵

4.3 PROBLEMAS DE PERFORACION

Los problemas en la industria son frecuentes, pero en el sector donde más encontramos inconvenientes es en la perforación. Las pegas y patadas de pozo de los taladros se ven reflejados en tiempos y como tal en costos. Por este motivo es fundamental contar con maquinaria con muy buena fiabilidad, buena vida útil y excelente funcionamiento.

Es completamente cierto que el factor del ser humano tiene gran influencia en los incidentes que se puedan dar a nivel de perforación, pero si se tiene una maquinaria con un manejo más eficiente y eficaz este factor humano disminuye puesto que no tiene que forzar la maquinaria.

³⁵ Ibid., p. 20

Según Brady Littleton los riesgos durante el 2008 con perforación HCTD disminuyeron en un 88% con respecto al año 2006, año donde se utilizaron únicamente taladros convencionales. Este análisis se realizó comparando las conexiones de los taladros los cuales son la mayor causa de los problemas. Con 118 conexiones para los taladros de tubería rígida contra 14 conexiones de CT.

4.3.1 Pegas en los taladros. Una pega es la inmovilización parcial o total de la sarta de perforación dentro del pozo y se da por distintos motivos. La pega diferencial por ejemplo se da por largos tiempos de conexión. Es importante tener bajos tiempos de conexión entre tubería y tubería puesto que en estos momentos la sarta de perforación se encuentra inmóvil en el pozo y si existe una mayor presión de la columna de fluido con respecto a la presión de la formación esta será succionada contra la cara del pozo. Este inconveniente no se da con la perforación con coiled tubing puesto que no hay tiempos de conexión por ser una sola tubería enrollada.

Otro tipo de pega, es la pega geométrica y se da cuando el pozo es muy tortuoso, lo cual significa que tiene un alto grado de inclinación en pocos pies. Una tubería llamada rígida convencional no es rígida del todo, esto se da por unas características de los materiales que con mayor longitud y temperatura aumenta su capacidad de maleabilidad. Esto es utilizado para la perforación direccional pero al momento de perforar un pozo altamente tortuoso las pegas geométricas son comunes. Con la perforación HCTD esto no sucede gracias a que primero es obligatorio perforar con un motor de fondo que evita la rotación total de la tubería y además el coiled tubing es altamente flexible, puesto que como su nombre lo indica es una tubería que se enrolla en un carrete. Esto le permite perforar los pozos más tortuosos que no son ideales para tuberías rígidas.

Por último, tenemos la pega por empaquetamiento, esta se da por la acumulación de cortes en el pozo los cuales evitan el movimiento de la tubería. Tal vez este es el tipo de pega en el que menos se puede diferenciar los dos tipos de perforaciones, pero aun así el HCTD con su tubería flexible disminuye radicalmente este número de inconvenientes.

4.3.2 Reventones en los taladros. Los reventones o patadas de pozos durante las perforaciones se dan cuando la presión de la formación es altamente superior a la presión de la columna de fluido de perforación, haciendo así que el fluido suba a superficie con una gran presión y velocidad destrozando todo a su paso. Este accidente es tal vez el más grave de todos puesto que pone en peligro la vida de todo el personal que se encuentre en la locación, además de la contaminación ambiental y los costos para solucionarlo.

Como se mencionó anteriormente la mejor condición para realizar una perforación es en balance lo cual significa igualando las presiones de la formación y de la columna hidrostática. Esta condición no es fácil de cumplir puesto que la presión de la columna hidrostática cambia constantemente y depende básicamente de la densidad del lodo de perforación.

Una gráfica de perforación convencional de profundidad versus tiempo es similar a una escalera, esto se da por los tiempos de conexión ya sea de tubería por tubería o de parada por parada. En cambio, esa misma gráfica de una perforación con tubería flexible es mucho más lineal por no decir completamente lineal, y es gracias a que no existe la necesidad realizar conexiones, se realiza la perforación de forma continua y una velocidad determinada. Esto permite determinar un cambio proporcional de la densidad del fluido de perforación con respecto a la profundidad de una forma mucho más lineal y así controlar la presión de la formación. Esto dará como resultado una perforación mucho más segura gracias a la disminución del riesgo de reventones, pero aun así es presente.

4.4 CONTRATISTAS

El número de contratistas depende de la campaña de perforación a realizar relacionando el tiempo y el número de pozos. Posteriormente con un tiempo promedio de perforación por pozo con un taladro se puede determinar el número de taladros necesarios para cumplir la campaña de perforación dentro del cronograma.

Tenido en cuenta lo anterior se puede deducir que son necesarios menos taladros híbridos para perforar los mismos pozos con taladros convencionales. Así se dio en Chittin Ranch, Texas en el año 2008, Brady Littleton habla de una disminución de los contratistas del 65%, con un total de 17 taladros el año 2006 contra solo 6 taladros HCTD el año 2008.³⁶

4.5 VIDA UTIL DE LA TUBERIA DE PERFORACION

La vida útil es un tiempo promedio y equivalente al tiempo que durar un componente en funcionamiento dentro del rango correspondiente de aplicabilidad y mantenimiento. Lo cual indica que si un elemento se utiliza de forma correcta y con un mantenimiento adecuado lo más probable es que sea utilizado un tiempo aproximado a la vida útil promedio.

En perforación un taladro cuenta con diversas secciones y partes en movimiento que se encargan de diversos factores como vimos anteriormente, pero el elemento con la vida útil más corta siempre serán la tubería de perforación y su respectiva sarta.

No existe una vida útil promedio para todos los tipos de tubería puesto que existen diversos tipos utilizados en diversas situaciones que resisten diversos desgastes, lo que sí se puede asegurar es que unas tuberías flexible o coiled tubing cuenta con una vida corta para la perforación. Esto quiere decir que así acabe su vida útil en el sector de perforación puede ser utilizado en otro tipo de servicios.

Un *coiled tubing* tiene una vida útil de 4 ciclos, un ciclo es equivalente a un desenrolle y enrolla de una sección, por lo cual, si en pozo se realizan dos

³⁶ Ibid., p. 20

secciones, en este serán utilizados 2 ciclos. Es decir, una tubería flexible podrá ser utilizada para perforar un promedio de 2 pozos.

Sin tener en cuenta cuanto es la vida útil de todos los tipos de tubería convencional es completamente obvio que este es el punto débil del taladro HCTD puesto que la vida útil de una tubería convencional siempre será mayor a la de un *Coiled tubing* para perforación. En beneficio de la perforación híbrida esta tubería flexible es mucho más económica y en la mayoría de los casos es reutilizable para otras labores de mantenimiento.

5. MATRIZ DE SELECCIÓN

La matriz de selección es una herramienta que facilita la elección de opciones sobre la base de los criterios aplicables y ponderados. Gracias a este método, es posible determinar alternativas y criterios para tomar una decisión, clarificar problemas, oportunidades de mejora y proyectos.

Esta técnica se utiliza cuando es necesario seleccionar la mejor opción para la solución de un problema, la matriz también reduce el número de opciones planteadas, lo que facilita la decisión.

5.1 LA MATRIZ DEL PERFIL COMPETITIVO (MPC)

La matriz de perfil competitivo permite la comparación y evaluación de un grupo de estrategias o aplicaciones con base en el comportamiento de estas, frente características, aspectos y propiedades de un sistema, mostrando las ventajas y limitaciones de cada uno.

La matriz MPC se adecua a la evolución de los taladros, que necesita el presente proyecto, porque se compara las ventajas de cada uno, y permite escoger la más adecuada.

En la **Tabla 7** se muestra un ejemplo de una matriz de perfil competitivo, en la que se comparan algunas empresas de acuerdo a unos factores.

Tabla 7. Ejemplo de matriz de selección

Factores Críticos de Éxito	Peso	Empresa A		Empresa B		Empresa C	
		Rating	Puntaje	Rating	Puntaje	Rating	Puntaje
Reputación de la marca	0.13	2	0.26	3	0.39	1	0.13
Nivel de integración de productos	0.08	4	0.32	3	0.24	1	0.08
Rango de productos	0.05	3	0.15	1	0.05	2	0.1
Nuevas introducciones exitosas	0.04	3	0.12	3	0.12	3	0.12
Participación de mercado	0.14	2	0.28	4	0.56	4	0.56
Ventas por empleado	0.08	1	0.08	2	0.16	3	0.24
Estructura de bajo costo	0.05	1	0.05	3	0.15	4	0.2
Promociones	0.08	1	0.08	2	0.16	1	0.08
Total	1	–	1.34	–	1.83	–	1.51

Fuente: Gehisy, Herramientas para análisis de procesos: Matriz CPM. [En línea] <https://aprendiendocalidadyadr.com/herramientas-analisis-contexto-matriz-cpm/>. Consultado: Noviembre 1 de 2018

El peso representa la importancia que tiene cada factor para la actividad que se desarrolla, sin este, todos los factores serían igual de importantes; el peso debe ser un número entre 0.0 (factor de poca importancia) y 1 (factor muy importante), la suma de los pesos de cada factor debe ser igual a 1.

La calificación es la valoración que se le da a cada columna respecto al factor, indica el desempeño en cada característica, varios objetos pueden tener la misma calificación. Se califica con un número de 1 a 4, siendo: En la **Cuadro 12** se muestra la calificación que puede obtener un taladro en algún factor.

Cuadro 10. Calificaciones en la matriz

1	Mayor Debilidad
2	Debilidad Menor
3	Fortaleza Menor
4	Mayor Fortaleza

Fuente: Elaboración propia

El peso ponderado es la puntuación de cada objeto en cada factor, se calcula multiplicando el peso por la calificación; el puntaje total es la suma de cada peso ponderado, y el que reciba la mayor puntuación es el objeto más indicado.

5.2 PESOS DE LA MATRIZ

En la matriz de selección, cada factor tiene un peso, que indica la importancia del elemento a la hora de elegir el mejor taladro; los factores principales (pozo, técnico, financiero, y ambiental) tienen otros elementos que también se consideraron, por lo que cada uno tiene su propia sub-matriz. Estos factores muestran tanto ventajas como desventajas de todos los taladros, de tal forma que la comparación sea justa, sin embargo, se tendrá en cuenta las características del Campo de estudio para asignar el peso. El peso de cada uno de los factores de la matriz principal se muestra en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Peso de las matrices

Factores	Peso
Pozo	0.35
Técnicos	0.25
Financieros	0.3
Ambientales	0.1
Total	1

Fuente: Elaboración propia

5.3 TALADROS COMPARADOS

En este proyecto se comparan cinco taladros, mediante una matriz de selección, con el fin de encontrar el mejor para el Campo Caño Sur Este. Los taladros comparados son los siguientes:

- **ADT-168:** Este taladro puede perforar tanto CT como con tubería rígida, tiene alrededor de 200 Hp y alcanza los 5000 FT en MD. Es el taladro en que se basó este proyecto.

- **PW118:** Este es un taladro convencional con una potencia de 1000 Hp, se escogió para comparar la tecnología HCTD con un taladro convencional potente.
- **FOREMOST CTR SINGLE COILED TUBING:** Es un taladro que utiliza solo tubería flexible, se seleccionó para realizar una comparativa entre perforación con HCTD y con solo CT.
- **PW127:** Este taladro convencional de 500 Hp, se escogió para comparar el ADT-168 con un taladro convencional que tuviera una potencia similar.
- **P1013:** Este taladro es una versión mejorada del ADT-168, también es HCTD pero alcanza los 6000 FT en TVD. Se escogió para mostrar una versión mejorada del taladro HCTD.

5.4 PESOS EN LAS SUB-MATRICES

La matriz de selección, se divide en sub-matrices, las cuales tendrán cada una un peso, que se utilizara en la matriz principal, estas sub-matrices son:

- El aspecto de pozo se refiere a factores relacionados a este que se perforan en el Campo Caño Sur Este, relacionadas con los taladros, es decir, son todos los factores de un pozos que pueden servir para seleccionar un taladro adecuado., por ejemplo, las fases que se van a perforar, la profundidad, o la consolidación de la roca.
- Los aspectos técnicos son los que tienen los taladros, como la potencia y la capacidad de sus partes, que pueden repercutir en la perforación de un pozo o en la selección de un taladro, además, de otros servicios que pueden ofrecer la unidad, y los tiempos que se tarda en algunas operaciones.
- Los elementos referentes a la parte económica, que intervienen en la selección de un taladro, que resulte eficiente, para obtener la mayor rentabilidad en el proyecto, como tiempos que pueden incrementar los costos de alquiler, costo de la unidades, o la vida útil que repercute en la VPN.
- Son todos los aspectos que pueden ocasionar daño o impacto en el medio ambiente, y que son analizados, para que la huella ambiental sea la menor posible, algunos aspectos que se tienen en cuenta son la calidad del agua, suelo y aire, los ecosistemas y la parte social.

Los pesos de los factores en las sub-matrices, fueron decididos por los autores de este proyecto, en conjunto con el director del proyecto, basándose en la importancia de estos para la selección del taladro más eficiente para el Campo Caño Sur. El valor de los pesos se divide así:

- Bajo: Todos los factores que tengan un peso menor a 5%, se consideran poco determinante para la selección del taladro, comparado a otros factores, sin embargo, deben ser mencionados.
- Medio: Todos los factores con peso entre el 5% y el 8%, se consideran elementos que tiene cierta relevancia a la hora de seleccionar un taladro, respecto a otros factores.
- Alto: Todos los factores con peso superior al 8%, son elementos que son determinantes a la hora de escoger al mejor taladro para utilizar en el Campo.

5.5 MATRIZ DEL POZO

Los aspectos relacionados a un pozo en el Campo Caño Sur Este, teniendo en cuenta que es un pozo horizontal el que se plantea en este proyecto, es el factor más importante a causa de que es el elemento principal para elegir un taladro petrolero, que sirva en el Campo de estudio, de tal forma que los factores financieros, técnicos y ambientales se deben ajustar y funcionen en este, por lo que su peso es 35%.

La estructura de esta matriz se puede visualizar en la **Tabla 9**, donde en la sección uno encontramos el peso total de la matriz, en la sección dos los factores que se calificarán, en la sección tres el peso de cada uno de los factores, en la cuatro es la sección de cada uno de los taladros con una capacidad máxima de comparación de cinco taladros, esta última sección se divide en: la sección cinco que representa el valor del factor para ese taladro en específico, la sección seis es la calificación obtenida según el **Cuadro 12**, la siete es el peso ponderado que relaciona la calificación con el peso del factor y la celda ocho es la sumatoria del peso ponderado, lo que da el resultado final del taladro para esta matriz.

Tabla 9. Secciones de la matriz del pozo

PESO	Factores		PESO	ADT-168			Pw118		
				Valor	Calificación	Peso Ponderado	Valor	Calificación	Peso Ponderado
				1	2	3	4	5	6
0.35	Pozo	Fase 1	0.06	muy recomendable	4	0.24	muy recomendable	4	0.24
		Fase 2	0.1	muy recomendable	4	0.4	muy recomendable	4	0.4
	Litología	Consolidada	0.05	Poco recomendable	2	0.1	recomendable	3	0.15
		Poco consolidada	0.05	muy recomendable	4	0.2	muy recomendable	4	0.2
	Capacidad	Profundidad (ft)	0.02	5,000	3	0.06	12000	4	0.08
		Malacate (Hp)	0.06	200	2	0.12	1000	4	0.24
		Top drive (ton)	0.09	75	3	0.27	250	4	0.36
		Mesa rotaria (lbs)	0.06	100000	2	0.12	500000	4	0.24
		Potencia bombas (hp)	0.05	850	3	0.15	1000	4	0.2
		Capacidad tanques (bb)	0.05	200	3	0.15	238	4	0.2
		Cargas	0.09	12	4	0.36	23	2	0.18
		Movilización (hrs)	0.09	12	4	0.36	24	2	0.18
		Rig up/down (hrs)	0.09	12	4	0.36	36	2	0.18
		Costos	Valor (USD)	0.07	\$ 2,000,000.00	2	0.14	\$ 1,500,000.00	3
	Vida útil (Años)		0.05	4	3	0.15	6	4	0.2
	Personal		0.02	22	3	0.06	35	1	0.02
	TOTAL		1			3.24			3.28

Fuente: Elaboración propia

5.5.1 Factores de la Matriz de pozo. En la **Tabla 10** se pueden observar los diversos factores con sus respectivos pesos que se tuvieron en cuenta para desarrollar la matriz de pozo. A cada factor se le dio un peso ponderado dependiendo de la importancia y potencial que se pudiera ver reflejada en el proyecto.

Tabla 10. Pesos en matriz del pozo

Factores		Peso
Pozo	Fase 1	0.06
	Fase 2	0.1
Litología	Consolidada	0.05
	Poco consolidada	0.05
	Profundidad (ft)	0.02
Capacidad	Malacate (Hp)	0.06
	Top drive (ton)	0.09
	Mesa rotaria (lbs)	0.06
	Potencias bombas (hp)	0.05
	Capacidad tanques (bbl)	0.05
	Cargas	0.09
	Movilización (hrs)	0.09
Rig up/down (hrs)	0.09	
Costos	Valor (USD)	0.07
	Vida útil (Años)	0.05
	Personal	0.02
TOTAL		1

Fuente: Elaboración propia

- Los pozos horizontales en el Campo Caño Sur Este, se perforan en dos fases, la primera fase es vertical y la segunda con desviación. La primera fase va hasta los 300 Ft; la segunda fase va hasta los 5200 Ft en MD y 3200 Ft en TVD.

Todos los taladros comparados en este trabajo serían recomendados para perforar las dos fases, por lo que el peso de la primera fase es 6%, la segunda fase al tener una desviación pesa un poco más, siendo 10%.

- Las rocas sedimentarias pueden ser consolidadas o no, cuando no lo son, significa que son sedimentos recientes, que no tienen cementación o compactación, por lo que son sedimentos sueltos, y por ende son más fáciles de perforar que las rocas consolidadas.

El Campo Caño Sur Este tiene rocas poco consolidadas, por lo que cualquiera de los taladros que se están comparando podría perforar con facilidad. En cambio, en rocas muy consolidadas los taladros de *Coiled Tubing* no serían tan buenos perforándolas, ya que no tienen el suficiente peso para realizarlo. Pese a esta desventaja y ya que el Campo Caño Sur Este tiene formaciones no consolidadas, el peso en ambos factores (consolidadas y no consolidadas) es de 5%, porque no son factores que limiten su uso en este Campo.

- La profundidad se refiere a la distancia máxima entre el fondo del pozo y superficie, que puede perforar cada taladro, entre más potencia y peso tenga el taladro en teoría podría perforar más.

Los pozos en el Campo Caño Sur Este son someros, tienen como objetivo las Areniscas Basales de la Unidad Carbonera, que están a una profundidad de 3000 a 4000 Ft, por lo que el peso de este factor es 2%, ya que todos los taladros comparados llegan a más profundidad de la necesaria, por lo que no es un factor relevante.

- El malacate es un conjunto de elementos, que se compone de un tambor de acero, los frenos, una fuente de potencia y diversos dispositivos. La función principal es enrollar y desenrollar el cable de perforación, haciendo que el bloque viajero se suba o baje.

La potencia que tiene un malacate es fundamental para cumplir con sus funciones, por lo que es un factor para tener en cuenta en comparaciones de taladros, la potencia se expresa en *horsepower* (hp) o caballos de fuerza. Pese a ser un factor importante, no es uno lo suficientemente determinante, además de que todos los taladros poseen una potencia de malacate suficiente para perforar en el bloque de Caño Sur, por eso el peso es apenas 6%.

- El *Top Drive* es un dispositivo que hace girar la sarta de perforación. Se compone de varios motores, los cuales se conectan a engranajes en una sección llamada pluma.

La capacidad del *Top Drive* se refiere al peso que es capaz de soportar, en toneladas, a mayor peso mayor rotación, lo que la convierte en un factor de suma importancia a la hora de escoger un taladro, y pese a que la capacidad de todos los taladros escogidos es suficiente para la formación, se decidió darle un peso del 9%.

- La mesa rotaria es la sección giratoria que provee la potencia necesaria para que gire la sarta de perforación. La potencia y el movimiento rotativo es causa del buje del vástago de perforación y del vástago.

La capacidad de la mesa rotaria se refiere a la carga muerta de masa que puede soportar, la unidad es libras. El peso de este factor es 6%, porque no se consideró tan influyente para la comparación de los taladros, y porque estos tienen suficiente capacidad para soportar el peso de la tubería.

- Las bombas son unas máquinas que convierten la energía con la que se activa la energía del fluido que mueve. Para aumentar la energía del fluido, se incrementa la presión, velocidad o altura. El fluido que mueven en este caso es el lodo, que cumple con diversos fines durante la perforación.

El poder de las bombas es la capacidad un flujo continuo, es expresada en caballos de potencia (hp), se le dio un peso de 5% al considerarse que la diferencia de potencia no es determinante en un pozo del Campo Caño Sur.

- Los tanques son estructuras, generalmente en forma cilíndrica, se utilizan para almacenar el lodo de perforación, se le dio un peso de 5%, porque se consideró poco relevante, y porque la diferencia entre los barriles que puede acumular no es tan grande, además de que se puede comprar más en caso de necesitarse.
- Las cargas son la cantidad de partes montables que tiene cada taladro, para armarse o desmontarse, a la hora de la movilización, de tal forma que entre menos tengas más rápida y fácilmente se puede mover de una locación a otra.

Es un factor importante, por lo que se le dio un peso de 9%, ya que dependiendo de las cargas depende el tiempo de *rig up* y *rig down*, lo que afecta directamente los tiempos en que se perfora, y si esta alquilada, el precio por los servicios prestados.

- Para movilizar un taladro por una zona remota o inaccesible, es necesario desmantelarlo, enviandolos a esa área, y en el lugar volviéndolo a ensamblar, los tiempos de perforación tienen en cuenta el tiempo en que tarda en llegar a lugar en que se necesita perforar.

Se consideró que este factor el 9%, porque al igual que con las cargas tiene influencia directa en el precio de alquiler, y puede llegar a retrasar una perforación, si es que existe algún problema en el traslado del taladro.

- El *rig up* es el proceso de descargue e instalación de los elementos necesarios para la perforación. En cambio, el *rig down* se realiza posterior a la perforación, es el proceso de desinstalación y cargue de los elementos previamente utilizados para la construcción del pozo.

Tanto al *rig up* como al *rig down* se les dio un peso igual a 9%, porque son los procesos que determinan el tiempo en que se comienza la perforación, son fundamentales para la movilización de los taladros a zonas remotas, y son fundamentales para el precio de alquiler.

- El valor es el precio que tiene cada taladro en el mercado actual (2018), es fijado por sus cualidades como: materiales, potencia, versatilidad, la competencia, entre otras. El valor es un factor fundamental a la hora de comprar un taladro, por lo que se le dio un peso de 7%, porque sirve para realizar flujos de caja, y escoger cual es más rentable.
- La vida útil es el tiempo operativo que se estima tiene un taladro, este es calculado mediante las experiencias previas con otros taladros similares, este factor está relacionado con la depreciación, por lo que es necesario tenerlo en cuenta.

A la vida útil se le concedió un peso de 5%, porque junto con el valor del taladro es fundamental para conocer lo rentable que puede llegar a ser, pero no se consideró tan importante ya que la diferencia entre la vida útil de los taladros es solo un estimado, que además no dio una diferencia significativa.

- Es el número de personas que son necesarias en la operación de perforar el pozo con cada taladro, entre más potente y grande es el taladro se necesita más personal.

El factor del personal se le dio un peso de 2%, debido a que de todas formas es necesario contratar una cantidad significativa de personas de la zona, y no se consideró muy determinante a la hora de seleccionar el taladro más indicado.

5.5.2 Resultados de la matriz de pozo. Los resultados de esta matriz fueron contundentes y se pueden observar de la **Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14,** y **Tabla 15**, cada tabla es la sub-matriz de cada taladro, en este orden: ADT-168, PW118, FOREMOST CTR, PW127 y P1013. Cada tabla presenta el valor, calificación y pesos ponderados que obtuvo cada taladro en los distintos factores que se analizaron.

Tabla 11. Matriz del pozo para taladro ADT-168

Peso	Factores	Peso	Valor	ADT-168		
				Calificación	Peso Ponderado	
0.35	Pozo	Fase 1	0.06	muy recomendable	4	0.24
		Fase 2	0.1	muy recomendable	4	0.4
	Litología	Consolidada	0.05	Poco recomendable	2	0.1
		Poco consolidada	0.05	muy recomendable	4	0.2
		Profundidad (ft)	0.02	5000	3	0.06
	Capacidad	Malacate (Hp)	0.06	200	2	0.12
		Top drive (ton)	0.09	75	3	0.27
		Mesa rotaria (lbs)	0.06	100000	2	0.12
		Potencia bombas (hp)	0.05	850	3	0.15
		Capacidad tanques (bbl)	0.05	200	3	0.15
		Cargas	0.09	12	4	0.36
		Movilización (hrs)	0.09	12	4	0.36
	Rig up/down (hrs)	0.09	12	4	0.36	
	Costos	Valor (USD)	0.07	2000000	2	0.14
		Vida útil (Años)	0.05	4	3	0.15
		Personal	0.02	22	3	0.06
	TOTAL		1			3.24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Matriz del pozo para taladro PW118

Peso	Factores	Peso	Valor	Pw118		
				Calificación	Peso Ponderado	
0.35	Pozo	Fase 1	0.06	muy recomendable	4	0.24
		Fase 2	0.1	muy recomendable	4	0.4
	Litología	Consolidada	0.05	Recomendable	3	0.15
		Poco consolidada	0.05	muy recomendable	4	0.2
		Profundidad (ft)	0.02	12000	4	0.08
	Capacidad	Malacate (Hp)	0.06	1000	4	0.24
		Top drive (ton)	0.09	250	4	0.36
		Mesa rotaria (lbs)	0.06	500000	4	0.24
		Potencia bombas (hp)	0.05	1000	4	0.2
		Capacidad tanques (bbl)	0.05	238	4	0.2
		Cargas	0.09	23	2	0.18
		Movilización (hrs)	0.09	24	2	0.18
	Rig up/down (hrs)	0.09	36	2	0.18	
	Costos	Valor (USD)	0.07	1500000	3	0.21
		Vida útil (Años)	0.05	6	4	0.2
		Personal	0.02	35	1	0.02
	TOTAL		1			3.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Matriz del pozo para taladro Foremost CTR

Peso	Factores	Peso	Foremost CTR Single Coil Tubing Hybrid Drilling Rig			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0.35	Pozo	Fase 1	0.06	muy recomendable	4	0.24
		Fase 2	0.1	muy recomendable	4	0.4
	Litología	Consolidada	0.05	Poco recomendable	2	0.1
		Poco consolidada	0.05	muy recomendable	4	0.2
		Profundidad (ft)	0.02	6000	4	0.08
	Capacidad	Malacate (Hp)	0.06	220	2	0.12
		Top drive (ton)	0.09	70	3	0.27
		Mesa rotaria (lbs)	0.06	140000	3	0.18
		Potencia bombas (hp)	0.05	700	2	0.1
		Capacidad tanques (bbl)	0.05	200	3	0.15
		Cargas	0.09	12	4	0.36
		Movilización (hrs)	0.09	12	4	0.36
	Rig up/down (hrs)	0.09	12	4	0.36	
	Costos	Valor (USD)	0.07	2000000	2	0.14
		Vida útil (Años)	0.05	4	3	0.15
		Personal	0.02	22	3	0.06
	TOTAL		1			3.27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Matriz del pozo para taladro PW127

Peso	Factores	Peso	Valor	pw127		
				Calificación	Peso Ponderado	
0.35	Pozo	Fase 1	0.06	muy recomendable	4	0.24
		Fase 2	0.1	muy recomendable	4	0.4
	Litología	Consolidada	0.05	recomendable	3	0.15
		Poco consolidada	0.05	muy recomendable	4	0.2
		Profundidad (ft)	0.02	10000	4	0.08
	Capacidad	Malacate (Hp)	0.06	550	2	0.12
		Top drive (ton)	0.09	250	4	0.36
		Mesa rotaria (lbs)	0.06	300000	4	0.24
		Potencia bombas (hp)	0.05	600	2	0.1
		Capacidad tanques (bbl)	0.05	238	4	0.2
		Cargas	0.09	23	2	0.18
		Movilización (hrs)	0.09	24	2	0.18
	Rig up/down (hrs)	0.09	36	2	0.18	
	Costos	Valor (USD)	0.07	1500000	3	0.21
		Vida útil (Años)	0.05	6	4	0.2
		Personal	0.02	35	1	0.02
		TOTAL	1			3.06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Matriz del pozo para taladro P1013

Peso	Factores	Peso	Valor	P1013		
				Calificación	Peso Ponderado	
0.35	Pozo	Fase 1	0.06	muy recomendable	4	0.24
		Fase 2	0.1	muy recomendable	4	0.4
	Litología	Consolidada	0.05	Poco recomendable	2	0.1
		Poco consolidada	0.05	muy recomendable	4	0.2
		Profundidad (ft)	0.02	6000	4	0.08
	Capacidad	Malacate (Hp)	0.06	400	2	0.12
		Top drive (ton)	0.09	50	2	0.18
		Mesa rotaria (lbs)	0.06	100000	2	0.12
		Potencia bombas (hp)	0.05	1150	4	0.2
		Capacidad tanques (bbl)	0.05	200	3	0.15
		Cargas	0.09	12	4	0.36
		Movilización (hrs)	0.09	12	4	0.36
	Costos	Rig up/down (hrs)	0.09	12	4	0.36
		Valor (USD)	0.07	2000000	2	0.14
		Vida útil (Años)	0.05	4	3	0.15
		Personal	0.02	22	3	0.06
	TOTAL		1			3.22

Fuente: Elaboración propio.

5.5.3 Análisis de la sub-matriz de Pozo. En esta sub-matriz, el mejor taladro fue el convencional de 1000 Hp, Pw118, debido a que tuvo una buena calificación en los factores de fases, capacidades, y costos, donde tuvieron de tres a cuatro de puntuación por su eficiencia, además que tuvo pocas puntuaciones de uno o dos. El peor taladro en esta sub-matriz fue en convencional de 500 Hp, Pw127, debido a que tuvo calificaciones inferiores a tres en la mayoría de los elementos. La puntuación que tuvieron los taladros que utilizan CT, ADT-168, FOREMOST, y P1013, tuvieron una valoración buena, pero no tanto como el Pw118, esto debido a que la mayoría de los factores tuvieron un tres, y pocos cuatros.

5.6 MATRIZ TÉCNICA

Los aspectos técnicos son todos los datos que están vinculados a los taladros, tales como potencia y peso que soporta cada parte que los compone, este aspecto es uno de los más importantes, por lo que el peso que se le dio fue 25%, debido a que es uno de los factores más determinantes en la comparación, porque los aspectos técnicos de los taladros presentan el comportamiento que este tendrá cuando se utilice, independiente del Campo, además, la parte técnica presenta todos los servicios y los costos básicos de los taladros.

La estructura de esta matriz se puede visualizar en la **Tabla 16**, donde en la sección uno se presenta el peso total de la matriz, en la sección dos los factores que se calificarán, en la sección tres el peso de cada uno de los factores, en la cuatro es la sección de cada uno de los taladros con una capacidad máxima de comparación de cinco taladros, la sección cinco el valor del factor para ese taladro en específico, el seis es la calificación obtenida según, la siete es el peso ponderado que relaciona la calificación con el peso del factor y la ocho es el resultado final del taladro para esta matriz.

Tabla 16. Secciones de la matriz técnica

PESO	FACTORES	PESO	ADT-168			PW118			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0,25	TORRE	Altura (ft)	0,05	75	3	0,15	120	4	0,2
		Subestructura (ft)	0,05	12	3	0,15	18	4	0,2
	MESA ROTARIA	Capacidad (lbs)	0,05	100000	2	0,1	500000	4	0,2
		Opening (in)	0,05	16	3	0,15	20,5	4	0,2
	TOP DRIVE	Capacidad (ton)	0,09	75	3	0,27	250	4	0,36
		Torque (ft/lbs)	0,095	12715	2	0,19	32000	4	0,38
		RPM	0,095	85	2	0,19	200	4	0,38
	MALACATE	Hidrido	0,04	si	4	0	no	1	0
		Potencia (Hp)	0,05	200	2	0,1	1000	4	0,2
	BOP ACUMULADOR	Capacidad (lbs)	0,035	100000	2	0,07	410000	3	0,105
		WP (Psi)	0,005	5000	4	0,02	5000	4	0,02
	BOMBAS	Size (in)	0,005	9	3	0,015	11	3	0,015
		Numero	0,005	2	4	0,02	2	4	0,02
		Tipo	0,005	triplex	4	0,02	triplex	4	0,02
		Poder (Hp/u)	0,005	850	3	0,015	1000	4	0,02
	SERVICIOS	Perforar	0,09	si	4	0,36	si	4	0,36
		Re-entradas	0,03	si	4	0,12	no	1	0,03
		Cementacion	0,02	si	4	0,08	no	1	0,02
		Registros	0,02	si	4	0,08	no	1	0,02
	AMBIENTAL	Corazonamiento	0,02	si	4	0,08	no	1	0,02
		Daño al ambiente	0,02	Medio	3	0,06	Muy alto	1	0,02
	OTROS	Cargas	0,05	12	4	0,2	23	2	0,1
		Paradas	0,07	no	4	0,28	si	1	0,07
		Rig Up (Hrs)	0,015	12	4	0,06	36	1	0,015
		Rig Down (Hrs)	0,015	12	4	0,06	36	1	0,015
		Personal	0,01	22	3	0,03	35	1	0,01
	TOTAL		1			2,91			3,01

Fuente: Elaboración propia

5.6.1 Factores de la matriz técnica. En la **Tabla 17** se pueden observar los diversos factores con sus respectivos pesos que se tuvieron en cuenta para desarrollar la matriz técnica. A cada factor se le dio un peso ponderado dependiendo de la importancia y potencial que se pudiera ver reflejada en el proyecto.

Tabla 17. Pesos matriz técnica

Factores		Peso
TORRE	Altura (ft)	0.05
	Subestructura (ft)	0.05
MESA ROTARIA	Capacidad (lbs)	0.05
	Opening (in)	0.05
TOP DRIVE	Capacidad (ton)	0.09
	Torque (ft/lbs)	0.095
	RPM	0.095
MALACATE	Hibrido	0.04
	Potencia (Hp)	0.05
BOP ACUMULADOR	Capacidad (lbs)	0.035
	WP (Psi)	0.005
BOMBAS	Size (in)	0.005
	Número	0.005
	Tipo	0.005
SERVICIOS	Poder (Hp/u)	0.005
	Perforar	0.09
	Re-entradas	0.03
	Cementación	0.02
AMBIENTAL	Registros	0.02
	Corazonamiento	0.02
	Daño al ambiente	0.02
OTROS	Cargas	0.05
	Paradas	0.07
	Rig Up (Hrs)	0.015
	Rig Down (Hrs)	0.015
	Personal	0.01
	Conexiones	0.01
TOTAL		1

Fuente: Elaboración propia

- Las torres de perforación son estructuras que soportan los bloques de corona y la sarta, normalmente tienen forma piramidal, mostrando una buena relación peso resistencia, estas son complicadas de trasladar en solo una pieza, por lo que son desensamblarlas.

La altura es la longitud que tiene esta, y funciona como indicador para la capacidad de operar parejas, ya sean dobles o triples. Este elemento tiene un peso de 5% debido a que no es fundamental en el proceso de perforación.

La subestructura es un marco compuesto de acero para soportar las herramientas y equipos de perforación, la altura de la sub estructura determina el tipo de equipos. Este factor tiene un peso igual a 5%, porque solo indica la capacidad de soporte que la subestructura tiene, no es determinante a la hora de seleccionar taladro.

- La mesa rotaria, es un factor que se considera tanto en la sub-matriz de Pozos como en la Técnica, debido a que en la primera solo se tiene en cuenta la capacidad respecto al pozo, en la Técnica se considera también su *Opening*, y es más general.

La capacidad de la mesa rotaria como ya se mencionó es la carga muerta de masa que puede soportar, la unidad es libras. El peso de este factor es 5%, debido a que todos los taladros que se comparan en este estudio soportan de manera efectiva el peso de la tubería.

El *Opening* se refiere al tamaño del hueco de la mesa rotaria, se le dio un peso es 5%, por considerarse poco vital para la perforación comparado con otros factores, además de que la diferencia de este factor entre los taladros comparados es muy pequeña.

- El Top Drive aparece también en el factor técnico, esta vez no se ve desde el punto de vista del Campo, si no, en general, además de que se considera también su torque y RPM que puede alcanzar, y si puede funcionar con ambos tipos de tubería.

La capacidad del *Top Drive* como ya se ha mencionado se refiere al peso que es capaz de soportar, en toneladas, a mayor peso mayor rotación, lo que la convierte en uno de los factores más importantes cuando se comparan los taladros debido a los RPM que puede alcanzar, como ya se ha mencionado pese a que la capacidad de todos los taladros escogidos es suficiente para la formación, se decidió darle un peso 9%.

Otro factor es el torque o el esfuerzo de torsión, que genera un giro sobre el cuerpo que lo recibe, la unidad en que se mide son libras sobre pies, y al igual que con la capacidad del *top drive* es un factor muy relevante, por lo que el peso es 9.5%, debido a que entre más torque sea capaz de soportar, más RPM puede alcanzar.

El siguiente factor referente al *Top Drive* son los RPM (revoluciones por minuto) que es capaz de alcanzar la sarta de perforación, como su nombre indica son las vueltas completas que alcanza a dar en un minuto. Es un factor con peso de 9.5%, ya que dependiendo del sistema rotatorio del taladro se perfora, lo que lo convierte en un factor muy importante.

El último elemento que se considera es si es híbrido o no, haciendo referencia a si se puede usar tanto tubería flexible como tubería convencional, se le asignó un peso de 4% ya que al ser híbrido obtiene beneficioso de ambos tipos de tubería, pero no es necesario que lo sea.

- Otro factor que comparten la sub-matrices de Pozos y Técnico es el malacate, debido a que en esta sub-matriz se tiene en cuenta solo la parte técnica, y no tanto el comportamiento respecto al Campo Caño Sur Este.

La potencia, que ya se ha mencionado, es muy importante para cumplir con sus funciones, la potencia se expresa en *horsepower* (hp) o caballos de fuerza. Debido a que es solo la parte que enrolla y desenrolla el cable de perforación, se considera relevante, pero no fundamental para seleccionar ya que cada taladro tiene más que suficiente en formaciones poco consolidadas, por eso el peso es 5%.

Además de la potencia, también se evalúa la capacidad del malacate para soportar el peso de la tubería, que se da en libras, puesto que los taladros comparados en este proyecto son capaces de resistir una tubería lo suficientemente larga que sea capaz de llegar hasta el objetivo, el peso de este factor es 3.5%.

- Los acumuladores almacenan energía hidráulica para cuando es necesario un cierre rápido del BOP. Funcionan mediante presión. En el BOP acumulador se seleccionaron dos elementos: la presión que puede manejar y el tamaño. Ambos se consideraron elementos de 0.5% peso, debido a que no influencia la comparación de los taladros.
- En el caso de las bombas, se tiene en cuenta, además de la ya mencionada potencia, si es triplex y el número de unidades que trae. El número de bombas que se utiliza puede ser para que una se utilice mientras la otra está en mantenimiento, o para cumplir con el flujo necesario de lodo, de tal forma de que no haya inconvenientes, sin embargo, ya que todos los taladros comparados tenían dos bombas, se consideró que el peso de este factor es 0.5%.

El tipo de bombas que se utilizan se refiere a si son dúplex o triplex, es decir, si tienen doble pistón o triple, lo que puede diferenciar entre baja o alta presión de descarga. Como todos los taladros que se están comparando utilizan bombas triplex se optó por ponerle un peso 0.5% ya que no es determinante.

El poder de las bombas expresada en caballos de potencia (hp), debido a que la diferencia entre la potencia de las bombas en cada taladro es “pequeña” se le asignó un peso 0.5%.

- La operación de perforación es el proceso mediante el cual se taladra un hueco en la tierra, que posteriormente se denomina pozo, con el fin de conectar el fondo con superficie, y extraer crudo.

El peso de este factor es 9%, ya que en si es el objetivo por el que se comparan y evalúan los taladros en este proyecto, sin embargo, es todos los taladros son capaces y son muy recomendables para realizar este proceso.

- Las re-entradas es el proceso en que se perfora desde pozos preexistentes, para re-perforar un nuevo hoyo en vertical o direccional. El peso de este elemento es 3% ya que es solo un servicio extra que ofrece el taladro, y no es tan relevante, excepto en el precio.

- La cementación es el proceso que consiste en formar una lechada que es bombeada al pozo, de tal forma que se solidifique, con el fin de proteger y asegurar el hoyo, y aislar zonas.

La cementación tiene un peso 2%, debido a que es un servicio adicional que se facilita con la unidad de *coiled tubing*, en cambio, para un taladro convencional es un poco más complicado, por lo que es un elemento poco importante a la hora de seleccionar taladros.

- Los registros son una medición que se hace en relación con el tiempo o la profundidad, mediante un cable que obtiene datos de fondo y se transmite hasta superficie. Se realizan con el objetivo de conocer la calidad del cemento del pozo, conocer la temperatura y presión en el fondo, la porosidad, entre otras.

Los registros no son fundamentales para comparar taladros debido a que es un servicio adicional de la unidad de *coiled tubing*, por lo que su peso es 2%, con respecto a otros elementos más importantes.

- El corazonamiento es el proceso mediante el cual se obtiene un cilindro continuo de roca de la Formación llamado núcleo, sin dañar ni alterar sus propiedades, porque este núcleo es una muestra de interés para conocer las propiedades del yacimiento. El corazonamiento al igual que los factores anteriores no es determinante a la hora de comparar los taladros, por lo que el peso es 2%.

- El daño ambiental es toda afectación negativa a las condiciones ambientales, la mayor razón para el daño ambiental es la contaminación del aire, agua y suelo, lo que provoca un detrimento de flora y fauna.

Este elemento recibió un peso 2% debido a que el taladro por sí solo no daña el ambiente, pero las actividades antes, y después de su utilización si lo dañan. Además de que independientemente del taladro, siempre va a haber un daño al ecosistema de la zona.

- Las cargas, es otro elemento que se consideró en ambas submatrices, debido a que dependiendo de la cantidad de partes montables que tiene cada taladro, es la logística que se necesita, y técnicamente en uno de los factores más relevantes.

Se le dio un peso 5%, porque está relacionado con el tiempo de *rig up* y *rig down*, y todo lo referente a la logística en movilización lo que repercute en los tiempos en que se perfora.

- Las paradas se refiere al tiempo en que el taladro está sin operar debido a que se está haciendo otro proceso, como sacar la tubería, o que se está conectando otra tubería rígida (inconveniente que se soluciona con el uso del *coiled tubing* para perforar).
Este factor repercute en los tiempos de perforación, haciendo que sea más lenta esta operación, y también puede ocasionar pegas de tubería, razón por la cual el peso que se le dio es 7%.
- Los tiempos de *rig up* y *rig down*, se les designo un peso 1.5%, ya que son determinantes el tiempo en que se comienza la perforación, porque el tiempo en que se arma el taladro puede producir un retraso, y si después es necesario desarmar, movilizar y armar nuevamente puede ocasionar que una campaña de perforación se demore.
- Al personal se le otorgó un peso 1%, porque entre más grande y potente el taladro, se necesita más personal para manejarlo y controlarlo, por lo que se tiene en cuenta, pero no es tan importante para seleccionar un taladro, es más importante las características técnicas.
- Las conexiones se refiere al hecho de que se necesita conectar de una en una las tuberías rígidas, de tal forma que se alcance la Formación Carbonera, más precisamente las Areniscas Basales, a este factor se le dio un peso de 1%, debido al hecho de las perforaciones con *coiled tubing* no necesitan conexiones.

5.6.2 Resultados matriz técnica. Los resultados de esta matriz fueron contundentes y se pueden ver de la **Tabla 18** a la **Tabla 22**, la superioridad de los taladros híbridos o de tubería flexible con respecto a los taladros convencionales.

La **Tabla 18** muestra los resultados del taladro ADT-168 en esta matriz, mediante el valor que tuvo el taladro en cada factor, la calificación, el peso ponderado y la sumatoria de este último, además de presentar los pesos respectivos a cada elemento.

Tabla 18. Matriz técnica para taladro ADT-168

Peso	Factores	Peso	ADT-168			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0.25	TORRE	Altura (ft)	0.05	75	3	0.15
		Subestructura (ft)	0.05	12	3	0.15
	MESA ROTARIA	Capacidad (lbs)	0.05	100000	2	0.1
		Opening (in)	0.05	16	3	0.15
	TOP DRIVE	Capacidad (ton)	0.09	75	3	0.27
		Torque (ft/lbs)	0.095	12715	2	0.19
		RPM	0.095	85	2	0.19
		Hibrido	0.04	Si	4	0
	MALACATE	Potencia (Hp)	0.05	200	2	0.1
		Capacidad (lbs)	0.035	100000	2	0.07
	BOP ACUMULADOR	WP (Psi)	0.005	5000	4	0.02
		Size (in)	0.005	9	3	0.015
	BOMBAS	Numero	0.005	2	4	0.02
		Tipo	0.005	triplex	4	0.02
		Poder (Hp/u)	0.005	850	3	0.015
	SERVICIOS	Perforar	0.09	Si	4	0.36
		Re-entradas	0.03	Si	4	0.12
		Cementación	0.02	Si	4	0.08
		Registros	0.02	Si	4	0.08
		Corazonamiento	0.02	Si	4	0.08
	AMBIENTAL	Daño al ambiente	0.02	Medio	3	0.06
	OTROS	Cargas	0.05	12	4	0.2
		Paradas	0.07	No	4	0.28
Rig Up (Hrs)		0.015	12	4	0.06	
Rig Down (Hrs)		0.015	12	4	0.06	
Personal		0.01	22	3	0.03	
Conexiones		0.01	No	4	0.04	
TOTAL			1		2.91	

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 19** muestra los resultados del taladro PW118 en esta matriz, mediante el valor que tuvo el taladro en cada factor, la calificación, el peso ponderado y la sumatoria de este último, además de presentar los pesos respectivos a cada elemento.

Tabla 19. Matriz técnica para taladro PW118

Peso	Factores	Peso	PW118			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0.25	TORRE	Altura (ft)	0.05	120	4	0.2
		Subestructura (ft)	0.05	18	4	0.2
	MESA ROTARIA	Capacidad (lbs)	0.05	500000	4	0.2
		Opening (in)	0.05	20.5	4	0.2
	TOP DRIVE	Capacidad (ton)	0.09	250	4	0.36
		Torque (ft/lbs)	0.095	32000	4	0.38
		RPM	0.095	200	4	0.38
		Hibrido	0.04	no	1	0
	MALACATE	Potencia (Hp)	0.05	1000	4	0.2
		Capacidad (lbs)	0.035	410000	3	0.105
	BOP ACUMULADOR	WP (Psi)	0.005	5000	4	0.02
		Size (in)	0.005	11	3	0.015
	BOMBAS	Numero	0.005	2	4	0.02
		Tipo	0.005	triplex	4	0.02
		Poder (Hp/u)	0.005	1000	4	0.02
	SERVICIOS	Perforar	0.09	si	4	0.36
		Re-entradas	0.03	no	1	0.03
		Cementación	0.02	no	1	0.02
		Registros	0.02	no	1	0.02
		Corazonamiento	0.02	no	1	0.02
	AMBIENTAL	Daño al ambiente	0.02	Muy alto	1	0.02
	OTROS	Cargas	0.05	23	2	0.1
		Paradas	0.07	si	1	0.07
Rig Up (Hrs)		0.015	36	1	0.015	
Rig Down (Hrs)		0.015	36	1	0.015	
Personal		0.01	35	1	0.01	
Conexiones		0.01	si	1	0.01	
TOTAL			1			3.01

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 20** muestra los resultados del taladro FOREMOST CTR en esta matriz, mediante el valor que tuvo el taladro en cada factor, la calificación, el peso ponderado y la sumatoria de este último, además de presentar los pesos respectivos a cada elemento.

Tabla 20. Matriz técnica para taladro Foremost CTR

Peso	Factores	Peso	FOREMOST CTR SINGLE COIL TUBING HYBRID DRILLING RIG			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0.25	TORRE	Altura (ft)	0.05	85	4	0.2
		Subestructura (ft)	0.05	12	3	0.15
	MESA ROTARIA	Capacidad (lbs)	0.05	140000	3	0.15
		Opening (in)	0.05	16	3	0.15
	TOP DRIVE	Capacidad (ton)	0.09	70	3	0.27
		Torque (ft/lbs)	0.095	13000	2	0.19
		RPM	0.095	100	2	0.19
		Hibrido	0.04	no	1	0
	MALACATE	Potencia (Hp)	0.05	220	2	0.1
		Capacidad (lbs)	0.035	95000	1	0.035
	BOP ACUMULADOR	WP (Psi)	0.005	3000	3	0.015
		Size (in)	0.005	9	3	0.015
	BOMBAS	Numero	0.005	2	4	0.02
		Tipo	0.005	triplex	4	0.02
		Poder (Hp/u)	0.005	700	2	0.01
	SERVICIOS	Perforar	0.09	si	4	0.36
		Re-entradas	0.03	si	4	0.12
		Cementación	0.02	si	4	0.08
		Registros	0.02	si	4	0.08
		Corazonamiento	0.02	si	4	0.08
	AMBIENTAL	Daño al ambiente	0.02	Medio	3	0.06
	OTROS	Cargas	0.05	12	4	0.2
		Paradas	0.07	no	4	0.28
Rig Up (Hrs)		0.015	12	4	0.06	
Rig Down (Hrs)		0.015	12	4	0.06	
Personal		0.01	22	3	0.03	
Conexiones		0.01	no	4	0.04	
TOTAL			1			2.775

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 21** muestra los resultados del taladro PW127 en esta matriz, mediante el valor que tuvo el taladro en cada factor, la calificación, el peso ponderado y la sumatoria de este último, además de presentar los pesos respectivos a cada elemento.

Tabla 21. Matriz técnica para taladro PW127

Peso	Factores	Peso	PW127			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0.25	TORRE	Altura (ft)	0.05	104	4	0.2
		Subestructura (ft)	0.05	15	4	0.2
	MESA ROTARIA	Capacidad (lbs)	0.05	300000	4	0.2
		Opening (in)	0.05	17.5	3	0.15
	TOP DRIVE	Capacidad (ton)	0.09	250	4	0.36
		Torque (ft/lbs)	0.095	24000	3	0.285
		RPM	0.095	200	4	0.38
		Hibrido	0.04	no	1	0
	MALACATE	Potencia (Hp)	0.05	550	2	0.1
		Capacidad (lbs)	0.035	270000	3	0.105
	BOP ACUMULADOR	WP (Psi)	0.005	5000	4	0.02
		Size (in)	0.005	11	3	0.015
	BOMBAS	Numero	0.005	2	4	0.02
		Tipo	0.005	triplex	4	0.02
		Poder (Hp/u)	0.005	600	2	0.01
	SERVICIOS	Perforar	0.09	si	4	0.36
		Re-entradas	0.03	no	1	0.03
		Cementación	0.02	no	1	0.02
		Registros	0.02	no	1	0.02
		Corazonamiento	0.02	no	1	0.02
	AMBIENTAL	Daño al ambiente	0.02	alto	2	0.04
	OTROS	Cargas	0.05	23	2	0.1
		Paradas	0.07	si	1	0.07
Rig Up (Hrs)		0.015	36	1	0.015	
Rig Down (Hrs)		0.015	36	1	0.015	
Personal		0.01	35	1	0.01	
Conexiones		0.01	si	1	0.01	
TOTAL			1		2.775	

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 22** muestra los resultados del taladro P1013 en esta matriz, mediante el valor que tuvo el taladro en cada factor, la calificación, el peso ponderado y la sumatoria de este último, además de presentar los pesos respectivos a cada elemento.

Tabla 22. Matriz técnica para taladro P1013

Peso	Factores	Peso	P1013			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0.25	TORRE	Altura (ft)	0.05	65	3	0.15
		Subestructura (ft)	0.05	12	3	0.15
	MESA ROTARIA	Capacidad (lbs)	0.05	100000	2	0.1
		Opening (in)	0.05	16	3	0.15
	TOP DRIVE	Capacidad (ton)	0.09	50	2	0.18
		Torque (ft/lbs)	0.095	14000	2	0.19
		RPM	0.095	225	4	0.38
		Hibrido	0.04	si	4	0
	MALACATE	Potencia (Hp)	0.05	400	2	0.1
		Capacidad (lbs)	0.035	100000	2	0.07
	BOP ACUMULADOR	WP (Psi)	0.005	3050	3	0.015
		Size (in)	0.005	9	3	0.015
	BOMBAS	Numero	0.005	2	4	0.02
		Tipo	0.005	triplex	4	0.02
		Poder (Hp/u)	0.005	1150	4	0.02
	SERVICIOS	Perforar	0.09	si	4	0.36
		Re-entradas	0.03	si	4	0.12
		Cementación	0.02	si	4	0.08
		Registros	0.02	si	4	0.08
		Corazonamiento	0.02	si	4	0.08
	AMBIENTAL	Daño al ambiente	0.02	Medio	3	0.06
	OTROS	Cargas	0.05	12	4	0.2
		Paradas	0.07	no	4	0.28
		Rig Up (Hrs)	0.015	12	4	0.06
Rig Down (Hrs)		0.015	12	4	0.06	
Personal		0.01	22	3	0.03	
Conexiones		0.01	no	4	0.04	
TOTAL			1			3.01

Fuente: Elaboración propia

5.6.3 Análisis de la sub-matriz de Técnica. En esta sub-matriz, hubo un empate entre el Pw118 y el P1013, el primero porque tuvo calificación de cuatro en especificaciones, pero de uno en servicios, ambiental y otros; el segundo, tuvo puntuación de cuatro en servicios y otros, y una valoración de dos y tres en servicios. También hubo empate entre el FOREMOST y el Pw127, como los peores, el primero debido a que tuvo una puntuación inferior a tres en especificaciones, y el segundo, una puntuación de uno en servicios. Finalmente, el

ADT-168 obtuvo una valoración de cuatro en servicios y otros, y una puntuación inferior a tres en las especificaciones.

5.7 MATRIZ FINANCIERA

Los aspectos financieros son todos los datos relacionados con los precios y los flujos de caja que se pueden realizar, es un factor importante, debido a que demuestra la rentabilidad que tiene cada taladro a la hora de realizar una campaña en el Campo Caño Sur Este, por lo que su peso es 30%.

En este factor se consideraron elemento que ya se han mencionado, pero esta vez desde una perspectiva financiera, por lo que su peso puede cambiar respecto a los demás.

La estructura de esta matriz se puede visualizar en la **Tabla 23**, donde en la sección uno encontramos el peso total de la matriz, en la sección dos los factores que se calificarán, en la sección tres el peso de cada uno de los factores, en la cuatro es la sección de cada uno de los taladros con una capacidad máxima de comparación de 5 taladros, la sección cinco el valor del factor para ese taladro en específico, el seis es la calificación obtenida según, la siete es el peso ponderado que relaciona la calificación con el peso del factor y la ocho es el resultado final del taladro para esta matriz.

Tabla 23. Secciones de la matriz financiera

PESO	Factores	PESO	ADT-168			PW118			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0,3	Costo unidad (USD)	0,08	\$ 2.000.000,00	2	0,16	\$ 1.500.000,00	3	0,24	
	Costoso localización (USD)	0,05	\$ 50.000,00	4	0,2	\$ 200.000,00	1	0,05	
	Vida Util (Años)	0,08	4	3	0,24	6	4	0,32	
	Vida util tubería de perforacion	0,04	CT	1	0,04	TR	4	0,16	
	Personal	0,05	22	3	0,15	35	1	0,05	
	TIEMPOS SECCION HORIZONTAL	Movilizacion (hrs)	0,08	12	4	0,32	24	2	0,16
		Perforar (hrs)	0,1	68	4	0,4	364,4	1	0,1
	TIEMPOS SECCION VERTICAL	Movilizacion (hrs)	0,08	12	4	0,32	24	2	0,16
		Perforar (hrs)	0,1	66,8	4	0,4	324,8	2	0,2
	TIEMPOS	Rig down (hrs)	0,08	12	4	0,32	36	2	0,16
		Rig up (hrs)	0,08	12	4	0,32	36	2	0,16
	SERVICIOS OFRECIDOS	Re-entradas	0,05	si	4	0,2	no	1	0,05
		Cementacion	0,05	si	4	0,2	no	1	0,05
		Registros	0,04	si	4	0,16	no	1	0,04
		Corazonamiento	0,04	si	4	0,16	no	1	0,04
	TOTAL		1			3,59			1,94

Fuente: Elaboración propia

5.7.1 Factores de la matriz financiera. En la **Tabla 24** se pueden observar los diversos factores con sus respectivos pesos que se tuvieron en cuenta para desarrollar la matriz financiera. A cada factor se le dio un peso ponderado

dependiendo de la importancia y potencial que se pudiera ver reflejada en el proyecto.

Tabla 24. Pesos matriz financiera

Factores		Peso
Costo unidad (USD)		0.08
Costos localización (USD)		0.05
Vida Útil (Años)		0.08
Vida útil tubería de perforación		0.04
Personal		0.05
Tiempos sección horizontal	Movilización (hrs)	0.08
	Perforar (hrs)	0.1
Tiempos sección vertical	Movilización (hrs)	0.08
	Perforar (hrs)	0.1
Tiempos	Rig down (hrs)	0.08
	Rig up (hrs)	0.08
	Re-entradas	0.05
Servicios ofrecidos	Cementación	0.05
	Registros	0.04
	Corazonamiento	0.04
Total		1

Fuente: Elaboración propia

- El costo de la unidad es el mismo valor, que ya se ha mencionado anteriormente, esta vez, desde la perspectiva financiera; se le otorgó un peso 8%, debido a que es el factor fundamental a la hora de comprar o alquilar un taladro, este elemento se relaciona con los beneficios que se pueden obtener, y posteriormente se decide cual es más rentable.
- Es el costo de preparación del área para poder instalar el taladro, procedimientos como cortar árboles, aplazar el terreno, cementar, entre otros. El peso se le otorgo es de 5%, debido a que es un gasto importante que se debe realizar para que se puedan utilizar, sin embargo, no tuvo un valor mayor, porque no es tan importante para elegir entre ellos.
- La vida útil es otro factor que se repite en esta sub-matriz, a este elemento se le concedió un peso equivalente al 8%, ya que es el tiempo en que los taladros funcionan y está relacionado con el concepto de la depreciación, por lo que se tiene en cuenta cuantos años alcanza a operar antes de que se tenga que cambiar.

- La vida útil de una tubería convencional, y de una tubería de *coiled tubing* difiere en cuantos viajes alcanza a realizar, los taladros convencionales funcionan solo con tubería rígida, los de CTD con tubería flexible, y los híbridos con ambas; se consideró que un peso suficiente sería un 4%, debido al hecho de que la tubería flexible pese a durar menos, es más barata, por lo que pese a que tiene incidencia en la selección de taladros, no es algo fundamental.
- El personal se refiere a todas las personas involucradas en la operación de perforación, pues esto puede hacer que este trabajo sea más o menos costoso, como ya se ha expuesto, entre más grande es necesario más personas trabajando; se le asignó un valor de 5%, puesto que se consideró que es un factor poco determinante para escoger un taladro.
- La movilización es el tiempo que se demora la acción de movilizar el taladro dentro de la misma locación, se le otorgó un 8%, debido a que puede esta acción puede retrasar o no los tiempos estimados, lo que puede ocasionar un aumento en costo, el tiempo que se pone en la sub-matriz es un estimado.
- La perforación en el caso de la sub-matriz financiera, se refiere al tiempo en que se demora en realizar la operación de perforación, en la sección vertical, y en la sección horizontal; es un factor con gran relevancia por lo que se le concedió un valor de 10%, pues es el elemento que más tiempo puede demorar, además de que es la perforación es la razón de la utilización de los taladros.
- El Rig up /down es el tiempo en que se tarda las operaciones de *rig up* y *rig down*, a mayor tiempo, mayores costos, y atrasa la operación de perforación en caso de que sea *rig up*, en el caso de *rig down* puede ocasionar un retardo en la movilización, por lo que se le dio un peso equivalente a 8%.
- Los servicios que se realizan con la misma unidad, en este caso, la unidad de *coiled tubing* puede realizar varios procesos, lo que permite una disminución de costos respecto a un taladro convencional, que necesita otras unidades para realizarlos, se determinó que dependiendo de la importancia para la perforación, de los servicios se tendrían un peso, por lo que re-entradas y cementación tiene un 5%; y registro y corazonamiento que son más para obtención de datos tienen un 4%.

5.7.2 Resultados de la matriz financiera. Los resultados de esta matriz fueron contundentes y se presentan en la **Tabla 25, Tabla 26, Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29**, cada tabla es un taladro diferente, ADT-168, PW118, FOREMOST CTR, PW 127 y P1013, respetivamente. Cada tabla presenta el valor, la calificación, y el peso ponderado, que obtuvo cada taladro en cada factor.

Tabla 25. Matriz financiera para taladro ADT-168

Peso	Factores		Peso	ADT-168			
				Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0.3	Costo unidad (USD)		0.08	2000000	2	0.16	
	Costoso localización (USD)		0.05	50000	4	0.2	
	Vida Útil (Años)		0.08	4	3	0.24	
	Vida útil tubería de perforación		0.04	CT	1	0.04	
	Personal		0.05	22	3	0.15	
	Tiempos sección horizontal		Movilización (hrs)	0.08	12	4	0.32
			Perforar (hrs)	0.1	68	4	0.4
	Tiempos sección vertical		Movilización (hrs)	0.08	12	4	0.32
			Perforar (hrs)	0.1	147.8	4	0.4
	Tiempos		Rig down (hrs)	0.08	12	4	0.32
			Rig up (hrs)	0.08	12	4	0.32
	Servicios ofrecidos		Re-entradas	0.05	Si	4	0.2
			Cementación	0.05	Si	4	0.2
			Registros	0.04	Si	4	0.16
			Corazonamiento	0.04	Si	4	0.16
Total			1			3.59	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Matriz financiera para taladro PW118

Peso	Factores		Peso	Valor	PW118		
					Calificación	Peso Ponderado	
0.3	Costo unidad (USD)		0.08	1500000	3	0.24	
	Costoso localización (USD)		0.05	200000	1	0.05	
	Vida Útil (Años)		0.08	6	4	0.32	
	Vida útil tubería de perforación		0.04	TR	4	0.16	
	Personal		0.05	35	1	0.05	
	Tiempos sección horizontal		Movilización (hrs)	0.08	24	2	0.16
			Perforar (hrs)	0.1	364.4	1	0.1
	Tiempos sección vertical		Movilización (hrs)	0.08	24	2	0.16
			Perforar (hrs)	0.1	324.8	2	0.2
	Tiempos		Rig down (hrs)	0.08	36	2	0.16
			Rig up (hrs)	0.08	36	2	0.16
	Servicios ofrecidos		Re-entradas	0.05	No	1	0.05
			Cementación	0.05	No	1	0.05
			Registros	0.04	No	1	0.04
			Corazonamiento	0.04	No	1	0.04
Total			1			1.94	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Matriz financiera para taladro Foremost CTR

Peso	Factores	Peso	FOREMOST CTR SINGLE COIL TUBING HYBRID DRILLING RIG			
			Valor	Calificación	Peso Ponderado	
0.3	Costo unidad (USD)	0.08	2000000	2	0.16	
	Costoso localización (USD)	0.05	50000	4	0.2	
	Vida Útil (Años)	0.08	4	3	0.24	
	Vida útil tubería de perforación	0.04	CT	1	0.04	
	Personal	0.05	22	3	0.15	
	Tiempos sección horizontal	Movilización (hrs)	0.08	12	4	0.32
		Perforar (hrs)	0.1	68	4	0.4
	Tiempos sección vertical	Movilización (hrs)	0.08	12	4	0.32
		Perforar (hrs)	0.1	147.8	4	0.4
	Tiempos	Rig down (hrs)	0.08	12	4	0.32
		Rig up (hrs)	0.08	12	4	0.32
	Servicios ofrecidos	Re-entradas	0.05	si	4	0.2
		Cementación	0.05	si	4	0.2
		Registros	0.04	si	4	0.16
		Corazonamiento	0.04	si	4	0.16
Total		1			3.59	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Matriz financiera para taladro PW127

Peso	Factores	Peso	Valor	PW127		
				Calificación	Peso Ponderado	
0.3	Costo unidad (USD)	0.08	1500000	3	0.24	
	Costoso localización (USD)	0.05	200000	1	0.05	
	Vida Útil (Años)	0.08	6	4	0.32	
	Vida útil tubería de perforación	0.04	TR	4	0.16	
	Personal	0.05	35	1	0.05	
	Tiempos sección horizontal	Movilización (hrs)	0.08	24	2	0.16
		Perforar (hrs)	0.1	364.4	1	0.1
	Tiempos sección vertical	Movilización (hrs)	0.08	24	2	0.16
		Perforar (hrs)	0.1	324.8	2	0.2
	Tiempos	Rig down (hrs)	0.08	36	2	0.16
		Rig up (hrs)	0.08	36	2	0.16
	Servicios ofrecidos	Re-entradas	0.05	No	1	0.05
		Cementación	0.05	No	1	0.05
		Registros	0.04	No	1	0.04
		Corazonamiento	0.04	No	1	0.04
	Total		1			1.94

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Matriz financiera para taladro P1013

Peso	Factores	Peso	Valor	P1013		
				Calificación	Peso Ponderado	
0.3	Costo unidad (USD)	0.08	2000000	2	0.16	
	Costoso localización (USD)	0.05	50000	4	0.2	
	Vida Útil (Años)	0.08	4	3	0.24	
	Vida útil tubería de perforación	0.04	CT	1	0.04	
	Personal	0.05	22	3	0.15	
	Tiempos sección horizontal	Movilización (hrs)	0.08	12	4	0.32
		Perforar (hrs)	0.1	68	4	0.4
	Tiempos sección vertical	Movilización (hrs)	0.08	12	4	0.32
		Perforar (hrs)	0.1	147.8	4	0.4
	Tiempos	Rig down (hrs)	0.08	12	4	0.32
		Rig up (hrs)	0.08	12	4	0.32
	Servicios ofrecidos	Re-entradas	0.05	si	4	0.2
		Cementación	0.05	si	4	0.2
		Registros	0.04	si	4	0.16
		Corazonamiento	0.04	si	4	0.16
Total		1			3.59	

Fuente: Elaboración propia.

5.7.3 Análisis de la sub-matriz de Financiero. En esta sub-matriz, hubo un empate entre el ADT-168, el FOREMOST, y el P1013, teniendo una valoración de cuatro en vida útil, en tiempos, y servicios ofrecidos, una puntuación de tres en vida útil y personal, y una calificación dos en costo de unidad. También hubo un empate como los peores entre los taladros convencionales Pw118 y Pw127, porque tuvieron una valoración de uno en servicios y costo de localización, una calificación de dos en tiempos de movilización, y solo les fue bien en vida útil y costos de la unidad.

5.8 MATRIZ AMBIENTAL

Los aspectos ambientales son todos los datos conectados con el impacto que puede tener una perforación petrolera en el medio ambiente, incluyendo los aspectos sociales. Pese a la gran importancia de este factor se consideró que su peso debía ser 10%, porque no es un elemento que se tome en cuenta a la hora de escoger un taladro. Además en la sub-matriz ambiental, no se realiza una matriz competitiva, sino una de impacto ambiental, debido a que se consideró más adecuada para analizar la repercusión en el ambiente, por lo que los elementos en la sub-matriz no tienen peso.

La estructura de esta matriz se puede visualizar en **Tabla 30**, donde en la sección uno encontramos el tipo de taladro a calificar, en la sección dos los factores que se calificaran y en la sección tres la calificación dada a cada factor según su característica.

Tabla 30. Secciones de la matriz ambiental

		FACTORES											
		NATURALEZA	EXTENSION	PERSISTENCIA	SINERGIA	EFECTO	RECUPERABILIDAD	INTENSIDAD	MOMENTO	REVERSIBILIDAD	ACUMULACION	PERIODICIDAD	
TALADROS DE COILED TUBING	AIRE	Calidad aire	-1	4	2	1	4	4	2	4	2	4	2
		Nivel de olores	-1	1	1	1	4	2	1	4	1	1	1
		Nivel de ruido	-1	2	1	4	4	1	3	4	1	1	1
	AGUA	Calidad del agua	-1	4	2	2	4	4	3	4	2	4	2
		Vertimiento	-1	4	2	2	4	4	3	4	2	4	2
	SUELO	Calidad	-1	2	4	2	4	4	2	2	4	4	2
		Estructura	-1	1	2	1	4	2	1	1	4	1	1
		Erosion	-1	2	4	2	4	4	2	2	4	1	2
	FLORA Y FAUNA	Especies en peligro	-1	2	2	2	4	4	3	2	2	1	4
		Covertura vegetal	-1	1	2	2	4	2	2	4	2	1	2
		Ecosistema	-1	4	2	4	4	4	2	4	2	1	2
		Calidad del habitat	-1	2	4	4	4	4	3	4	2	4	2
	SOCIAL	Economia local	1	2	2	4	1	1	2	2	1	4	2
		Empleo	1	1	1	2	4	1	3	4	1	1	1
		Calidad de vida	1	1	2	2	1	2	3	2	1	4	2
		Paisaje	-1	2	2	1	4	4	3	4	1	4	4
		Aspectos demograficos	1	2	2	2	1	4	1	2	1	1	2

Fuente: Elaboración propia

La estructura de esta matriz se puede visualizar en la **Tabla 31**, donde en la sección uno encontramos el peso de esta sub matriz, en la sección dos los factores que se calificarán, en la sección tres la calificación dada a cada factor según su el tipo de taladro y en la sección cuatro un promedio de todas las calificaciones según el tipo de taladro.

Tabla 31. Secciones de la matriz de impacto ambiental

		MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL	TALADRO DE COILED TUBING	TALADRO DE 1000 HP	TALADRO DE 500 HP
0.1	AIRE	Calidad aire	-37	-40	-40
		Nivel de olores	-20	-28	-25
		Nivel de ruido	-30	-50	-35
	AGUA	Calidad del agua	-41	-56	-49
		Vertimiento	-41	-56	-49
	SUELO	Calidad	-36	-70	-62
		Estructura	-21	-56	-37
		Erosion	-33	-67	-59
	FLORA Y FAUNA	Especies en peligro	-34	-53	-49
		Coertura vegetal	-27	-53	-38
		Ecosistema	-37	-63	-40
		Calidad del habitat	-41	-60	-56
	SOCIAL	Economia local	27	27	27
		Empleo	26	43	42
		Calidad de vida	27	27	27
		Paisaje	-37	-56	-52
Aspectos demograficos		22	22	22	
PROMEDIO		-20	-35	-28	

Fuente: Elaboración propia

5.8.1 Factores de la matriz ambiental. En la **Cuadro 13** se pueden observar los diversos factores con sus respectivos pesos que se tuvieron en cuenta para desarrollar la matriz financiera. A cada factor se le dio un peso ponderado dependiendo de la importancia y potencial que se pudiera ver reflejada en el proyecto.

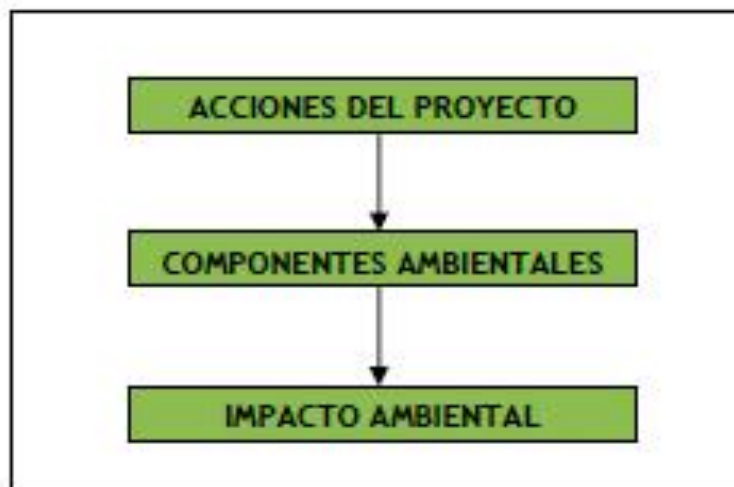
Cuadro 11. Factores matriz ambiental

MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL	
Aire	Calidad aire
	Nivel de olores
	Nivel de ruido
Agua	Calidad del agua
	Vertimiento
Suelo	Calidad
	Estructura
	Erosión
Flora y fauna	Especies en peligro
	Cobertura vegetal
	Ecosistema
	Calidad del hábitat
Social	Economía local
	Empleo
	Calidad de vida
	Paisaje
	Aspectos demográficos

Fuente: Elaboración propia

La matriz de impacto ambiental, también llamada matriz de Leopold, es una técnica para evaluar de manera cualitativa la huella ambiental, que un proyecto podría ocasionar. Este método radica en una matriz donde las filas representan factores ambientales, y la columna la importancia que tiene. Para realizar la evaluación de los impactos ambientales es necesario identificar las acciones de cada fase que se realizarán durante el proyecto (movilizar el taladro hasta la locación, adecuar el terreno, armar el taladro, perforar, son algunos ejemplos de lo que este proyecto evalúa), además de determinar los factores ambientales que se pueden afectar. En la **Figura 23** se puede observar los pasos para realizar una matriz de impacto ambiental, desde identificar las acciones que están involucradas en el proyecto, reconocer los componentes del ambiente que tendrán consecuencias de esas acciones, hasta analizar el impacto en estos componentes.

Figura 22. Pasos de la matriz ambiental



Fuente: Estructplan, Gaseoducto para el desarrollo agropecuario del sur. Parte 5, [en línea] <http://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-medio-ambiente/gasoducto-para-el-desarrollo-agropecuario-del-sur-parte-5/>. Modificado por los autores Noviembre 2, 2018.

Para determinar la Importancia (I) del impacto se calcula mediante una fórmula, dándole unos valores a los parámetros que se describirán a continuación:

La **Cuadro 14** muestra los parámetros que se tienen en cuenta para determinar la Importancia de cada factor ambiental, los valores establecidos en la figura son los que se utilizaron en este proyecto.

Cuadro 12. Valores matriz ambiental

Naturaleza (signo)		Intensidad (i)	
Beneficiosas	+	Baja	1
		Media	2
		Alta	3
Perjudicial	-	Muy alta	8
		Total	12
Extensión (EX)		Momento (MO)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	6
Crítico	12		
Persistencia (PE)		Reversibilidad (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
Sinergia (SI)		Acumulación (AC)	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
Efecto (EF)		Periodicidad (PR)	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
Recuperabilidad (MC)			
Recuperable inmediato	1		
Recuperable	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

Fuente: Estructplan, Gaseoducto para el desarrollo agropecuario del sur. Parte 5, [en línea] <http://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-medio-ambiente/gasoducto-para-el-desarrollo-agropecuario-del-sur-parte-5/>. Modificado por los autores Noviembre 2, 2018.

5.8.1.1 Naturaleza (signo). La naturaleza, también conocido como el carácter del impacto, es el signo del impacto, es decir, si la acción produjo un cambio beneficioso o perjudicial en los factores ambientales que se analizan.

➤ Impacto beneficioso (positivo)

- Impacto perjudicial (negativo)

5.8.1.2 Intensidad (i). La intensidad o magnitud, es el grado o dimensión en que las acciones afectan sobre el elemento ambiental que se está considerando, se realiza mediante la comparación del antes y después.

- Intensidad baja.
- Intensidad media.
- Intensidad alta.
- Intensidad muy alta.
- Intensidad total.

5.8.1.3 Extensión (EX). Se refiere a la extensión del área, es decir, la medida del espacio que es afectada por el procedimiento que se estudia, que puede ser desde solo el punto específico en que se realizó la acción, hasta un área de varios metros, sin posibilidad de mitigarlo.

- Puntual.
- Local.
- Extenso.
- Total.
- Crítica.

5.8.1.4 Momento (MO). Es el tiempo en que se manifiesta completamente el impacto, es decir, cuánto se tarda entre la acción y cuando empieza el efecto en el ambiente, por lo que califica la evolución del impacto, puede ser inmediato o tardar varios años.

- Largo plazo.
- Mediano plazo.
- Inmediato o corto plazo.
- Crítico.

5.8.1.5 Persistencia (PE). Se refiere a la duración de los efectos ocasionados por la acción sobre el ambiente, en otras palabras, en el tiempo en que el efecto continuo, puede ser de menos de un año, o llegar a durar más de diez años.

- Impacto fugaz.
- Impacto temporal.
- Impacto permanente.

5.8.1.6 Reversibilidad (RV). Hace alusión a que tanta facilidad existe para que el ambiente vuelva a sus condiciones anteriores a la acción por medios naturales,

puede llegar a ser de tan solo un año, más de cuatro años, o imposible de que vuelva al estado anterior de efectuar la acción.

- Impacto a corto plazo.
- Impacto a mediano plazo.
- Impacto irreversible.

5.8.1.7 Sinergia (SI). Se refiere a si la unión de varias acciones simultáneas relacionadas con la operación que se estudia afecta más al medio ambiente, o si actúan de manera independiente.

- Sin sinergismo.
- Sinérgico.
- Muy sinérgico.

5.8.1.8 Acumulación (AC). Hace alusión a si se puede incrementar el efecto entre más se realiza la acción que lo produce, es decir, si a medida que pasa el tiempo, aumenta la gravedad del impacto en el ambiente, debido a que la acción continúa.

- Simple.
- Acumulativo

5.8.1.9 Efecto (EF). Se refiere a si la acción tiene incidencia directa en el impacto sobre el ambiente o si en cambio, tiene una repercusión indirecta sobre el mismo, en otras palabras, si el impacto ambiental es consecuencia directa de la acción.

- Directo
- Indirecto.

5.8.1.10 Periodicidad (PR). Este elemento es la frecuencia de la manifestación del efecto, puede ser impredecible, de manera recurrente o constante.

- Irregular o no periódico o discontinuo.
- Periódico.
- Continuo.

5.8.1.11 Recuperabilidad (MC). Hace alusión a la probabilidad de la reparación del factor que se afectó con al realizarse la acción estudiada, puede ser, recuperable en algunos años, ser mitigado mediante algunas medidas o que no pueda volver a su estado previo.

- Recuperable.
- Mitigable.
- Irrecuperable.

5.8.2 Importancia del Impacto. Con los valores asignados a los parámetros anteriormente descritos, se determina la Importancia (I), que es la relevancia que tiene las acciones del proyecto en los factores, mediante la fórmula de la **Ecuación 1**.

Ecuación 1. Importancia del impacto ambiental

$$I = \pm [3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

Fuente: Estructplan, Gaseoducto para el desarrollo agropecuario del sur. Parte 5, [en línea] <http://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-medio-ambiente/gasoducto-para-el-desarrollo-agropecuario-del-sur-parte-5/>. Modificado por los autores Noviembre 2, 2018.

Con esta función, los valores obtenidos pueden ir desde 13 a 100, por lo que se calificará la huella ambiental de acuerdo con la siguiente escala:

- Impacto Bajo ($I < 25$)
- Impacto Moderado (I entre 25 y 49)
- Impacto Crítico ($I \geq 50$)

Para facilitar el análisis de la matriz de Importancia, se coloreará cada casilla de acuerdo con la clasificación: amarillo para Impacto Bajo, naranja para Impacto Moderado y rojo para Impactos Críticos, esto respecto de los impactos negativos, para los positivos se utilizará una gama de verdes.

Los impactos bajos se consideran aquellos impactos admisibles con el ambiente que se pueden minimizar o eliminar con cierta facilidad o no requieren tratamiento específico.

Los impactos Moderados son todos los impactos que tienen efectos sobre el medio ambiente, pero se pueden minimizar y/o eliminar, con tratamientos adecuados.

Los impactos Críticos son todos aquellos impactos que necesitan muchas medidas para mitigarlos o que no se pueden mitigar y su efecto dura varios años.

- Calidad del aire: La calidad del aire es la concentración de contaminantes en el aire que le llegan a un receptor lejano de la perforación. La capacidad de la atmósfera de diluir los contaminantes es esencial para preservar una calidad aceptable. Este es una de las principales piezas en la matriz de impacto ambiental.
- Nivel de ruido: El nivel de ruido hace referencia a la energía acústica, que se relaciona a dos términos: el primero el nivel de potencia que es una la energía acústica emitida por una fuente, y el segundo el nivel de presión sonora, que es una perturbación de presión que pasa en la atmósfera. El nivel de ruido es

medido en decibeles. Es un factor medianamente relevante cuando se realiza un análisis del impacto ambiental.

- Nivel de olores: Es una escala que mide el olor producido por la actividad de perforación y sus actividades asociadas, en una zona determinada, de tal forma que se evalué la afectación de los procesos antes mencionados a un hábitat determinado. Es relativamente importante, porque puede afectar en la salud de las personas y animales que viven cercanos al lugar.
- Calidad del agua: La calidad del agua se refiere a una medida de los contaminantes que pueden afectar la característica química, física, biológica y radiológica del agua, en relación con los requisitos mínimos para consumo o utilización de esta por parte humana o animal. Este es uno de los factores ambientales más importantes, y uno de los que más genera rechazo a la industria petrolera, debido a que el agua es fundamental para la vida de todas las especies.
- Vertimiento: Es la acción de verter un conjunto de materiales que contaminan el agua, generalmente se desagua en ríos y quebradas, está estrechamente relacionado con la calidad del agua, lo que la convierte en un elemento de interés público.
- Calidad del suelo: La calidad del suelo se refiere a la capacidad del terreno para trabajar dentro de los límites en un ecosistema, tratando de mantener la productividad de animales y plantas, además, de ayudar a mejorar la calidad del agua y del aire, y para sostener la salud de las personas que viven en el área aledaña al Campo Caño Sur Este. Es uno de los elementos más importantes dentro de la matriz de impacto ambiental, ya que tiene influencia en otros factores como en cobertura vegetal y paisaje, y puede ser dañado en la operación de perforación por las sustancias en lodos y cementos, entre otras prácticas.
- Estructura: La estructura del suelo se refiere a la forma en que se agrupan las partículas de arena, limo y arcilla. Los agregados del suelo son cuando las partículas individuales se agrupan para formar una partícula mayor. Cuando la estructura se daña, es por la pérdida de la configuración del suelo, puede ser por compactación, erosión, entre otros. Por lo que las propiedades de las rocas se pierden, como el espacio poroso y volumen. Es también uno de los componentes más relevantes cuando se analiza el impacto ambiental de un proyecto.
- Erosión: La erosión se define como el desgaste que resulta en la superficie del suelo por la fricción con el aire, lodo y las brocas. La erosión es una parte del ciclo geográfico. El desgaste de la roca puede ocasionar pérdida de fertilidad de

los suelos, sedimentación de ríos y deslizamientos de tierra, por lo que es necesario tenerlo en cuenta en proyectos como este.

- **Especies en peligro:** Se refiere a los animales que están en peligro de extinción, a causa de las actividades del hombre, debido a que estas destruyen el medio ambiente, como deforestación de bosques, contaminar fuentes de agua y pérdida de calidad de aire, haciendo que varias especies mueran. El Campo queda en el Meta, lugar donde existen varias especies amenazadas, como delfines rosados, monos, entre otros, por lo que cualquier operación en esta zona debe tener permisos ambientales, y se debe analizar cuáles podrían ser los efectos.
- **Cobertura vegetal:** La cobertura vegetal es la capa de vegetación que cubre el suelo terrestre, se tiene en cuenta desde los pastizales hasta bosques naturales, incluyendo también las que son resultado de la acción humana. Para poder utilizar un taladro, es necesario cambiar el terreno, por lo que necesariamente se pierde la cobertura vegetal de la zona, y, por ende, se afecta el ecosistema de esta área, esto convierte este componente en uno de los que mejor análisis necesita a la hora de realizar un proyecto.
- **Ecosistema:** El ecosistema se refiere al lugar en el que coexisten seres vivos, asumiendo tareas para sostener y mejorar la calidad del medio ambiente. Como se ha explicado, la mayoría de los otros factores tienen repercusión en este elemento, por lo que es de suma importancia evaluar todos los efectos que podrían llegar a ocurrir en el ecosistema circundante al área en que se perfora.
- **Calidad del Hábitat:** El término hábitat quiere decir el lugar con condiciones suficientes para que tanto flora como fauna existan en él. La calidad del hábitat, son todas las propiedades para que las especies puedan habitar el área de análisis, y que puedan seguir existiendo. Es un término estrechamente relacionado con el ecosistema, por lo que si este último es dañado, las especies que habitan en ese lugar se verán afectadas.
- **Economía local:** La economía local es el estudio de la producción, distribución y consumo dentro de una comunidad local. Cuando se realiza una perforación y operación de explotación, por ley, la empresa que lo realiza tiene que contratar personas del lugar, además que tiene que comprar insumos, por lo que la economía de los pueblos cercanos al Campo Caño Sur se verá afectada positivamente.
- **Empleo:** Se puede definir el empleo a un trabajo u oficio, por lo que es toda actividad donde se contrata una persona para realizar una tarea específica, a cambio de una remuneración económica. La contratación de personal que viva en esa zona se aumenta, ya que se necesita de mano de obra para realizar algunas tareas.

- Calidad de vida: Se define la calidad de vida como el nivel de comodidades que una persona o una familia puede llegar a tener, existen diversos matices como ingresos, estudios, entre otros, al tener una mejor economía local, se puede afectar la calidad de vida de los lugareños, sin embargo, es necesario que otros factores que vienen de parte del gobierno también mejoren.
- Paisaje: El paisaje es la longitud de terreno que puede apreciarse desde lejos, por lo que es todo aquello que entre en el campo visual de un área determinado. Los taladros afectan este factor, ya que es necesario quitar vegetación y realizar otros procedimientos para que entre a un área inaccesible, sin embargo, no es un factor muy importante en la matriz de impacto ambiental.
- Aspectos demográficos: El aspecto demográfico se entiende como la población del lugar en el que se realiza la operación, la dimensión y estructura de esta, pero no es un elemento que tenga una relación directa con la operación de perforación, ni algo que se afecte por escoger un taladro diferente.

5.8.3 Resultados de la matriz ambiental. Las **Tablas 32, 33 y 34**, muestran los valores en los parámetros tales como naturaleza, intensidad, etc., respecto a los factores de aire, agua, suelo, ecosistema y social, la primera tabla es sobre los taladros de CT (los taladros que utilizan CT tienen una repercusión igual en el medio ambiente), la segunda taladro convencionales de 1000 hp y la tercera taladros de 500 hp.

Los resultados de esta matriz fueron contundentes y se pueden ver en la **Tabla 35**, la superioridad de los taladros híbridos o de tubería flexible con respecto a los taladros convencionales.

Tabla 32. Matriz Ambiental para taladros de Coiled Tubing

Factores		Naturalidad	Extensión	Persistencia	Sinergia	Efecto	Recuperabilidad	Intensidad	Momento	Reversibilidad	Acumulación	Periodicidad
Aire	Calidad aire	-1	4	2	1	4	4	2	4	2	4	2
	Nivel de olores	-1	1	1	1	4	2	1	4	1	1	1
	Nivel de ruido	-1	2	1	4	4	1	3	4	1	1	1
Agua	Calidad del agua	-1	4	2	2	4	4	3	4	2	4	2
	Vertimiento	-1	4	2	2	4	4	3	4	2	4	2
Suelo	Calidad	-1	2	4	2	4	4	2	2	4	4	2
	Estructura	-1	1	2	1	4	2	1	1	4	1	1
	Erosión	-1	2	4	2	4	4	2	2	4	1	2
Flora y fauna	Especies en peligro	-1	2	2	2	4	4	3	2	2	1	4
	Cobertura vegetal	-1	1	2	2	4	2	2	4	2	1	2
	Ecosistema	-1	4	2	4	4	4	2	4	2	1	2
	Calidad del hábitat	-1	2	4	4	4	4	3	4	2	4	2
Social	Economía local	1	2	2	4	1	1	2	2	1	4	2
	Empleo	1	1	1	2	4	1	3	4	1	1	1
	Calidad de vida	1	1	2	2	1	2	3	2	1	4	2
	Paisaje	-1	2	2	1	4	4	3	4	1	4	4
	Aspectos demográficos	1	2	2	2	1	4	1	2	1	1	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Matriz Ambiental para taladros convencionales de 1000 hp

Factores		Natura leza	Exten cion	Persist encia	Sine rgia	Efe cto	Recupera bilidad	Intens idad	Mom ento	Reversi bilidad	Acumul acion	Perioc idad
Aire	Calidad aire	-1	4	2	1	4	4	3	4	2	4	2
	Nivel de olores	-1	2	1	1	4	2	3	4	1	1	1
	Nivel de ruido	-1	4	1	4	4	2	8	4	1	1	1
Agua	Calidad del agua	-1	4	2	2	4	4	8	4	2	4	2
	Vertimiento	-1	4	2	2	4	4	8	4	2	4	2
Suelo	Calidad	-1	8	4	2	4	8	8	2	4	4	2
	Estructura	-1	8	2	1	4	2	8	1	4	1	1
	Erosión	-1	8	4	2	4	8	8	2	4	1	2
Flora y fauna	Especies en peligro	-1	4	2	2	4	4	8	2	2	1	4
	Cobertura vegetal	-1	4	2	2	4	4	8	4	2	1	2
	Ecosistema	-1	8	2	4	4	4	8	4	2	1	2
	Calidad del hábitat	-1	4	4	4	4	4	8	4	2	4	2
Social	Economía local	1	2	2	4	1	1	2	2	1	4	2
	Empleo	1	2	1	2	4	1	8	4	1	1	1
	Calidad de vida	1	1	2	2	1	2	3	2	1	4	2
	Paisaje	-1	4	2	1	4	4	8	4	1	4	4
	Aspectos demográficos	1	2	2	2	1	4	1	2	1	1	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Matriz ambiental para taladros convencionales de 500 hp

Factores		Natural eza	Exten cion	Persist encia	Sine rgia	Efe cto	Recupera bilidad	Intens idad	Mom ento	Reversib ilidad	Acumul acion	Perioc idad
Aire	Calidad aire	-1	4	2	1	4	4	3	4	2	4	2
	Nivel de olores	-1	2	1	1	4	2	2	4	1	1	1
	Nivel de ruido	-1	4	1	4	4	2	3	4	1	1	1
Agua	Calidad del agua	-1	8	2	2	4	4	3	4	2	4	2
	Vertimiento	-1	8	2	2	4	4	3	4	2	4	2
Suelo	Calidad	-1	4	4	2	4	8	8	2	4	4	2
	Estructura	-1	4	4	1	4	4	3	1	4	1	1
	Erosión	-1	4	4	2	4	8	8	2	4	1	2
Flora y fauna	Especies en peligro	-1	2	2	2	4	4	8	2	2	1	4
	Cobertura vegetal	-1	4	2	2	4	4	3	4	2	1	2
	Ecosistema	-1	4	2	4	4	4	3	4	2	1	2
	Calidad del hábitat	-1	2	4	4	4	4	8	4	2	4	2
Social	Economía local	1	2	2	4	1	1	2	2	1	4	2
	Empleo	1	1	1	2	4	2	8	4	1	1	1
	Calidad de vida	1	1	2	2	1	2	3	2	1	4	2
	Paisaje	-1	2	2	1	4	4	8	4	1	4	4
	Aspectos demográficos	1	2	2	2	1	4	1	2	1	1	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Matriz de impacto ambiental

Peso	Matriz de impacto ambiental		Taladro de coiled tubing	Taladro de 1000 hp	Taladro de 500 hp
0.1	Aire	Calidad aire	-37	-40	-40
		Nivel de olores	-20	-28	-25
		Nivel de ruido	-30	-50	-35
	Agua	Calidad del agua	-41	-56	-49
		Vertimiento	-41	-56	-49
	Suelo	Calidad	-36	-70	-62
		Estructura	-21	-56	-37
		Erosión	-33	-67	-59
	Flora y fauna	Especies en peligro	-34	-53	-49
		Cobertura vegetal	-27	-53	-38
		Ecosistema	-37	-63	-40
		Calidad del hábitat	-41	-60	-56
	Social	Economía local	27	27	27
		Empleo	26	43	42
		Calidad de vida	27	27	27
		Paisaje	-37	-56	-52
		Aspectos demográficos	22	22	22
Promedio			-20	-35	-28

Fuente: Elaboración propia

5.8.4 Análisis de la sub-matriz de ambiental. Los mejores taladros en la sub-matriz ambiental, fueron los taladros que utilizan CT, porque la huella ambiental de estos en factores como aire, agua, suelo, flora y fauna, es baja comparada a los otros taladros convencionales, teniendo básicamente los mismos beneficios. El peor fue el taladro Pw118 teniendo una mala calificación en: agua, suelo, y flora y fauna. El taladro Pw127 una valoración moderada en casi todos los factores, exceptuando en agua, suelo y especies en peligro.

5.9 MATRIZ DE SELECCIÓN

La matriz de selección estará compuesta por todas las anteriores las cuales en este punto son consideradas como sub matrices. Para poder construir una matriz lo suficientemente completa para que sea correcta fue necesario crear diversas sub matrices de las cuales se obtendrán los resultados que se utilizaran en la matriz general de selección.

Es importante tener en cuenta que las submatrices construidas previamente funcionan de forma independiente entre ellas y son correctas, pero para realizar una selección ideal se unieron en la siguiente estructura.

Los pesos de los factores en la matriz, fueron decididos por los autores de este proyecto, en conjunto con el director del proyecto, basándose en la importancia de estos para la selección del taladro más eficiente para el Campo Caño Sur. El valor de los pesos se divide así:

- Bajo: Todos los factores que tengan un peso menor a 10%, se consideran poco determinante para la selección del taladro, comparado a otros factores, sin embargo, deben ser mencionados.
- Medio: Todos los factores con peso entre el 10% y el 25%, se consideran elementos que tiene cierta relevancia a la hora de seleccionar un taladro, respecto a otros factores.
- Alto: Todos los factores con peso superior al 25%, son elementos que determinan al mejor taladro para utilizar en el Campo.

La estructura de esta matriz se puede visualizar en **Tabla 36**, donde en la sección uno se encuentra los factores de la matriz las cuales son a la vez las sub matrices mostradas anteriormente, en la sección dos los pesos de cada una de las sub matrices, en la sección tres el valor dado a cada factores dependiendo del taladro, en la cuatro es la sección de la calificación de cada factor según el taladro, la sección cinco el peso ponderado que relaciona el valor y la calificación de cada factor según el taladro y el seis es el resultado final de la matriz para la selección de un talador, este podrá compararse con los otros resultados finales para determinar qué taladro es la mejor opción para un proyecto.

Tabla 36. Secciones de la matriz de selección general

FACTORES	PESO	ADT-168		
		Valor	Calificacion	Peso Ponderado
POZO	0.35	3.24	4	1.4
TECNICOS	0.25	2.91	3	0.75
FINANCIEROS	0.3	3.59	4	1.2
AMBIENTALES	0.1	-20	4	0.4
TOTAL	1			3.75

1
2
3
4
5

6

Fuente: Elaboración propia

5.9.1 Factores de la matriz de selección general. En la **Tabla 37** se pueden observar los diversos factores con sus respectivos pesos que se tuvieron en cuenta para desarrollar la matriz financiera. A cada factor se le dio un peso ponderado dependiendo de la importancia y potencial que se pudiera ver reflejada en el proyecto.

Tabla 37. Factores de la matriz de selección general

Factores	Peso
Pozo	0.35
Técnicos	0.25
Financieros	0.3
Ambientales	0.1
Total	1

Fuente: Elaboración propia

5.9.2 Resultados matriz de selección general. Los resultados de esta matriz fueron contundentes y se pueden ver de la **Tabla 38** a la **Tabla 42**, la superioridad

de los taladros híbridos o de tubería flexible con respecto a los taladros convencionales.

Tabla 38. Matriz de selección para taladro ADT-168

Factores	Peso	ADT-168		
		Valor	Calificación	Peso Ponderado
Pozo	0.35	3.24	4	1.4
Técnicos	0.25	2.91	3	0.75
Financieros	0.3	3.59	4	1.2
Ambientales	0.1	-20	4	0.4
Total	1			3.75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Matriz de selección para taladro PW118

Factores	Peso	Pw118		
		Valor	Calificación	Peso Ponderado
Pozo	0.35	3.28	4	1.4
Técnicos	0.25	3.01	3	0.75
Financieros	0.3	1.94	1	0.3
Ambientales	0.1	-35	1	0.1
Total	1			2.55

Fuente: Elaboración propio.

Tabla 40. Matriz de selección para taladro Foremost CTR

Factores	Peso	Foremost CTR Single Coil Tubing Hybrid Drilling Rig		
		Valor	Calificación	Peso Ponderado
Pozo	0.35	3.27	4	1.4
Técnicos	0.25	2.775	2	0.5
Financieros	0.3	3.59	4	1.2
Ambientales	0.1	-20	4	0.4
Total	1			3.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Matriz de selección para taladro PW127

Factores	Peso	pw127		
		Valor	Calificación	Peso Ponderado
Pozo	0.35	3.06	3	1.05
Técnicos	0.25	2.775	2	0.5
Financieros	0.3	1.94	1	0.3
Ambientales	0.1	-28	2	0.2
Total	1			2.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Matriz de selección para taladro P1013

Factores	Peso	P1013		
		Valor	Calificación	Peso Ponderado
Pozo	0.35	3.22	4	1.4
Técnicos	0.25	3.01	3	0.75
Financieros	0.3	3.59	4	1.2
Ambientales	0.1	-20	4	0.4
Total	1			3.75

Fuente: Elaboración propia

5.10 ANÁLISIS DE LA MATRIZ DE SELECCIÓN

De la **Tabla 38** a la **Tabla 42** son las matrices de selección para los taladros teniendo en cuenta las características del Campo Caño Sur Este, las cuales fueron realizadas con el fin de elegir las dos opciones más rentables y óptima para la perforación de un pozo.

Se comparan cinco taladros en las matriz, los cuales son ADT-168 (este taladro es HCT), PW118 (taladro convencional con una potencia de 1000 hp), *Foremost CTR Single Coil Tubing Hybrid Drilling Rig* (taladro perfora con CT), PW127 (taladro con una potencia de 500 hp) y P1013 (este taladro es una versión mejorada del ADT-168), se comparan en 4 categorías, cada una muestra una puntuación subtotal, el cual es calificado de 1 a 4 y este valor es multiplicado por el peso de cada categoría.

Los dos taladros con puntuación más alta son los sistemas que son los más rentables y viables para ser utilizados en el Campo que se está evaluando, por ende, se descartarían tres taladros, debido a que no son tan recomendables para los dos escogidos.

Los dos taladros elegidos, por su puntuación en las matrices, son ADT-168 y P1013, con una puntuación de 3.75, ambos. Los taladros PW118, *Foremost CTR Single Coil Tubing Hybrid Drilling Rig*, y PW127, son los eliminados del análisis en este proyecto, porque no fueron tan efectivos en la matriz de selección.

Al analizar la matriz de la **Tabla 38** a la **Tabla 42** se puede apreciar que los taladros ADT-168 y P1013, tienen mayor valoración en los aspectos asociados al pozo, los financieros y los ambientales, y tienen una muy buena valoración en el aspecto técnico. Por el contrario, los taladros PW118 y P1013 no buena valoración con aspectos financieros y ambientales, y el *Foremost CTR* tuvo una puntuación aceptable.

En la sub-matriz de pozo, todos los taladros obtuvieron una valoración alta, debido a que estos podrían perforar un pozo somero horizontal en el Campo Caño Sur Este; tanto en los elementos de profundidad, potencias y capacidades de partes como malacate, *top drive*, mesa rotaria, bombas y tanques, tantos taladros convencionales como de CT tienen condiciones bastante óptimas para realizar una operación de perforación en un Campo con rocas poco consolidadas. En los tiempos, los taladros CT tienen ventaja, debido a que no tienen tantas cargas y necesitan menos personal, sin embargo, estas unidades resultan más costoso y con menos vida útil.

En la parte técnica, los taladros convencionales (PW 118 y PW127), son más potentes y tienen más capacidad en los factores ya mencionados en la sub-matriz de pozo, y también, en el BOP acumulador, además de que las torres son más altas que en los taladros de CT, pero estos últimos ofrecen más servicios como registros y cementación, además de que los daños ambientales son menores en estos, y que las cargas, paradas, *rig up* y *rig down*, personal y conexiones son más beneficiosas que los taladros convencionales.

La sub-matriz financiera, muestra que los taladros CT (ADT-168, FOREMOST CTR, y P1013), tienen una vida útil menor, que la vida útil de la tubería flexible es también mucho menor que la convencional, y que su valor es mucho menor que los taladros convencionales, sin embargo sus tiempos de arme y desarme, personal, costo de localización, y todos los servicios que ofrecen, los vuelven más rentables.

Ambos taladros perforan con CT (también el *Foremost CTR Single Coil Tubing Hybrid Drilling Rig*), al analizar la sub-matriz ambiental se puede notar que este tipo de taladros tienen una huella ambiental de menor tamaño, siendo un impacto moderado menor al impacto ambiental del PW127, en cambio el impacto del PW118 es crítico, debido al tamaño de este afecta más al suelo y a la flora y fauna.

6. CAPÍTULO FINANCIERO

En este capítulo se describirá tanto la inversión inicial necesaria para realizar el proyecto de perforación con taladros híbridos HCTD como los costos de las perforaciones en diversas posibles campañas a lo largo del Campo Caño Sur Este. También se estimará el tiempo de retorno de la inversión inicial con respecto a las posibles campañas de perforación planteadas para el Campo.

Además, se compararán los costos de las perforaciones convencionales ya realizadas en el campo con respecto a los costos de la tecnología HCTD. De esta forma podremos analizar la viabilidad financiera del proyecto y que tan rentable podría ser a largo plazo.

Todo el análisis financiero será expresado en Dólares Americanos, pero es importante tener en cuenta que a TRM será constante a lo largo del proyecto y equivalente a 2.900 COL\$ (Pesos Colombianos) por cada USD (Dólar Americano) como podemos observar en la **Tabla 43** Esta cifra fue determinada según las proyecciones a futuro para el mes de marzo del año 2019.

Tabla 43. Tasa de cambio

USD		COL\$	
\$	1	\$	2,900

Fuente: Elaboración propia

6.1 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial para este proyecto comprende todos los gastos que hay que afrontar antes de realizar la primera perforación. Esta inversión correrá por cuenta de la perforadora a partir del mes de marzo del año 2019 con el fin de poder dar inicio al proyecto a mediados del segundo semestre del mismo año.

Para poder dar inicio al proyecto es necesario la compra de la tecnología de perforación HCTD la cual consta de un taladro completo de un total de 11 cargas variables. El lugar donde se encuentran la mayor cantidad de taladros híbridos HCTD es en Houston Texas, puesto que allí se concentró hace más de 15 años las pruebas piloto. Por lo tanto, son necesarios tiquetes aéreos y viáticos para poder determinar el taladro que se comprara. Posteriormente a esto con el taladro seleccionado vendrá la inversión más alta, que será la compra de este.

Con el taladro a nombre de la compañía será necesario transportarlo desde Houston, hasta el Campo Caño Sur en Colombia, por lo cual el transporte será dividido en tres secciones, el terrestre en USA, el marítimo de USA a Colombia y para finalizar el terrestre en Colombia. Claramente al entrar al país deberá pagar unos impuestos los cuales serán aproximados con respecto al valor de la compra del taladro.

Con un presupuesto equivalente a 2 millones de dólares para la compra del taladro será inevitable un mantenimiento, puesto que las maquinarias que se encuentran dentro de nuestro rango de precios tienen un aparente estado de abandono hace más de 8 años. Para toda esta inversión inicial se tiene un presupuesto total equivalente a los \$ 5.000.000 USD. Como se puede observar en la siguiente **Tabla 44**, nos encontramos ampliamente dentro del presupuesto. Además, se presentan márgenes de error para cada uno de los ítems los cuales también se encuentran dentro del presupuesto.

Tabla 44. Presupuesto interno inversión inicial

Ítem	Precio (USD)	Presupuesto (USD)	Precio (COL\$)	Presupuesto (COL\$)
Tiquetes	\$ 1,303	\$ 1,500	\$ 3,779,822	\$ 4,350,000
Viáticos	\$ 4,766	\$ 5,000	\$ 13,820,000	\$ 14,500,000
Taladro	\$ 2,000,000	\$ 2,200,000	\$ 5,800,000,000	\$ 6,380,000,000
Transporte	\$ 448,655	\$ 450,000	\$ 1,301,100,000	\$ 1,305,000,000
Impuestos	\$ 700,000	\$ 700,000	\$ 2,030,000,000	\$ 2,030,000,000
Mantenimiento	\$ 1,500,000	\$ 1,650,000	\$ 4,350,000,000	\$ 4,785,000,000
Total	\$ 4,654,724	\$ 5,006,500	\$ 13,498,699,822	\$ 14,518,850,000

Fuente: Elaboración propia

El margen de error total que hay disponible para la inversión inicial de este proyecto fue calculado en la siguiente **Tabla 45**. Este se dio por la diferencia entre el presupuesto total para el proyecto y las cotizaciones realizadas a lo largo del trabajo. El margen de error es bastante amplio para poder soportar cualquier tipo sobrecostos.

Tabla 45. Margen de error inversión inicial

Margen (USD)	Porcentaje
\$ 351,776	7.56%

Fuente: Elaboración propia

6.1.1 Tiquetes. El precio de los tiquetes fue determinado bajo un promedio de todos los vuelos existentes entre Bogotá Colombia y Houston Texas tanto en aerolíneas nacionales como internacionales para las fechas del 14 al 21 de marzo del año 2019. Solo se tuvo en cuenta la clase económica sin importar el número de escalas por lo cual se tiene un valor promedio por tiquete bastante económico. El viaje será realizado entre dos personas encargadas de autorizar la compra del taladro y efectuarle un peritaje a este mismo. Este personal será asignado por la empresa perforadora. Como podemos ver en la **Tabla 46** tenemos un precio

promedio equivalente a los 1.303.39 USD para 2 tiquetes Bogotá – Houston, Houston – Bogotá para los dos especialistas.

Hay que tener en cuenta que este no es un costo significativo pero que se debe tener en cuenta a la hora de analizar el presupuesto que al momento de iniciar el proyecto no es un sobrecosto que no se planificó. Por otra parte, es importante saber que los costos de los tiquetes pueden variar dependiendo de la época. Las fechas programadas son tentativas y se espera que sean estas las del inicio del proyecto, pero tenemos un margen de error en la inversión que nos permitiría cambiar los días y fechas del viaje por cualquier retraso repentino.

Tabla 46. Cotización tiquetes

Aerolínea	Precio (COL\$/U)	Precio (COL\$)	Precio (USD)	Promedio (USD)	Presupuesto (USD)
Interjet	\$	\$	\$		
	1,607,767	3,215,534	1,109		
United	\$	\$	\$		
Arlines	1,853,420	3,706,840	1,278		
United	\$	\$	\$		
Arlines	1,836,890	3,673,780	1,267		
Aeromexico	\$	\$	\$		
	1,655,630	3,311,260	1,142		
Delta Arlines	\$	\$	\$		
	1,769,330	3,538,660	1,220		
American	\$	\$	\$	\$	\$
Arlines	1,822,990	3,645,980	1,257	1,303	1,500
Latam	\$	\$	\$		
	1,974,014	3,948,028	1,361		
Avianca	\$	\$	\$		
	1,994,540	3,989,080	1,376		
Avianca	\$	\$	\$		
	1,881,390	3,762,780	1,298		
Air Canada	\$	\$	\$		
	2,161,030	4,322,060	1,490		
Copa Arlines	\$	\$	\$		
	2,232,018	4,464,036	1,539		

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que tenemos un presupuesto de 1.500 USD para los tiquetes aéreos como vemos en la **Tabla 47** tenemos un margen de error equivalente al:

Tabla 47. Margen de error tiquetes

Margen (USD)	Porcentaje
\$ 197	15.08%

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Viáticos. Los viáticos fueron asignados directamente por la compañía equivalentes a 5.000 USD, lo que se analizó fue la distribución de estos para los 8 días del viaje.

Inicialmente se estudiaron los posibles hoteles en los cuales se podían albergar los dos especialistas. No buscamos una zona en específico, pero si tuvimos en cuenta que la acomodación fuera en una habitación con dos camas sencillas. De la misma forma que se hizo con los tiquetes aéreos, se buscaron un número razonable de hoteles de dónde pudiéramos promediar los costos de la estadía como podemos ver en la **Tabla 48** y se obtuvo un valor equivalente a 1,165.52 USD para el alojamiento de 2 personas en una habitación durante los 8 días del viaje. Se tiene en cuenta la posibilidad de cambiar de hotel si las bodegas donde guardan los taladros se encuentran alejadas entre ellas con el fin de ahorrar tiempos y costos en el transporte.

Tabla 48. Cotización hospedaje

Hotel	Precio (COL\$)	Precio (USD)	Promedio (USD)
Holiday Inn	\$ 2,251,000	\$ 776	
Club Quarters	\$ 2,179,000	\$ 751	
Four Points	\$ 3,637,000	\$ 1,254	
Wyndham Houston	\$ 4,085,000	\$ 1,409	
Surestay Plus	\$ 3,612,000	\$ 1,246	\$ 1,166
Extended Stay America	\$ 4,673,000	\$ 1,611	
Hyatt Regency	\$ 3,399,000	\$ 1,172	
Royal Sonesta Houston	\$ 3,134,000	\$ 1,081	
Hyatt House	\$ 2,576,000	\$ 888	

Fuente: Elaboración propia

Para este punto es importante tener en cuenta el transporte puesto que es necesario para ver los distintos taladros. Además de transportar a los especialistas ellos deberán llevar herramientas específicas para realizar los debidos análisis a la maquinaria. Por esta razón se determinó que lo más conveniente sería el alquiler de un vehículo 4x4 con platón. Como podemos observar en la **Tabla 49**, el alquiler de un vehículo de estas categorías tiene un costo de 200 USD diarios más un presupuesto para combustible equivalente a 50 USD por día. Lo que nos da como resultado 2.000 USD para el transporte de todo el viaje.

Tabla 49. Transporte Houston

Tipo	Día (USD)	Total (USD)	Total Transporte (USD)
Alquiler Vehículo	\$ 200	\$ 1,600	\$ 2,000
Combustible	\$ 50	\$ 400	

Fuente: Elaboración propia

Para la alimentación y manutención como se mostró en la **Tabla 50** se determinaron 100 USD por persona al día para un total de 1.600 USD para los dos especialistas durante todo el viaje. Estos serán consignados a cuentas bancarias de su preferencia, pero tendrán que ser soportados con todos los recibos al final del viaje. Si existe un sobrante será descontado del próximo pago, de la misma forma si existen gastos extras serán abonados.

Tabla 50. Extras viaje

Día (USD/U)	Día (USD)	Total (USD)
\$ 100	\$ 200	\$ 1,600

Fuente: Elaboración propia

Para concluir con los viáticos podemos decir que el presupuesto para estos es amplio teniendo en cuenta que se tendría presupuestados 5.000 USD de los cuales como demostramos en la **Tabla 51** solo se empleara 4.765,52 USD. Hay que tener en cuenta que los tiquetes aéreos serán pagados con anticipación y no entran dentro de estos viáticos.

Tabla 51. Total viáticos

Total (USD)	Presupuesto (USD)	Total (COL\$)	Presupuesto (COL\$)
\$ 4,766	\$ 5,000	\$ 13,820,000	\$ 14,500,000

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta nuestro presupuesto y los cálculos realizados podemos observar en la **Tabla 52** un amplio margen de error de casi el 5%.

Tabla 52. Margen de error viáticos

Margen (USD)	Porcentaje
\$ 234	4.92%

Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Taladro. Para el gasto más sustancial de esta inversión inicial se autorizaron 2.000.000 USD para la compra del taladro. Hay que tener en cuenta que el taladro que se busca debe estar en buenas condiciones y si hay que realizarle algún

mantenimiento no puede exceder el presupuesto para este. También se tiene un presupuesto para el mantenimiento por lo cual los 2.000.000 USD serán utilizados exclusivamente para la compra de este. De esta forma se puede acceder a un grupo de taladros bastante especiales como lo son los taladros híbridos HCTD. En Texas existe un alto número de estos taladros puesto que a mediados de los 90s se realizaron diversas pruebas piloto en esta zona y con el paso del tiempo los han cambiado para obtener nuevos modelos. Lo bueno de esto es que los taladros que se encuentran guardados están en buenas condiciones y solo necesitan una puesta a punto para que puedan operar de forma correcta lo cual es normal después de 8 años de no usarlos.

Sobre este valor se tiene un margen de error del 10% con el fin de realizar un estudio financiero correcto y con posibilidades de cambio.

6.1.4 Mantenimiento. Como ya se mencionó anteriormente los taladros a los cuales se puede acceder son un grupo selecto de híbridos HCTD que se encuentran sin ser utilizados por más de 8 años. Por esta razón, de manera obligatoria y necesaria se les debe realizar un mantenimiento o puesta a punto para su correcto funcionamiento.

Un mantenimiento para este tipo de taladros es más económico que una puesta a punto para un taladro convencional puesto que estos últimos cuentan con un mayor número de partes móviles y cargas.

El mantenimiento de todas formas es completamente normal y consta del cambio de piezas por desgaste, lubricación de piezas móviles, sincronización de bombas y motores, además de todas las correcciones y actualizaciones para que sea seguro su uso y se encuentre en los rangos permitidos. Por esta razón se presupuestó 1.500.000 USD tanto para la mano de obra que se realizará en Colombia como para las piezas que deberán ser compradas e importadas.

Sobre este valor se tiene un margen de error del 10% con el fin de realizar un estudio financiero correcto y con posibilidades de cambio.

6.1.5 Transporte. El transporte será uno de los puntos más delicados puesto que la distancia aumentará los costos, pero será aún más costoso las cargas extradimensionadas. Existe una relación de peso contra volumen que determina el precio del transporte y según esta relación será obligación o no realizar un pago extra por cargas extradimensionadas. En este caso se cuenta con un total de 12 cargas por ser un taladro híbrido HCTD. Este número de cargas con respecto a un taladro convencional es muy bajo el cual puede llegar hasta las 25 cargas y con 5 de ellas extradimensionadas.

Otro factor que nos puede determinar el número de cargas o la posibilidad de cargas extradimensionadas es la condición en la cual se encuentran las vías del trayecto. En nuestro caso las vías del transporte terrestre en Estados Unidos son de buena calidad, pero las vías desde el puerto de Cartagena el Campo Caño Sur Este no lo

son. Por esta razón la cargas extradimensionadas deben ser divididas aumentando el costo por número de cargas.

Como resultado tenemos un total de 12 cargas, donde una de ellas debe ser obligatoriamente extradimensionadas puesto que no hay forma de separarla en cargas independientes. En este caso se refiere al camión con el taladro como tal. Dividimos el transporte en tres secciones: transporte terrestre en USA, transporte marítimo de USA a Colombia y transporte terrestres en Colombia. . Como se muestra a continuación en la **Tabla 53** la primera sección correspondiente al transporte entre la ubicación del taladro en Texas y el puerto Houston.

Tabla 53. Transporte terrestre taladro USA

Cargas	Cantidad	Precio (UDS/U)	Total (USD)	Total (USD)
Convencionales	11	\$ 4,500	\$ 49,500	\$ 55,000
Extradimensionadas	1	\$ 5,500	\$ 5,500	

Fuente: Elaboración propia

Como se pudo observar la carga extradimensionada es significativamente más costosa y esto es un factor común que veremos a lo largo de todos los trayectos puesto que es una carga con un peso y volumen mayor al reglamentario y necesitará varios extras como lo son un escolta tonto en la parte delantera como en la parte trasera, permiso de tránsito en vías determinadas y una logística de seguridad.

El transporte menos complicado es el marítimo, puesto que es el recorrido más largo y con menos inconvenientes. La empresa transportadora se encarga del cargue transporte y descargue de puerto a puerto. En nuestro caso desde el puerto de Houston hasta el puerto de Cartagena. Como se aprecia en la **Tabla 54** los costos de transporte son altamente elevados, esto es por el número de cargas y la carga extradimensionada.

Tabla 54. Transporte marítimo taladro

Cargas	Cantidad	Precio (UDS/U)	Total (USD)	Total (USD)
Convencionales	11	\$ 27,000	\$ 297,000	\$ 334,000
Extradimensionadas	1	\$ 37,000	\$ 37,000	

Fuente: Elaboración propia

Nuestra última sección comprende el trayecto desde el puerto en Cartagena hasta el Campo Caño Sur Este. De la misma forma como se transportó anteriormente la carga extradimensionada en territorio estadounidense serán necesario permisos de tránsito escolta y una logística de seguridad que aumentarán los costos. Como podemos ver en la **Tabla 55** los costos de transporte en territorio nacional son los siguientes:

Tabla 55. Transporte terrestre taladro Colombia

Cargas	Cantidad	Total (COL\$)	Total (USD)	Total (USD)
Convencionales	11	\$ 154,000,000	\$ 53,103	\$
Extradimensionadas	1	\$ 19,000,000	\$ 6,552	\$ 59,655

Fuente: Elaboración propia

Todo el transporte de maquinaria que se realizará para poder dar inicio al proyecto se encuentra asegurado en su totalidad. El precio de este seguro ya está incluido en el presupuesto de transporte inicial. Como podemos ver en la **Tabla 56** tenemos un presupuesto de 450.000 USD el cual se queda un poco corto con el valor total del transporte.

Tabla 56. Transporte inicial taladro

Cargas	Precio (USD)	Total (USD)	Presupuesto (USD)
Convencionales	\$ 399,603	\$	\$
Extradimensionadas	\$ 49,052	\$ 448,655	\$ 450,000

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta estos valores se puede afirmar que el presupuesto para el transporte es algo limitado como se muestra en la **Tabla 57**. Pero aun así precio total se encuentra dentro del rango y se tiene un margen de error.

Tabla 57. Margen de error transporte

Margen (USD)	Porcentaje
\$ 1,345	0.30%

Fuente: Elaboración propia

6.1.6 Impuestos. El tema de los impuestos en el sector petrolero es algo complicado especialmente cuando se habla de comprar maquinaria de perforación. Esto se da porque en Colombia los impuestos de importación e IVA son con respecto a maquinaria muy específica. Para el caso de un taladro de perforación petrolera como tal no existe un impuesto exacto, pero sí existen diversos para cada una de sus partes como puede ser las tuberías, el mástil, bombas, transformadores, grúas y más.

En este punto se encuentra el problema, porque al momento de comprar el taladro de perforación en el exterior se cancelará un precio total por toda la maquinaria y no diversos valores por cada una de sus secciones. Por lo cual no se tiene un registro de compra de una bomba o una grúa sino de todo el taladro.

El procedimiento a seguir sería teniendo el taladro el territorio Colombiano determinar el precio de cada una de las sección de este, bajo unos parámetros y rangos estipulados por diversas entidades económicas nacionales como la DIAN. Por ejemplo: una bomba X tiene un valor aproximado Z en territorio Colombiano. Sobre este valor Z se tendrá en cuenta un impuesto Y, el cual será sumado a los demás para totalizar los aranceles de importación y nacionalización de toda la maquinaria.

Por esta razón no se puede calcular un valor exacto del total de impuestos. Pero lo que se calculó fue un valor aproximado, teniendo en cuenta que toda la maquinaria tiene que pagar el valor del IVA (19%) y algunos impuestos adicionales por la procedencia de la maquinaria, el tipo de material y su uso en la industria, los cuales equivalen el 25%. Pero estos impuestos adicionales no son para todo el taladro, son aproximadamente para el 50% de este. Por esta razón se calculó un total de impuestos aproximado del 35% para el valor total.

El taladro al llegar a territorio Colombiano debería pagar alrededor de 700.000 USD para poderlo sacar de Zona Franca luego de realizarle todos los estudios arancelarios.

6.2 COSTOS DE PERFORACIÓN

En el Campo Caño Sur Este se perforaron en toda su historia dos tipos de pozos, uno completamente vertical a 3200 ft en MD y otro a 5000 ft en MD horizontal con un TVD de 3200 ft. El análisis realizado fue basado en la construcción de estos dos tipos de pozos y en diversas campañas de perforación de 15, 30, 45 e incluso 60 pozos.

La campaña de perforación de 60 pozos es un supuesto realizado con el fin de comparar costos, puesto que el campo cuenta en la actualidad con alrededor de 61 pozos construidos de forma convencional. Se busca con este supuesto calcular cuánto dinero se hubieran ahorrado si la campaña total de perforación de caño sur se hubiera realizado con tecnología HCTD.

Los costos de perforación tienen en cuenta todos los costos de los servicios paralelos a la perforación como lo son los registros, la cementación y el sistema direccional. Además de esto se calcularon los costos de transporte y se dividieron en dos tipos, uno de ellos es el traslado en la misma locación y el otro el traslado con distinta locación, pero en el mismo campo. Para el traslado hay que tener en cuenta la existencia previa de un campamento base. Por último, relacionando el número de operarios necesarios para el correcto funcionamiento del taladro y los salarios utilizados por la empresa perforadora se calculó los salarios totales.

6.2.1 Transporte en campo. El transporte de un taladro de perforación puede variar por el número de cargas, los kilómetros desplazados y a la zona donde este sea necesitado. Como se aprecia en la **Tabla 58** existen diversos tipos de transporte, en este caso todos los costos son con respecto al total de 11 cargas del taladro HCTD, con diversas distancias y locaciones.

Tabla 58. Tipos de transporte en campo

Tipo	Distancia (Km)	Precio (USD)
En locación	-	\$ 35,000
Sin campamento base	0 - 50	\$ 150,000
Con campamento base	0 - 50	\$ 75,000
Fuera de campamento	51 - 100	\$ 210,000
Fuera de campamento	>100	\$ 285,000

Fuente: Elaboración propia

Existen dos tipos de posibles transportes dentro del campo, el más común de ellos es el transporte en la misma locación el cual está caracterizado por la movilización de los menos elementos posibles en la zona y generalmente solo es necesario movilizar la grúa, por esta razón es tan económica. Por otra parte, se tiene la movilización con campamento base la cual se caracteriza por movilizar e taladro completo a una locación distinta en un radio de máximo 50 kilómetros dentro del campamento. La campaña de perforación constaría de 2 pozos en la misma locación por cada pozo dentro de campo con campamento base.

Según los costos de estos dos tipos de transporte se calcularon diversos presupuestos para posibles campañas de perforación. Como podemos observar en la **Tabla 59**. El transporte total para la construcción de 15 pozos sería:

Tabla 59. Transporte campaña 15 pozos

Tipo	Distancia (Km)	Precio (USD/U)	Cantidad	Total (USD)	Total campaña (USD)
En locación	-	\$ 35,000	10	\$ 350,000	\$ 725,000
Con campamento base	0 - 50	\$ 75,000	5	\$ 375,000	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **Tabla 60**. El transporte total para la construcción de 30 pozos sería:

Tabla 60. Transporte campaña 30 pozos

Tipo	Distancia (Km)	Precio (USD/U)	Cantidad	Total (USD)	Total campaña (USD)
En locación	-	\$ 35,000	20	\$ 700,000	\$ 1,450,000
Con campamento base	0 - 50	\$ 75,000	10	\$ 750,000	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **Tabla 61**. El transporte total para la construcción de 45 pozos sería:

Tabla 61. Transporte campaña 45 pozos

Tipo	Distancia (Km)	Precio (USD/U)	Cantidad	Total (USD)	Total campaña (USD)
En locación	-	\$ 35,000	30	\$ 1,050,000	\$ 2,175,000
Con campamento base	0 - 50	\$ 75,000	15	\$ 1,125,000	

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **Tabla 62**. El transporte total para la construcción de 60 pozos sería:

Tabla 62. Transporte campaña 60 pozos

Tipo	Distancia (Km)	Precio (USD/U)	Cantidad	Total (USD)	Total campaña (USD)
En locación	-	\$ 35,000	40	\$ 1,400,000	\$ 2,900,000
Con campamento base	0 - 50	\$ 75,000	20	\$ 1,500,000	

Fuente: Elaboración propia

Recordando que la campaña para la construcción de 60 pozos solo es con fines comparativos.

6.2.2 Personal. El personal utilizado para el correcto funcionamiento del taladro es equivalente a 18 personas, pero es importante tener en cuenta que como en otros taladros de perforación son necesarios diversos trabajadores extras como lo pueden ser médicos paramédicos, personal de HS, campamento ro y más para que el taladro pueda operar dentro de la normativa.

El personal se divide en dos tipos, el tipo A que debe permanecer las 24 horas en la locación y el tipo B que trabaja por turnos aproximadamente de 12 horas. En el tipo A se encuentran cargos como el Co Man, Asistente CTD, el electricista y el mecánico, los cuales no trabajan todo el tiempo, pero deben estar en la locación de forma obligatoria. Por otra parte, tenemos al tipo B como lo son el perforador, los cuñeros, conductor de grúa y montacargas y el conductor del ingeniero. Los cuales trabajan por turnos de 12 horas. Según la cantidad personas por carga y sus salarios en dólares por día pudimos calcular los costos netos del personal durante 1 mes.

En Colombia son obligatorios los aportes a salud y pensión y en algunos casos como este donde el trabajo cuenta con cierto riesgo es obligatorio el pago de las ARL. En nuestro caso no existe ningún trabajador que gane el mínimo por lo cual

todos estos aportes serán más altos de lo normal y se realizarán por medio de un promedio con respecto a cada uno de los salarios. Inicialmente tenemos los aportes de pensión con un 18%, salud con un 16% y en este caso con un ARL de nivel 6 para todos los trabajadores equivalentes al 6% con respecto al salario total como podemos observar en la **Tabla 63**.

Tabla 63. Salario personal taladro HCTD

Personal	Cantidad		Salario diario USD/U	Pensión USD/U	Salud USD/U	ARL USD/U	Salario diario USD	
	Día	Noche						
Su. CTD (Co Man/T.Push)	1		\$ 178	\$ 32	\$ 28	\$ 11	\$ 249	
Perforador	1	1	\$ 95	\$ 17	\$ 15	\$ 6	\$ 266	
Cuñero	3	3	\$ 38	\$ 7	\$ 6	\$ 2	\$ 317	
Asistente CTD	1		\$ 40	\$ 7	\$ 6	\$ 2	\$ 56	
Mecánico	1		\$ 40	\$ 7	\$ 6	\$ 2	\$ 56	
Electricista	1		\$ 32	\$ 6	\$ 5	\$ 2	\$ 45	
Grúa / Montacargas	2	2	\$ 35	\$ 6	\$ 6	\$ 2	\$ 197	
Conductor	1	1	\$ 24	\$ 4	\$ 4	\$ 1	\$ 67	
Total (USD)							\$	1,253

Fuente: Elaboración propia

Estos salarios se tendrán en cuenta para totalizar los costos de cualquier perforación.

6.2.3 Perforación. Para calcular el costo de cada una de la perforación es importante tener en cuenta diversos factores como puede ser, la profundidad y dirección del pozo, el tiempo que se tardará construyéndolo y el tipo de taladro utilizado. En este caso se analizaron los costos de perforación con un taladro HCTD para dos tipos de pozos mencionados anteriormente, uno vertical a 3200 ft en MD y otro horizontal a 5000 ft en md y 3200 en TVD. Como podemos observar en la siguiente **Tabla 64** los tiempos aproximados son:

Tabla 64. Tiempos campaña de perforación HCTD

Pozos	Tipo	MD (ft)	TVD (ft)	Tiempo (días)
1	Vertical	3200	3200	1
1	Horizontal	5000	3200	1.83
15	Vertical	3200	3200	15
15	Horizontal	5000	3200	27.45
30	Vertical	3200	3200	30
30	Horizontal	5000	3200	54.9
45	Vertical	3200	3200	45
45	Horizontal	5000	3200	82.35
60	Vertical	3200	3200	60
60	Horizontal	5000	3200	109.8

Fuente: Elaboración propia

El primer grupo de campañas de perforación serán de 15 a 60 pozos verticales con una profundidad en MD de 3.200 ft. Cada uno de estos pozos tarda aproximadamente 24 horas. En estas 24 horas se construirán 2 secciones hasta los 3.200 ft en MD completas con la cementación y el revestimiento.

El proceso de perforación tiene en si todos los servicios incluidos, como la cementación, registros, cañoneo y por supuesto sistema direccional. Estos servicios se realizar con empresas externas con las cuales ya se tienen pactados los porcentajes de participación y ganancia en el proyecto. Las empresas asociadas don: Antech para sistema direccional, Superior para la cementación, ADT perforación, Pason comunicaciones y Wweatherford para fluidos y revestimientos.

Los costos de transporte son un promedio entre transportes dentro de la misma locación y fuera de la locación, pero en el campamento. El precio de los salarios del personal fue calculado con respecto al número de días promedio que tardara la campaña y el costo de la perforación fue calculado con el número de pozos perforados. Los resultados de este estudio pueden ser vistos en la **Tabla 65**.

Tabla 65. Costos campañas pozos verticales

	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)
Campaña 15 pozos verticales	Transporte	\$ 825,000	\$ 2,392,500,000	
	Perforación	\$ 5,906,209	\$ 17,128,006,680	\$ 6,750,000
	Personal	\$ 18,791	\$ 54,493,320	
Campaña 30 pozos verticales	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)
	Transporte	\$ 1,650,000	\$ 4,785,000,000	
	Perforación	\$ 11,812,418	\$ 34,256,013,360	\$ 13,500,000
	Personal	\$ 37,582	\$ 108,986,640	
Campaña 45 pozo verticales	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)
	Transporte	\$ 2,475,000	\$ 7,177,500,000	
	Perforación	\$ 17,718,628	\$ 51,384,020,040	\$ 20,250,000
	Personal	\$ 56,372	\$ 163,479,960	
Campaña 60 pozo verticales	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)
	Transporte	\$ 3,300,000	\$ 9,570,000,000	
	Perforación	\$ 23,624,837	\$ 68,512,026,720	\$ 27,000,000
	Personal	\$ 75,163	\$ 217,973,280	

Fuente: Elaboración propia

El segundo grupo de campañas de perforación serán de 15 a 60 pozos horizontales con una profundidad en TVD de 3.200 ft y 5.000 ft en MD. Cada uno de estos pozos tarda aproximadamente 44 horas. En estas 44 horas se construirán 2 secciones hasta los 5.000 ft completas con la cementación y el revestimiento.

El proceso de perforación tiene en sí todos los servicios incluidos, como la cementación, registros, cañoneo y por supuesto sistema direccional. Estos servicios se realizar con empresas externas con las cuales ya se tienen pactados los porcentajes de participación y ganancia en el proyecto. Las empresas asociadas don: Antech para sistema direccional, Superior para la cementación, ADT perforación, Pason comunicaciones y Wweatherford para fluidos y revestimientos.

Los costos de transporte son un promedio entre transportes dentro de la misma locación y fuera de la locación, pero en el campamento. El precio de los salarios del personal fue calculado con respecto al número de días promedio que tardara la campaña y el costo de la perforación fue calculado con el número de pozos perforados. Los resultados de este estudio pueden ser vistos en la **Tabla 66**.

Tabla 66. Costos campañas pozos horizontales

	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)
Campana 15 pozos horizontales	Transporte	\$ 825,000	\$ 2,392,500,000	\$ 10,528,541
	Perforación	\$ 9,640,613	\$ 27,957,777,224	
	Personal	\$ 62,929	\$ 182,492,679	
Campana 30 pozos horizontales	Transporte	\$ 1,650,000	\$ 4,785,000,000	\$ 21,057,083
	Perforación	\$ 19,281,226	\$ 55,915,554,449	
	Personal	\$ 125,857	\$ 364,985,359	
Campana 45 pozo horizontales	Transporte	\$ 2,475,000	\$ 7,177,500,000	\$ 31,585,624
	Perforación	\$ 28,921,839	\$ 83,873,331,673	
	Personal	\$ 188,786	\$ 547,478,038	
Campana 60 pozo horizontales	Transporte	\$ 3,300,000	\$ 9,570,000,000	\$ 42,114,165
	Perforación	\$ 38,562,451	\$ 111,831,108,898	
	Personal	\$ 251,714	\$ 729,970,717	

Fuente: Elaboración propia

El tercer grupo de campañas de perforación serán de 15 a 60 pozos mixtos los cuales tendrán una relación de dos pozos horizontales por cada pozo vertical. Para los pozos horizontales una profundidad en TVD de 3.200 ft y 5.000 ft en MD y para los pozos verticales una profundidad en MD de 3.200 ft. Cada uno de estos pozos tarda aproximadamente 44 horas. En estas 44 horas se construirán 2 secciones hasta los 5.000 ft completas con la cementación y el revestimiento.

El proceso de perforación tiene en si todos los servicios incluidos, como la cementación, registros, cañoneo y por supuesto sistema direccionan. Estos servicios se realizar con empresas externas con las cuales ya se tienen pactados los porcentajes de participación y ganancia en el proyecto. Las empresas asociadas don: Antech para sistema direccional, Superior para la cementación, ADT perforación, Pason comunicaciones y Wweatherford para fluidos y revestimientos.

Los costos de transporte son un promedio entre transportes dentro de la misma locación y fuera de la locación, pero en el campamento. El precio de los salarios del personal fue calculado con respecto al número de días promedio que tardara la campaña y el costo de la perforación fue calculado con el número de pozos perforados. Los resultados de este estudio pueden ser vistos en la **Tabla 67**.

Tabla 67. Costos campañas pozos mixtos

	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)
Campana 15 pozos mixtos	Transporte	\$ 825,000	\$ 2,392,500,000	
	Perforación	\$ 8,311,854	\$ 24,104,375,173	\$ 9,184,587
	Personal	\$ 47,734	\$ 138,427,964	
Campana 30 pozos mixtos	Ítem	Precio (USD)	Precio COL\$	Total (USD)
	Transporte	\$ 1,650,000	\$ 4,785,000,000	
	Perforación	\$ 16,623,707	\$ 48,208,750,345	\$ 18,369,175
	Personal	\$ 95,468	\$ 276,855,928	
Campana 45 pozo mixtos	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	total (USD)
	Transporte	\$ 2,475,000	\$ 7,177,500,000	
	Perforación	\$ 24,935,561	\$ 72,313,125,518	\$ 27,553,762
	Personal	\$ 143,201	\$ 415,283,892	
Campana 60 pozo mixtos	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)
	Transporte	\$ 3,300,000	\$ 9,570,000,000	
	Perforación	\$ 33,247,414	\$ 96,417,500,690	\$ 36,738,349
	Personal	\$ 190,935	\$ 553,711,856	

Fuente: Elaboración propia

6.3 RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Teniendo en cuenta que el presupuesto para la inversión inicial fue de \$ 5.000.000 USD y que existen diversas campañas de perforación se realizó un análisis en cada una de ella para determinar el punto en el cual se recuperaría la inversión inicial. Además de esto sabemos que por cada pozo perforado las ganancias son equivalentes y aproximadas al 40%, ya sea un pozo vertical u horizontal. Además, aproximamos un tiempo total de *Rig up*, *Rig down* y transporte de 12 horas por cada pozo perforado, lo cual puede cambiar dependiendo de las distancias a recorrer.

En la **Tabla 68** se analiza una campaña teórica de solo pozos verticales. En el caso supuesto donde solo se perforen pozos verticales a 3.200 ft en TVD para el Campo Caño Sur Este. Además de los tiempos de perforación tuvimos en cuenta los tiempos de movilización del taladro, tiempo que por cierto no producen ganancias y si aumentan los gastos.

Tabla 68. Recuperación de inversión campaña pozos verticales

Pozos	Tipo	Saldo (usd)	Cuota (usd)	Tiempo (días)
1	Vertical	\$ 5,000,000	\$ 180,000	1.5
2	Vertical	\$ 4,820,000	\$ 180,000	3
3	Vertical	\$ 4,640,000	\$ 180,000	4.5
4	Vertical	\$ 4,460,000	\$ 180,000	6
5	Vertical	\$ 4,280,000	\$ 180,000	7.5
7	Vertical	\$ 3,920,000	\$ 180,000	10.5
8	Vertical	\$ 3,740,000	\$ 180,000	12
9	Vertical	\$ 3,560,000	\$ 180,000	13.5
10	Vertical	\$ 3,380,000	\$ 180,000	15
12	Vertical	\$ 3,020,000	\$ 180,000	18
13	Vertical	\$ 2,840,000	\$ 180,000	19.5
14	Vertical	\$ 2,660,000	\$ 180,000	21
16	Vertical	\$ 2,300,000	\$ 180,000	24
17	Vertical	\$ 2,120,000	\$ 180,000	25.5
18	Vertical	\$ 1,940,000	\$ 180,000	27
19	Vertical	\$ 1,760,000	\$ 180,000	28.5
20	Vertical	\$ 1,580,000	\$ 180,000	30
21	Vertical	\$ 1,400,000	\$ 180,000	31.5
23	Vertical	\$ 1,040,000	\$ 180,000	34.5
24	Vertical	\$ 860,000	\$ 180,000	36
26	Vertical	\$ 500,000	\$ 180,000	39
27	Vertical	\$ 320,000	\$ 180,000	40.5
28	Vertical	\$ 140,000	\$ 180,000	42
29	Vertical	-\$ 40,000	\$ 180,000	43.5

Fuente: Elaboración propia

En un tiempo aproximado de 44 días, la recuperación de la inversión sería total y se empezarían a percibir las ganancias. Con 29 pozos verticales construidos. Al ser una campaña teórica y aproximada no da solo un indicio de la recuperación de la inversión inicial pero no es algo factible.

Por otra parte, se tiene un supuesto de campaña de pozos horizontales. En la **Tabla 69** analizará una campaña teórica de solo pozos horizontales. En el caso supuesto donde solo se perforen pozos horizontales a 3.200 ft en TVD y 5.000 ft en MD para el Campo Caño Sur Este. Además de los tiempos de perforación se tuvieron en cuenta los tiempos de movilización del taladro, tiempo que por cierto no producen ganancias y si aumentan los gastos.

Tabla 69. Recuperación de inversión campaña pozos horizontales

Pozos	Tipo	Saldo (usd)	Cuota (usd)	Tiempo (días)
1	Horizontal	\$ 5,000,000	\$ 280,000	2.33
2	Horizontal	\$ 4,720,000	\$ 280,000	4.66
3	Horizontal	\$ 4,440,000	\$ 280,000	6.99
4	Horizontal	\$ 4,160,000	\$ 280,000	9.32
5	Horizontal	\$ 3,880,000	\$ 280,000	11.65
6	Horizontal	\$ 3,600,000	\$ 280,000	13.98
7	Horizontal	\$ 3,320,000	\$ 280,000	16.31
8	Horizontal	\$ 3,040,000	\$ 280,000	18.64
9	Horizontal	\$ 2,760,000	\$ 280,000	20.97
10	Horizontal	\$ 2,480,000	\$ 280,000	23.3
11	Horizontal	\$ 2,200,000	\$ 280,000	25.63
12	Horizontal	\$ 1,920,000	\$ 280,000	27.96
13	Horizontal	\$ 1,640,000	\$ 280,000	30.29
14	Horizontal	\$ 1,360,000	\$ 280,000	32.62
15	Horizontal	\$ 1,080,000	\$ 280,000	34.95
16	Horizontal	\$ 800,000	\$ 280,000	37.28
17	Horizontal	\$ 520,000	\$ 280,000	39.61
18	Horizontal	\$ 240,000	\$ 280,000	41.94
19	Horizontal	-\$ 40,000	\$ 280,000	44.27

Fuente: Elaboración propia

En un tiempo aproximado de 45 días, la recuperación de la inversión sería total y se empezarían a percibir las ganancias. Con 19 pozos horizontales construidos. Al ser una campaña teórica y aproximada no da solo un indicio de la recuperación de la inversión inicial pero no es algo factible.

Por otra parte, se tiene una campaña real de 14 pozos horizontales y 7 pozos verticales. En la **Tabla 70** analizamos una campaña real de pozos horizontales a 3.200 ft en TVD y 5.000 ft en MD y pozos verticales a 3.200 ft en TVD para el Campo Caño Sur Este. Además de los tiempos de perforación tuvimos en cuenta los tiempos de movilización del taladro, tiempo que por cierto no producen ganancias y si aumentan los gastos.

Tabla 70. Recuperación de inversión campaña pozos mixtos

Pozos	Tipo	Saldo (usd)	Cuota (usd)	Tiempo (días)
1	Horizontal	\$ 5,000,000	\$ 280,000	2.33
2	Horizontal	\$ 4,720,000	\$ 280,000	4.66
3	Horizontal	\$ 4,440,000	\$ 280,000	6.99
4	Horizontal	\$ 4,160,000	\$ 280,000	9.32
5	Horizontal	\$ 3,880,000	\$ 280,000	11.65
6	Horizontal	\$ 3,600,000	\$ 280,000	13.98
7	Horizontal	\$ 3,320,000	\$ 280,000	16.31
8	Horizontal	\$ 3,040,000	\$ 280,000	18.64
9	Horizontal	\$ 2,760,000	\$ 280,000	20.97
10	Horizontal	\$ 2,480,000	\$ 280,000	23.3
11	Horizontal	\$ 2,200,000	\$ 280,000	25.63
12	Horizontal	\$ 1,920,000	\$ 280,000	27.96
13	Horizontal	\$ 1,640,000	\$ 280,000	30.29
14	Horizontal	\$ 1,360,000	\$ 280,000	32.62
15	Vertical	\$ 1,080,000	\$ 180,000	34.12
16	Vertical	\$ 900,000	\$ 180,000	35.62
17	Vertical	\$ 720,000	\$ 180,000	37.12
18	Vertical	\$ 540,000	\$ 180,000	38.62
19	Vertical	\$ 360,000	\$ 180,000	40.12
20	Vertical	\$ 180,000	\$ 180,000	41.62
21	Vertical	\$ -	\$ 180,000	43.12

Fuente: Elaboración propia

En un tiempo aproximado de 43 días, la recuperación de la inversión sería total y se empezarían a percibir las ganancias. Con 14 pozos horizontales y 7 verticales construidos.

Se puede ver la rentabilidad económica del proyecto con el poco tiempo de recuperación de inversión en los casos teóricos y en el caso real. En este caso lo más rentable también es ideal, puesto que se recupera la totalidad de la inversión en tan solo 43 días y se construyen los dos tipos de pozos con una relación de dos horizontales por uno vertical. Además de esto la construcción de 21 pozos nuevos para el campo caño sur equivale a un 33% del número de pozos que tienen en la actualidad.

Este caso es como tal una aproximación, puesto que en la realidad seguramente habría retrasos en cualquiera de los diversos servicios, como registros, cementación e incluso perforación, ya sea por errores mecánico o humanos. Por esta razón pensamos en darle un margen como podemos ver en la **Tabla 71**.

Tabla 71. Margen de error recuperación de la inversión

Margen (DIAS)	Porcentaje
7	15.96%

Fuente: Elaboración propia

6.4 COMPARACIÓN ECONÓMICA

La comparación económica es importante para saber qué capital inicial se necesita tener para una u otra tecnología y con qué velocidad se recuperar la inversión. Por esta razón se hizo el mismo análisis financiero realizado con el taladro HCTD para un taladro convencional promedio.

El análisis se realizará no solo con los costos de la inversión inicial si no también con los costos de perforación, ya sean por día o por pozo. Teniendo estos datos de cada taladro se podrá determinar que tecnología es más rentable económicamente hablando.

6.4.1 Inversión inicial. Como primera instancia se tiene la inversión inicial, como se puede ver en la **Tabla 72** la inversión para un taladro convencional es mucho más baja. Teniendo en cuenta que los costos en tiquetes y viáticos son constantes se puede concluir que el gran cambio se da directamente en el precio del taladro y su mantenimiento.

Se escogió un taladro con la misma antigüedad de 8 años aproximadamente y que se encontrara con las mismas capacidades técnicas. Esta cuesta 500.000 USD menos que un HCTD y su mantenimiento es mucho más económico. Esto se da principalmente porque al tener tecnología convencional los costos de compra y mantenimiento son mucho más económico que los de un taladro con tecnología de punta. También al ser más económico el taladro tendrá que pagar muchos menos impuestos y además necesitará los trámites de registro, puesto que al ser un producto nuevo en llegar al país debe ser registrado con su respectiva marca modelo y características. Lastimosamente este proceso no se puede simular sino hasta que el taladro se encuentre en tierras nacionales, pero se tiene un margen de errores bastante amplio para este tipo de costos extras.

Por otra parte, se tiene el transporte, que es el único ítem que vemos en aumento en un taladro convencional puesto que el número de cargas es más del doble y las cargas extradimensionadas son cinco. Este es un punto a favor para el taladro HCTD puesto que será mucho más fácil tanto una futura importación de más tecnología HCTD como el transporte entre perforación y perforación.

Tabla 72. Inversión inicial taladro convencional

Ítem	Precio (USD)	Presupuesto (USD)	Precio (COL\$)	Presupuesto (COL\$)
Tiquetes	\$ 1,303	\$ 1,500	\$ 3,779,822	\$ 4,350,000
Viáticos	\$ 4,766	\$ 5,000	\$ 13,820,000	\$ 14,500,000
Taladro	\$ 1,500,000	\$ 1,650,000	\$ 4,350,000,000	\$ 4,785,000,000
Transporte	\$ 971,810	\$ 1,000,000	\$ 2,818,250,000	\$ 2,900,000,000
Impuestos	\$ 525,000	\$ 525,000	\$ 1,522,500,000	\$ 1,522,500,000
Mantenimiento	\$ 1,000,000	\$ 1,100,000	\$ 2,900,000,000	\$ 3,190,000,000
Total	\$ 4,002,879	\$ 4,281,500	\$ 11,608,349,822	\$ 12,416,350,000

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver la inversión inicial es significativamente más alta para un taladro HCTD que para un taladro convencional, esto se da porque se está hablando de tecnología más moderna que tiene un costo comercial mayor, un mantenimiento más alto y por ende unos impuestos mayores.

Como se puede observar en la **Tabla 73**, la inversión inicial para un taladro HCTD es casi un 15% más alta que la de un taladro convencional.

Tabla 73. Diferencia inversiones iniciales

Margen (USD)	Porcentaje
\$ 725,000	14.48%

Fuente: Elaboración propia

Como se ve continuación en la **Tabla 74** se reafirma en la comparación económica entre los dos métodos que en el único ítem donde se ve un aumento significativo es en el transporte, mientras que en tiquetes y viáticos no hay ninguna diferencia, pero en el resto de los costos existe un gran aumento generalizado para dar como resultado una inversión mayor en la tecnología de punta como era de esperarse.

Tabla 74. Diferencia porcentuales inversiones iniciales

Comparación Ítem	HCTD		Convencional		Diferencia
	Precio (USD)	Presupuesto (USD)	Precio (COL\$)	Presupuesto (COL\$)	
Tiquetes	\$ 1,303	\$ 1,500	\$ 1,303	\$ 1,500	0.00%
Viáticos	\$ 4,766	\$ 5,000	\$ 4,766	\$ 5,000	0.00%
Taladro	\$ 2,000,000	\$ 2,200,000	\$ 1,500,000	\$ 1,650,000	25.00%
Transporte	\$ 448,655	\$ 450,000	\$ 971,810	\$ 1,000,000	-122.22%
Impuestos	\$ 700,000	\$ 700,000	\$ 525,000	\$ 525,000	25.00%
Mantenimiento	\$ 1,500,000	\$ 1,650,000	\$ 1,000,000	\$ 1,100,000	33.33%
Total	\$ 4,654,724	\$ 5,006,500	\$ 4,002,879	\$ 4,281,500	14.48%

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2 Costos de perforación. Los costos de perforación son muy importantes y más en este caso cuando se habla de una inversión inicial de un 15% más alta de lo normal. Los costos de operación determinarán básicamente a qué velocidad podremos recuperar la inversión inicial y que tan rentable será a futuro además de que tan económicamente rentable es con respecto a otros taladros.

El taladro HCTD tiene un porcentaje de ganancias aproximadas del 40% sobre el valor de cada perforación. Claramente este valor puede variar entre los distintos trabajos a realizar por diversos factores e imprevistos pero basados en la experiencia y los trabajos realizados en Estados Unidos y Canadá se afirma que en gran porcentaje de los casos estas son las ganancias.

Como se puede ver en la **Tabla 75** estos son los costos promedio de los pozos perforados en el Campo Caño Sur. Comparándolos con los costos de las perforaciones HCTD son significativamente más altos, ya sea para una perforación vertical a 3.200 ft como una perforación horizontal a 5.00 ft.

Tabla 75. Diferencia costos de perforación

	Ítem	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)	Total (COL\$)
Campaña 1 pozo vertical	Transporte	\$ 110,000	\$ 319,000,000		
	Perforacion	\$ 718,015	\$ 2,082,242,816	\$ 850,000	\$ 2,465,000,000
	Personal	\$ 21,985	\$ 63,757,184		
	Item	Precio (USD)	Precio (COL\$)	Total (USD)	Total (COL\$)
Campaña 1 pozo horizontal	Transporte	\$ 110,000	\$ 319,000,000		
	Perforacion	\$ 915,246	\$ 2,654,214,133	\$ 1,050,000	\$ 3,045,000,000
	Personal	\$ 24,754	\$ 71,785,867		

Fuente: Elaboración propia

Este tal vez es el punto más importante de todo el análisis financiero, porque es notoriamente más rentable que cualquier perforación convencional. Como se puede analizar en la **Tabla 76** una perforación convencional en Caño Sur Este es mucho más tardía y con más inconvenientes. Por esto los costos son significativamente más alto. Como se mencionó anteriormente el Campo tiene en la actualidad alrededor de 60 pozos por esta razón se calcularon los tiempos de perforación para toda esta campaña y así compararlos con una campaña similar HCTD.

Tabla 76. Tiempos perforación convencional

Pozos	Tipo	MD (ft)	TVD (ft)	Tiempo (días)
1	Vertical	3200	3200	13.5
1	Horizontal	5000	3200	15.2
15	Vertical	3200	3200	202.5
15	Horizontal	5000	3200	228
30	Vertical	3200	3200	405
30	Horizontal	5000	3200	456
45	Vertical	3200	3200	607.5
45	Horizontal	5000	3200	684
60	Vertical	3200	3200	810
60	Horizontal	5000	3200	912

Fuente: Elaboración propia

En general donde se puede ver los mayores aumentos en costos a modo de porcentaje es en el salario del personal, esto se debe al tiempo considerable que hay entre los dos tipos de perforación y a que una perforación convencional necesita mucho más personal. Por otra parte en la **Tabla 77**, es notorio que la mayor diferencia económica es el costo en sí de la perforación. Esto se da básicamente

por lo mismo, los tiempos, una perforación HCTD es más costosa por hora, pero si se analizan los tiempos es notoria la diferencia por el poco tiempo que tarda en cumplir su objetivo con respecto a una perforación convencional.

Tabla 77. Diferencias porcentuales ítems costos de perforación

	Ítem	Precio (USD)	Precio (USD)	Diferencia	Diferencia
Campaña 1 pozo vertical	Transporte	\$ 55,000	\$ 110,000	\$ 55,000	-50.00%
	Perforación	\$ 393,747	\$ 718,015	\$ 324,267	-45.16%
	Personal	\$ 1,253	\$ 21,985	\$ 20,733	-94.30%
	Ítem	Precio (USD)	Precio (USD)	Diferencia	Diferencia
Campaña 1 pozo horizontal	Transporte	\$ 55,000	\$ 110,000	\$ 55,000	-50.00%
	Perforación	\$ 642,708	\$ 915,246	\$ 272,539	-29.78%
	Personal	\$ 2,292	\$ 24,754	\$ 22,461	-90.74%

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la **Tabla 78**, tanto en los pozos horizontales como en los verticales hay una diferencia importante en precios y tiempos. Esto indica que una campaña de perforación será con esta tecnología más económica y en mucho menos tiempo lo cual es fundamental para la recuperación de la inversión. Podemos aproximar las diferencias promedio a un 40% en una campaña de perforación de un número igual o superior a 15 pozos.

Tabla 78. Diferencias porcentuales costos de perforación

Comparación		HCTD		Convencional		
	Ítem	Precio (USD)	Precio (USD)	Diferencia	Diferencia	Ítem
Campaña 1 pozo vertical	Transporte	\$ 55,000	\$ 110,000	\$ 55,000		
	Perforación	\$ 393,747	\$ 450,000	\$ 718,015	\$ 850,000	-47.06%
	Personal	\$ 1,253	\$ 21,985	\$ 21,985		
	Ítem	Precio (USD)	Precio (USD)	Diferencia	Diferencia	Ítem
Campaña 1 pozo horizontal	Transporte	\$ 55,000	\$ 110,000	\$ 55,000		
	Perforación	\$ 642,708	\$ 700,000	\$ 915,246	\$ 1,050,000	-33.33%
	Personal	\$ 2,292	\$ 24,754	\$ 24,754		

Fuente: Elaboración propia

6.4.3 Recuperación de la inversión. Teniendo en cuenta que se seleccionó como campaña de perforación más rentable a la de pozos mixtos al realizar la

comparación con la tecnología convencional se pueden concluir diversas teorías. Principalmente que una campaña de perforación mixta con taladros convencionales sería mucho más lenta en el Campo Caño Sur y no perforaría tantos pozos como un HCTD. Cómo está comparado en la **Tabla 79**, lo positivo para la empresa perforadora es que necesita construir menos pozos para recuperar la inversión inicial, pero en tiempo se tarda mucho más. La tecnología HCTD factura mucho más en un cuarto del tiempo.

Como se mencionó antes la campaña de perforación mixta consta de dos tipos de pozos, los horizontales a 3.200 ft en TDV y 5.000 ft en MD y los verticales a 3.200 ft en MD. Con una relación de dos a uno, por cada pozo vertical perforado se perforan 2 horizontales. Esto es importante reafirmarlo porque en las dos campañas se utiliza estos mismos parámetros.

Tabla 79. Comparación recuperación de la inversión

Tecnología	Pozos Verticales	Pozos Horizontales	Pozos Totales	Días	Recuperación
Hctd	7	14	21	43.1 2	\$ 5,180,000
Convencional	5	10	15	219. 5	\$ 4,425,000

Fuente: Elaboración propia

6.5 RENTABILIDAD

El proyecto es altamente rentable gracias a sus bajos costos de operación equivalentes a un 47% menos de una perforación vertical convencional y 33% menos a una horizontal. Esto se da gracia a que un taladro HCTD cuenta con menos cargas lo cual se ve reflejado en menos costos de transporte, al ser un taladro más pequeño y automatizado no necesita casi personal por lo cual el costo total de los salarios es considerablemente más bajo y la perforación como tal es más económica que una perforación convencional teniendo en cuenta el número total de días trabajados para la perforación de un pozo.

Además de las altas ganancias equivalentes a un 40% lo cual da una recuperación de la inversión inicial bastante rápida en aproximadamente 43 días. Esto es gracias a la velocidad que tiene el taladro para toda la operación de perforación, lo que permite perforar un número bastante alto de pozos en un tiempo relativamente corto comparándolo con un taladro convencional. Puesto que en el tiempo total de la recuperación de la inversión inicial (43 días) es capaz de perforar 14 pozos horizontales y 7 pozos verticales, trabajando las 24 horas del día.

Gracias a esto las ganancias serán prácticamente inmediatas y así se podría empezar a planificar la compra de un segundo taladro para la compañía. Esto aceleraría las perforaciones someras y facilitaría la construcción de pozos horizontales, aumentando así el número de pozos productores en campos con características similares al Campo Caño Sur.

Al ser tecnología innovadora está claro que es más costosa y su mantenimiento al ser más complicado también lo es pero esto es normal en cualquier industria del mundo, si los taladros híbridos de tubería flexible comienzan a trabajar en Colombia y los profesionales los conocen con el paso del tiempo los costos de compra y mantenimiento se regularán a los de un taladro convencional.

7. CONCLUSIONES

- La tecnología HCT necesita cumplir con unos parámetros, los cuales son; que la Formación que se desea alcanzar sea menor a 5000 Ft, que la litología no sea consolidada, y un torque máximo de 12715 ft-lb.
- Al no tener que parar durante la perforación, la tecnología HCT sufre menos de pegas diferenciales, lo que se convierte en un beneficio adicional.
- Utilizando HCTD se puede disminuir de manera considerable los tiempos (hasta 74% en pozos horizontales, es decir, alrededor de ocho días por perforación), pues esta tecnología no necesita paradas y tiene menos cargas, por lo que son más fácil y rápidos en la operación de movilización.
- Ambientalmente son mejores los taladros de CT, pues el impacto ponderado de estos taladros es de tan solo -20, debido a que son más pequeños, por lo que necesitan menos energía y área para su utilización, y, por ende, su repercusión sobre el ecosistema es menor.
- La matriz arrojó que los taladros que utilizan CT, son mejores para este Campo, con una calificación superior a 3.75, pese a que los taladros convencionales son más potentes (los taladros convencionales tienen una potencia superior a 500 hp), los de CT ofrecen más servicios.
- Perforar con tecnología convencional es más costoso debido a que se necesita más personal (13 personas más que la perforación con CT), se demora más tiempo en la perforación, movilización y en los procesos de arme y desarme (lo que equivale a casi diez horas por pozo).
- El proyecto es altamente rentable gracias a sus bajos costos de operación equivalentes a un 47% menos de una perforación vertical convencional y 33% menos a una horizontal, además de las altas ganancias equivalentes a un 40% lo cual da una recuperación de la inversión inicial bastante rápida en aproximadamente 43 días.

8. RECOMENDACIONES

- Ajustar la matriz de selección a pozos con una profundidad mayor a los 5000 Ft, y a formaciones más consolidadas, debido a que las condiciones del Campo de estudio benefician a los taladros de tubería flexible.
- Tener en cuenta otros factores técnicos, ambientales, y sociales como salud de la población y la cantidad de agua necesaria para realizar la operación de perforación puesto que entre más factores a calificar en la matriz la selección del taladro será más ideal
- Comparar más taladros con diferentes características, para que la selección de estos sea más completa y para que se elija el mejor de ellos.
- Determinar en qué campos en Colombia es factible perforar con taladros HCTD teniendo en cuenta la ventana de aplicabilidad de esta tecnología.
- Realizar este mismo estudio para la implementación de taladros híbridos en otros campos con características similares al Campo Caño Sur.

BIBLIOGRAFÍA

ACIPET. Caño Sur Este, ejemplo de producción eficiente en escenarios de precios bajos. [En línea]. Congreso Colombiano del Petróleo. Bogotá D.C (Colombia). [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: <https://congresoacipet.com/wp-content/uploads/2017/Tec/TEC-113.pdf>

ACIPET. Campo Rubiales, Colombia: Modelo de viscosidad para un yacimiento gigante de crudo pesado con una inusual tendencia de temperatura de yacimiento. [En línea]. 2010.[Consultado en Noviembre 2018]. Disponible en internet: <https://congresoacipet.com/wp-content/uploads/2017/Tec/TEC-146.pdf>

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Contrato de Exploración y Explotación de Hidrocarburos. Sector Caño Sur. ANH. Bogotá, Colombia. 2005. 57 p.

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Cuenca de los Llanos Orientales, Integración geológica de la digitalización y análisis de núcleos. [En línea]. Diciembre de 2012. [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/5.%20Informe%20Final%20Llanos.pdf>

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Información geológica y geofísica. [En línea]. Ronda Colombia 2010. [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: [http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20\(pdf\)-Ronda%20Colombia%202010.pdf](http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Llanos%20(pdf)-Ronda%20Colombia%202010.pdf)

AMORPCHO, P. BADILLO, Juan. Influencia de la composición mineral de rocas arcillosas en la estabilidad de pozos petroleros. [En línea]. Junio 2012. [Consultado en Noviembre 2018]. Disponible en internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/boge/v34n1/v34n1a06.pdf>

ANH. HALLIBURTON. Área Crudos pesados, informe de prospectividad. [En línea]. [Consultado en 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Estudios-Integrados-y-Modelamientos/Presentaciones%20y%20Poster%20Tcnicos/Informe_de_Prospectividad.pdf

Arrieta, Mario. Volúmenes de lodo en el pozo. [En línea]. Mayo 2011. [Consultado en noviembre 2018]. Disponible en internet: <https://profesormario.wordpress.com/2011/05/05/volumenes-de-lodo-en-el-pozo/>
Universidad Nacional Autónoma de México. Evaluación petrolera y métodos de explotación del Campo Miquetla en la Cuenca de Chicontepec. [En línea]. 2013. [Consultado en noviembre 2018]. Disponible en internet: <https://docplayer.es/45270615-Universidad-nacionalautonomademexico.html>

Dick Arias, Comparación de la perforación bajo balance con sobre balance, [En línea] <http://perfob.blogspot.com/2015/09/comparacion-de-la-perforacion-bajo.html>. Consultado: Noviembre 1 de 2018.

ECOPETROL – Beicip/Franlab, 1995. Estudio Geológico Regional, Cuenca Llanos Orientales.

ECOPETROL/ICP, 1991. Proyecto Evaluación Geoquímica, cuenca Llanos Orientales.

ECURED. Radiometría. [En línea]. [Consultado 20 de agosto de 2018]. Disponible en internet: <https://www.ecured.cu/Radiometr%C3%ADa>

EL ESPECTADOR. Ecopetrol declara comercialidad de hallazgo petrolero con reservas de 22.4 millones de barriles [en línea]. Diciembre, 2013. Disponible en: <http://www.elespectador.com/noticias/economia/ecopetrol-declara-comercialidad-de-hallazgo-petrolero-r-articulo-462328>. (30, Julio, 2014)

ESTRUCTPLAN, Gaseoducto para el desarrollo agropecuario del sur. Parte 5, [En línea]. Junio 2016. [Noviembre 2, 2018]. Disponible en internet: <http://estrucplan.com.ar/producciones/contenido-tecnico/p-medio-ambiente/gasoducto-para-el-desarrollo-agropecuario-del-sur-parte-5/>.

FAJARDO, Sebastián. BOTIA, Diana. WILCHES, Santiago. Movilización de taladros. [En línea]. Noviembre 2012. [Consultado en Noviembre 2018]. Disponible en internet: https://prezi.com/krjoq6i_xvsq/movilizacion-de-taladros/

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

JULIVERT.M. Léxico Estratigráfico Internacional. Colombia, 1968. Vol. 5.
DE PORTA Léxico Estratigráfico internacional. Paris, 1974.

MORALES, Inocencio. Gerencia regional Oriente Superintendencia de operaciones Caño Sur. [En línea]. Diciembre 2014. [Consultado 20 de agosto de 2018]. Disponible en internet: <https://slideplayer.es/slide/1653918/>

Pérez. L. Betancourt F. Plan de Desarrollo Bloque Caño Sur Este. Ecopetrol S.A., Bogotá, Colombia. 2015. 79 p.

PETRONES. El concepto de perforación de Coiled Tubing-microhole aplicado a yacimientos gasíferos maduros de Kansas, Colorado. [En línea]. Octubre 2017. [Consultado en Noviembre 2018]. Disponible en internet: <https://www.petrolnews.net/noticia.php?ID=767078302af52c18c6209ffcea6b2cd2&r=8889>

PETROWORKS. PW-118. [En línea]. 2009 [Consultado en Noviembre 2018]. Disponible en internet: <http://www.petroworks.com.co/web/images/Pdf/drilling/pw118.pdf>

PETROWORKS. PW-127. [En línea]. 2009 [Consultado en Noviembre 2018]. Disponible en internet: <http://www.petroworks.com.co/web/images/Pdf/drilling/pw127.pdf>.

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES. Glosario de Geología. [En línea]. 26 de enero de 2010. [Consultado 20 de agosto de 2018]. Disponible en internet: https://www.ugr.es/~agcasco/personal/rac_geologia/rac.htm

RODRIGUEZ PARRA, Antonio José. Mapa Geológico del Departamento del Meta. INGEOMINAS. [En línea]. Diciembre de 2001, Bogotá D.C (Colombia). [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010040020451/documento/pdf/0101204511101000.pdf>

SCHLUMBERGER. Índice de hidrogeno. [En línea]. 2018. [Consultado 20 de agosto de 2018]. Disponible en internet: https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/h/hydrogen_index.aspx

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO, Inyección de CO₂ en el área de Coapechaca. [En línea] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2213/1/Inyecci%C3%B3n%20de%20CO2%20en%20el%20Area%20de%20Coapechaca.pdf>. Consultado: Noviembre 1, 2018.

WEIMAR Julio. Ubicación de los Llanos Orientales. [En línea]. Agosto de 2014. [Consultado 18 de agosto de 2018]. Disponible en internet: http://culturallaneracol.blogspot.com/2014/08/ubicacion-de-los-llanos-orientales_13.html

WORLD RIGS. Foremost CTR Single Coil Tubing Hybrid Drilling Rig. [En línea]. 2005. [Consultado en Noviembre 2018]. Disponible en internet: <http://www.world-rigs.com/landrigs/equipdetails.php?id=332>

WORLOILS. Coiled tubing unit- Hybrid top drive for sale. [En línea]. 2014.[Consultado en Noviembre 2018]. Disponible en internet: <http://www.worldoils.com/marketplace/equipdetails.php?id=216>.