

**ANÁLISIS TÉCNICO FINANCIERO DEL USO DE TECNOLOGÍAS DE CORTE
MULTIDIMENSIONAL DE BROCA PDC PARA PERFORAR FORMACIONES
ABRASIVAS DE LA SECUENCIA CARBONERAS EN EL BLOQUE DE
PIEDEMONTE**

DIANA CATALINA MANSILLA MARTÍNEZ

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

**ANALISIS TÉCNICO FINANCIERO DEL USO DE TECNOLOGÍAS DE CORTE
MULTIDIMENSIONAL DE BROCA PDC PARA PERFORAR FORMACIONES
ABRASIVAS DE LA SECUENCIA CARBONERAS EN EL BLOQUE DE
PIEDEMORTE**

DIANA CATALINA MANSILLA MARTINEZ

**Proyecto Integral de Grado para optar al título de: INGENIERO DE
PETRÓLEOS**

**Director
SANDRO MENDOZA
Ingeniero de Petróleos**

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

Nota de aceptación

Ingeniera Leydy Paola Mora

Ingeniero Jorge Andrés Tovar

Bogotá D.C., 22 de Agosto de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUÍS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano de Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería de Petróleos

Ing. JUAN CARLOS RODRÍGUEZ ESPARZA

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

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser luz en mi camino.

Agradecimientos a la empresa Baker Hughes Colombia, que permitió el desarrollo de este Trabajo de Grado.

A los Ingenieros Fabián Becerra, Sandro Mendoza y Andrés Mondragón por su tiempo, experiencia y conocimiento para lograr que este proyecto se culminara satisfactoriamente.

Por último, al cuerpo docente de la Fundación Universidad de América por brindar su conocimiento durante estos años y permitir mi formación profesional.

DEDICATORIA

A Dios quien guía mis pasos y me llena de fortaleza para nunca desistir.

A mis padres, Diana y Javier por ser mi ejemplo y apoyo. Gracias ser la mejor motivación, por creer en mí, pero sobre todo por su amor infinito.

A mi hermana Salomé, por ser mi compañera de vida, por las risas y palabras de amor que me motivan a ser una mejor persona para ella y para la sociedad.

A mis abuelitos por estar siempre presentes y darme su amor incondicional.

A mis amigos, por acompañarme durante esta etapa y hacerla inolvidable.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	
OBJETIVOS	
1. GENERALIDADES DEL CAMPO FLOREÑA	30
1.1 HISTORIA DEL CAMPO FLOREÑA	30
1.2 LOCALIZACION	30
1.3 MARCO GEOLOGICO	33
1.3.1 Columna Estratigráfica	33
1.3.2 Estratigrafía	34
1.3.3 Geología estructural	38
1.3.4 Geología del Petróleo del Campo Floreña	39
1.4 HISTORIA DE PRODUCCIÓN DE LOS CAMPO FLOREÑA	40
1.4.1 Método de producción	41
1.4.2 Tiempo de producción	41
1.4.3 Número de pozos	41
1.4.4 Producción acumulada de petróleo y gas	41
2. GENERALIDADES DE LAS BROCAS	43
2.1 BROCAS TRICONICAS	43
2.1.1 El mecanismo de corte	44
2.2 BROCAS DE CUERPO FIJO	44
2.2.1 Diamantes naturales	45
2.2.2 Brocas impregnadas	46
2.2.3 Compacto de diamante policristalino PDC	47
2.3 BROCAS ESPECIALES	50
2.3.1 Brocas de chorro	50
2.3.2 Brocas de corazonamiento	51
2.4 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA VIDA ÚTIL DE LAS	

BROCAS DURANTE EL PROCESO DE PERFORACIÓN	56
2.4.1 Abrasividad de la formación	52
2.4.2 Dureza de la formación	52
2.5 CALIFICACIÓN IADC PARA EL DESGASTE DE LAS BROCAS DE CUERPO FIJO Y TRICONICAS	58
2.6 PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	58
2.6.1 WOB.	58
2.6.2 RPM (Revoluciones por Minuto)	59
2.6.3 GPM (Tasa de flujo)	59
2.6.4 ROP (Tasa de penetración)	59
2.6.5 El torque	59
2.6.6 MSE (Energía Mecánica Específica)	59
3 CORTADORES PDC	61
3.1 DENSIDAD DE CORTADORES	61
3.2 ANGULO DEL CORTADOR	63
3.3 TAMANO DE LOS CORTADORES	64
3.4 VELOCIDAD DEL CORTADOR	66
4. TECNOLOGIAS DE CORTADORES MULTIDIMENSIONALES	68
4.1 TECNOLOGÍA STAYCOOL	68
4.2 TECNOLOGIA STABILIS DUAL CHAMFER	71
5 DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA Y RESULTADOS	74
5.1 CALIFICACIÓN IADC	76
5.1.1 Calificación IADC para brocas con cortadores StayCool y brocas de cortadores estándar	77
5.1.2 Calificación IADC para brocas con cortadores Stabilis Dual Chamfer y brocas de cortadores Estándar	89
5.2 COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE PERFORACIÓN ENTRE BROCAS DE TECNOLOGIA MULTIDIMENSIONAL Y TECNOLOGIA ESTÁNDAR	92
5.2.1 Comparación del comportamiento de los parámetros de perforación entre brocas con cortadores StayCool y cortadores Estándar	97

5.2.2 Comparación del comportamiento de los parámetros de perforación entre brocas con cortadores Stabilis DualChamfer y cortadores Estándar	102
5.3 COMPARACION DEL COMPORTAMIENTO DE LA ENERGIA MECANICA ESPECÍFICA (MSE) ENTRE BROCAS DE TECNOLOGIA NO PLANAR Y TECNOLOGIA ESTÁNDAR	106
5.3.1 Comparación del comportamiento de la energía mecánica específica (MSE) entre brocas con cortadores StayCool y cortadores Estándar	106
5.3.2 Comparación del comportamiento de la energía mecánica específica (MSE) entre brocas con cortadores Stabilis DualChamfer y cortadores Estándar	115
6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	127
7 ANÁLISIS FINANCIERO	131
7.1 TASA DE INTERÉS DE OPORTUNIDAD (TIO)	131
7.2 OPEX	131
7.3 La relación beneficio costo (RB/C)	134
7.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)	134
7.5 ANALISIS FINANCIERO PARA CADA CASO DE ESTUDIO	135
7.5.1 Caso 1	135
7.5.2 Caso 2	136
7.5.3 Caso 3	138
7.5.4 Caso 4	139
8 CONCLUSIONES	141
9 RECOMENDACIONES	142
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Mapa del Campo Floreña	32
Figura 2. Columna estratigráfica de la Cuenca de los Llanos Orientales	33
Figura 3. Perfil estructural de la Cuenca de los Llanos Orientales	39
Figura 4. Producción acumulada de Petróleo y Gas del Campo Floreña	42
Figura 5. Componentes básicos de broca tricónicas	43
Figura 6. Mecanismo de corte de broca tricónicas	44
Figura 7. Brocas de cuerpo fijo	44
Figura 8. Brocas de diamante natural	45
Figura 9. Mecanismo de corte de broca de diamante natural	46
Figura 10. Tipos de brocas impregnadas	47
Figura 11. Mecanismo de corte de brocas impregnadas	47
Figura 12. Perfil de broca PDC	48
Figura 13. Cortador convencional broca PDC	49
Figura 14. Mecanismo de corte broca PC	49
Figura 15. Broca de chorro	50
Figura 16. Broca de corazonamiento	51
Figura 17. Clasificación de brocas tricónica	55
Figura 18. Numeración de hileras internas y externas para brocas de conos y cuerpo fijo	55
Figura 19. Pruebas de laboratorio WOB vs ROP	62
Figura 20. Diferentes ángulos de corte y agresividad	64
Figura 21. Vista superior y lateral de los tres bits de cuatro palas	65
Figura 22. Cortador StayCool	68
Figura 23. Comparación del calor generado en un cortador convencional y un cortador multidimensional	69
Figura 24. Comparación de la temperatura entre cortador convencional y Cortador StayCool	70
Figura 25. Perfil del desgaste del cortador	70
Figura 26. Cortador Stabilis Dual Chamfer	71
Figura 27. Comparación relativa de desempeño de cortadores Stabilis Dual Chamfer	72
Figura 28. Comparación del torque entre broca estándar y broca con cortadores Stabilis Dual Chamfer	73
Figura 29. Estado de salida de las brocas BROCA 1 Y BROCA 2	78
Figura 30. Calibre (G) en gauge	82
Figura 31. Estado de salida de las brocas 3 y 4	85
Figura 32. Calibre (G) en gauge para brocas BROCA 3 BROCA 4	88
Figura 33. Estado de salida de las brocas Broca 5 Y Broca 6	90
Figura 34. Calibre (G) en gauge para las brocas: Broca 5 Y Broca 6	92
Figura 35. Estado de salida de las brocas BROCA 7 Y BROCA 8	94
Figura 36. Calibre (G) en gauge para las brocas BROCA 7 Y BROCA 8	96
Figura 37. Parámetros de perforación para la broca BROCA 1	99

Figura 38. Parámetros de perforación para la broca BROCA 2	99
Figura 39. Parámetros de perforación para la broca BROCA3	101
Figura 40. Parámetros de perforación para la broca BROCA 4	101
Figura 41. Parámetros de perforación para la broca BROCA 5	103
Figura 42. Parámetros de perforación para la broca BROCA 6	103
Figura 43. Parámetros de perforación para la BROCA 7	105
Figura 44. Parámetros de perforación para la BROCA 8	105

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama para la calificación IADC

pág.
.76

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Distribución de la energía mecánica especifica respecto a la profundidad. Caso 1	107
Gráfica 2. Comportamiento de la energía mecánica especifica respecto a la tasa de penetración. Caso 1	109
Gráfica 3. Comportamiento de la energía mecánica especifica respecto al peso sobre la broca. Caso 1	111
Gráfica 4. Distribución de la energía mecánica especifica respecto a la profundidad. Caso 2	112
Gráfica 5. Comportamiento de la energía mecánica especifica respecto al peso sobre la broca. Caso 2	114
Gráfica 6. Distribución de la energía mecánica especifica respecto a la profundidad. Caso 3	116
Gráfica 7. Comportamiento de la energía mecánica especifica respecto a la tasa de penetración. Caso 3	118
Gráfica 8. Comportamiento de la energía mecánica especifica respecto al peso sobre la broca. Caso 3	120
Gráfica 9. Distribución de la energía mecánica especifica respecto a la profundidad. Caso 4	122
Gráfica 10. Comportamiento de la energía mecánica especifica respecto la tasa de penetración. Caso 4	124
Gráfica 11. Comportamiento de la energía mecánica especifica respecto al peso sobre la broca. Caso 4	126
Gráfica 12. Relación de pies perforados por formacion	127
Gráfica 13. Porcentaje de ubicación de desgaste en las brocas	128
Gráfica 14. Porcentaje de características de desgaste según la tecnología de cortador usada	129

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Sistema Petrolífero del Campo Floreña	40
Cuadro 2. Tipo de broca Vs Dureza de la formación, ROP y abrasividad	51
Cuadro 3. Valores típicos del índice de resistencia	53
Cuadro 4. Columna 3, características de desgaste	56
Cuadro 5. Columna 4, Ubicación	56
Cuadro 6. Columna 5, sellos del cojinete	57
Cuadro 7. Columna 6, Calibre	57
Cuadro 8. Columna 8, Motivo de salida o fin de la corrida	58
Cuadro 9. Resumen de las brocas de estudio	75
Cuadro 10. Resumen de las brocas 1 y 2 del caso 1	77
Cuadro 11. Especificación de número de aletas y cortadores tanto internos como externos para las brocas 1 y 2	79
Cuadro 12. Promedio de la calificación IADC para la brocas, BROCA 1 Y BROCA 2	81
Cuadro 13. Calificación IADC para las brocas BROCA 1 Y BROCA 2 del caso 1	83
Cuadro 14. Resumen de las brocas 3 y 4 del caso 2	84
Cuadro 15. Especificación de número de aletas y cortadores tanto internos como externos para las brocas 3 y 4	85
Cuadro 16. Promedio de la calificación IADC para las brocas 3 y 4	87
Cuadro 17. Calificación IADC para las brocas BROCA 3 y BROCA 4 del caso 2	88
Cuadro 18. Resumen de las brocas 5 y 6	89
Cuadro 19. Especificación de número de aletas y cortadores tanto internos como externos para las brocas: BROCA 5 Y BROCA 6	90
Cuadro 20. Promedio de la calificación IADC para la broca BROCA 5 Y BROCA 6	91
Cuadro 21. Calificación IADC para las brocas BROCA 5 Y BROCA 6	93
Cuadro 22. Resumen de las brocas BROCA 7 Y BROCA 8	93
Cuadro 23. Especificación de número de aletas y cortadores tanto internos como externos para las brocas BROCA 7 Y BROCA 8	94
Cuadro 24. Promedio de la calificación IADC para la broca BROCA 7 Y BROCA 8	95
Cuadro 25. Calificación IADC para las brocas BROCA 5 Y BROCA 6	97
Cuadro 26. Estimación de costos de operación para los casos 1 y 2, tecnología StayCool	132
Cuadro 27. Costo promedio de perforación por pie. Caso 1	132
Cuadro 28. Costo promedio de perforación por pie. Caso 2	132
Cuadro 29. Estimación de costos de operación para los casos 3 y 4, tecnología Stabilis DualChamfer	133
Cuadro 30. Costo promedio de perforación por pie. Caso 3	133
Cuadro 31. Costo promedio de perforación por pie. Caso 4	133
Cuadro 32. Escenario financiero, Caso 1	135
Cuadro 33. Escenario financiero, Caso 2	137
Cuadro 34. Escenario financiero, Caso 3	138

Cuadro 35. Escenario financiero, Caso 4	139
Cuadro 36. Resumen del análisis financiero según el comportamiento de cada broca	140

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Índice de resistencia	53
Ecuación 2. Relación I con USC	53
Ecuación 3. Factor de conversión K	54
Ecuación 4. Energía mecánica específica	60
Ecuación 5. Promedio de la calificación IADC para hileras internas y externas	79
Ecuación 6. Cálculo OPEX	132
Ecuación 7. Cálculo de tasa interna de retorno TIR	134

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Reporte Bit BROCA 1, Baker Hughes	145
Anexo B. Reporte Bit BROCA 2, Baker Hughes	146
Anexo C. Reporte Bit BROCA 3, Baker Hughes	147
Anexo D. Reporte Bit BROCA 4, Baker Hughes	148
Anexo E. Reporte Bit BROCA 5, Baker Hughes	150
Anexo F. Reporte Bit BROCA 6, Baker Hughes	152
Anexo G. Reporte Bit BROCA 7, Baker Hughes	154
Anexo H. Reporte Bit BROCA 8, Baker Hughes	155

ABREVIATURAS

°C Grados Celsius de temperatura
°F Grados Fahrenheit de temperatura
Ab Área de la broca
AFI Ángulo de fricción interna de la roca
ANH Agencia Nacional de Hidrocarburos
BHA Ensamblaje de fondo (Bottom Hole Assembly)
Bls Barriles
BPD Barriles por día
CCS Resistencia a la compresión con confinamiento.
CPF Costo por pie (Cost per feet)
DSE Energía específica de perforación (Drilling Specific Energy)
ECD Densidad circulante equivalente. (Equivalent Circulating Density)
EFFM Eficiencia mecánica
Fm Formación
Ft Feet (pies)
Ft/h Pies/Hora
GPM Galones por minuto
hr Hora
IADC Asociación internacional de contratistas de perforación (International Association of Drilling Contractors).
IPP Índice de precio al productor
KBPD 1000 barriles por día
Km Kilómetros
M Metros
mD Milidarcies
MD Profundidad medida (Measure depth)
MSE Energía mecánica específica (Mechanical Specific Energy)
NPT Non productive Time (Tiempo no productivo)
OD Diámetro externo (Outer Diameter)
P Presión
PP Presión de poro
PPG Libras por galón (Pounds per gallon)
PSI Libras por pulgada cuadrada (Pounds per Square Inch)
ROP Rata de penetración (Rate Of Penetration)
RPM Revoluciones por minuto (Revolution Per Minute)
SE Energía específica (Specific Energy)
Seg Segundos
SPP Pérdida de presión en el sistema. (StandPipe Pressure)
T Torque

TIO Tasa de interés de oportunidad.

TVD True Vertical Depth

UCS Resistencia a la compresión de la roca sin confinamiento.

USD Dólar estadounidense

WOB Peso sobre la broca (Weight On Bit)

GLOSARIO

AFLORAMIENTO: área total en la que una unidad rocosa aparece en superficie o inmediatamente debajo de los sedimentos superficiales, ya sea visible o no.

AMBIENTE ANÓXICO: aquel ambiente que carece de oxígeno.

AMBIENTE DE DEPOSITACIÓN: punto geográfico donde se da la acumulación de sedimentos. Los ambientes de depositación suelen clasificarse en continentales, marinos o de transición.

ANTICLINAL: pliegue producido en las rocas en forma de arco en el que las capas de roca son convexas hacia arriba. Las rocas más antiguas se encuentran en la parte central de la estructura, mientras que las más modernas se encuentran hacia la parte externa.

ARCILLOLITA: roca sedimentaria de origen detrítico, compacta y sin fisilidad cuyo tamaño de grano es inferior a 1/256 milímetros. Está compuesta por filosilicatos de aluminio hidratados, con presencia ocasional de hierro, magnesio y metales alcalinos.

ARENA: material sedimentario de origen detrítico, formado por granos cuyo diámetro oscila entre 0,0625 y dos milímetros. Está compuesta principalmente por sílice en forma de cuarzo.

ARENISCA: roca sedimentaria clástica cuyos granos son generalmente del tamaño de la arena. Posee un grado relativamente alto de porosidad y permeabilidad, lo cual le da la propiedad de buena roca reservorio. Está compuesta por granos de cuarzo y cemento silíceo.

BHA (bottom hole assembly): ensamblaje en fondo usado para el adecuado direccionamiento del pozo. Agrupa el conjunto de herramientas entre la broca y la tubería de perforación.

BROCA: herramienta usada en perforación para el corte de la formación.

BOTTOM HOLE ASSEMBLY: configuración de tubería y equipos necesarios para la consecución de un Pozo. En el caso de la perforación hace referencia a la tubería de perforación con sus componentes, incluyendo la broca.

CABALGAMIENTO: desplazamiento horizontal y superposición de una gran masa de materiales sobre otro grupo de materiales debido a la acción de las fuerzas tectónicas.

CAMPO: área que contiene uno o más yacimientos de petróleo, relacionados con los mismos aspectos geológicos estructurales y/o estratigráficos.

CHERT: roca silíceas de origen químico de estructura microcristalina, presente en rocas carbonatadas formando nódulos interstratificados. Está compuesta principalmente por cuarzo microcristalino, criptocristalino y microfibroso.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: representación gráfica vertical de las unidades litológicas conformantes de un área específica.

CONCORDANCIA: cuando existe paralelismo entre dos unidades estratigráficas superpuestas.

CONGLOMERADO: roca sedimentaria clástica de grano grueso generalmente con un diámetro mayor a cinco milímetros, con matriz de grano fino de arena, limo o material cementante natural.

DEPOSITACIÓN: proceso geológico que representa la caída de partículas que han sido erosionadas y transportadas por el viento, para su posterior acumulación y sedimentación.

DETRÍTICOS: término usado en el origen de roca sedimentaria que se encuentra formada por restos de otras rocas que han sido transportados por el viento, el agua o los glaciares.

DISCORDANCIA: interrupción en la secuencia geológica, representando un intervalo de tiempo en el cual no se produjo depositación. En este intervalo las rocas infrayacentes pueden haber sufrido algún tipo de proceso geológico que ocasiona que no exista paralelismo entre la estructura superior e inferior de la discordancia.

DOG LEG: hace referencia al cambio de inclinación por unidad de longitud de sección perforada y se expresa típicamente en grados/100 pies.

DRILL OFF TEST: prueba utilizada con el fin de determinar el valor óptimo en parámetros como el peso sobre la broca (WOB) y las revoluciones por minuto (RPM).

EPIDOTA: grupo de minerales que incluyen los silicatos básicos de calcio, aluminio, hierro y manganeso.

FACIES: carácter distintivo de los estratos o de ciertos constituyentes, que generalmente refleja sus condiciones ambientales de formación.

FALLA: interrupción existente en las capas de una roca, a lo largo de la cual existe un desplazamiento observable.

FALLA INVERSA: se da cuando el bloque de techo se desplaza en forma ascendente a lo largo del plano de falla respecto al bloque de piso. Este movimiento suele producirse en zonas de compresión. Cuando una falla inversa presenta inclinación inferior a 45 grados, toman el nombre de fallas de cabalgamiento.

FALLA NORMAL: se da cuando el bloque de techo se desplaza hacia abajo respecto al bloque de piso, y la superficie de falla se inclina en forma abrupta usualmente con un ángulo entre 50 y 90 grados.

FLUIDO DE PERFORACIÓN: fluido que es circulado a través del pozo en operaciones de perforación.

FORMACIÓN: unidad fundamental de la litoestratigrafía. Un cuerpo de roca suficientemente característico y continuo para ser mapeado.

FOSFATOS: grupo complejo de minerales que tienen como característica común la presencia del anión $(PO_4)^{3-}$. Es un elemento constitutivo de las rocas eruptivas y acompañante de minerales metálicos.

GAUGE: hace referencia a la calibración de los diámetros de brocas y estabilizadores, con el fin de garantizar el diámetro del hueco perforado.

GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO: aplicación de la geología encargada del estudio de las características litológicas relacionadas con la formación, migración, entrapamiento y almacenamiento del petróleo. Entre sus objetivos se encuentra la localización y prospección de yacimientos de petróleo.

GRANATE: grupo de silicatos complejos de aluminio, hierro, manganeso, cromo, calcio y magnesio. Comúnmente están presentes en rocas metamórficas.

GRAVEDAD API: propiedad que establece la calidad y tipo de crudo. Está relacionada con la gravedad específica de cada hidrocarburo.

HIDROCARBURO: compuesto orgánico, formado por hidrogeno y carbono. Se encuentra en forma de gases, líquidos y sólidos. Los hidrocarburos más comunes son el gas natural, el petróleo y el carbón.

ILMENITA: mineral débilmente magnético, presente en rocas metamórficas e ígneas básicas (gabro, diabasa, piroxenita). Compuesta principalmente por óxido de hierro y óxido de titanio. Se presenta en forma de tubulares delgados y romboédricos.

INGAUGE: cuando el calibre de la broca o del estabilizador es igual antes y después de la corrida.

IPP: (índice de precio al productor). Indicador de la evolución de los precios de venta del productor.

LAMINACIÓN: proceso de formación de capas delgadas (láminas) en algunas estructuras rocosas.

LENTE: miembro constituido por roca de aspecto lenticular y de características litológicas diferentes a la de la unidad que lo contiene.

LIMOLITA: roca sedimentaria detrítica, perteneciente al grupo de rocas clásticas. Procede de la cementación y compactación de partículas detríticas intermedias entre arcillas y arenas. Su tamaño de grano oscila entre 1/16 y 1/256 mm y está compuesta por arcillas, limos y coloides.

LUTITA: roca sedimentaria con baja cementación, presenta textura pelítica y está compuesta por partículas de tamaño de arcilla. Constituye más de la mitad de las rocas sedimentarias. Su tamaño de grano se encuentra entre 1/16 mm y 1/256 mm de diámetro.

LODOLITA: roca sedimentaria no laminar constituida por granos del tamaño de lodo y que incluye proporciones similares de arcilla y limo.

ORIGINAL DRILLING (ODR): evento de Perforación Original, en el cual se registran todas las actividades desarrolladas a partir del recibo del equipo de perforación hasta la sacada de BHA después de la cementación del último revestimiento o perforación de la última sección, en el caso de terminación en hueco abierto

OUTGAUGE: cuando el calibre de la broca no es el mismo una vez finaliza la corrida. (Fuera de calibre).

PEGA DE TUBERÍA: situación en la que la tubería de perforación queda atascada en el Pozo imposibilitando su movimiento.

PERMEABILIDAD: capacidad de la roca de permitir el flujo de fluidos a través de sus poros interconectados.

POROSIDAD: medida de la capacidad de almacenamiento que posee una roca. Está definida como la fracción del volumen total de la roca que corresponde a espacios para almacenar fluidos.

POZO: hace referencia a cualquier perforación del suelo, cuyo objetivo es extraer fluidos de un yacimiento.

POZO DE DESARROLLO: pozo perforado con el objetivo de producir las reservas de un yacimiento.

POZO EXPLORATORIO: pozo que se perfora como investigación de una nueva acumulación de hidrocarburos. En este caso, la estructura rocosa no es conocida a detalle.

PROPIEDADES PETROFÍSICAS: propiedades relacionadas con las características de la roca y los fluidos contenidos en esta, así como su movimiento a través del medio poroso.

ROCA GENERADORA: roca rica en contenido de materia orgánica, que al recibir la temperatura y presión necesarias generara hidrocarburos. Usualmente las rocas generadoras típicas son lutitas o calizas.

ROCA RESERVORIO: roca que posee la capacidad de almacenar fluidos y permitir su paso a través de esta, por lo cual debe poseer buenas condiciones de porosidad y permeabilidad.

ROCA SELLO: roca de baja permeabilidad que actúa como barrera frente a la migración de petróleo. La permeabilidad de una roca capaz de retener fluidos oscila entre 10⁻⁶ y 10⁻⁸ darcies.

ROP EFECTIVA (ft/h): ROP en tiempo real. Su cálculo se da dividiendo los pies perforados entre el tiempo efectivo.

ROP PROMEDIO (ft/h): promedio aritmético de la ROP obtenida en la perforación.

RUTILO: pertenece al grupo de los minerales óxidos, es un óxido de titanio. Su dureza oscila entre 6 y 6,5. Se halla principalmente en calizas metamorfizadas.

SIDERITA: mineral pesado romboédrico compuesto por carbonato de hierro. Se deposita en medios pantanosos y en ausencia de oxígeno y usualmente se presenta en forma de cristales romboédricos.

SIDETRACK: desviación en la perforación de un pozo debido a una obstrucción.

SURVEY: lectura de la inclinación, profundidad y la dirección del BHA en un punto en el espacio.

TIEMPO NO PRODUCTIVO (NON PRODUCTIVE TIME - NPT): tiempo gastado en actividades no planeadas dentro del proceso de perforación, las cuales generan retrasos y aumento de gastos para la operadora.

TIEMPO EFECTIVO (h): tiempo en el cual la broca estuvo trabajando en contacto con la formación.

TRAMPA: es una configuración rocosa impermeable que evita la migración de hidrocarburo.

TRAMPA ESTRATIGRÁFICA: está relacionada con las propiedades de la formación rocosa.

TRAMPA ESTRUCTURAL: relacionada con las trampas de hidrocarburos que se forman en las estructuras geológicas, tales como pliegues o fallas.

TORQUE (T) Lbf-ft: fuerza que se requerida para que un eje o mecanismo rotatorio gire.

TURMALINA: mineral silicato. Su dureza oscila entre 7 y 7,5. Puede encontrarse en rocas sedimentarias como material detrítico.

WORKOVER: hace referencia a las intervenciones realizadas a un Pozo, que tienen como finalidad el aumento de la producción o la reparación del mismo; en donde se utilizan técnicas como slickline, coiled tubing o snubbing.

WELLSERVICES: se refiere a actividades comunes dentro de la industria petrolera como: conducción de vehículos de servicio, monte o desmonte de equipo, limpieza y mantenimiento de herramientas. Además de actividades técnicas como cementación, fracturamiento, snubbing, pruebas de Pozo y wireline, entre otras.

ZIRCÓN: mineral compuesto por silicato de zirconio. Su tamaño medio oscila entre 100 y 300 μm . Su dureza es de 7,5.

RESUMEN

La perforación de pozos corresponde a una etapa fundamental en la industria de hidrocarburos, razón por la cual se requiere un continuo avance en las tecnologías aplicadas en dicha etapa. Las nuevas tecnologías aplicadas a las brocas, buscan alargar la vida útil de las mismas, mejorar su desempeño y optimizar tiempos totales de perforación.

En este proyecto se analizó el desempeño de dos tecnologías de cortadores que presentan un nuevo diseño en la geometría no planar en brocas PDC; Stay Cool y Stabilis Dual Chamfer, respecto a cortadores estándar. Para la realización del estudio se presentaron cuatro casos de evaluación, los dos primeros en el Campo Floreña con tecnología StayCool vs estándar en las formaciones Guadalupe y Carboneras C7, respectivamente; los dos siguientes en Campo Payero con tecnología Stabilis Dual Chamfer vs estándar en las formaciones Los cuervos y Mirador, respectivamente.

El estudio se realizó con base en datos obtenidos en la perforación de los intervalos de estudio con brocas PDC, de cada tipo de tecnología, analizando tanto los parámetros de operación como las condiciones físicas de las brocas a estudiar una vez retiradas de fondo, estas condiciones, fueron posteriormente comparadas con el fin de determinar la tecnología cuyo desempeño conlleve a una perforación más efectiva en términos de energía mecánica específica, rata de penetración y tiempos efectivos, lo cual se ve reflejado en beneficios económicos.

Palabras Clave: Broca PDC, Perforación, Cortadores multidimensionales, Energía Mecánica Específica,

INTRODUCCIÓN

Se evaluó el desempeño en el Piedemonte Llanero de Colombia brocas PDC con tecnologías de cortadores multidimensionales, StayCool y Stabilis DualChamfer híbrida, las cuales difieren en la geometría de sus cortadores haciendo que estos no tengan una superficie completamente plana, comparando su desempeño con el de una broca PDC de cortadores estándar.

Se inicia con la descripción de las generalidades de la Cuenca de la Cordillera Oriental así como la historia de producción del Campo Floreña, continuando con una descripción teórica de los tipos convencionales de brocas de perforación, así como de las tecnologías e cortadores ya mencionadas. Posteriormente se realizó una descripción de la metodología implementada en la comparación de los cuatro casos que se seleccionaron. A continuación se presentaron los resultados obtenidos en los casos propuestos, para su posterior análisis.

Una vez completado lo anterior, se procedió a realizar la comparación entre el desempeño de las brocas PDC con cortadores StayCool respecto a la brocas PDC con cortadores estándar, de igual manera que con las brocas PDC de cortadores Stabilis DualChamfer, en las formaciones correspondientes. Para cada caso, esta comparación se hizo con base en los parámetros de perforación y la energía mecánica específica, esto con el fin de evaluar el tipo de broca más eficiente en las Formaciones de estudio.

Finalmente se determinó el valor de la inversión en términos de brocas para futuras campañas de perforación en las Formaciones Guadalupe, Carboneras C-7, Los Cuervos y Mirador.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar técnica y financieramente el uso de tecnologías de corte multidimensional de broca PDC para la perforación de formaciones abrasivas, en la secuencia Carboneras del bloque de Piedemonte.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Especificar las generalidades del Campo Floreña y geología.
2. Describir generalidades de las brocas.
3. Reseñar las generalidades, características y aplicaciones de la tecnología de cortadores multidimensionales tanto StayCool como Stabilis Dual Chamfer.
4. Evaluar el desempeño de los cortadores estándar y multidimensionales en relación a parámetros de perforación como rata de perforación (ROP), peso sobre la broca (WOB) y torque.
5. Comparar las curvas de energía mecánica específica (MSE) resultantes de los desempeños los cortadores de tecnología multidimensionales y cortadores estándar.
6. Evaluar el desgaste en los cortadores estándar y cortadores multidimensionales posterior a la corrida según la "International Association of Drilling Contractors (IADC).
7. Analizar la eficiencia de los cortadores multidimensionales en relación al indicador financiero beneficio-costos.

1. GENERALIDADES DEL CAMPO FLOREÑA

En este capítulo se describen las principales características del Campo Floreña, localizado en la cuenca de los Llanos Orientales. A continuación, se describe la historia del campo, la localización del mismo y aspectos geológicos.

1.1 HISTORIA DEL CAMPO FLOREÑA

En el año 1992 se le concedió a la empresa British Petroleum (BP) junto con Ecopetrol parte del contrato de asociación de Piedemonte, incluido El Campo Floreña. El contrato da la potestad de explotación y producción como operador del Bloque Piedemonte hasta el año 2020¹.

El Pozo Floreña1 es la primera perforación del Campo en 1995, la profundidad aproximada de perforación fue de 15000 ft teniendo como objetivo la Formación Barco donde se encontró potencial hidrocarburífero. En junio del siguiente año (1996) se perforó un nuevo pozo a una profundidad de 16000 ft, Pozo Floreña2, el cual no mostro potencial productivo. El Pozo Floreña-3 fue perforado en 1998 a una profundidad de 16000 ft, en la formación Barco mostrando potencial hidrocarburífero².

A pesar del aval del Ministerio de Minas y Energía para la comercialidad del Campo Floreña en 1998 la compañía BP decide no explotar este campo y concentrarse en la explotación de los Campos Cuisana y Cupiagua. Es hasta el año 2001 que BP da inicio a la explotación del Campo Floreña.

Durante el año 2011, BP decide vender sus activos en Colombia a las empresas Ecopetrol S.A. y Talisman Energy, que a su vez darían paso a la creación de Equion Energía Ltd., otorgándole el Contrato de Asociación Piedemonte³.

1.2 LOCALIZACION

El Campo Floreña tiene una extensión de 257 Km², está ubicado en Colombia en el departamento de Casanare, cercano al corregimiento El Morro y hace parte del Bloque Piedemonte, más específicamente en la parte oeste de la cuenca de los Llanos Orientales.

¹EQUION ENERGIA LIMITED. Quienes Somos. [En línea] [6 de febrero de 2019] disponible en: <http://www.equionenergia.com/quienes_somos/Paginas/default.aspx#Misión>.

² EL TIEMPO. FLOREÑA, NUEVO CAMPO PETROLERO. [En línea] [6 de febrero de 2019] disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-375666>>

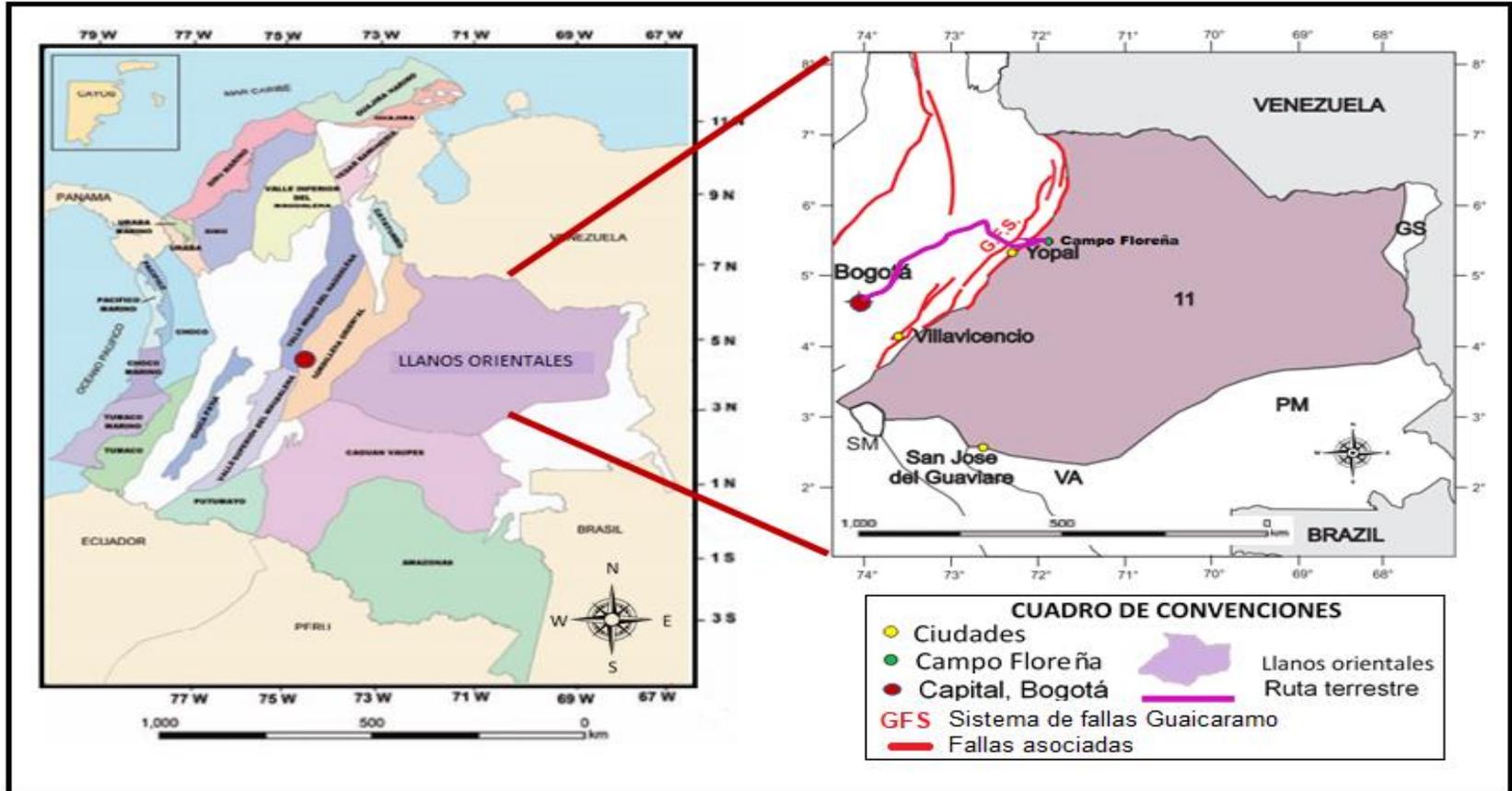
³ EL TIEMPO. PAUTO, QUINTO HALLAZGO PETROLERO. [En línea] [6 de febrero de 2019] disponible en: <<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-334924>>.

El Campo Floreña limita al Sureste con el Campo Pauto, al Este con la vía que conecta a El Morro con Yopal, al Sur con el Río Cravo Sur y al Norte con la quebrada Aracaleña.

Para llegar al Campo Floreña desde Bogotá el acceso es por vía terrestre, se realiza por la salida de la Autopista Norte, para llegar a la Troncal de Urabá para continuar hacia el Municipio de Aguazul hasta llegar a la vía Aguazul-Yopal que conduce a la ciudad de Yopal donde finalmente se toma la salida a la vía Yopal- El Morro sentido norte por 14 kilómetros hasta llegar al campo⁴. Por vía aérea el traslado se realiza desde el Aeropuerto Internacional El Dorado hasta el Aeropuerto El Alcaraván en Yopal y posteriormente se toma vía terrestre, **Figura1**.

⁴ MAPA RUTA A LOS CAMPOS FLOREÑA Y PAUTO. [En línea] [7 de febrero de 2019] disponible en: www.google.com-co/maps

Figura 1. Mapa del Campo Floreña.



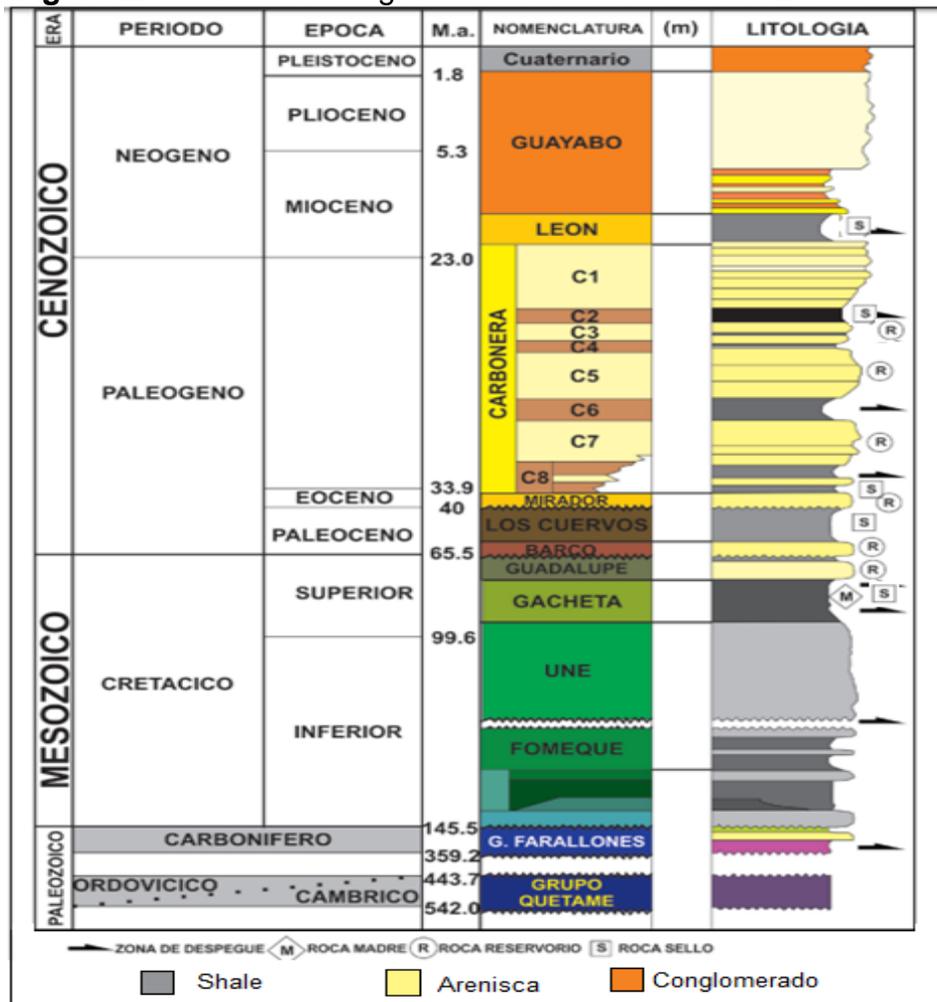
Fuente: elaboración propia, con base en: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Localización Campo Floreña. [En línea] [8 de febrero de 2019]. Disponible en: <http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Documents/colombian_sedimentary_basins.pdf>

1.3 MARCO GEOLOGICO

En esta sección se presenta la estratigrafía de la Cuenca de los Llanos Orientales y la descripción de la litología atravesada en la perforación de un pozo en el Campo Floreña; adicionalmente se relacionan aspectos básicos del sistema petrolífero en la zona.

1.3.1 Columna Estratigráfica. En la **Figura 2** se muestra de manera general la estratigrafía de la Cuenca de los Llanos Orientales, donde se encuentra el Campo Floreña.

Figura 2. Columna estratigráfica de la Cuenca de los Llanos Orientales



Fuente: ACEVEDO, R., y HERNÁNDEZ, Y. 2004. Modelamiento y Análisis Estructural del Anticlinal de Medina, Piedemonte de los Llanos Orientales. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Geología. Bucaramanga. Trabajo de Grado, 135p

1.3.2 Estratigrafía. A continuación se describen las formaciones litológicas, desde la más antigua a la más reciente, presentes en el campo Floreña ubicado en la Cuenca de los Llanos Orientales.

1.3.2.1 Formación Une. Depositada en el Cretáceo Inferior. Principalmente constituida de areniscas cuarzosas con intercalaciones menores de lutitas y de limolitas carbonosas. Esta formación el tamaño del grano es de medio a grueso y las areniscas de cuarzo moderadamente compactas⁵. De acuerdo con Mesa los tonos de arena ligeramente feldespáticos (Cuarzo 70%, feldespato 5%, fosfato 7%), de grano fino a muy fino, areniscas ligeramente feldespáticas con glauconita (cuarzo 85%, feldespato 5%, plagioclasa 1%, glauconita 1-3%), arenisca de grano fino con glauconita y matriz silícea arcillosa (cuarzo 86%, feldespato 0-10%, trazas de fosfato, glauconita 4%), areniscas caoliníticas de grano fino a mediano (cuarzo 90%, Soportes de feldespato (0-4%) y areniscas de cuarzo con granos de entramado por carbonato de cemento (cuarzo 30-50%, feldespato 0-2%, glauconita 0-1%, trazas de fosfato)⁶.

Su espesor aumenta, en general, hacia el Noroeste, teniendo un espesor promedio de 300 pies y un espesor máximo en Piedemonte Llanero de 600 pies⁷. Su entorno de depositación fue de canales fluviales en la base a canales estuarios y depósitos en la plataforma marina en la parte superior de la unidad, según Fajardo⁸ está en contacto concordante con la formación Fomequé que la infrayace.

1.3.2.2 Formación Gachetá. Depositada en el Cretáceo Superior. Contiene secuencia de lutitas, de color gris a gris oscuro, con desarrollos menores de areniscas, las areniscas están limpias de arcilla, pero comúnmente contienen glauconita y calcita de cemento. En la parte delantera, los valores de porosidad son Alrededor del 20%, mientras que en las estribaciones la porosidad disminuye a menos del 10%⁹.

La formación tiene un espesor superior a los 600 pies y se depositó en un ambiente marino. Está en contacto concordante con la formación Une que la infrayace¹⁰.

⁵ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Cuenca de los Llanos Orientales: Integración geológica de la digitalización y análisis de núcleos. 2012. p. 48.

⁶ SARMIENTO, Luis Fernando. Petroleum Geology Of Colombia. Volumen 9. Medellín: ANH, 2011, p. 103.

⁷ ANH.Op.cit., p.48.

⁸ FAJARDO, A; ROJAS, L.E y CRISTANCHO, J. Definición del modelo estratigráfico en el intervalo Cretáceo Superior a Mioceno Medio en la cuenca Llanos Orientales y Piedemonte Llanero, citado por SARMIENTO, Luis Fernando. Petroleum Geology Of Colombia. Volumen 9. Medellín: ANH, 2011, p. 103.

⁹ SARMIENTO. Op.cit., p.104.

¹⁰ANH.Op.cit., p.48.

1.3.2.3 Formación Guadalupe. Depositada en el Cretáceo Superior. Esta formación incluye areniscas estuarias a marinas y arcillas. Las areniscas son de grano redondeado, predominantemente de grano medio, moderadamente a los granos de cuarzo bien ordenados, y fragmentos intrabasinales (fosfatos y glauconita). Los ambientes de depósito incluyen la orilla inferior, estuarios y canales fluviales con influencia estuarina¹¹. El espesor máximo es de 600 pies en el sector de Arauca en la cuenca Llanos Orientales. La formación Gachetá que la infrayace está en contacto concordante con ella¹².

1.3.2.4 Formación Barco. Depositación en el Paleoceno Superior. Esta unidad se compone de areniscas estuarias, limolitas y arcillas de grano muy fino a medio, intercaladas con arcillolitas y lodolitas, con un espesor promedio de 230 pies. Los ambientes de depósito de Barco son barra de arena, arena plana, mezclado plano, y barro plano en un ambiente fluvial. Está en contacto discordante con la formación Guadalupe que la infrayace. De acuerdo con F. Notestein, C. Hubman y J. Bowler¹³.

1.3.2.5 Formación Los Cuervos. Depositación entre el Paleoceno Superior a Eoceno Inferior. Su composición es de lutitas de color gris, intercaladas con areniscas de color parduzco, de grano muy fino a medio. También contiene capas de carbón con espesores que varían entre 0,328– 8,2 ft y capas delgadas de calizas con estructuras de cono. El espesor formaciones aumentan hacia el Occidente, teniendo como máximo espesor 1710. La Formación Mirador suprayace discordantemente la Formación Los Cuervos. Su ambiente de depositación es deltaico¹⁴.

1.3.2.6 Formación Mirador Depositación en el Paleogeno-Eoceno tardío. La formación incluye una sección inferior y otra superior, la primera con mayor influencia fluvial, es de grano grueso y más mal ordenado; la sección superior tiene gran influencia marina y granulometría más fina, compuestas por cuarzo, algunas veces feldespato, materia orgánica leñosa y glauconita. El espesor máximo es 950 pies en el pozo Floreña 1, el ambiente de depositación es marino somero. La suprayace un contacto concordante con la Formación Carbonera¹⁵.

¹¹ SARMIENTO. Op.cit., p.104.

¹² ANH.Op.cit., p.48.

¹³ NOTESTEIN, F; HUBMAN, C y BOWLER, J. Geology of the Barco Concession, citado por DE PORTA, J. Léxico Estratigráfico de Colombia, 4da parte. Bogotá: Ingeominas, 2001. p. 81

¹⁴ LINARES ROBERTO et al. New Insights Into The Piedemonte License Triangle Zone In The Llanos Foothills – Colombia. En: X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas (Julio 2009: Cartagena, Colombia). p 2.

¹⁵ ANH.Op.cit.,p.49.

1.3.2.7 Formación Carbonera. Depositación en el Oligoceno Temprano–Mioceno Medio. Corresponde a depósitos transgresivos y consiste de una alternancia de rocas arcillosas, limosas y de arenisca, a veces con niveles de carbón. Es una espesa secuencia litológica, que en el pozo Llanos-1 alcanza cerca de 6.000 pies, está ampliamente distribuida a través de la cuenca depositada en ambientes que varían de marino transicional a continental. Dado el espesor de la secuencia litológica se dividió en 8 miembros o unidades operacionales (C1 a C8)¹⁶, que serán explicados a continuación.

- Unidad C8. El carácter marino del tope de la Formación Mirador indica claramente un periodo de transgresión cuya continuación es la unidad C8 de la Formación Carbonera. Esta Unidad, presenta un espesor variable, desde 50 pies en el borde oriental de la cuenca hasta más de 400 pies a lo largo del frente de montaña¹⁷.
- Unidad C7. Se compone de areniscas depositadas en un ambiente marino somero, deltaico y continental. Son de color crema a parduzco, de grano fino a medio, a veces conglomerático, separadas por niveles de arcillolita de color gris a verduzco. Pueden alcanzar 250 a 280 pies de espesor en la parte central de la cuenca¹⁸.
- Unidad C6. El máximo espesor conocido de esta unidad arcillosa se encuentra en el sector de Cumaral-1, con 600 pies. Hacia el Este se reduce rápidamente, hasta tener un promedio de 100 a 150 pies en la zona central de la cuenca¹⁹.
- Unidad C5. Está compuesta por alternancia de niveles de arcillolita y de arenisca, poco consolidada, de tamaño de grano, predominante medio, a veces grueso; en ocasiones ligeramente calcáreas, con glauconita. Su espesor total varía desde 50 hasta 300 pies. En el sector de Apiay es difícil diferenciarla y estaría incluida en la Conjunto C2, en el cual estaría también el intervalo crono estratigráfico correspondiente a la Unidad C4²⁰.
- Unidad C4. No siempre son evidentes las características litológicas de esta unidad, especialmente en el sector suroeste de la cuenca. Está compuesta por una alternancia rápida de capas de areniscas, limolitas y lutitas. El espesor máximo reportado es superior a 700 pies en el Piedemonte Llanero entre Vanguardia-1, al suroeste y Tauramena -1, al noreste. El máximo espesor registrado en este sector se encuentra en el pozo Guacavía-1 con 1.050 pies.

¹⁶ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Cuenca de los Llanos Orientales: Integración geológica de la digitalización y análisis de núcleos. 2012. p. 50.

¹⁷Ibíd., p. 50.

¹⁸ Ibíd., p. 51.

¹⁹ Ibíd., p. 51.

²⁰ Ibíd., p. 51.

Generalizando, la Unidad C4 presenta un espesor comprendido entre 150 y 300 pies en la parte central de la cuenca²¹.

- Unidad C3: esta unidad se encuentra poco desarrollada en la parte centro norte de la cuenca, donde presenta un espesor promedio de 150 pies y se desarrolla rápidamente hacia el suroeste alcanzando más de 700 pies en el frente de montaña, cerca de Medina-1. Está compuesta por alternancia de niveles de arenisca fina a gruesa, blanca a translúcida y algunos pies de limolitas y arcillolitas, de color gris verdoso; a veces con niveles carbonosos en la secuencia localizada en la parte central de la cuenca. En el sector de Apiay, puede ser equivalente cronoestratigráficamente a las Areniscas de Carbonera, y Conjunto C1, que corresponde a una intercalación de areniscas y arcillolitas²².
- Unidad C2: después de la Formación León, es el sello mejor desarrollado, y el de mayor extensión hacia el Este. Está compuesta casi exclusivamente por lutitas grises y algunas limolitas con un espesor de 100 a 200 pies en la parte media de la cuenca, aumentando rápidamente hacia el borde suroccidental, donde alcanza más de 900 pies (pozo Medina-1). La Unidad C2, correlaciona con la lutita E del sector del Apiay. En sus límites norte y noreste de la cuenca, el porcentaje de arena aumenta, relacionado probablemente con ambiente deltaico en este sector²³
- Unidad C1 (Areniscas Superiores de Carbonera): es la última de las secuencias arenosas de la Formación Carbonera y se encuentra sellada por las lutitas de la Formación León. Está compuesta por una alternancia de cuerpos arenosos, separados por niveles delgados de limolitas oscuras y lutitas grises. Correlaciona estratigráficamente con las Areniscas Superiores de Carbonera (ECOPETROL). Su espesor aumenta de manera regular hacia el Occidente, y alcanza más de 2.000 pies antes del piedemonte, en el sector²⁴.

1.3.2.8 Formación León. Durante un aumento considerable del nivel del mar, en el Mioceno Superior, se depositó la Formación León, que consta totalmente de lutitas grises. Esta formación actúa como un sello regional. Tiene un espesor promedio de 500 metros, se depositó en un ambiente marino, y está en contacto concordante con la formación Carbonera que la infrayace²⁵.

²¹ *Ibíd.*, p. 51.

²² *Ibíd.*, p. 51.

²³ *Ibíd.*, p. 52.

²⁴ *Ibíd.*, p. 52

²⁵ *Ibíd.*, p. 52

1.3.2.9 Formación Guayabo. Su litología está compuesta por areniscas, arcillas moteadas, arcillas arenosas y arcillas grises con areniscas. El espesor promedio del área de interés se aproxima a los 500 ft. Su ambiente de depositación varía entre la base y el tope de la formación, siendo el primero un ambiente de depositación marina, y el segundo de fluvial-marino a continental. La Formación Guayabo suprayace la Formación León²⁶.

1.3.3 Geología estructural. En el artículo “New insights in to the Piedemonte triangle zone in the Llanos Foothills- Colombia” desarrollado por la BP se describe un área de fallas de cabalgamiento por los anticlinales de Monterralo, El Morro, Floreña, Dele, Pauto y Volcanera y el sinclinal de Nunchia que corresponden a las características estructurales principales. Estas se extienden en sentido suroeste-noreste además hay varias fallas que ejercen control estructural sobre los reservorios en sentido perpendicular a las fallas de cabalgamiento. La falla de Yopal es el límite oriental del Sinclinal de Nunchia²⁷.

Desde los sedimentos de la Formación Fomequé hasta la formación Guayabo se extiende la deformación de la estructura. Los reservorios principales Mirador, Barco y Guadalupe, están envueltos en el techo de la lámina de cabalgamiento. Los anticlinales se pueden dividir en dos grupos. El primero incluye las estructuras de Monterralo, El Morro y Floreña, caracterizándose por ser una estructura de gran amplitud y un anticlinal simétrico fallado. El segundo grupo incluye las estructuras de Dele, Pauto y Volcanera, caracterizándose por tener limbos elongados traseros y limbos cortos frontales.

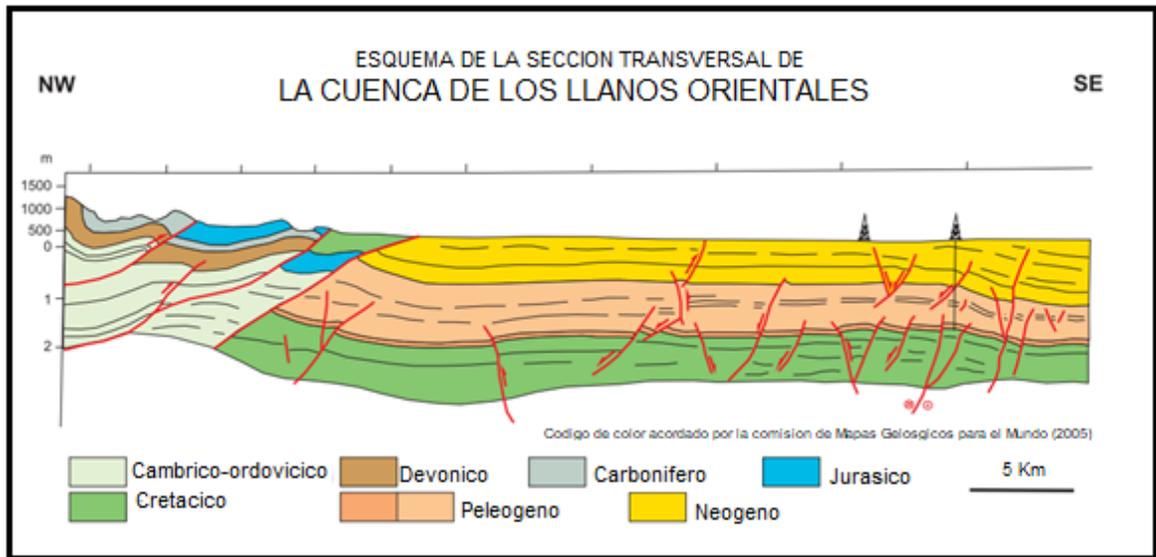
El Campo Floreña comprende en su estructura, un anticlinal asimétrico que es asociado a una falla de cabalgamiento. Ésta estructura se encuentra bajo el anticlinal El Morro, limitando al este con la Falla Floreña y al oeste con la Falla El Morro, dentro del sistema de apilamiento estructural del Piedemonte²⁸, **Figura 3.**

²⁶ *Ibíd.*, p. 52

²⁷ LINARES ROBERTO et al. New Insights Into The Piedemonte License Triangle Zone In The Llanos Foothills – Colombia. En: X Simposio Bolivariano Exploración Petrolera en Cuencas Subandinas (Julio 2009: Cartagena, Colombia). p. 4-5.

²⁸ *Ibíd.*, p. 5.

Figura 3. Perfil estructural de la Cuenca de los Llanos Orientales



Fuente: BARRERO, Dario; PARDO, Andrés; VARGAS, Carlos; MARTINEZ, Juan. Colombian Sedimentary Basins. [en línea]. Bogotá, 2007, p. 40. [Consultado 8 de febrero 2019]. Disponible en: http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Cuencas-sedimentarias/Documents/colombian_sedimentary_basins.pdf.

1.3.4 Geología del Petróleo del Campo Floreña. Se describen características principales de las rocas y procesos que hacen parte del sistema petrolífero asociado al Bloque Piedemonte, en el **Cuadro 1** se puede observar un resumen de la descripción de los elementos de interés para el Campo Floreña.

1.3.4.1 Roca Generadora. Las rocas fuente de la cuenca son las lutitas de la Formación Gacheta, la Formación Barco, Los Cuervos y la Formación Une. La mayor madurez termal se encuentra hacia el sur-oeste de la cuenca asociada a la Falla Guaicaramo. Igualmente se considera el nivel C8 de la Formación Carbonera como roca fuente secundaria de carácter continental la cual ha generado aceite y gas²⁹.

1.3.4.2 Roca Reservorio. El principal reservorio de la cuenca lo constituyen las areniscas continentales de la Formación Mirador y las areniscas de las formaciones Barco y Carbonera con porosidades de hasta 20%. Otro reservorio importante se encuentra en las areniscas de la Formación Guadalupe.

1.3.4.3 Migración. Actualmente se consideran dos pulsos de migración, uno durante el Eoceno tardío - Oligoceno y otro situado después de la Orogenia Andina en el Mioceno medio.

²⁹ GARCIA, Dario. Informe ejecutivo evaluación del potencial hidrocarburífero de las cuencas colombianas. Santander: ANH, 2009, p. 58

1.3.4.4 Roca Sello. Corresponde principalmente a arcillas originadas en ambientes marinos y costeros. Dentro de la Formación Carbonera en las unidades arcillosas (C2, C4, C6) las cuales actúan como sellos locales de las unidades arenosas (C1, C3, C5 y C7) por su parte la unidad C8 actúa como sello de la Formación Mirador. La Formación Los Cuervos corresponde al sello de la Formación Barco. En cuanto a la Formación Guadalupe, su sección lodolítica hace de sello para la unidad de areniscas en la misma.

1.3.4.5 Trampa. Se han definido 5 sectores estructurales y dentro de ellos los siguientes tipos de entrapamientos. Los cabalgamientos y pliegues proporcionan el mayor número de trampas en el sector del Piedemonte. En sector del Casanare fallas antitéticas reactivadas en el Mioceno y pequeños movimientos de rumbo por la compresión Andina, forman las trampas, además de trampas estratigráficas tipo barras y canales. El sector de Arauca se caracteriza por un plegamiento suave y fallas de rumbo con movimiento durante el Oligoceno. Por su parte en el sector de Vichada el entrapamiento se atribuye al fallamiento normal entre el Mioceno y el Plioceno. Finalmente en el sector del Meta las trampas principales son pliegues suaves, fallas de rumbo y trampas estratigráficas³⁰.

Cuadro 1. Sistema Petrolífero del Campo Floreña

Elemento	Unidades litológicas	Observaciones
Roca Generadora	Fm. Gachetá	TOC: 1,0 – 3,0% (Bueno a muy bueno) Kerógeno Tipo II y III Espesor Efectivo 50 – 100 m
Roca Reservorio	Fm. Carbonera Fm. Mirador Fm. Guadalupe Fm. Barco	Areniscas Porosidad: 15 - 20%
Roca Sello	Fm. León* ,Fm. Carbonera (Intervalos pares) Fm. Guadalupe, Fm. Los Cuervos	*Sello Regional Las demás unidades como sellos locales e intrafromales

Fuente: elaboración propia, con base en: GÓMEZ, Luis. SOTELO, Clara. CÓRDOBA, Fabio. Cordillera Oriental de Colombia, expectativas para la exploración petrolera. 2000. p. 388.

1.4 HISTORIA DE PRODUCCIÓN DE LOS CAMPO FLOREÑA

En el año 1998 se declara la comercialidad del Campo Floreña bajo el contrato de asociación de Piedemonte con la empresa BP y ECOPETROL.

A continuación, se presenta el método y el tiempo de producción, así como el número de pozos y la gráfica de producción acumulada del campo.

³⁰ Ibíd. p. 58.

1.4.1 Método de producción. En el inicio la producción del Campo Floreña fue por métodos de recobro primario, dado que cuenta con una presión de yacimiento alta la cual oscila entre 5000 y 6000 psi es por esto que produce por flujo natural. A diciembre de 2016, el campo Floreña produce por métodos de recobro secundario, dentro de estos campos existen pozos inyectores de gas que buscan mantener la presión del yacimiento y mantener una producción por flujo natural.

El campo contiene principalmente gas con 5% de CO₂ y condensado con hidrocarburos livianos. La gravedad API aproximada es de 40°API. Según lo indicado por BELTRÁN³¹ los cortes de agua varían entre 1 y 60%. La principal Formación productora del Campo es la Formación Barco.

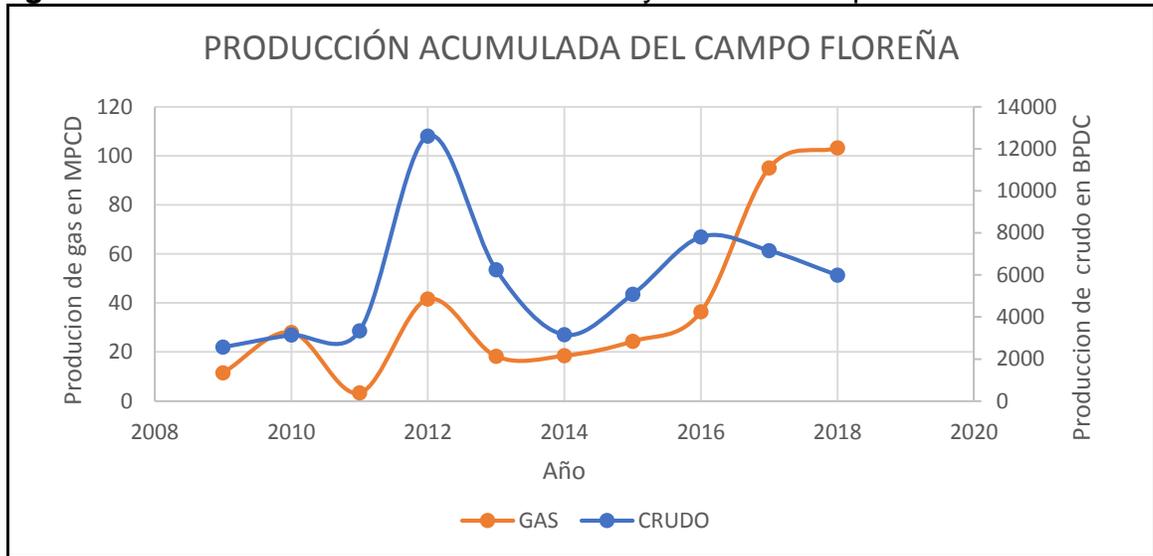
1.4.2 Tiempo de producción. La producción del Campo Floreña dio inicio en el año 2001 a diciembre del 2018, son 17 años de producción.

1.4.3 Número de pozos. A la fecha hacen parte del Campo Floreña 21 Pozos, de los cuales un pozo es inyector de agua, cuatro inyectores de gas y 16 pozos son productores.

1.4.4 Producción acumulada de petróleo y gas. En la **Figura 4** se presenta la producción acumulada de petróleo y gas del campo desde el año 2009 hasta el año 2018.

³¹ BELTRÁN, Andrés. HERNANDEZ, Cristian. Implementación de un modelo predictivo para la determinación de tiempos operativos no planeados por fenómenos de naturaleza geo mecánica en pozos de perforados en el Piedemonte Llanero. Bogotá, 2012, p. 37. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero de Petróleos. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería de Petróleos

Figura 4. Producción acumulada de Petróleo y Gas del Campo Floreña



Fuente: elaboración propia, con base en: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE PETRÓLEO (ACP). Informe estadístico petrolero. [En línea] [20 de febrero de 2019] disponible en: <<https://www.acp.com.co/index.php/es/publicaciones/informes/informeestadisticopetrolero-iep>>.

2. GENERALIDADES DE LAS BROCAS

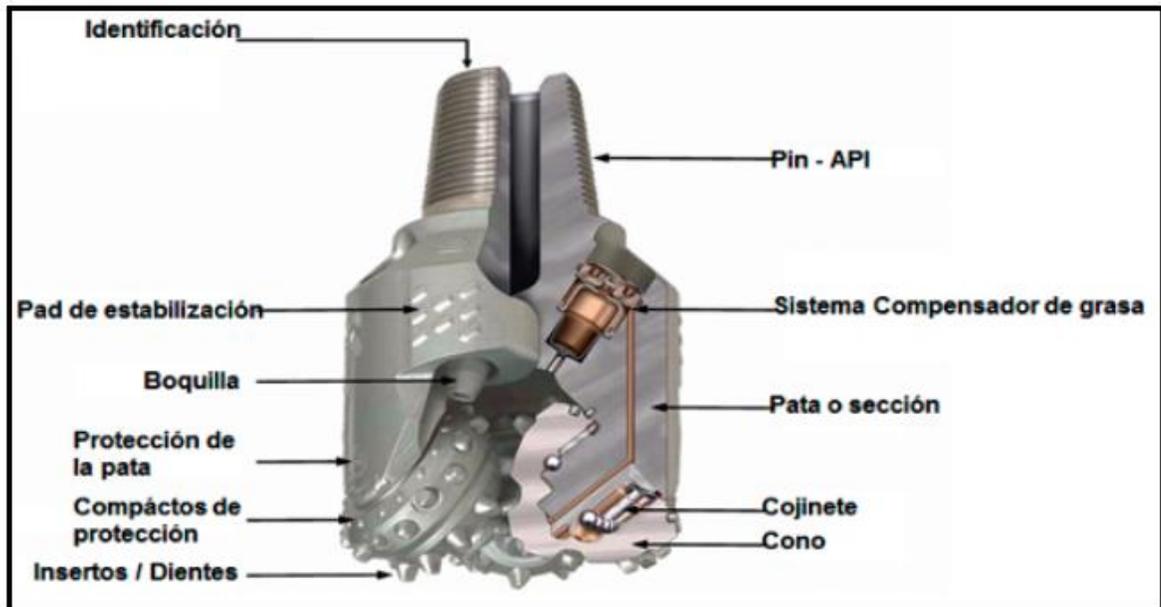
Las brocas son una herramienta usada en la ingeniería de petróleos para perforar una columna estratigráfica hasta llegar a la formación de interés y así crear un canal conductor entre el yacimiento y la superficie, llamado pozo.

Las brocas se pueden dividir principalmente en tres grupos; brocas de cuerpo móvil o de conos donde las más usadas son las brocas triconicas, brocas de cuerpo fijo y brocas de operaciones especiales. En este capítulo se describirán cada una de ellas.

2.1 BROCAS TRICONICAS

Se caracterizan por tener tres conos cortadores que giran sobre su propio eje, estos fallan la roca por compresión mientras la broca gira. Todas las brocas triconicas cuentan con los siguientes componentes básicos: Pin-API, pad de estabilización, sistema compresor de grasa, boquilla, pata, protección de la pata, cojinetes y sección de cortadores. Usando diferentes elementos de corte, tipos de cojinetes, sellos y configuración de boquillas, **Figura 5**.

Figura 5. Componentes básicos de broca triconica.

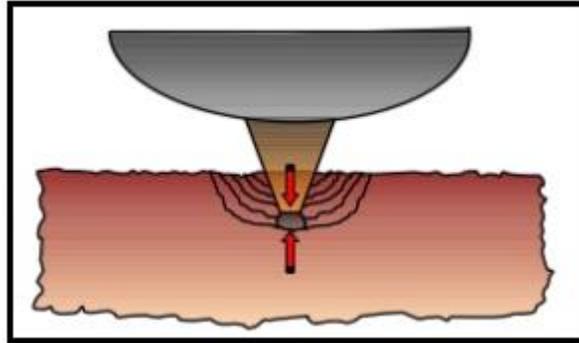


Fuente: PDVSA, seminario de brocas de perforación. Nivel básico (2015).

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de las brocas de conos es el tamaño de los dientes, dado que esto tiene un gran efecto sobre la acción de perforación de la broca. Para formaciones blandas se utilizan dientes largos y descentralizados, y para formaciones duras, dientes pequeños con menor descentralización.

2.1.1 El mecanismo de corte. Su mecanismo es por impacto y fractura de la formación y presenta una acción de corte menos agresiva, **Figura 6**. Generalmente tiene aplicaciones de ROP baja en formaciones duras a muy duras.

Figura 6. Mecanismo de corte de broca tricónicas



Fuente: PDVSA seminario de brocas de perforación. Nivel básico (2011).

En la actualidad se emplean dos tipos diferentes de estructuras de corte en las brocas tricónicas: "Dientes de Acero (ST) e Insertos de Carburo de Tungsteno (TCI). En algunos casos los dientes de las ST pueden ser revestidos para aumentar su vida útil³².

2.2 BROCAS DE CUERPO FIJO

Los cortadores de la broca están ensamblados directamente a la cabeza de la broca, así que solo giran si la broca rota, no tiene partes móviles. Estas pueden ser de diferentes tipos según el material del que estén hechas; diamante natural, impregnadas y PDC, **Figura7**.

Figura 7. Brocas de cuerpo fijo



Fuente: BAKER HUGHES INC. "Drilling Bits Foundation-PDC Bit". p.2. 2008. Modificada por el autor.

³² BAKER HUGHES. Drill Bit Foundations. Bogotá: Baker Hughes, 2003.

2.2.1 Diamantes naturales. Las brocas de diamantes naturales están construidas por muchos diamantes colocados en una matriz de carburo de tungsteno. Su mejor comportamiento lo obtienen en formaciones que no sean frágiles, de alta dureza y abrasividad. En la **Figura 8** se pueden observar diferentes diseños de una broca de diamantes naturales.

Figura 8. Brocas de diamante natural



Fuente: "Drilling Bit Type" 2016. [Consultado el 17 de marzo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.drillingcourse.com/2016/01/natural-diamonds-drillingbits.html>. Modificado por los autores 2019.

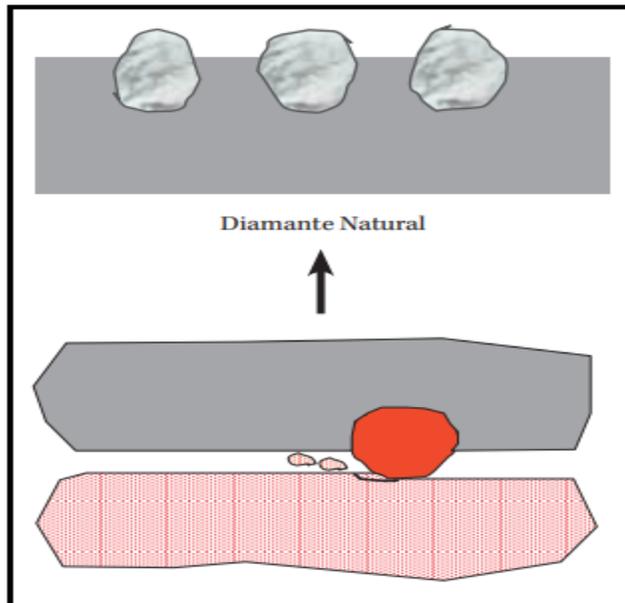
Las características más importantes en el diseño de las brocas de diamantes naturales se observan en el perfil de la corona, el mecanismo de corte de la formación y el tamaño y número de diamantes³³.

2.2.1.1 Perfil de la Corona. La forma de la corona de la mecha de diamante es variable y de ella depende su uso: Una mecha con ahusamiento largo (ahusada) ayuda en la perforación de un hoyo recto y permite usar mayor peso sobre ella, debido al mayor número de diamantes. Un ahusamiento corto (por ejemplo el perfil parabólico) es más fácil de limpiar, porque la energía hidráulica puede ser concentrada en menos área superficial. Una cara más cóncava puede ser concentrada en menos área superficial. Una cara más cóncava puede utilizarse en perforación direccional e incrementar el ángulo de desviación

2.2.1.2 Mecanismo de corte. El modo de penetrar la formación de este tipo de brocas, es por fricción o abrasión mecánica, **Figura 9** Por esta razón, sólo se utilizan en formaciones de muy alta dureza y abrasividad, y se descartan en formaciones plásticas.

³³ RAMOS, Jorge. Estado del arte de brocas de perforación. Bogotá, 2011.p, 2. [Consultado 17 de marzo 2019]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/784/1/1034302975-2011-2-IP.pdf>.

Figura 9. Mecanismo de corte de broca de diamante natural

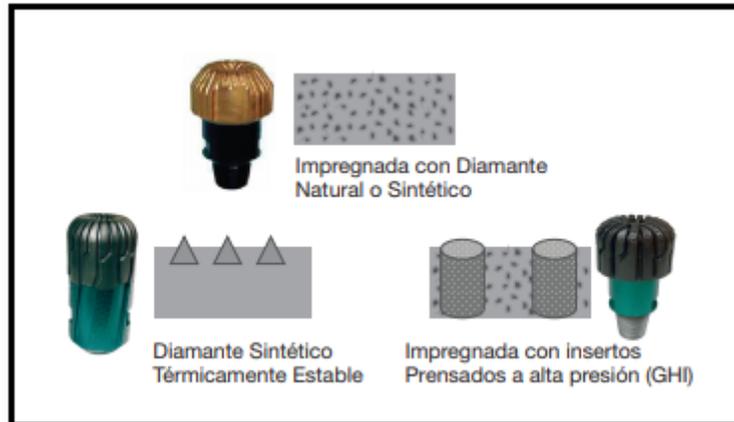


Fuente: PDVSA. Seminario de brocas de perforación. Nivel básico (2011).

2.2.1.3 El tamaño y número de diamantes de la broca. Estos factores dependen de la dureza de la formación. Para formaciones duras se utilizan brocas con muchas piedras pequeñas, mientras para formaciones blandas, con pocas piedras de mayor tamaño.

2.2.2 Brocas impregnadas. Su estructura de corte consiste en diamantes sintéticos, agudos y de tamaño fino. Las brocas impregnadas de diamantes se usan para formaciones duras y abrasivas; la siguiente **Figura 10** muestra los distintos tipos de brocas impregnadas.

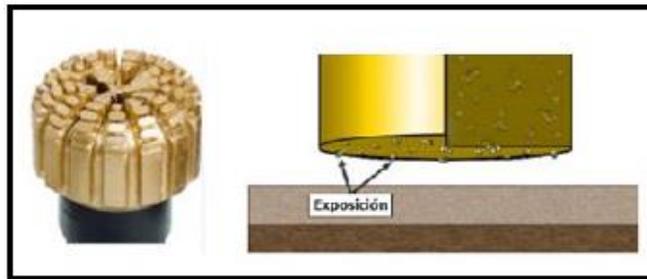
Figura 10. Tipos de brocas impregnadas



Fuente: PDVSA seminario de brocas de perforación. Nivel básico (2015).

2.2.2.1 Mecanismo de corte. El mecanismo usado se basa en moler la formación, esto es efectivo en formaciones duras y muy agresivas y a velocidades de rotación altas, **Figura 11**. A medida que la broca hace contacto con la formación y la capa de carburo de tungsteno se va desgastando, hace exposición de una nueva capa que incluye la red de diamantes.

Figura 11. Mecanismo de corte de brocas impregnadas.



Fuente: BAKER HUGHES INC. "Drill Bit Foundation-PDC Bit". 2008. Modificada por el autor.

2.2.3 Compacto de diamante policristalino PDC. Estas brocas utilizan elementos de diamante policristalino sintético como material de corte adherido a un sustrato de carburo de tungsteno mediante un proceso de alta presión y temperatura. Al igual que las brocas de diamante natural, la corona de la broca cuenta con una matriz fija y resistente al desgaste. En las formaciones blandas las brocas de diamante policristalino perforan más rápido que las brocas de diamante natural, debido a que sus cortadores son tienen mayor altitud³⁴.

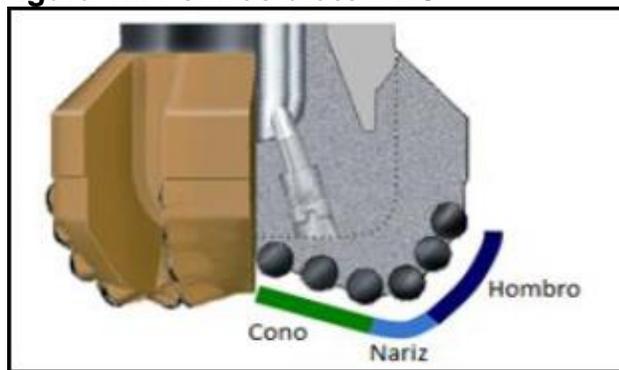
³⁴ *Ibíd.*, p.4.

Las brocas PDC fueron diseñadas para obtener altas tasas de penetración en formaciones blandas, firmes y medianamente duras, no abrasivas. Las mismas no pueden usarse en formaciones duras y abrasivas por el hecho de que los cortadores PDC experimentan un excesivo desgaste mecánico, incrementado térmicamente por el calor generado por la fricción entre el cortador y la formación³⁵.

Algunas características importantes en el diseño de las brocas de diamantes policristalinos están relacionados con el perfil de la broca, la limpieza hidráulica de la broca, el tipo de cortadores y el mecanismo de corte.

2.2.3.1 Perfil de la broca. El perfil de una broca hace referencia a su estructura vista lateralmente. El principal objetivo del perfil de la broca es optimizar la estabilización de la misma y permitir que el daño de la estructura de corte sea uniforme. En la se observa el perfil de una broca PDC con sus respectivas secciones; hombro, nariz y cono, **Figura 12**. El perfil de la broca, es un factor importante en la determinación de la cantidad de cortadores por aleta, mientras más alta sea la longitud del perfil habrá mayor cantidad de cortadores, por consiguiente, menor daño, pero la broca será menos estable.

Figura 12. Perfil de broca PDC



Fuente: BAKER HUGHES INC. "Drilling Bits Foundation-PDC Bit". p.53. 2008. Modificada por el autor.

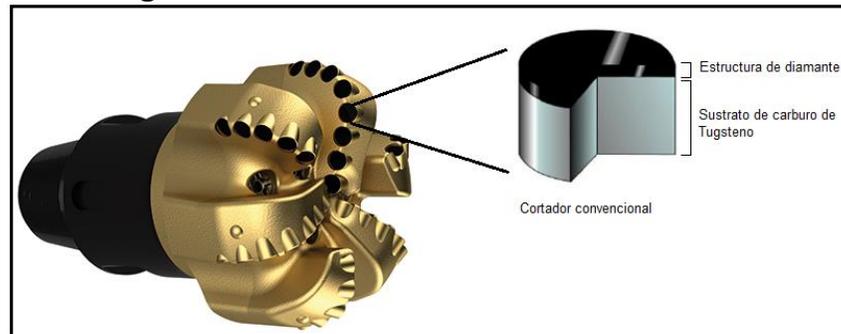
2.2.3.2 Tipos de Cortadores. En las brocas PDC es importante considerar el tamaño, la forma, el número de cortadores usados y los ángulos de ataque del cortador, los cuales dependen de las características de la formación que se va a perforar.

Los cortadores rompen la formación y están unidos a las aletas, las cuales cumplen la función de dar soporte a los mismos, así como de formar una estructura que permita el flujo del fluido de perforación y la remoción de los cortes³⁶, **Figura 13**.

³⁵BAKER HUGHES INC. "Drill Bit Foundation-PDC Bit".p.3.2008.Modificada por el autor.2019.

³⁶BAKER HUGHES INC. "Drill Bit Foundation-PDC Bit".p.3.2008.Modificada por el autor.2019.

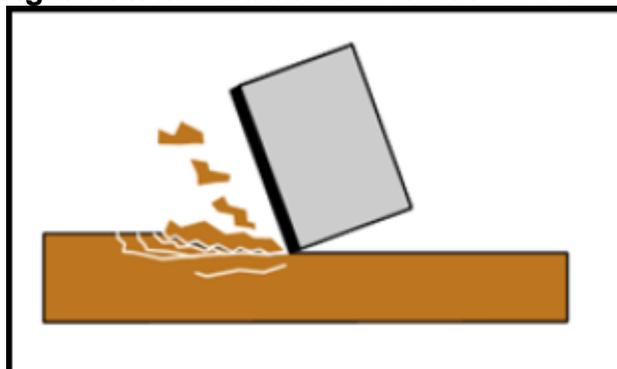
Figura 13. Cortador convencional broca PDC



Fuente: BAKER HUGHES INC. "Drill Bit Foundation-PDC Bit".p.3.2008.Modificada por el autor.2019.

2.2.3.3 Mecanismo de Corte. El mecanismo de corte que se produce con estas brocas es por cizallamiento, que permite perforar la formación sin producir impacto en la misma, **Figura 14**. La ventaja que presenta es que se obtienen volúmenes de corte de apreciable magnitud, aumentado consecuentemente la tasa de penetración.

Figura 14. Mecanismo de corte broca PC



Fuente: BAKER HUGHES INC.
"Drilling Bits Foundation-PDC Bit ". p. 41. 2008

2.2.3.4 Estructura de la broca PDC. A continuación se describe de manera general los principales componentes de una broca PDC³⁷.

- Shank. Contiene una conexión roscada, por medio de la cual se une la broca a la sarta de perforación. Está hecha de una aleación de acero y va roscada al cuerpo.
- Blank. Corresponde al "esqueleto" del cuerpo de matriz de la broca. Está hecho de acero dúctil suave y se encuentra roscado por su parte inferior a la corona.

³⁷ RAMOS.Op.cit.,p.6

- Estructura de corte. Está compuesta por cortadores, aletas y junk slots. Los cortadores rompen la formación y están unidos a las aletas, las cuales cumplen la función de dar soporte a los mismos, así como de formar una estructura que permita el flujo del fluido de perforación y la remoción de los cortes, (junk slots)

2.3 BROCAS ESPECIALES

Se emplean para casos especiales donde se requiere de mayor precaución y adquisición impórtate de información.

2.3.1 Brocas de chorro. Son usadas para la realización de perforación direccional en formaciones blandas durante operaciones de desviación de agujero. La tubería de perforación y la broca especial se baja por el canal ya hecho en dirección específica a donde se quiere direccional, de modo tal que cuando se accionen las bombas la presión del chorro por la boquilla, cree un nuevo agujero. **Figura 15.**

Figura 15. Broca de chorro



Fuente: "Drilling Bit Type" 2016. [Consultado el 21 de marzo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.drillingcourse.com/2016/01/naturel-diamonds-drillingbits.html>. Modificado por los autores 2019.

2.3.2 Brocas de corazonamiento. Generalmente es una broca de cortadores fijos de PDC y diamante natural, en su estructura tienen un hueco en la mitad como se observa en la **Figura 16**, donde se permite almacenar el corazón mientras se perfora. Los cortadores se encuentran alrededor de la abertura de la broca y se usa en operaciones donde se necesita precisar la litología de la formación.

Figura 16. Broca de corazonamiento



Fuente: BAKER HUGHES. Enhanced coring services Acquisition and preservation. p, 3. 2018.

De acuerdo a lo anterior se puede resumir la eficiencia de los diferentes tipos de broca respecto a la dureza de la formación, el ROP de operación y la abrasividad en la que trabajan en el **Cuadro 2**.

Cuadro 2. Tipo de broca Vs Dureza de la formación, ROP y abrasividad

Broca	Dureza de la formación		ROP		Abrasividad	
	Dura	Blaanda	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Diamante natural						
TSP						
PDC						
Triconica						

Dureza de la formación
 ROP
 Abrasividad

Fuente: Elaboración propia, con base en: RAMOS, Jorge. Estado del arte de brocas de perforación. Bogotá, 2011.

2.4 VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA VIDA ÚTIL DE LAS BROCAS DURANTE EL PROCESO DE PERFORACIÓN

Para perforar un pozo se emplean unos parámetros de operación óptimos con el fin evitar toda clase de problemas que se puedan presentar durante la perforación, a través del tiempo la industria se ha esforzado en mejorar el desempeño y la

eficiencia de sus herramientas, realizando mejoras en sus diseños y el análisis de las experiencias que se han obtenido.

Un caso puntual para analizar es el desempeño de las brocas, una herramienta que está en contacto directo con las formaciones y que, al rotar, trituran (Tricónicas) o rastrillan (PDC) las diferentes rocas, forman cortes de perforación pequeños que son llevados a superficie por medio de la circulación del fluido de perforación. Dado el funcionamiento de la broca y el contacto al que está expuesta se pueden generar diferentes tipos de desgaste que se describirán a continuación.

2.4.1 Abrasividad de la formación. Se define como la habilidad de la roca para causar desgaste abrasivo del material moviéndose a través de la superficie de la roca, entre más abrasiva sea la roca, más rápida será la tasa a la que el material se desgastará. La dureza de los minerales que la roca contiene, el tamaño del grano, la forma y la dureza compresiva de la roca, entre otros factores son los que proporcionan el carácter abrasivo de la roca. El desgaste por abrasión en una broca siempre está presente y no hay manera de evitarlo, por lo tanto, es el más común, pero si los parámetros de perforación son adecuados, se puede mitigar el desgaste de la broca para que esta sea reparada para futuras aplicaciones.

Es importante tener una caracterización de la geología presente para conocer las formaciones que se van a perforar y así poder seleccionar las brocas que mejor se desempeñen respecto a las formaciones presentes, con su respectiva configuración de dientes (tricónicas) o cortadores (PDC) y manejar los parámetros adecuados de perforación.

2.4.2 Dureza de la formación. La compresión de la roca ha sido la propiedad con la que se demuestra y relaciona la resistencia que tiene una roca para ser penetrada por el diente/cortador de una broca. Existe una relación lineal entre la dureza compresiva y la fuerza que se debe ejercer para alcanzar la misma profundidad de corte en la penetración del diente.

El incremento de la profundidad y la duración del enterramiento generan mayor grado de compactación y el rango de segmentación de rocas sedimentarias tiende a aumentar. Como resultado, la dureza inherente de las rocas muestra una tendencia a aumentar con el incremento de la profundidad. Muchos factores operan para distorsionar esta tendencia, las rocas duras pueden ser encontradas cerca de la superficie y las rocas suaves pueden ser encontradas a profundidades mayores. Sin embargo, las tasas de penetración (ROP) tienden a decrecer con el incremento de la profundidad como resultado del incremento de la dureza inherente de la roca. Para conocer la resistencia a la compresión uniaxial (UCS) que es el esfuerzo de compresión máximo que puede soportar una muestra cilíndrica recta de material, antes de fracturarse, se debe determinar cuál es el índice de resistencia, **Ecuación 1**, donde P es la carga de rotura y D la distancia entre las puntas, que esta

normalizado para un diámetro de 50 mm, sin embargo se puede calcular un diámetro efectivo D_e para otros casos³⁸.

Ecuación 1. Índice de resistencia

$$I_s = \frac{P}{D^2}$$

Fuente: MENDIETA, H.J; SUAREZ, L.O. Relacion entre la resistenciaa compression uniaxial (UCS) y parametros indice de rocas sedimentarias. p, 44. 2004.

Sin embargo Serrano ³⁹ indico algunos valores típicos del índice de resistencia para diferentes rocas, **Cuadro 3**.

Cuadro 3. Valores típicos del índice de resistencia

TIPO DE ROCA	$I_{S(50)}$
Arenisca y lutitas terciarias	0,05-1
Carbon	0,2-2
Caliza	0,25-8
Limolitas y pizarras	0,2-8
Rocas volcanicas de flujo	3,0-15
Dolomita	6,0-11

Fuente: SERRANO, A, A. Mecanica de las rocas, Tomo II;cuarta edicion. Escuela superior de ingenieros de caminos, Cnales y puertos. España, 2001.

Con los valores típicos dados por Serrano es posible relacionar el índice de resistencia con la resistencia a la compression uniaxial, **Ecuación 2** Donde K es un factor de conversión dado de forma empírica expresado en la **Ecuación 3**.

Ecuación 2. Relacion I con USC

$$USC = KI_{S(50)}$$

Fuente: BIENIAWSKI, Z.T. The point load test geotechnical practice. p, 7. 1975.

³⁸ MENDIETA, H.J; SUAREZ, L.O. Relacion entre la resistenciaa compression uniaxial (UCS) y parametros indice de rocas sedimentarias. p, 44. 2004.

³⁹ SERRANO, A, A. Mecanica de las rocas, Tomo II;cuarta edicion. Escuela superior de ingenieros de caminos, Cnales y puertos. España, 2001.

Ecuación 3. Factor de conversión K

$$K = 6,681 \ln(D_e) - 3,09$$

Fuente: ATSM. Volumen 04.08; 04.09, Filadelfia, USA. 2003 .

Respecto a lo antes descrito, se tiene una clasificación para las formaciones en función de su dureza:

2.4.2.1 Muy Blando: Formaciones Blandas (pizarras arcillosas, margas, arcillas, caliza blanda), formaciones no consolidadas, etc.

2.4.2.2 Blando: Formaciones de dureza blanda a media (pizarras arcillosas, arcillas, calizas algo más duras que en el caso anterior).

2.4.2.3 Medio: Formaciones de dureza media (pizarras duras, calizas duras, dolomías); Formaciones algo abrasivas de dureza media (pizarras silíceas, esquistos, areniscas, caliza dura, dolomías).

2.4.2.4 Duro: Formaciones análogas a las anteriores, más silíceas y más duras, incluyendo cuarcitas y granitos.

2.4.2.5 Muy Duro y Abrasivo: Formaciones muy duras y abrasivas (areniscas, cuarcitas, basaltos, etc.)

2.5 CALIFICACIÓN IADC PARA EL DESGASTE DE LAS BROCAS DE CUERPO FIJO Y TRICÓNICAS

Esta calificación se basa en el grado de pérdida de material relacionado con el daño de la broca después de realizar la corrida. De esta manera se pueden identificar los parámetros operativos óptimos, para hacer más eficiente la perforación y prolongar la vida útil de la broca.

La "International Association of Drilling Contractors" (IADC) desarrolló una tabla con ocho casillas, en el caso de calificación de brocas tricónicas, **Figura 17**. Para brocas de cuerpo fijo no se incluye la información de la columna 5 y se denota con una X. En las casillas se reportan las características referentes al daño de la estructura de corte así como la razón por la cual la broca fue retirada de fondo⁴⁰.

⁴⁰ Baker Hughes. Sistema de graduación de desgaste de IADC para trépanos triconos. USA. 1996, p 3.

Figura 17. Clasificación de brocas tricónicas.

T			B	G	OBSERVACIONES		
1	2	3	4	5	6	7	8
ESTRUCTURA DE CORTE				B	G	OBSERVACIONES	
Hileras Intern (I)	Hileras Extern (O)	Caract. (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello (B)	Calibre 1/16 (G)	Otra Caract (O)	Razón Salida (R)

Fuente: BAKER HUGHES. Sistema de graduación de desgaste para brocas, 1996, p 3.

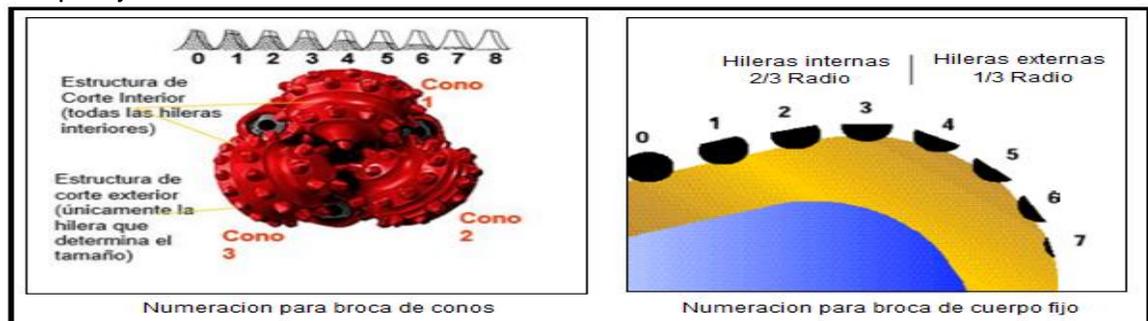
A continuación, se define para que se usa cada sección de este formato:

Columna 1: Hileras internas (I). Esta sección es usada para reportar la condición de los elementos de corte que no tocan la pared del pozo, se usa una escala de medición de 0 a 8 que mide la reducción de la estructura de corte debido a la pérdida, desgaste y/o elementos cortantes rotos.

Columna 2: Hileras externas (O). Esta sección es usada para reportar la condición de los elementos de corte que tocan la pared del pozo, se usa una escala de medición de 0 a 8 que mide la reducción de la estructura de corte debido a la pérdida, desgaste y/o elementos cortantes rotos.

En la **Figura 18** se explica cómo se efectúa la numeración de los cortadores dependiendo si es broca de conos o de cuerpo fijo, y se especifican cuáles son las hileras externas e internas para cada caso.

Figura 18. Numeración de hileras internas y externas para brocas de conos y cuerpo fijo



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, "DAÑO A LAS BARRENAS, SU IMPLICACIÓN EN LA PERFORACIÓN Y SOLUCIONES PROPUESTAS", TESIS para obtener el título de Ingeniera Petrolera, Ing. Israel Castro Herrera. Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016. P 72[en línea:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10401/Tesis.pdf?sequence=1>]

Columna 3: Características de desgaste (D). Esta sección es usada para colocar la característica principal de desgaste de la broca. Se usan las iniciales de cada tipo de desgaste como se ve en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4. Columna 3, características de desgaste.

BROCAS DE CORTADORES FIJOS		BROCAS TRICONICAS	
BF	Falla de Adherencia	BC	Cono roto
BT	Cortadores Rotos	BF	Falla de Hueso
BU	Broca Embolada	BT	Cortador roto
CT	Cortadores cincelados	BU	Broca Embolada
ER	Erosion	CC	Cono agrietado
HC	Dañada por calor	CD	Cono atascado
JD	Daño por Chatarra	CI	Interferencia de cono
LN	Tobera perdida	CR	Cortado de nucleos
LT	Cortador perdido	CT	Cortadores cincelados
NR	No se puede volver a correr	ER	Erosion
PN	Tobera tapada	FC	Desgaste en crestas planas
GR	Diametro externo desgastado	HC	Dañada por calor
RO	Desgaste anillado	JD	Daño por Chatarra
RR	Se puede volver a correr	LC	Cono perdido
SS	Desgate de autoafilado	LN	Tobera perdida
TR	"Tracking"	LT	Cortador perdido
WO	Broca lavada	OC	Desgaste descentrado
WT	Cortadores gastados	PB	Broca deformada
NO	No tiene característica de desgaste	PN	Tobera tapada/pasaje de flujo tapado
		RG	Calibre redondeado
		GO	Desgaste anillado
		SD	Faldon dañado
		SS	Desgate de autoafilado
		TR	"Tracking"
		WO	Broca lavada
		WT	Cortadores gastados
		NO	No tiene característica de desgaste

Fuente: BAKER HUGHES. Sistema de graduación de desgaste, 1999, p 3.

Columna 4: Ubicación (L). Esta sección se utiliza para indicar la ubicación de la característica principal de desgaste en la broca y depende si es una broca tricónicas o una PDC como se indica en el **Cuadro 5**.

Cuadro 5. Columna 4, Ubicación.

BROCAS DE CORTADORES FIJOS		BROCAS TRICONICAS	
C	Cono	N	Hilera de la nariz
N	Nariz	M	Hilera intermedia
T	Ahusamiento	G	Hilera del calibre
S	Hombro	A	Todas las hileras
G	Diametro		

Fuente: BAKER HUGHES. Sistema de graduación de desgaste, 1999. P

4

En el caso de las brocas tricónicas según el número del cono, se identifica de la siguiente manera.

N° 1: contiene los elementos cortadores centrales.

N° 2 y 3: siguen en sentido de las agujas del reloj al mirar las estructuras cortadoras con el trépano sobre el pin.

Columna 5: Sellos del Cojinete (B). Esta columna se utiliza para brocas tricónicas, por lo tanto siempre llevará una "X" cuando se trate de una broca de cortadores fijos y se usa como se muestra en el **Cuadro 6**

Cuadro 6.Columna 5, sellos del cojinete.

COJINETES NO SELLADOS	COJINETES SELLADOS	
Una escala lineal que estima la vida usada del cojinete.(0-No se ha usada la vida util, 8- Se uso toda la vida util, es decir no queda vida util del cojinete)	E	Sellos siguen efectivos
	F	Fallaron los sellos
	N	No se pudo calificar

Fuente: BAKER HUGHES. Sistema de graduación de desgaste, 1999, p 15.

Columna 6: Calibre (G). Ver. Se utiliza para reportar sobre el calibre del trépano. Si el trépano tiene una reducción en el calibre se debe registrar en 1/16" de pulgada, **Cuadro 7.** La "Regla de los dos tercios" es aplicable para trépanos triconos, requiere que el anillo del calibre sea sacado de manera de contactar dos de los conos en sus puntos más salientes.

Cuadro 7. Columna 6, Calibre.

G- CALIBRE	
1	En calibre
1/16"	Fuera de calibre
2/16"	Fuera de calibre
3/17"	Fuera de calibre

Fuente: BAKER HUGHES, Sistema de graduación de desgaste 1999.p15

Columna 7: Otra característica de desgaste (O). En esta sección se indica una característica de desgaste secundaria que posea la broca y se usan los mismos parámetros vistos en las características de desgaste de la columna 3(D).

Columna 8: Motivo de salida o fin de la Corrida (R). Aquí se define el motivo por el cual la broca fue retirada del pozo, los cuales se muestran en el **Cuadro 8.**

Cuadro 8. Columna 8, Motivo de salida o fin de la corrida.

MOTIVO DE SALIDA	
BHA	Cambio de ensamble de fondo
CM	Tratamiento fluido
CP	Coroneado
DMF	Falla de motor de fondo
DP	Barra tapada
DSF	Falla de barras
DST	Ensayo de formacio
DTF	Falla de herramienta de fondo
FM	Cambio de formacion
HP	Problema de diametro
HR	Horas
LIH	Dejado en el pozo
LOG	Perfilaje
PP	Presion de la bomba
RIG	Penetracion menor
TD	Profundidad final/Profundidad de entubamiento
TQ	Torque
TW	Barra torcida
WC	Condiciones climaticas

Fuente: BAKER HUGHES. Sistema de graduación de desgaste para brocas, 1999. p 15.

2.6 PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

Los parámetros adecuados que se deben controlar son el WOB, RPM, SPP, GPM, TQ. Estos parámetros deben ser monitoreados durante la perforación y revisados de manera constante, de lo contrario se puede acelerar el desgaste de los elementos de corte de la broca. Otro factor a tener en cuenta es la formación a perforar, si se conoce bien las características litológicas será más fácil seleccionar la broca adecuada.

2.6.1 WOB (Peso sobre la broca). Es decir, la cantidad de fuerza axial aplicada en el fondo del hueco; la broca rompe o raspa la roca que está por debajo. Si se aplica WOB mayor al recomendado es posible que la broca se desgaste más rápido de lo normal generando cortadores rotos, astillados o anillamientos dependiendo de las formaciones que se perforen. Se mide en Klbf.

2.6.2 RPM (Revoluciones por Minuto). Las RPM están altamente relacionadas con la velocidad a la cual gira el ensamblaje de fondo en el pozo, como efecto de la rotación aplicada en superficie y transmitida por la sarta de perforación, los excesos de revoluciones pueden dañar las estructuras de corte de las brocas y reducir tanto su desempeño como su vida útil.

2.6.3 GPM (Tasa de flujo). Hace referencia a la cantidad de fluido de perforación que avanza por unidad de tiempo, su unidad de medida está dada en galones por minuto (GPM). Debe tenerse en cuenta que altos caudales aumentan la energía hidráulica en la broca y con mayor velocidad anular se logra remover mejor los recortes, mejorando la limpieza del hueco y mejorando las condiciones de la broca.

2.6.4 ROP (Tasa de penetración). Hace referencia a la velocidad con la que la broca puede romper la roca que se encuentra por debajo de la misma y de ese modo profundizar el pozo. Esta velocidad se indica habitualmente en unidades de pies por hora (ft/hr) o metros por hora (m/hr).

2.6.5 El torque. Es la resistencia por parte del ensamblaje de fondo cuando está rotando, esta es ocasionada por la fricción de las paredes del pozo. Cuando es demasiado alto se puede generar un tipo de desgaste conocido como draguéo o arrastre. El torque puede variar en formaciones con alta alternancia litológica, dada la interacción de la broca con las diferentes propiedades litológicas. Cuando el torque es superior al trabajado en una perforación con broca PDC, se puede identificar un daño en la estructura de corte, mientras que si el torque es menor al convencional se identifica un embolamiento.

Un incremento en el torque y en el arrastre puede ser indicador de problemas de estabilidad del pozo, puntos apretados a lo largo del mismo y limpieza deficiente del pozo⁴¹.

2.6.6 MSE (Energía Mecánica Específica). Se puede utilizar en la fase de planificación de pozos para ajustar los parámetros. Teale⁴² introdujo esta fórmula en 1964. MSE se define como la cantidad de energía requerida para eliminar 1 cm³ de roca. Luego, Teale realizó una prueba de laboratorio que demostró que la energía por volumen de roca destruida es relativamente constante, independientemente de ROP, WOB y RPM.

Teale también observó que el valor de MSE era aproximadamente igual a la resistencia de la compresión de la roca. En condiciones de campo, la eficiencia máxima de bits suele estar en el rango 30-40%. Por razones operativas, se ajustó el MSE para que el valor estuviera más cerca de la resistencia conocida de la roca.

⁴¹ DUPLANTIS, Steven. Perforación en el modo de deslizamiento con torsión. Houston, Texas. 2016.

⁴² Teale R. "The Concept of Specific Energy in Rock Drilling." International Journal of Rock Mechanics, 2. (1965): 57-73. Print

Cuando la broca está operando a su máxima eficiencia, la proporción de energía a volumen de roca permanecerá relativamente constante. Al variar los diferentes parámetros de perforación, como son el peso sobre la broca (WOB) y la velocidad de rotación (RPM), se puede evaluar la eficiencia del corte. Si a pesar del aumento de WOB, el MSE se mantiene constante, se puede asumir que la broca está perforando de manera eficiente. Si el MSE aumenta significativamente, el corte no es el mejor. Luego, los parámetros deben ajustarse de modo tal que se minimice el MSE. En la **Ecuación 4** se expresa como se obtiene el MSE.

Ecuación 4. Energía mecánica específica

$$MSE = \frac{WOB}{Area} + \frac{2 \pi * RPM * Torque}{Area * ROP}$$

Fuente: Teale R. "The Concept of Specific Energy in Rock Drilling." International Journal of Rock Mechanics, 2. (1965): 59.

Donde:

MSE= Energía mecánica específica (psi)

WOB= Peso en la broca (lb)

RPM= Revoluciones por minuto

Torque= Torque rotacional (in-lb)

Área= Corte seccional del área de la broca (in²)

ROP= Tasa de penetración (in/hr)

P= Penetración por revolución (in/rev)

3. CORTADORES PDC

Los avances en la tecnología de los cortadores de diamantes ampliaron la aplicación de brocas de arrastre en la perforación de pozos de petróleo mediante el uso de elementos de corte de diamante policristalino, diamantes sintéticos elaborados a altas presiones y temperaturas, más conocidos como cortadores PDC.

En un esfuerzo por comprender mejor el comportamiento en la perforación de los cortadores incrustados en el cuerpo fijo de la broca, se pensó que las altas tensiones eran la causa del desgaste acelerado en las formaciones abrasivas. Según la hipótesis anterior, se deben evaluar el efecto de la densidad del cortador, el ángulo de inclinación del ángulo, el tamaño y la velocidad en la tasa de desgaste en estado estable y el rendimiento de los cortadores, para conocer su eficiencia.

El desgaste del cortador PDC se puede dividir en dos categorías dependiendo de la causa básica del desgaste. La primera categoría, el desgaste abrasivo, es el desgaste en estado estable que normalmente se asocia con el desarrollo de planchas de desgaste uniformes en la cortadora PDC y la degradación gradual de la velocidad de penetración durante la vida útil la broca.

Es una función de los parámetros de operación aplicados a la broca y a los cortadores individuales, la temperatura del cortador, la velocidad del cortador, las propiedades de formación y las propiedades del cortador. La segunda categoría de desgaste es el resultado de la carga de impacto de los cortadores. Este tipo de desgaste puede ser causado por la carga dinámica de la broca durante el giro de la misma (vibración hacia arriba) o por la perforación a través de formaciones no homogéneas. El desgaste del cortador por la carga de impacto se caracteriza por cortadores astillados, rotos y perdidos. La carga dinámica de los cortadores puede ser causada por cambios abruptos en el control de la sarta de perforación de la superficie, fuerzas inducidas por la interacción de la roca de corte o por la dinámica de la sarta de perforación⁴³

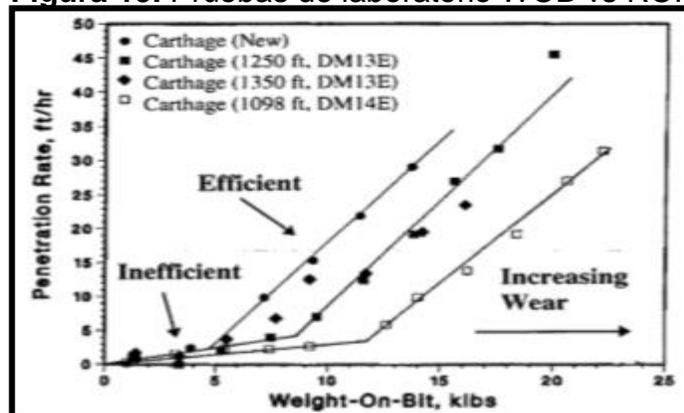
3.1 DENSIDAD DE CORTADORES

Una práctica común de la industria es usar brocas PDC con más cortadores al perforar formaciones más firmes, la teoría es que el mayor contenido de diamantes ayudará a minimizar la rotura del cortador y el desgaste abrasivo. Pruebas recientes han demostrado que esta podría no ser siempre la mejor solución para el desgaste abrasivo.

⁴³ International Society of Petroleum Engineers IADC / SPE 39306 El efecto de la densidad del cortador PDC, el rastrillo posterior, el tamaño y la velocidad en el rendimiento LA. Sinor, SPE y J.R. Powers, SPE, Hughes Christensen Co. y T.M. Warren, SPE

Según pruebas de laboratorio y de campo realizadas en Catoosa y Amoco (CTF), que consistía en observar el desempeño cuando una broca nueva de seis aletas con cortadores de cortadores 8 ½ se desgastaba. Al final de la corrida se requirió aumentar el peso en para evitar el embotamiento y de esta manera superar la compresión de la roca, piedra caliza de Cartago, una vez los cortadores superan la resistencia, la tasa de penetración incrementa y pasa a ser casi igual a la ROP inicial. La prueba genera dos curvas representativas para la tasa de penetración, una etiquetada como ineficiente y la otra etiquetada como eficiente. Las pruebas de campo en CTF han demostrado que las bajas tasas de penetración en arenas abrasivas resultan en un desgaste acelerado. A tasas de penetración más altas, el proceso de generación de trozos es más eficiente, lo que resulta en tasas de desgaste reducidas. **Figura 19.**

Figura 19. Pruebas de laboratorio WOB vs ROP



Fuente: International Society of Petroleum Engineers IADC / SPE 39306 El efecto de la densidad del cortador PDC, el rastrillo posterior, el tamaño y la velocidad en el rendimiento LA. Sinor, SPE y J.R. Powers, SPE, Hughes Christensen Co. y T.M. Warren, SPE

El aumento de peso sobre broca es directamente proporcional al aumento en el área plana de desgaste de la broca en contacto con la roca. El desgaste del cortador debe reducirse al mínimo en formaciones para obtener tasas de penetración satisfactorias. Los resultados de las pruebas mostraron que, para rocas duras, los esfuerzos de penetración en el orden de la resistencia a la compresión de la roca deben imponerse en la superficie de la roca antes de que ocurra una penetración significativa. El componente de la fuerza de penetración es importante para aplastar la superficie de rocas duras que conducen a la penetración del cortador. Con rocas más suaves como la arenisca de Berea. Glowka⁴⁴ observó que se puede lograr una penetración significativa con tensiones penetrantes mucho más bajas que la resistencia a la compresión de la roca. Esto sugiere que, con las rocas blandas, el

⁴⁴ GLOWKA, D.A., "Use of Single-Cutter Data in the Analysis of PDC Bit Designs: Part I- Development of a PDC Cutting Force Model," Journal of Petroleum Technology, Aug. 1989.

aplastamiento de la superficie de la roca es menos importante y el componente de fuerza de arrastre juega un papel más importante en el mecanismo de la superficie de la roca en lugar del aplastamiento de la superficie.

El pensamiento de la industria sugeriría que el desgaste acelerado es el resultado de una mayor velocidad de corte en el exterior de la broca en comparación con el cono interior. Sin embargo, lo sorprendente es que a medida que el diámetro de la broca se hace más grande, los cortadores dentro del cono de la broca más grande generalmente experimentan un desgaste mínimo, al igual que los cortadores dentro del cono de las brocas más pequeñas donde el desgaste es mínimo. Este fenómeno indica que la velocidad del cortador está causando el desgaste acelerado en el cono exterior de las brocas. La broca PDC de ocho aletas más pesada tiene más dificultades para perforar a través de stringers duros y delgados. Se requirió un alto WOB para hacer que la broca perforara los intervalos más difíciles, lo que resultaría en una pérdida de potencia giratoria una vez que se penetrara el intervalo y la broca volviera a la lutita. Una observación de Hibbs⁴⁵ señala que, aunque los cortadores dentro del cono tienen altas cargas de corte (baja densidad de corte y solapamiento), estos cortadores están generando virutas mucho más grandes que los cortadores en el cono. La eficiencia de la remoción de rocas mejora a medida que aumenta la profundidad de corte.

3.2 ANGULO DEL CORTADOR

Bajo la necesidad de minimizar la cantidad de contacto del cortador con la roca y sabiendo que en teoría, las brocas más livianas deberían experimentar menos desgaste, siempre que los cortadores individuales no se sobrecarguen durante la perforación, se debe encontrar la posición del cortador en la que este ejerza el arrastre suficiente para remover un volumen significativo de roca, sin exponer totalmente el área de contacto.

Dado que las brocas más livianas generalmente tienen menos aletas por diseño, el enfriamiento con el lodo de perforación también debería ser más eficiente, lo que posiblemente podría ayudar al desgaste de la broca al reducir la temperatura de la broca. La eliminación de la rotura del cortador por sobrecarga es el principal obstáculo a superar por el ángulo de inclinación del cortador. El ángulo de inclinación del cortador posterior utilizado en la mayoría de los diseños comerciales de brocas PDC es de 20 °. El ángulo de inclinación hacia atrás del cortador se define como el ángulo que forma la cara del cortador con respecto a la roca. Hibb's informó que la broca con ángulo de 7° dio el par más bajo y llegó a la conclusión de que 20° daba la tasa máxima de penetración y sería la mejor opción para perforar lutitas si se consideraran otros factores adecuadamente⁴⁶.

⁴⁵ Hibbs, L.E. Jr. And Flom, D.G., "Diamond compact Cutter Studies for Geothermal Bit Design," ASME J. Pressure Vessel Technology, Nov. 1978,406-416.

⁴⁶ Ibid, p. 409

Un mayor ángulo generalmente mejora la vida útil de la broca, pero reduce la tasa promedio de penetración. Un ángulo más bajo generalmente provocaría que la carrera de la broca finalice prematuramente debido a daños catastróficos en la estructura de corte, pero en casos raros, la tasa de penetración y la vida útil de la broca mejorarían significativamente, contradiciendo algunas de las investigaciones anteriores, **Figura 20**.

Figura 20. Diferentes ángulos de corte y agresividad



Fuente: Escuelal superior politecnica del litoral, facultad de ingeniería en ciencias de la tierra. Caracterización del conglomerado basal de Tiyuyacu para la correcta aplicación de brocas en los campos Vanaquincha Estee y limoncocha en el complejo Indillana; tesis de grado previa a la obtención del título de: ingeniero de petroleos presentado por: alex mauricio monzón rivas guayaquil ecuador año: 2010

Tener un alto ángulo (para vibraciones axiales) y un alto ángulo de inclinación lateral (para vibraciones laterales) ayuda a asegurar que las tensiones de impacto en la capa de diamante sean compresivas, si el diamante está expuesto a fuerzas de tensión, es mucho más probable que se astille o se deslamine. Por lo tanto, la evidencia de campo puede indicar que hay un beneficio para los ángulos de inclinación más altos. La implicación aquí es que se podría obtener un mejor rendimiento en roca dura con un ángulo más bajo si se pudieran eliminar las vibraciones. Karasawa indicó que un ángulo de separación menor entre el sustrato del cortador y la superficie de la roca mejoró la resistencia del cortador⁴⁷.

3.3 TAMANO DE LOS CORTADORES

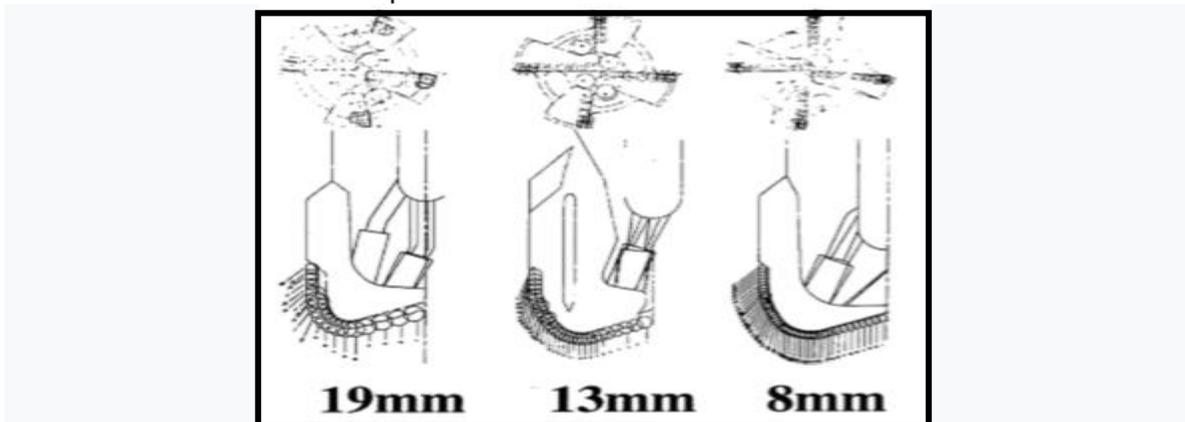
Una observación temprana indica que las brocas PDC con cortadores más pequeños se desgastan más rápido. Esta observación se realizó en una prueba

⁴⁷ KARASAWA, H. and Misawa, S., "Laboratory Testing to Design PDC Bits for Geothermal Well Drilling," Drilling Technology ASME, PED-VO1.40 (1992) 135-141.

CTF mientras se corría una broca PDC de 8 1/2 pulgadas con ocho aletas y con cortadores PDC de 8 mm⁴⁸. El objetivo de la corrida era determinar si los cortadores de diámetro más pequeño minimizarían el desgaste del cortador y posiblemente perforarían zonas puntuales más duras ya que la profundidad de corte era menor. Esta teoría se opone a la teoría anteriormente descrita donde se dice que las virutas más grandes producen menos desgaste. Sin embargo, la menor profundidad de corte podría mejorar la resistencia del cortador, especialmente a través de formaciones no homogéneas. Los resultados de las pruebas de CTF para la broca PDC de 8 mm con una broca PDC de 13 mm y con el mismo diseño, muestra que los cortadores de 8 mm se desgastan más que los 13 mm. La broca con cortadores de 8 mm tuvo desgaste más allá del extremo de los bolsillos de carburo hasta llegar a la matriz de las aletas. El desgaste y la temperatura llegaron a un punto en el que un cortador se deshizo.

Para elaborar la relación del tamaño de los cortadores con la tasa de desgaste, se realizó el mismo diseño para tres brocas PDC de 8 1/2 in, con cuatro aletas y mismo número de cortadores. Las brocas fueron diseñadas para tener un ángulo de arrastre de 7° en los cortadores dentro del cono, un ángulo de 10° en la punta y 15° en el cono de la broca frente al rastrillo trasero estándar de 20°. La única diferencia entre las tres brocas era el tamaño de los cortadores PDC; 19mm, 13mm y 8mm, respectivamente, **Figura 21**.

Figura 21. Vista superior y lateral de los tres bits de cuatro palas.



Fuente: International Society of Petroleum Engineers IADC / SPE 39306 El efecto de la densidad del cortador PDC, el rastrillo posterior, el tamaño y la velocidad en el rendimiento LA. Sinor, SPE y J.R. Powers, SPE, Hughes Christensen Co. y T.M. Warren, SPE

⁴⁸ International Society of Petroleum Engineers IADC / SPE 39306 El efecto de la densidad del cortador PDC, el rastrillo posterior, el tamaño y la velocidad en el rendimiento LA. Sinor, SPE y J.R. Powers, SPE, Hughes Christensen Co. y T.M. Warren, SPE

La broca se corrió durante 1.008 pies en el pozo DM23L, se reconstruyó, corrió en DM23M durante 234 pies, corrió en el pozo DM24A durante 439 pies, se reconstruyó y luego corrió en el pozo DM24C donde alcanzó una profundidad total de 1.157 pies antes de volver a cruzar un pozo viejo. La prueba de desgaste para esta broca fue terminada en la cuarta carrera sin desgaste medible. La carrera fue de 100 pies por debajo de la profundidad planificada para la comparación del desgaste, pero se consideró aceptable para minimizar los gastos adicionales para las pruebas.

La broca de 8 ¾ In con cortadores de 13 mm se corrió en el pozo DM23K y se tiró a una profundidad de 1.300 ft dentro de la piedra caliza del Mississippi. La inspección de los cortadores indicó que la broca había sufrido daños catastróficos en algún momento durante la ejecución, presumiblemente por la vibración de la broca de fondo de pozo. Posteriormente, la broca se volvió a ejecutar en el pozo DM25E y se tiró con resultados de desgaste similares. Un subproceso de vibración de fondo de pozo en este pozo verificó que la broca experimentó vibraciones de fondo de pozo con picos en el plano x, y (lateral) alcanzando 75-100 G a una profundidad de 1,040-1,075 ft.

La broca de 8 ½ in. Con cortadores de 8 mm se ejecutó bien y fue arrastrado a 1,225 pies. El desgaste promedio de 10 a 1570 en el diámetro exterior, se estrecha con un solo cortador hasta aproximadamente 2070. El desgaste fue considerablemente menor que el observado con la broca de ocho aletas más pesada con cortadores de 8 mm.

Los resultados de esta prueba validan aún más las observaciones hechas con respecto a la densidad del cortador

3.4 VELOCIDAD DEL CORTADOR

La literatura indica que el método adecuado para perforar intervalos más duros es aumentar la velocidad de rotación y disminuir el peso de la broca aplicada, lo que debería dar como resultado una menor temperatura de corte y desgaste. Ahora se conoce que esta es la peor práctica, ya que la carga de impacto de los cortadores juega un papel importante en las formaciones duras. Cuando se encuentran largueros duros, la mesa de diamante del cortador es más susceptible a astillarse y romperse por la vibración. Una vez que la mesa de diamante se pierde debido al daño, el proceso de desgaste del carburo de tungsteno se desarrolla muy rápidamente. Por lo tanto, se debe reducir la velocidad de la broca y aumentar el peso de la broca aplicada para ayudar a minimizar los efectos perjudiciales del giro de la broca y la sarta de perforación en formaciones más duras.

Las observaciones del CTF ayudan a corroborar el uso de velocidades de brocas más bajas para reducir el desgaste del cortador PDC. Durante un proyecto, se ejecutó una broca PDC de ocho aletas con cortadores de 13 mm en un sistema rotativo orientable a velocidades de 60-80 rpm y se extrajo sin un desgaste medible

del cortador. Hubo evidencia de astillamiento leve o deslaminación del diamante en varios cortadores, pero el desgaste medible fue nulo, lo que era inusual para el metraje perforado. Debido al desgaste mínimo, la broca se reconstruyó y volvió a ejecutar en un pozo separado a 120 rpm. El desgaste medido se consideró normal para una broca PDC de perforación suave que promedia menos del 10% de pérdida de diamante en el medidor.

Como prueba de seguimiento, más tarde se corrió una broca PDC idéntico en un tercer pozo utilizando un motor de 6 ¾ in. La velocidad total de la broca incluida la rotación de la superficie y del motor, fue de 270 rpm.

El efecto de la velocidad de la broca en la tasa de desgaste se ve claramente en este ejemplo. La broca más desgastada a 120 rpm solo se usa el 7% en comparación con la pérdida de diamante de aproximadamente 2090 para la broca a 270 rpm, un aumento de tres veces en el desgaste de la broca para el mismo material perforado⁴⁹.

En general, el consenso de la industria para los diseños de brocas PDC en formaciones más firmes es el siguiente.

Densidad del cortador: tendencia de fraguado ligero frente a pesado hacia las brocas de fraguado pesado.

Tamaño del cortador: cortadores PDC grandes o pequeños: tendencia hacia cortadores más pequeños (8 mm).

Ángulo de arrastre bajo vs alto, tendencia hacia un arrastre de 20 ° C.

Velocidad de la broca / WOB: baja o alta en secciones duras: tendencia hacia rpm más altas / densidad de corte WOB más baja.

⁴⁹ Ibid, p. 136-138

4. TECNOLOGIAS DE CORTADORES MULTIDIMENSIONALES

Los cortadores sobrecalentados experimentan un desgaste abrasivo más rápido, lo que puede conducir a una mayor energía mecánica específica (MSE) o energía desperdiciada que no se transfiere directamente a la eliminación de los cortes de la formación. Los cortadores multidimensionales son una tecnología diseñada para generar menos calor en la cara del cortador frente a los cortadores planos estándar; dada la reducción del área de contacto con la formación⁵⁰.

Baker Hughes se ha encargado de diseñar tecnología de cortadores para brindar soluciones seguras y eficientes para los problemas de perforación más difíciles. Las formaciones duras e intercaladas y la vibración excesiva en el pozo son solo dos de los muchos desafíos que impiden una ROP más rápida y son posibles causantes de un NPT (Tiempo no productivo) excesivo. El diseño de la broca requiere un conocimiento profundo de las formaciones rocosas, arcillas y otros minerales que pueden interferir con el proceso de perforación. Dentro de esta tecnología se encuentran los cortadores StayCool y Estabilis DualChamfer que serán explicadas a continuación.

4.1 TECNOLOGÍA STAYCOOL

Consiste en un cortador con una depresión en el medio de la superficie normalmente plana de diamante policristalino compacto como se muestra en la **Figura 22**, haciendo del diseño del cortador no plano como un molar.

Figura 22. Cortador StayCool



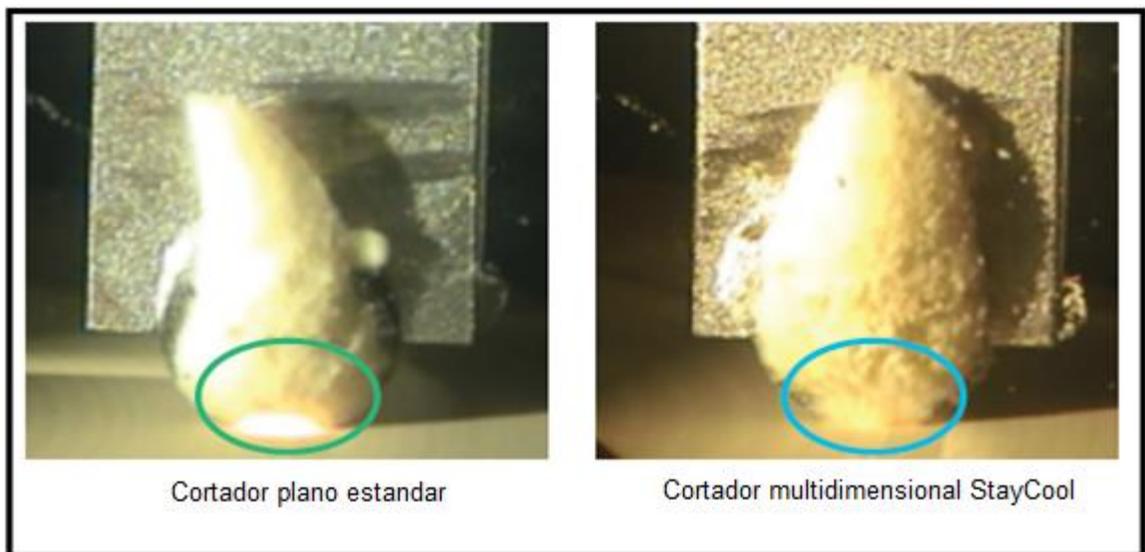
Fuente: BAKER HUGHES. StayCool 2.0 multidimensional cutter technology, 2018. p 1.

⁵⁰ Stockey, David; DiGiovann, Anthony; Fuselier, Danielle; Gavia, David; Zolnowsky Matt; Phillips Russell; Ridgway Derek. 2014. Innovate non-planar face PDC cutters demonstrate 21% drilling efficiency improvement in interbedded lutitas and sand. Paper presented At 2014 SPE

Su objetivo es disminuir la fracción reduciendo el área de contacto con la roca que está cortando, se esta manera se reduce el calor que puede causar el cortador con la superficie para autodestruirse. Dado a que los cortadores sobrecalentados experimentan abrasión más rápido, se puede llevar a una menor ROP y mayor energía específica (MSE) o energía desperdiciada.

El resultado de pruebas de laboratorio del artículo “Innovate non-planar face PDC cutters demonstrate 21% drilling efficiency improvement in interbedded lutitas and sand”, demostraron que reducir el área de superficie del área de contacto, baja la temperatura en un promedio del 40%, mientras que disminuye la fuerza aplicada hasta un 10% frente a los cortadores convencionales⁵¹. Esta reducción permite que el cortador mantenga un borde más afilado para duraciones más largas durante la corrida de la broca, **Figura 23**. La reducción de calor en la superficie del cortador también minimiza las tendencias de agrietamiento y astillado que pueden conducir a fallas y acortar la vida útil de los cortadores⁵².

Figura 23. Comparación del calor generado en un cortador convencional y un cortador multidimensional.



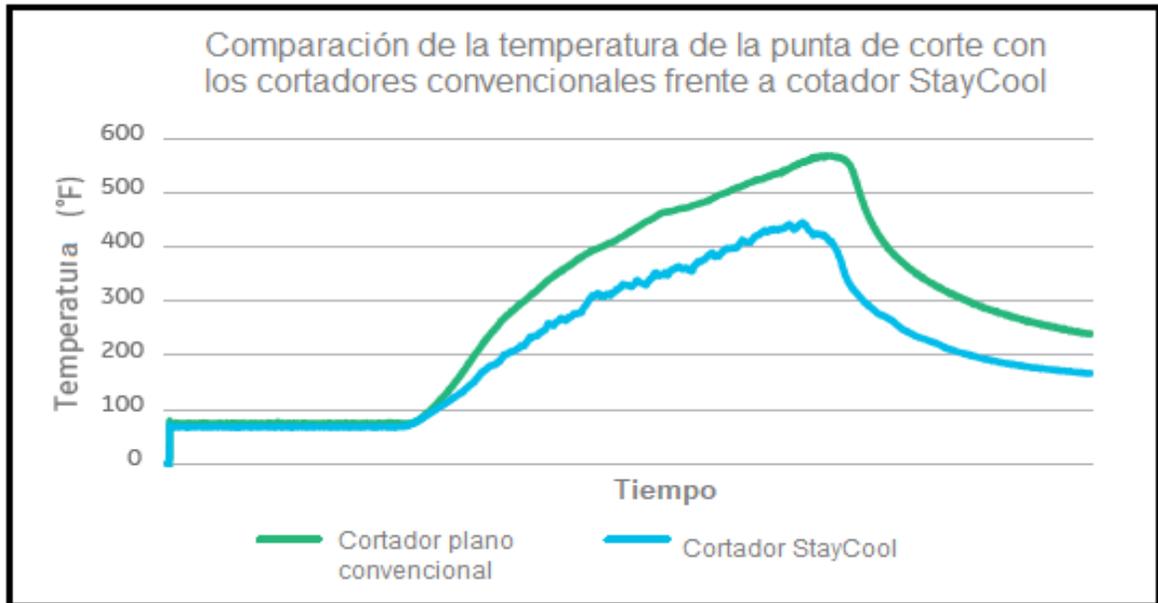
Fuente: BAKER HUGHES. StayCool 2.0 multidimensional cutter technology, 2018. p 2.

En entornos más desafiantes, como areniscas y carbonatos intercalados, el rendimiento de la broca esta directamente relacionado con los cortadores y su capacidad para soportar el calor, sin embargo los cortadores StayCool no solo reducen la temperature en el borde de trabajo de la broca, **Figura 24**, ademas mejoran la longevidad y la resistencia mecanica y reducen los niveles de estres en comparación con el diseño convencional. Esto se traduce en mayor durabilidad.

⁵¹ *Ibíd.*, p.4.

⁵² BAKER HUGHES. StayCool 2.0 multidimensional cutter technology, 2018. p 2

Figura 24. Comparación de la temperatura entre cortador convencional y Cortador StayCool.



Fuente: BAKER HUGHES. StayCool 2.0 multidimensional cutter technology, 2018. p 2.

El diseño del cortador StayCool también reduce los niveles de estrés interno. El estrés interno es la causa por la que se genera una grieta, esta retrasa el desempeño del cortador a medida que profundiza la perforación. Se puede considerar que el diseño funciona como un inhibidor de grietas, dado que minimiza la propagación de las mismas por su geometría no plana. El resultado obtenido es el de un filo de corte más duradero y más eficiente que mantiene la agresividad del corte dado a que el cortador tiene un comportamiento de autoafilado, en consecuencia al ángulo efectivo que aumenta a medida que el cortador se desgasta en la parte perfilada de la cara del cortador, **Figura 25.**

Figura 25. Perfil del desgaste del cortador



Fuente: BAKER HUGHES. StayCool 2.0 multidimensional cutter technology, 2018. p 2.

4.2 TECNOLOGIA STABILIS DUAL CHAMFER

La novedosa geometría del cortador Stabilis DualChamfer introduce un bloque secundario en la mitad del cortador, **Figura 26**. El bloque adicional en la cara del diseño hace que se proteja al cortador mientras mejora su corte. Los costadores stabilis Dual Chamfer amplifican la durabilidad del cortador y ofrecen carreras más largas en formaciones desafiantes con intercalaciones de conglomerado.

Figura 26. Cortador Stabilis Dual Chamfer



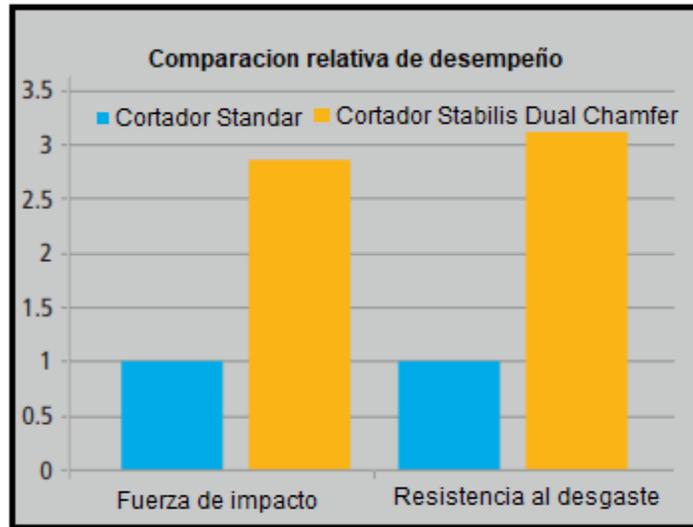
Fuente: BAKER HUGHES. Stabilis Reinforced Cutter Technology, 2015. p 1

La geometría del cortador permite que se aplique una mayor carga sin producir rotura, en comparación con la geometría del cortador estándar. Los cortadores Stabilis Dual Chamfer tienen casi el triple de fuerza de impacto. En la

Figura 27 se realiza la comparación entre un cortador convencional y un cortador de tecnología no planar; donde se demuestra la capacidad del Segundo para soportar el desgaste, debido a los biselados adicionales en la cara de diamante del cortador, que permiten que la compresión se extienda a través de más área, lo que lleva a un gradiente de estrés más bajo a través del filo de corte. El desgaste tiende a permanecer dentro del área del primer bloque, ya que el Segundo bloque proporciona una protección extendida contra problemas de astillamiento y desprendimiento por efecto del calor a causa de la fricción. Esto extiende la vida de la cara diamante, del cortador y de la broca, para que sea más eficiente y la perforación pueda continuar por períodos más largos⁵³.

⁵³ BAKER HUGHES. Stabilis Reinforced Cutter Technology, 2015. p 1

Figura 27. Comparación relativa de desempeño de cortadores Stabilis Dual Chamfer

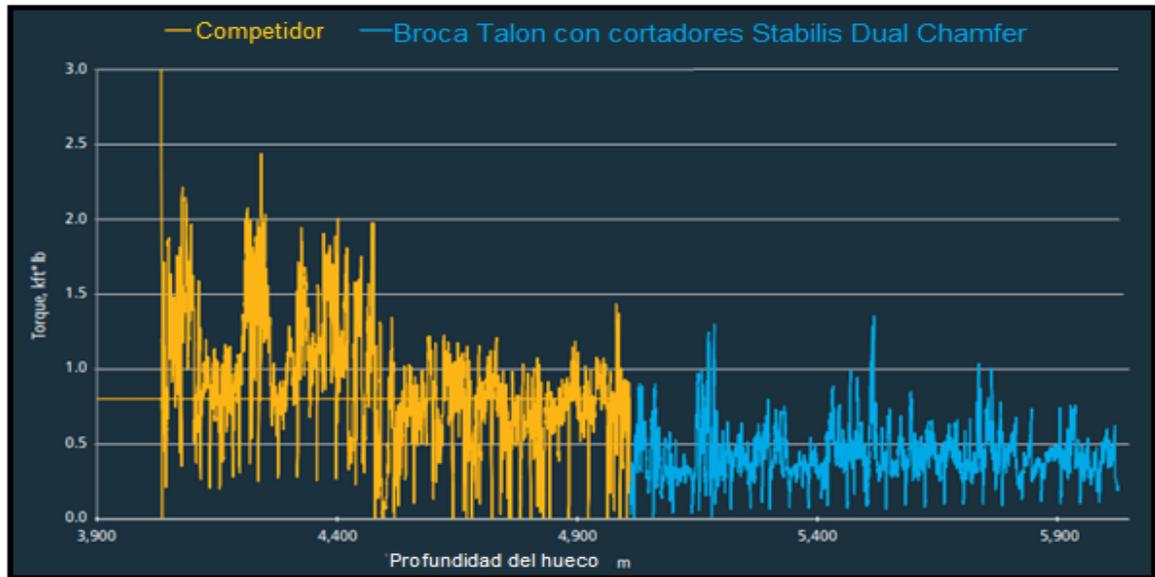


Fuente: BAKER HUGHES. Talon Force High-Velocity PDC Drill Bits, 2015. p 4

Los cortadores Stabilis Dual Chamfer también generan menos fluctuaciones en el toque en comparación a la geometría estándar, **Figura 28**. El efecto de controlar el torque y que las fluctuaciones sean más suaves, es el de ejecutar una perforación más estable que resulta en tasas más altas de penetración (ROP) y de proporcionar la capacidad de mantener un corte eficiente y un perfil afilado mientras se mitiga el astillado y el desconchado en la cara del cortador. El cortador Stabilis Dual Chamfer puede cortar efectivamente a través de formaciones duras a velocidades iguales o más altas que con cortadores tradicionales por periodos más largos, con la ventaja de crear menos torsión y cortes más finos para facilitar el transporte a la superficie y mejorar la calidad del pozo⁵⁴.

⁵⁴ BAKER HUGHES. Talon Force High-Velocity PDC Drill Bits, 2015. p 4

Figura 28. Comparación del torque entre broca estándar y broca con cortadores Stabilis Dual Chamfer



Fuente: BAKER HUGHES. Talon Force High-Velocity PDC Drill Bits, 2015. p 4

5. DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA Y RESULTADOS

En este capítulo se realiza la descripción del análisis del desempeño de las brocas con cortadores de tecnología no planar StayCool y Stabilis Dual Chamfer vs cortadores estándar. El estudio se divide en dos partes; la primera se encarga de mostrar cómo se realiza la clasificación IADC de cada broca una vez termina la corrida y comparar dicha calificación con su semejante en una broca con cortadores estándar, la segunda consiste en describir el comportamiento del ROP, WOB y MSE y generar curvas que modelen desempeño de las brocas con cortadores de tecnologías no planares y cortadores estándar.

La evaluación del desempeño de tecnologías no planares se realiza a través de cuatro casos, los dos primeros casos evaluarán el desempeño de la tecnología de cortadores StayCool y los dos siguientes evaluarán el desempeño de la tecnología Stabilis DualChamfer, los cuatro casos son comparados con el desempeño de cortadores estándar,, **Cuadro 9**. Las condiciones establecidas para la comparación fueron: la formación; la misma formación de referencia, la profundidad; que las corridas entre las tecnologías no planares y estándar sean en profundidades similares y que sea mismo campo o un campo cercano donde las propiedades litológicas no cambiaran de manera drástica.

Esta metodología se realizó debido a que la información para el planteamiento inicial no era suficiente para representar el estudio y carecía de datos para comparar, por lo tanto se realizara una comparación independiente por cada tecnología de cortadores no planares respecto a cortadores estándar,

Cuadro 9. Resumen de las brocas de estudio

Casos	broca	size	cortador	Formación	Campo	MD in (ft)	MD out(ft)	Tiempo efectivo(hr)
Caso 1	Broca 1	8.5	StayCool	Guadalupe/Shale&fosfatic	Floreña	14415	14585	28.8
	Broca 2	8.5	Estándar	Guadalupe Massives	Floreña	14230	14327	39.5
Caso 2	Broca 3	14.75	StayCool	C7	Floreña	6369	9061	93.8
	Broca 4	14.75	Estándar	C7/C8/C7inv/C8inv	Floreña	6483	9003	86.85
Caso 3	Broca 5	8.5	Stabilis DualChamfer	Los cuervos	Payero E1Z	14242	15016	64.1
	Broca 6	8.5	Estándar	Los cuervos	Payero E1Z	15016	15336	52.35
Caso 4	Broca 7	8.5	Stabilis DualChamfer	Mirador	Payero E1	11663	11926	56.6
	Broca 8	8.5	Estándar	Mirador/C8	Payero E1Z	11541	12150	53.2

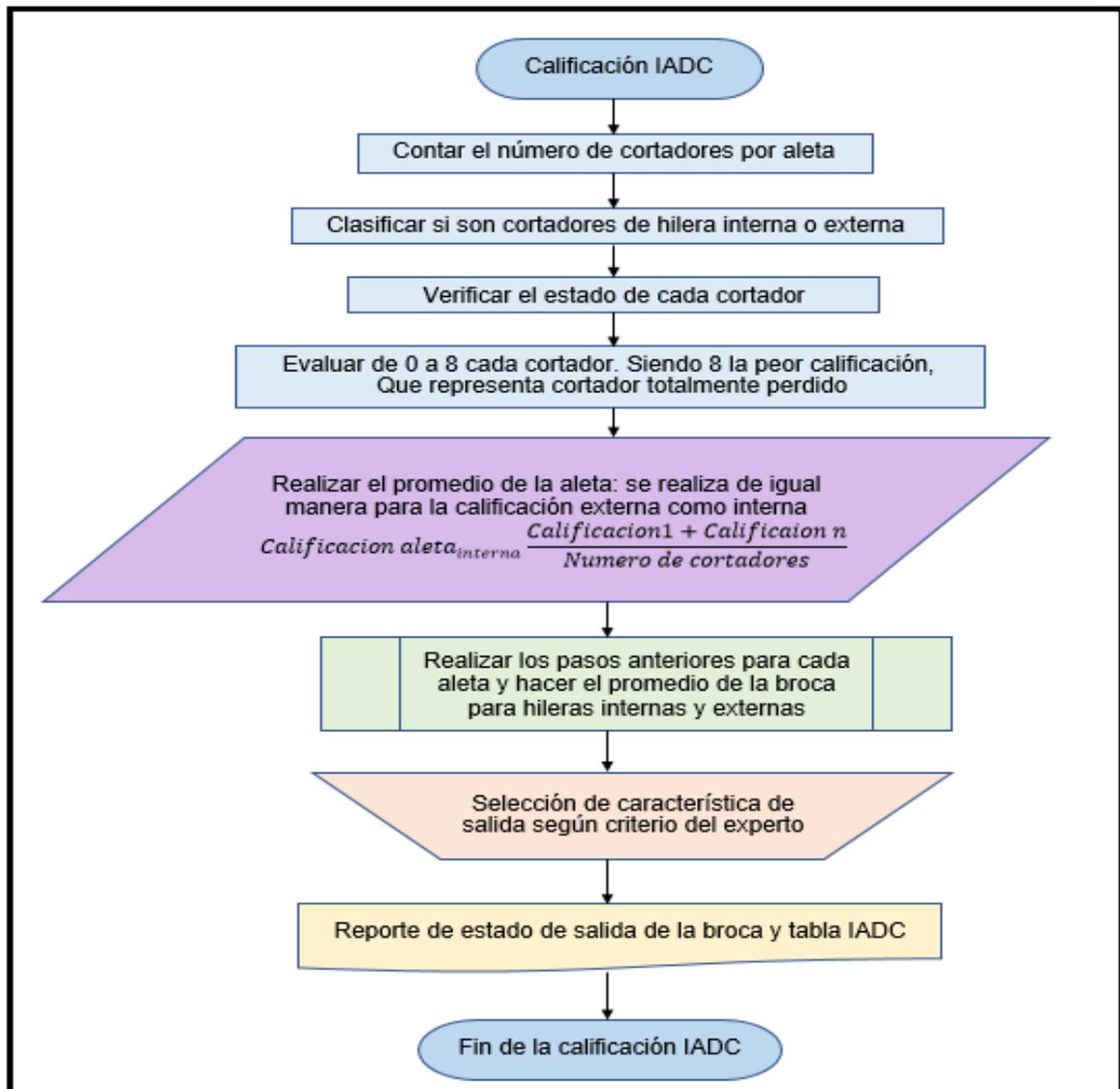
Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reportes

A lo largo del documento se usará la misma convención de colores para describir la información de cada tecnología de cortador.

5.1 CALIFICACIÓN IADC

La calificación IADC se realiza de acuerdo a la descripción mencionada en el capítulo 2, donde se evalúa el estado de salida de los cortadores por aleta. A continuación, en la **Ilustración 1** se explica el procedimiento de cómo se realiza la calificación de salida de las brocas a estudiar.

Ilustración 1. Diagrama para la calificación IADC



Fuente: elaboración propia

5.1.1 Calificación IADC para brocas con cortadores StayCool y brocas de cortadores estándar. La calificación se realizará para dos casos diferentes, realizando la comparación entre una broca de tecnología StayCool con una broca de tecnología estándar. El objetivo de realizar dos casos, es el de generar una muestra más representativa y observar el desempeño en diferentes litologías.

5.1.1.1 Caso 1. Cuadro 10 se resumen las características de las brocas a calificar. Este caso compara el desempeño de la Broca 1 de cortadores StayCool con la broca 2 de cortadores estándar. Las dos brocas están conformadas por 8 aletas con cortadores de 8 ½ mm. La formación a perforar es la formación Guadalupe a 14.585 ft la la broca 1 y a 14.327 ft para le broca 2, en la misma formación.

Cuadro 10. Resumen de las brocas 1 y 2 del caso 1

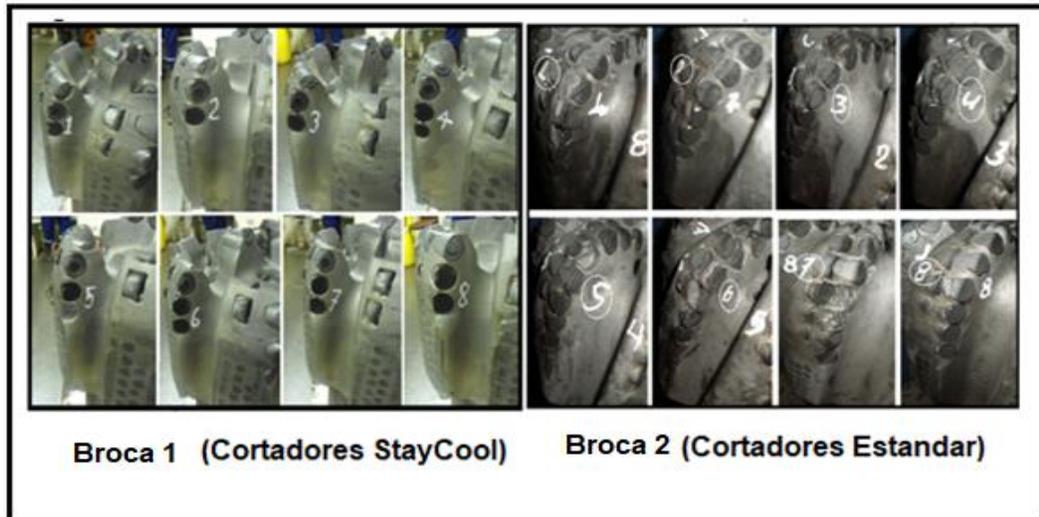
TIPO	SIZE	CORTADOR	FORMACIÓN	CAMPO	MD In (Ft)	MD Out(Ft)	TIEMPO EFECTIVO(hr)	ROP EFECTIVO (ft/hr)	Avg RPM Sup	Avg RPM O/B	Avg WOB (lb)	Avg TORQUE (lbf-ft)
Broca 1	8.5	StayCool	Guadalupe/Shale&fosfatic	Floreña	14415	14585	28.8	5.9	128	3.2	23	16
Broca 2	8.5	Estándar	Guadalupe Massives	Floreña	14230	14327	39.5	2.456	100	1.9	31	8

Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reportes

Para el primer caso se mostrará el paso a paso de la calificación IADC que se describió en la **Ilustración 1** y que se aplicará para las demás calificaciones descritas en el capítulo después de verificar el estado de salida.

En la **Figura 29** se muestra el estado cada aleta a la salida de la corrida, de tal manera que se pueda seguir el procedimiento.

Figura 29. Estado de salida de las brocas BROCA 1 Y BROCA 2



Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reportes

Observando la **Figura 29** se pueden determinar el número de aletas y de cortadores como se muestra en el **Cuadro 11**.

Cuadro 11. Especificación de número de aletas y cortadores tanto internos como externos para las brocas 1 y 2

Número de aletas	# cortadores por aleta	#cortadores internos	#cortadores externos
8	8	2	6

Número de aletas	# cortadores por aleta	#cortadores internos	#cortadores externos
8	12	7	5

Fuente: elaboración propia

Según las especificaciones anteriores se realizan los promedios por medio de la **Ecuación 5** para calificar los cortadores tanto internos como externos.

Ecuación 5. Promedio de la calificación IADC para hileras internas y externas

$$\text{Calificacion aleta}_{1_{int/ext}} = \frac{\text{calificacion 1} + \text{calificacion n}}{\text{Numero de cortadores}}$$

De este modo para la aleta 1 se tiene promedio solo para la parte externa, dado el diseño de la broca, no posee cortadores internos en las aletas 1, 3, 4 y 6.

$$\text{Calificacion aleta}_{1_{ext}} = \frac{2 + 2 + 1 + 2 + 2 + 2}{6} = 2$$

Aleta 2;

$$\text{Calificacion aleta}_{2_{int}} = \frac{1 + 1}{2} = 1$$

$$\text{Calificacion aleta}_{2_{ext}} = \frac{2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2}{6} = 2$$

Aleta 3;

$$\text{Calificacion aleta}_{3_{ext}} = \frac{1 + 2 + 1 + 2 + 1 + 2}{6} = 2$$

Aleta 4;

Aleta 5;

$$\text{Calificacion aleta } 4_{ext} \frac{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1}{6} = 1$$

$$\text{Calificacion aleta } 5_{int} \frac{2 + 2}{2} = 2$$

$$\text{Calificacion aleta } 5_{ext} \frac{2 + 1 + 1 + 2 + 1 + 2}{6} = 2$$

Aleta 6;

$$\text{Calificacion aleta } 6_{ext} \frac{1 + 2 + 2 + 1 + 2 + 2}{6} = 2$$

Aleta 7;

$$\text{Calificacion aleta } 7_{int} \frac{2 + 2}{2} = 2$$

$$\text{Calificacion aleta } 7_{ext} \frac{1 + 2 + 1 + 1 + 2 + 2}{6} = 2$$

Aleta 8;

$$\text{Calificacion aleta } 8_{ext} \frac{1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2}{6} = 1$$

Una vez se obtiene la calificación interna y externa por aleta se realiza el promedio para la broca, que es la calificación final.

$$\text{Calificacion Broca}_{int} \frac{1 + 2 + 2}{3} = 1$$

$$\text{Calificacion Broca}_{ext} \frac{2 + 2 + 2 + 1 + 2 + 2 + 2 + 1}{8} = 2$$

Los resultados de las calificaciones de cada cortador se encuentran en el **Cuadro 12**. Por diseño de la broca algunas aletas incluyen menos cortadores, por lo cual se especifica que para esa aleta no aplica con las siglas (NO).

Cuadro 12. Promedio de la calificación IADC para la brocas, BROCA 1 Y BROCA 2

Calificación cortadores										
	Cortadores internos		Promedio interno	Cortadores externos						Promedio externo
	Cortador 1	Cortador 2	Promedio	Cortador 3	Cortador 4	Cortador 5	Cortador 6	Cortador 7	Cortador 8	Promedio
Aleta 1	NO	NO	NO	2	2	1	2	2	2	2
Aleta 2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Aleta 3	NO	NO	NO	1	2	1	2	1	2	2
Aleta 4	NO	NO	NO	1	1	1	1	1	1	1
Aleta 5	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2
Aleta 6	NO	NO	NO	1	2	2	1	2	2	2
Aleta 7	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2
Aleta 8	NO	NO	NO	1	1	1	1	1	2	1
Calificación interna			1	Calificación externa			2			

Calificación interna de la broca															
	Cortadores internos							PROMEDIO INTERNO	Cortadores externos						
	Cortador 1	Cortador 2	Cortador 3	Cortador 4	Cortador 5	Cortador 6	Cortador 7	Promedio	Cortador 8	Cortador 9	Cortador 10	Cortador 11	Cortador 12	Promedio	
Aleta 1	1	1	1	1	6	6	6	3	2	4	3	2	2	3	
Aleta 2	2	3	1	1	2	NO	NO	2	4	3	4	4	4	4	
Aleta 3	2	2	1	1	2	2	1	2	4	4	4	3	3	4	
Aleta 4	1	1	2	2	3	NO	NO	2	4	3	3	4	4	4	
Aleta 5	1	1	2	2	1	1	1	1	3	4	4	4	3	4	
Aleta 6	2	2	1	1	2	NO	NO	2	3	4	4	4	3	4	
Aleta 7	1	2	2	1	1	1	7	2	4	3	3	3	4	3	
Aleta 8	1	2	1	1	1	NO	NO	1	4	4	3	4	4	4	
Calificación interna de la broca								2	Calificación externa de la broca						4

Fuente: elaboración propia

El procedimiento anterior se llevará a cabo para los demás casos de calificación, para los siguientes casos solo se presentarán las tablas de resultados.

Las características de desgaste son dadas por el comportamiento de la broca 1 durante la corrida y las observaciones de un experto una vez la broca sale de la perforación. Para este caso, el desgaste especificado en el reporte del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** concluye que se encontró como principal característica de desgaste (RO) Ring Out en el área de la nariz de la broca; debido a la excesiva rotación en el hueco y condiciones operativas vs litología cambiante, que conlleva al desgaste prematuro de la broca. Como segunda característica de desgaste, se tiene (WT) lo que indica un desgaste normal de los cortadores, debido al trabajo y fricción por perforar las intercalaciones de diferentes comprensibilidades. La razón de salida de la broca, fue por (PP) Pump Pressure.

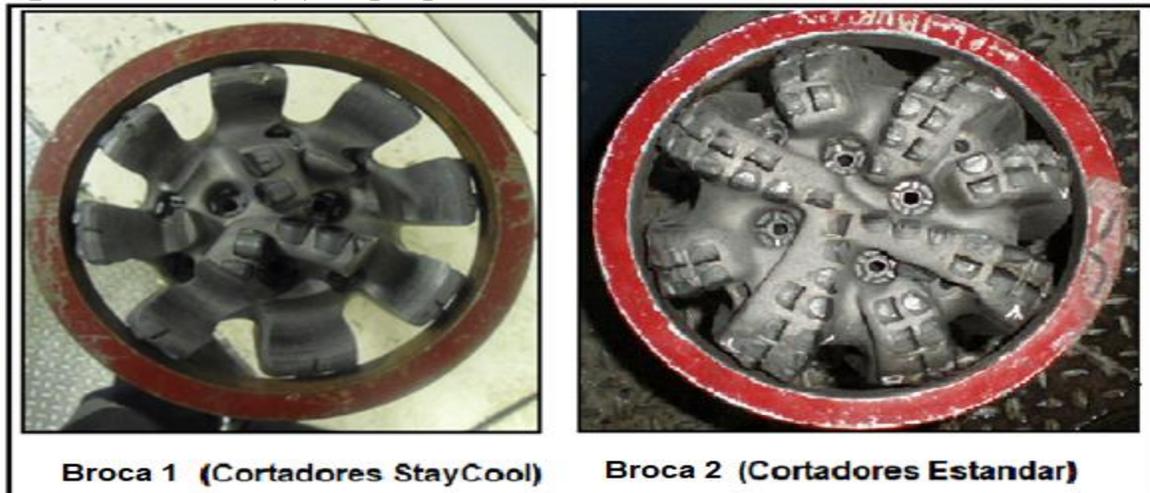
Para la broca 2 se evidencian cortadores en desgaste normal (WT) como característica principal y (BT) como característica secundaria por encontrar algunos cortadores rotos, el área afectada que pierde su poder de corte es el hombro (S), por la abrasividad propia de la formación y como razón de salida, se tiene la baja tasa de penetración PR.

ANEXO B

Para establecer la columna 6 que corresponde al calibre (G), se usa un aro metálico que evidencia si la broca mantiene el diámetro, en este caso las brocas salieron en gauge,

Figura 30.

Figura 30. Calibre (G) en gauge.



Fuente: el Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reportes

Una vez realizada toda la inspección se puede registrar la calificación final de la broca en al formato IADC en el **Cuadro 13**.

Cuadro 13. Calificación IADC para las brocas BROCA 1 Y BROCA 2 del caso 1

Hileras internas(I)	Hileras externas (O)	Característica de desgaste (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello(B)	Calibre (G)	Otra característica de desgaste	Razon de salida (R)
1	2	CT	S	X	I	WT/HC	PR
Hileras internas(I)	Hileras externas (O)	Característica de desgaste (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello(B)	Calibre (G)	Otra característica de desgaste	Razon de salida (R)
2	4	WT	S	X	I	BT	PR

Fuente: elaboración propia

Caso 2. El caso dos es una segunda validacion del comportamiento de los cortadores Stay Cool en una formacion de alta abrasividad como los es Carbonera C7, ademas de esto se evalua si el rendimiento cambia al cambiar el diámetro de la broca. . En el **Fuente:** elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reporte

5.1.1.2 Cuadro 15 se encuentra la información de las brocas 3 y 4.

Cuadro 14. Resumen de las brocas 3 y 4 del caso 2

TIPO-BZ-BZ14	TIPO	SIZE	CORTADOR	FORMACIÓN	CAMPO	MD In (Ft)	MD Out(Ft)	TIEMPO EFECTIVO(hr)	ROP EFECTIVO (ft/hr)	Avg RPM Sup	Avg RPM O/B	Avg WOB (lb)
Broca 3	14.75	StayCool	C7	Floreña	6369	9061	93.8	28.7	105	7.9	35	15
Broca 4	14.75	Estándar	C7/C8/CTinv/C8inv	Floreña	6483	9003	86.85	29.05	143.8		26	0

Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reportes

Figura 31. Estado de salida de las brocas 3 y 4



Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reporte

Cuadro 15. Especificación de número de aletas y cortadores tanto internos como externos para las brocas 3 y 4

Número de aletas	# cortadores por aleta	#cortadores internos	#cortadores externos
9	10	6	4
Número de aletas	# cortadores por aleta	#cortadores internos	#cortadores externos
9	12	7	5

Fuente: elaboración propia

Los valores de las calificaciones con los cuales se realizaran los promedios para la calificación interna y externa están descritos en el **Cuadro 16**.

Cuadro 16. Promedio de la calificación IADC para las brocas 3 y4

Calificación cortadores															
	Cortadores internos						Promedio interno	Cortadores externos				Prodedio externo			
	Cortador 1	Cortador 2	Cortador 3	Cortador 4	Cortador 5	Cortador 6	Promedio	Cortador 7	Cortador 8	Cortador 9	Cortador 10	Promedio			
Aleta 1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1			
Aleta 2	2	2	2	NO	NO	NO	2	1	2	NO	NO	2			
Aleta 3	2	2	1	NO	NO	NO	2	1	1	NO	NO	1			
Aleta 4	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1			
Aleta 5	1	1	1	NO	NO	NO	1	2	2	NO	NO	2			
Aleta 6	2	2	1	NO	NO	NO	2	1	2	NO	NO	2			
Aleta 7	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1			
Aleta 8	1	2	1	NO	NO	NO	1	2	1	NO	NO	2			
Aleta 9	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2			
Calificación de la broca							1	Calificación externa de la broca				2			
Calificación cortadores															
	Cortadores internos							Promedio interno	Cortadores externos					Prodedio externo	
	Cortador1	Cortador2	Cortador3	Cortador4	Cortador5	Cortador6	Cortador7	PROMEDIO	Cortador8	Cortador9	Promedio	Cortador10	Cortador11	Cortador12	PROMEDIO
Aleta 1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1
Aleta 2	1	0	0	0	NO	NO	NO	0	1	0	0	0	0	1	0
Aleta 3	1	0	0	0	NO	NO	NO	0	0	0	0	0	0	0	0
Aleta 4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aleta 5	1	1	1	2	NO	NO	NO	1	1	1	1	1	1	1	1
Aleta 6	1	0	0	1	NO	NO	NO	1	1	1	0	1	1	1	1
Aleta 7	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
Aleta 8	1	0	0	0	1	NO	NO	0	1	0	0	0	1	1	1
Calificación de la broca							0	Calificación externa de la broca					1		

Fuente: elaboración propia

El reporte del

ANEXO C para la broca broca 3 explica que aunque la razón de salida fue debido de la rata de penetración (PR), la broca no presenta mayor afectación en su estructura de corte, como característica principal se observa cortadores astillados (CT) en el área del hombro (S) de todas las aletas, este tipo de desgaste es originado al perforar una zona de litología variable como la observada en la formación C7, donde predominó el limolita (70%) sobre el dololita (30%), como segunda característica se observa leve desgaste (WT) en algunos cortadores del área del cono. Además se evidencia un desgaste severo en el cono de la aleta que alcanza a comprometer la matriz de la broca. El desgaste originado y el astillamiento reportado es consecuencia de incrementar la velocidad de perforación, en una zona caracterizado por la alta abrasividad. El desgaste del cono se origina por el WOP aplicado.

Para la broca 4 según el reporte del **ANEXO D** la broca sale a superficie presentando desgaste en los cortadores del gauge, aunque en el shank presenta varios rayones, los cuales no son generados por la formación, por lo tanto se recomienda hacer un viaje de acondicionamiento para evitar futuras pegas.

En ambos casos las brocas conservan el gauge, asegurando el diámetro del hueco, **Figura 32**. Sin embargo la matriz de la broca 3 se encuentra un poco comprometida.

Figura 32. Calibre (G) en gauge para brocas BROCA 3 BROCA 4



Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte.

Una vez realizado el promedio del desgaste de hileras internas y externas y definir las características y ubicación del desgaste de completa la calificación IADC del **Cuadro 17**.

Cuadro 17. Calificación IADC para las brocas BROCA 3 y BROCA 4 del caso 2

Hileras internas(I)	Hileras externas (O)	Característica de desgaste (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello(B)	Calibre (G)	Otra característica de desgaste	Razón de salida (R)
1	2	CT	S	X	I	WT/HC	PR

Hileras internas(I)	Hileras externas (O)	Característica de desgaste (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello(B)	Calibre (G)	Otra característica de desgaste	Razón de salida (R)
0	1	BT	G	X	I	CT	BHA

Fuente: Elaborado por el autor.

5.1.2 Calificación IADC para brocas con cortadores Stabilis Dual Chamfer y brocas de cortadores Estándar. La calificación se realizará de igual manera que con los cortadores StayCool. Se evalúan dos casos diferentes, esta vez realizando la comparación entre brocas de tecnología Stabilis DualChamfer con brocas de tecnología estándar. El objetivo es el de evaluar una segunda tecnología en formaciones abrasivas y conglomeradas, se realizan dos casos con el fin de generar una muestra más representativa y observar el desempeño en diferentes litologías.

5.1.2.1 Caso 3. Se evaluará el mismo diseño de broca y su rendimiento en profundidades próximas en la formación Los Cuervos. En el **Cuadro 18** se encuentra la información de la broca 5 Y broca 6.

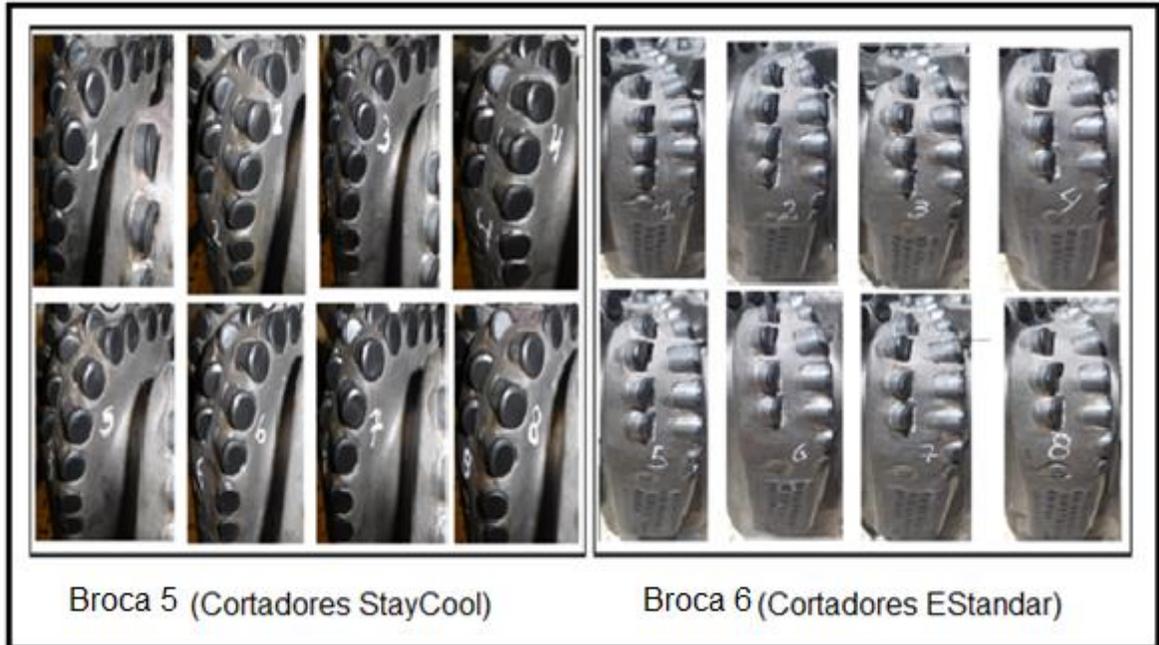
Cuadro 18. Resumen de las brocas 5 y 6

Tipo	Size	Cortador	Formación	Campo	Md in (ft)	Md out(ft)	Tiempo efectivo(hr)	Rop efectivo (ft/hr)	Avg RPM O/B (rev/min)	Avg WOB (lb)	Avg TORQUE (lb/ft)
Broca 5	8.5	Stabilis DualChamfer	Los cuervos	Payero E1Z	14242	15016	64.1	12.075	11.9	17	17
Broca 6	8.5	Estándar	Los cuervos	Payero E1Z	15016	15336	52.35	6.113	10.9	17	20

Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte

Con las imágenes del **ANEXO E** y **ANEXO F**, se realiza el conteo de aletas y cortadores según lo que se observa en la **Figura 33**, donde se muestran las aletas de las brocas 5 y 6, respectivamente.

Figura 33. Estado de salida de las brocas Broca 5 Y Broca 6



Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reporte

Con la observación de la **Figura 33** se establece el número de aletas y de cortadores internos y externos por cada aleta como se muestra en el **Cuadro 19**

Cuadro 19. Especificación de número de aletas y cortadores tanto internos como externos para las brocas: BROCA 5 Y BROCA 6

Número de aletas	# cortadores por aleta	#cortadores internos	#cortadores externos
8	10	5	5
Número de aletas	# cortadores por aleta	#cortadores internos	#cortadores externos
8	12	5	7

Fuente: elaboración propia

Una vez se identifican los cortadores internos y externos y el número total de cortadores se realiza la calificación de las hileras internas y externas, **Cuadro 20**.

Cuadro 20. Promedio de la calificación IADC para la broca BROCA 5 Y BROCA 6

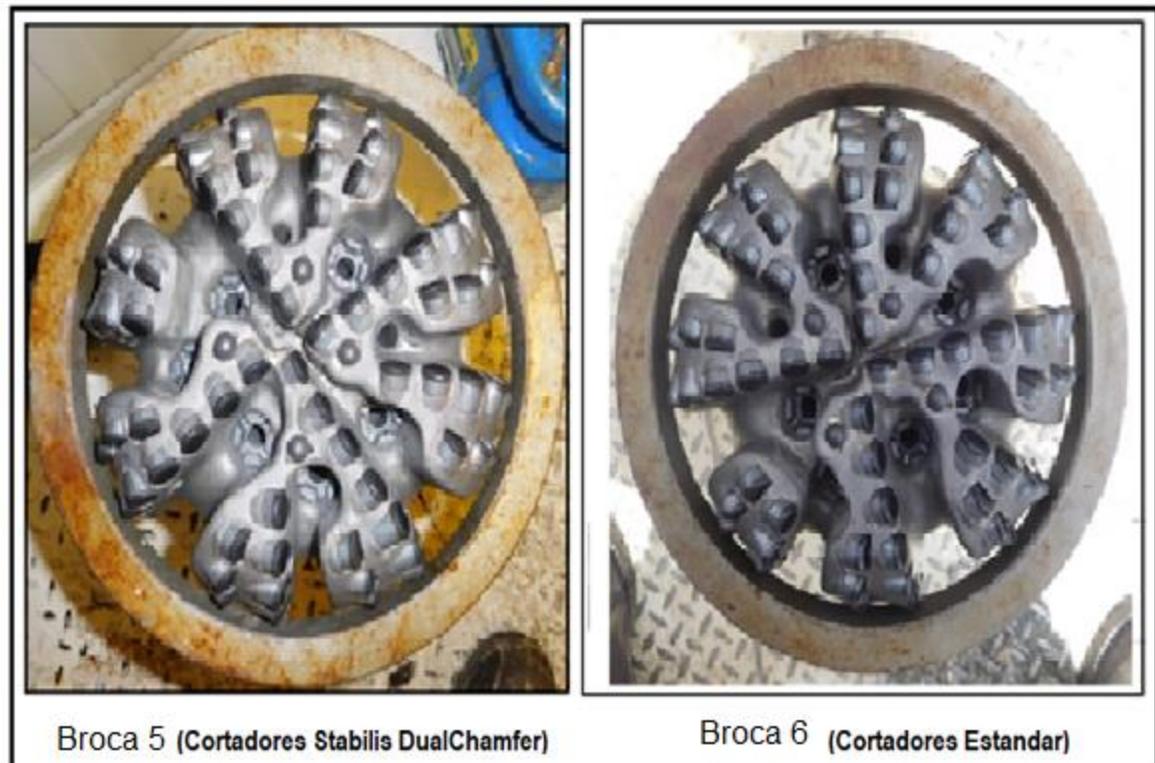
Calificacion cortadores														
Cortadores internos						Promedio interno	Cortadores externos					Prodedio externo		
	Cortador 1	Cortador 2	Cortador 3	Cortador 4	Cortador 5	Promedio	Cortador 6	Cortador 7	Cortador 8	Cortador 9	Cortador 10	Promedio		
Aleta 1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1		
Aleta 2	2	2	1	2	NO	2	2	1	2	2	2	2		
Aleta 3	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1		
Aleta 4	1	2	1	2	NO	2	1	1	2	1	1	1		
Aleta 5	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2		
Aleta 6	2	1	1	2	NO	2	1	1	2	1	2	1		
Aleta 7	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2		
Aleta 8	2	2	1	2	NO	2	1	2	1	1	2	1		
Calificacion de la broca						1	Calificacion externa de la broca					2		
Calificacion cortadores														
Cortadores internos						Promedio interno	Cortadores externos						Promedio externo	
	Cortador 1	Cortador 2	Cortador 3	Cortador 4	Cortador 5	PROMEDIO	Cortador 6	Cortador 7	Cortador 8	Cortador 9	Cortador 10	Cortador 11	Cortador 12	PROMEDIO
Aleta 1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2
Aleta 2	2	1	1	NO	NO	1	2	1	1	1	1	1	1	1
Aleta 3	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Aleta 4	2	2	1	NO	NO	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Aleta 5	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2
Aleta 6	1	1	1	NO	NO	1	1	2	1	1	2	2	1	2
Aleta 7	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
Aleta 8	1	2	1	NO	NO	1	2	2	2	1	2	2	2	2
Calificacion interna de la broca						1	Calificacion externa de la broca						2	

Fuente: elaboración propia

La broca broca 5 mostró una estabilidad que no es propia de una broca PDC; permitió trabajar en una ventana (90-120 RPM) sin presentar torques erráticos en los intervalos del lodolitas con intercalaciones de arenisca, en la zona de los carbones se presentó torques erráticos cuando las herramientas pasaban por estos lentes de carbón. A la salida de BHA se inspecciono sin encontrar sobre torque a diferencia de los BHA anteriores.

El reporte de la broca BROCA 6 sale con un desgaste mínimo en su estructura de corte, ocasionado especialmente por la abrasividad de las areniscas perforadas, en la aleta 5 presenta un cortador roto, esto es producto de los altos niveles de stick slip que se vieron en la corrida. Este intervalo mostró que el TQ errático era generado por intercalaciones de areniscas y llegando a un valor de 37600lbFt. Se presenta colgamiento que hace reducir el peso efectivo (WOB) en la broca en y el BHA. Tanto la Broca 5 como la Broca 6 vienen en calibre, **Figura 34**.

Figura 34. Calibre (G) en gauge para las brocas: Broca 5 Y Broca 6



Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reporte

Conociendo todas las características de calificación IADC se prosigue a completar el formato presentado en **Cuadro 21**

Cuadro 21. Calificación IADC para las brocas BROCA 5 Y BROCA 6

Hileras internas(I)	Hileras externas (O)	Característica de desgaste (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello(B)	Calibre (G)	Otra característica de desgaste	Razón de salida (R)
1	2	WT	A	X	I	NO	PR

Hileras internas(I)	Hileras externas (O)	Característica de desgaste (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello(B)	Calibre (G)	Otra característica de desgaste	Razón de salida (R)
1	2	WT	A	X	I	BT	HR

Fuente: elaboración propia

5.1.2.2 Caso 4. Las brocas de este caso son las brocas 7 y 8 que corresponden a tecnología Stabilis DualChamfer y estándar respectivamente. En el **Cuadro 22** se encuentra la información general del desempeño de las brocas.

Cuadro 22. Resumen de las brocas BROCA 7 Y BROCA 8

Tipo	Size	Cortador	Formación	Campo	Md in (ft)	Md out(ft)	Tiempo efectivo(hr)
Broca 7	8.5	Stabilis DualChamfer	Mirador	Payero E1	11663	11926	56.6
Broca 8	8.5	Estándar	Mirador/C8	Payero E1Z	11541	12150	53.2

Fuente: elaboración propia.

A partir del reporte del ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. de la broca 7 y del **ANEXO G** de la broca 8, se observa el estado de salida de las brocas, para realizar el conteo de cortadores por aleta, **Figura 35**.

Figura 35. Estado de salida de las brocas BROCA 7 Y BROCA 8



Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte

La observación de la **Figura 35** se registra en el **Cuadro 23**.

Cuadro 23. Especificación de número de aletas y cortadores tanto internos como externos para las brocas BROCA 7 Y BROCA 8

Número de aletas	# cortadores por aleta	#cortadores internos	#cortadores externos
8	12	5	7
Número de aletas	# cortadores por aleta	#cortadores internos	#cortadores externos
8	11	6	5

Fuente: elaboración propia

El resultado del promedio de la calificación por cortador para cada broca, una vez se han identificado los cortadores internos y externos se muestra en el **Cuadro 24**

Cuadro 24. Promedio de la calificación IADC para la broca BROCA 7 Y BROCA 8

Calificación cortadores													
Cortadores internos						Promedio interno	Cortadores externos					Prodedio externo	
	Cortador 1	Cortador 2	Cortador 3	Cortador 4	Cortador 5	Promedio	Cortador 6	Cortador 7	Cortador 8	Cortador 9	Cortador 10	Promedio	
Aleta 1	1	2	2	4	3	2	3	3	2	2	3	3	
Aleta 2	1	2	2	2	NO	2	2	2	2	2	2	2	
Aleta 3	1	1	2	2	3	2	4	3	2	3	2	3	
Aleta 4	3	2	2	2	NO	2	3	3	2	3	3	3	
Aleta 5	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	
Aleta 6	3	2	2	2	NO	2	4	4	3	2	3	3	
Aleta 7	8	3	2	2	2	3	3	4	3	2	2	3	
Aleta 8	8	3	2	2	3	4	3	2	2	3	2	2	
Calificación de la broca						2	Calificación externa de la broca					3	
Calificación cortadores													
Cortadores internos							Promedio interno	Cortadores externos					Promedio externo
	Cortador 1	Cortador 2	Cortador 3	Cortador 4	Cortador 5	Cortador 6	PROMEDIO	Cortador 7	Cortador 8	Cortador 9	Cortador 10	Cortador 11	PROMEDIO
Aleta 1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Aleta 2	2	1	1	NO	NO	NO	1	1	1	1	1	1	1
Aleta 3	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Aleta 4	1	2	2	NO	NO	NO	2	1	1	1	2	2	1
Aleta 5	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1
Aleta 6	1	1	1	NO	NO	NO	1	2	1	1	2	2	2
Aleta 7	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Aleta 8	1	2	1	NO	NO	NO	1	2	2	1	1	1	2
Calificaion interna de la broca							1	Calificación extern de la broca					1

Fuente: elaboración propia

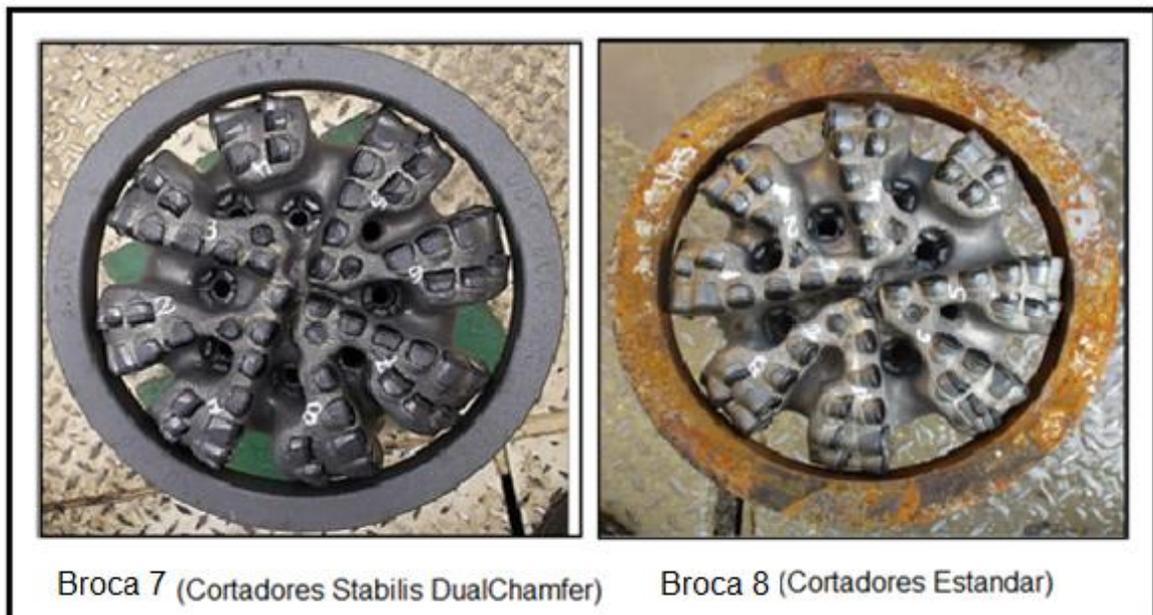
Según el ANEXO G la broca 7 tuvo un desgaste normal (WT) en los cortadores, originado por la fricción entre la broca y la formación, lo que causo astillamiento dada la abrasividad afectando los cortadores de la broca en general (A) . La dureza y abrasividad de la formación disminuyen el ROP razón por la que se termina la corrida (PR).

El reporte de la broca 8 sale con un desgaste mínimo en su estructura de corte, se evidencia desgaste leve por (BT), localizados en la estructura interna en el cono de la broca y en la parte externa presenta desgaste leve por fricción (WT) en el hombro de la broca como también una puerto fijo tapado, el desgaste principal (BT) es probablemente originado en el trabajo que se realizó en el drill out y la segunda característica (WT) se origina normalmente por la presencia de areniscas (SS) y limolitas (SL) que son abrasivas en la formación Mirador y C-8.

Las brocas 7 Y 8 vienen en calibre,

Figura 36.

Figura 36. Calibre (G) en gauge para las brocas BROCA 7 Y BROCA 8



Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte

Conociendo todas las características de calificación IADC finalmente se completa el formato presentado en el **Cuadro 25.**

Cuadro 25. Calificación IADC para las brocas BROCA 5 Y BROCA 6

Hileras internas(I)	Hileras externas (O)	Característica de desgaste (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello(B)	Calibre (G)	Otra característica de desgaste	Razón de salida (R)
2	3	WT	A	X	I	CT/HC	PR

Hileras internas(I)	Hileras externas (O)	Característica de desgaste (D)	Ubicación (L)	Cojinete Sello(B)	Calibre (G)	Otra característica de desgaste	Razón de salida (R)
1	1	BT	C	X	I	WT	BHA

Fuente: elaboración propia

5.2 COMPARACION DE LOS PARAMETROS DE PERFORACIÓN ENTRE BROCAS DE TECNOLOGIA MULTIDIMENSIONAL Y TECNOLOGIA ESTÁNDAR

Los parámetros de operación a evaluar son; torque, ROP y MSE. Se analizarán cuatro casos para describir el comportamiento de dichos parámetros según la tecnología de los cortadores de la broca y la litología; los dos primeros son tecnología StayCool en comparación con tecnología estándar, los dos siguientes se realizan con tecnología Stabilis DualChamfer y se comparan de igual manera con cortadores estándar.

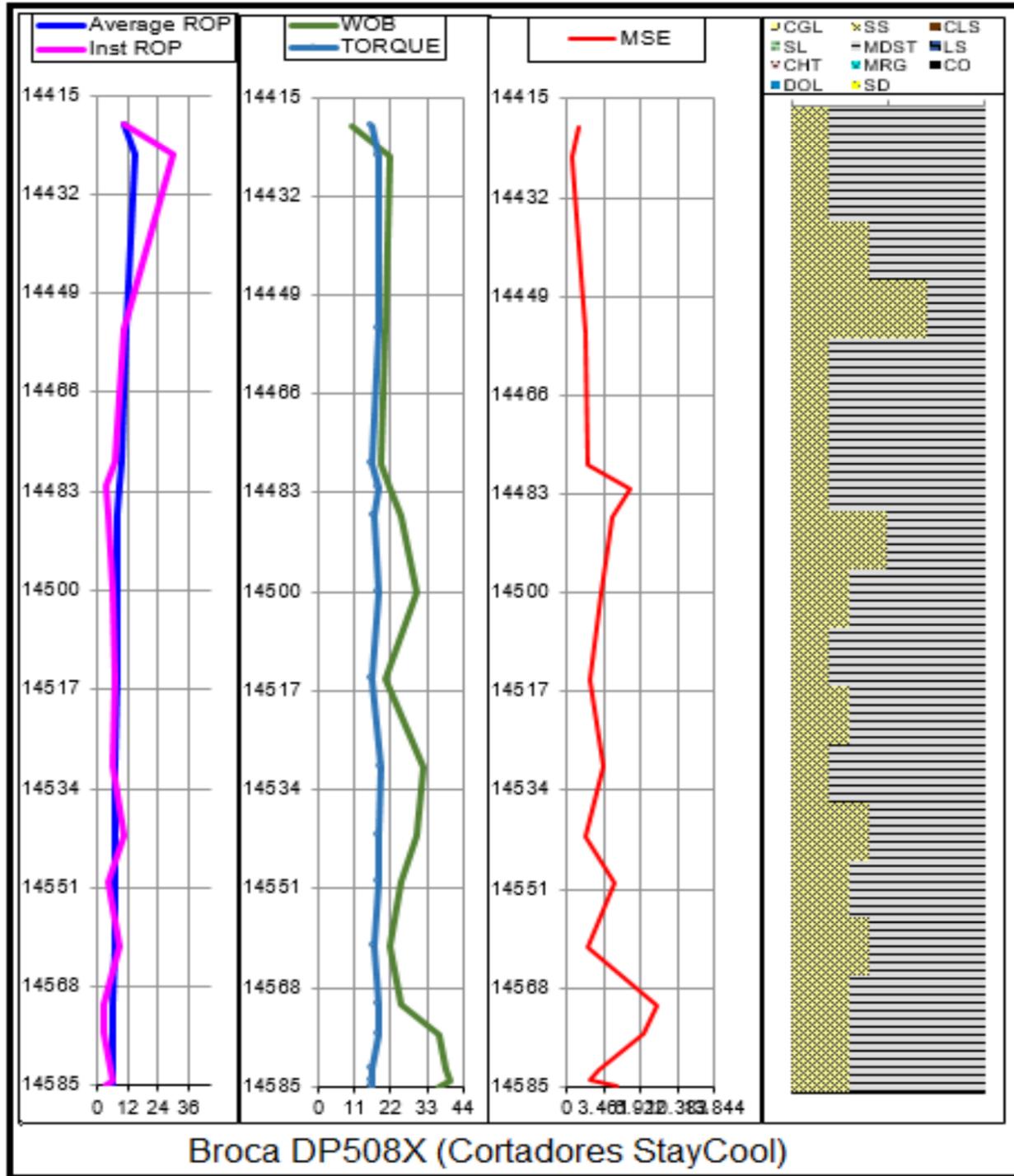
5.2.1 Comparación del comportamiento de los parámetros de perforación entre brocas con cortadores StayCool y cortadores Estándar. La comparación se realiza para dos casos; el primero compara el desempeño de las brocas 1 y 2 corridas en la formación Guadalupe en el Campo Floreña, entre las profundidades de 14.415 ft a 14.850 ft y 14.230 ft y 14.372 ft respectivamente. En el segundo caso se describe el comportamiento de las brocas 3 y 4 en la formación Carboneras en el sector C-7 y C-8 en el campo Floreña, en las profundidades de 6.369 ft a 9.061 ft y 6.483 ft a 9.003 ft respectivamente.

5.2.1.1 Caso 1. El comportamiento a hueco abierto de la broca 1 se muestra en la **Figura 37**. La perforación promedio de la formación de Guadalupe; con 70 % de lodolita, 30 % limolita, compuesta principalmente por lutita en la parte superficial. Los parámetros de iniciales de perforación fueron WOB: 5-10 Klbrs, RPM: 90-110, TQ: 14-16 Klbrs/ft. El torque se comportó errático cerca de los 14.476 ft, comportamiento ajeno a la condición de desgaste de la broca, ocasionado por la litología, por tal razón se trató de variar gradualmente la tasa de penetración ya que la sarta no aguantaba los 130-140 RPM, exponiendo la broca a un desgaste prematuro en su estructura. Posteriormente se decide seguir perforando a bajas tasas de penetración, donde se presentan pegas ocasionales que obligan a descargar la broca para continuar perforando y retomar el peso según las

intercalaciones de dololita, se observa el incremento de presión en fondo y caída de ROP por lo tanto se decide terminar de perforar.

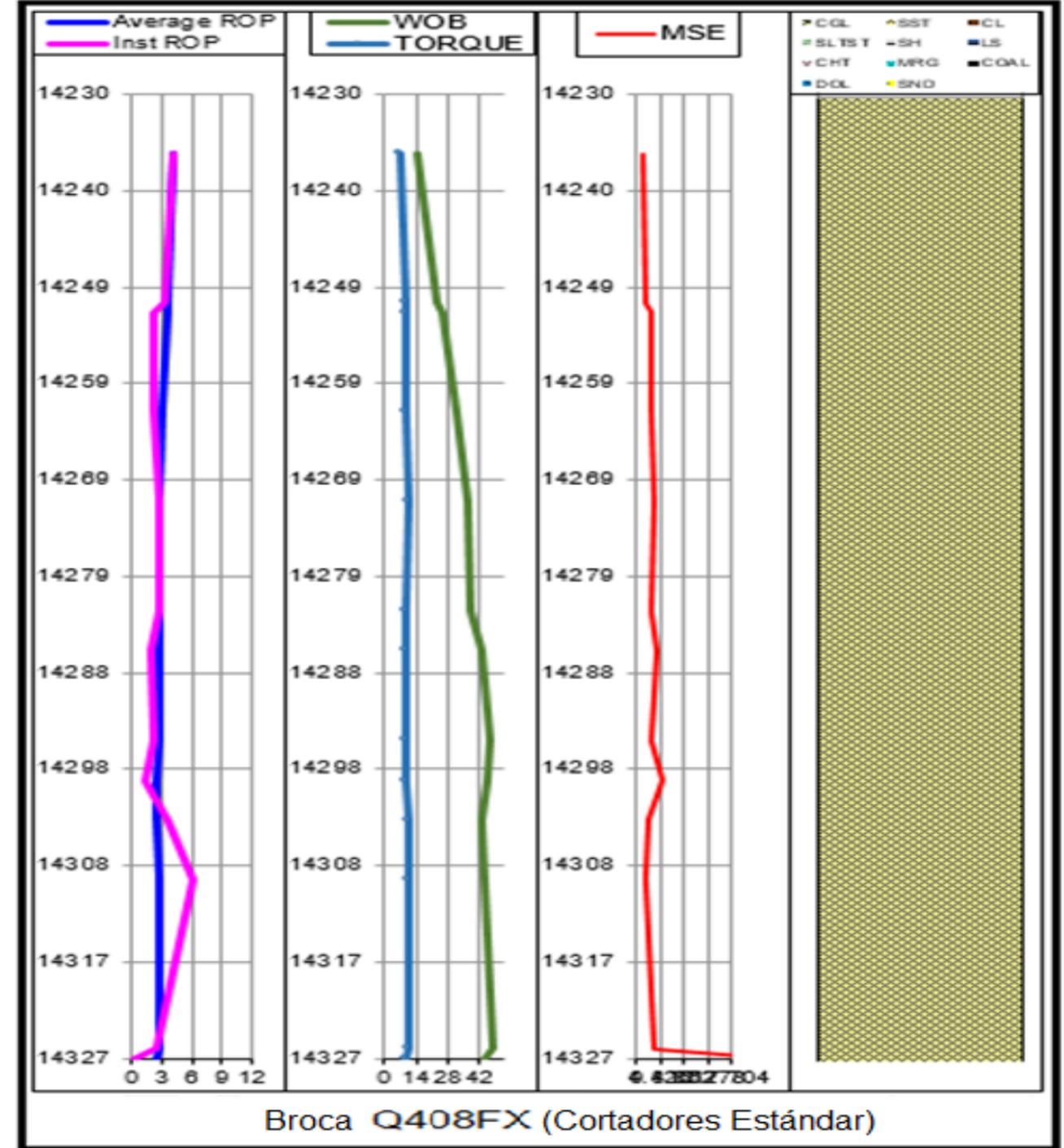
La broca 2 inicia la perforación en hueco abierto con 550GPM, presión de 3.500 psi, 90 RPM, 6 Klbrs-ft de TQ y un incremento WOB de 2-5 Klbrs. El comportamiento observado es la variación constante del WOB para optimizar ROP. Durante la perforación se trabajó en una litología sin intercalaciones, de 100% SST (arena) por lo que se incrementó gradualmente el peso sobre la broca llegando a un máximo de 46 Klbrs sin presentar torque errático, seis 6 ft antes del fondo, la sarta presento arrastre sobre la broca lo que disminuye drásticamente la tasa de penetración y aumenta el MSE.

Figura 37. Parámetros de perforación para la broca BROCA 1



Fuente: Reportes Baker Hughes. Modificado por el autor. 2019

Figura 38. Parámetros de perforación para la broca BROCA 2

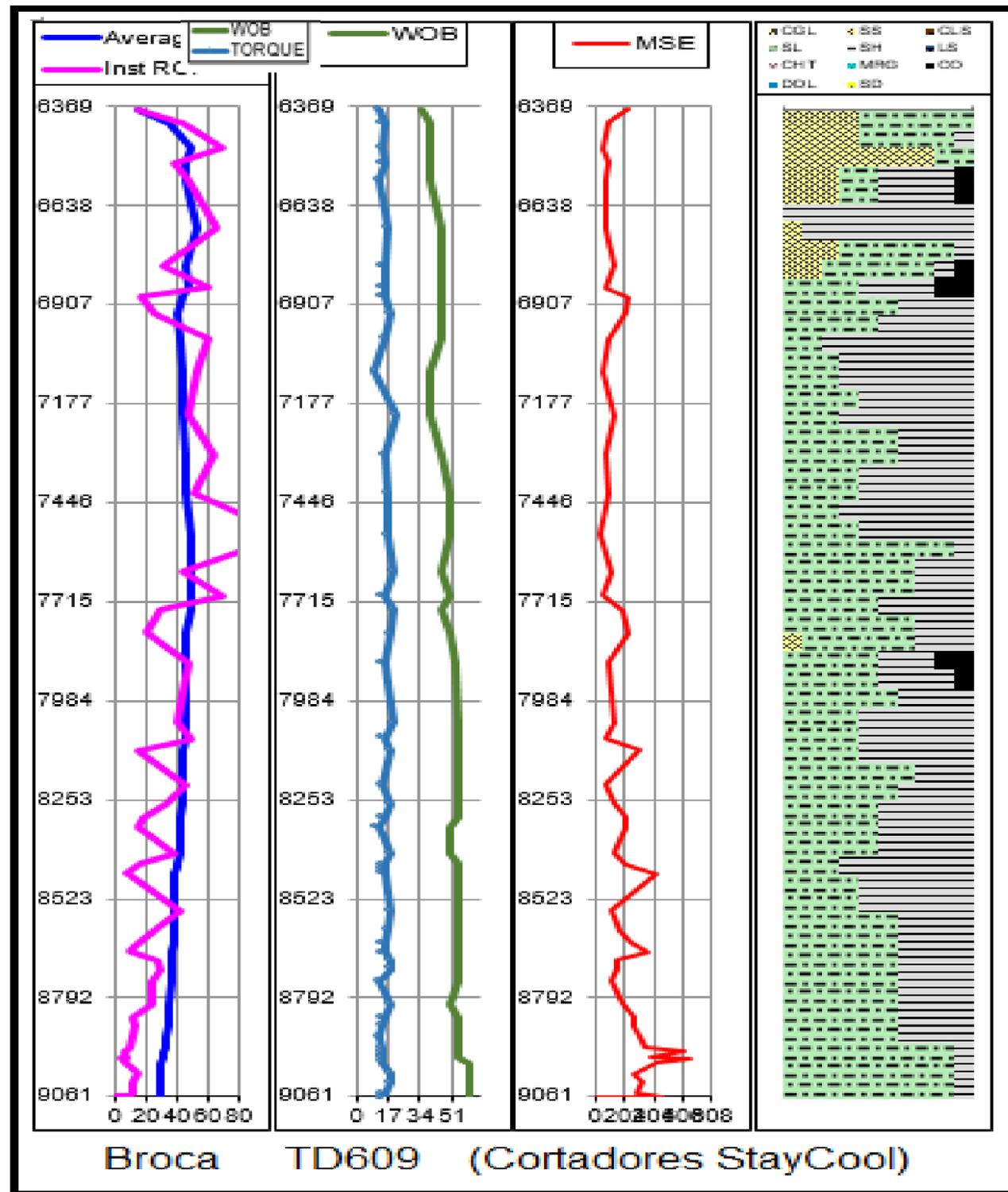


Fuente: Reportes Baker Hughes. Modificado por el autor. 2019.

5.2.1.2 Caso 2. Se perforó la formación C7, compuesta por intercalaciones de lodolita y arcillolita, equivalentes a 70% - 30% respectivamente, con la broca 3, **Figura 39**. Se debe de perforar estos intervalos nocivos para la estructura de corte con pesos entre 40-60 Klbrs de WOB y RPM por debajo de 100; para una perforación más rápida a través de los paquetes de SLS y SST de la formación de Carbonera C7. Se concluye una buena práctica de perforación. Cerca a los 7010 ft el torque se desestabiliza y se levanta un poco el peso para arrancar la broca de fondo, se estabiliza torque y se regresa de nuevo, se realiza una bajada suave para tener las condiciones operativas óptimas que permitan seguir perforando. Se continua perforando formación C7, a partir de 8880 ft presenta picos de baja ROP entre 5-8 ft/hr, según muestras litológicas se observa 90% limolita y 10% dololita. A 8956 ft se realizó drill of test por lo que se incrementó el WOB a 60 klbs, se obtuvo ROP de 9 ft/hr, continuó perforando con 850 GPM por limpieza del hueco y 100 RPM. Se observan ROP de 20-25 ft/h aplicando 60 klbs de WOB. Continúa perforando con los siguientes parámetros: WOB 55-60 KLBS, TQ 15-18 KLBS/FT, RPM 100 hasta los 9061 ft donde concluye la perforación.

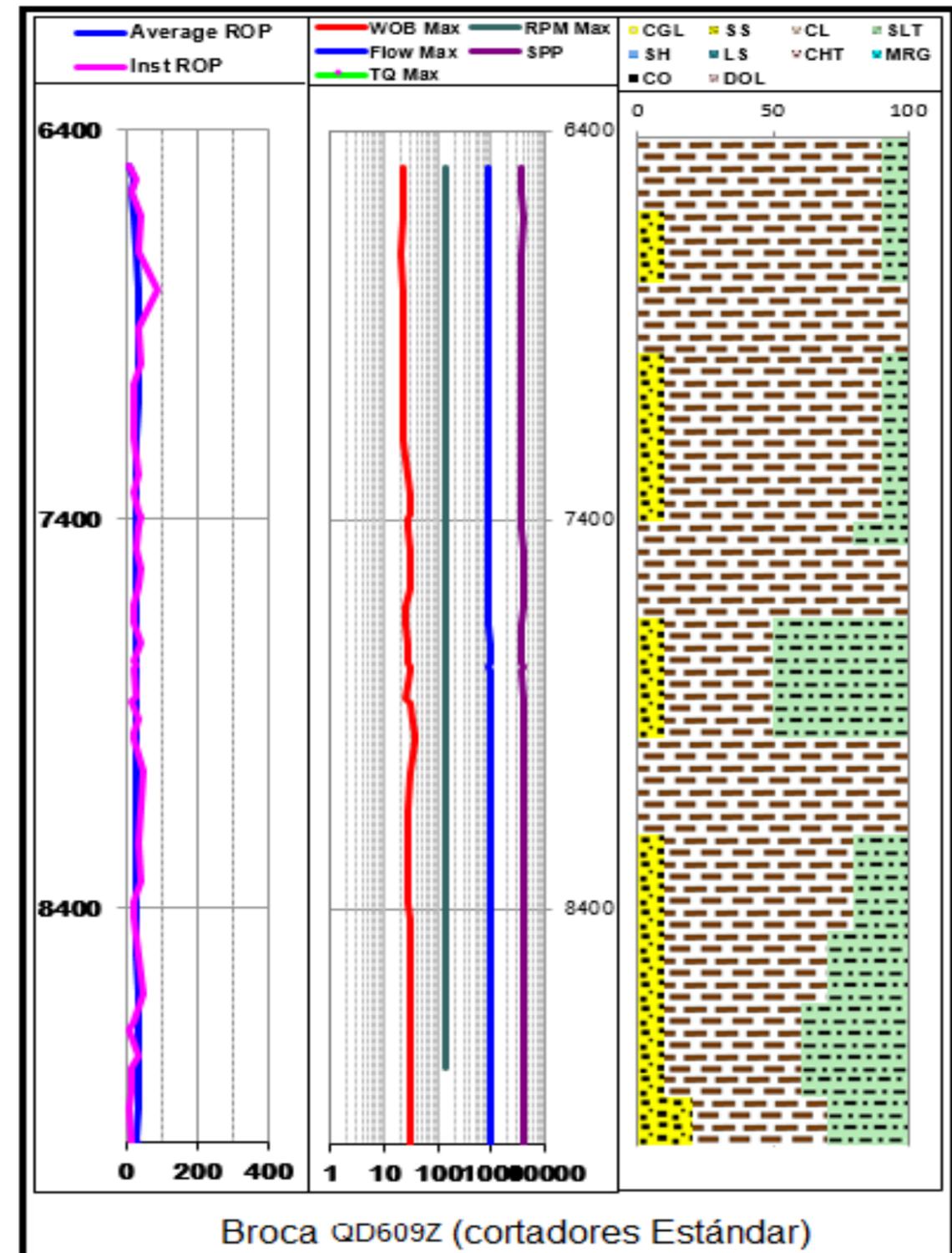
El desempeño de la broca 4 en la formación C7 hasta los 6.715 ft donde predomina el claystone con 86%, hay presencia de arenisca 4% y limolita 10%. A partir de esa profundidad se perfora la falla de C8 manteniendo una tasa de penetración ente 20-30 ft/hr y un peso de 100 Klbrs de WOB para poder mantener la tasa de penetración en la presencia de limolita y claystone sin torque errático hasta 7.868 ft, donde se cambia la litología y predomina el limolita con un 62% y 33 % de arcillas abrasivas de la falla C7. Se perfora con parámetros óptimos, hasta 9003ft donde se presenta un intento de pega por lo que cae el ROP drásticamente, luego de trabajar la tubería se libera y se decide sacar a superficie, **Figura 40**.

Figura 39. Parámetros de perforación para la broca BROCA3



Fuente: Reportes Baker Hughes. Modificado por el autor. 2019

Figura 40. Parámetros de perforación para la broca BROCA 4



Fuente: Reportes Baker Hughes. Modificado por el autor. 2019.

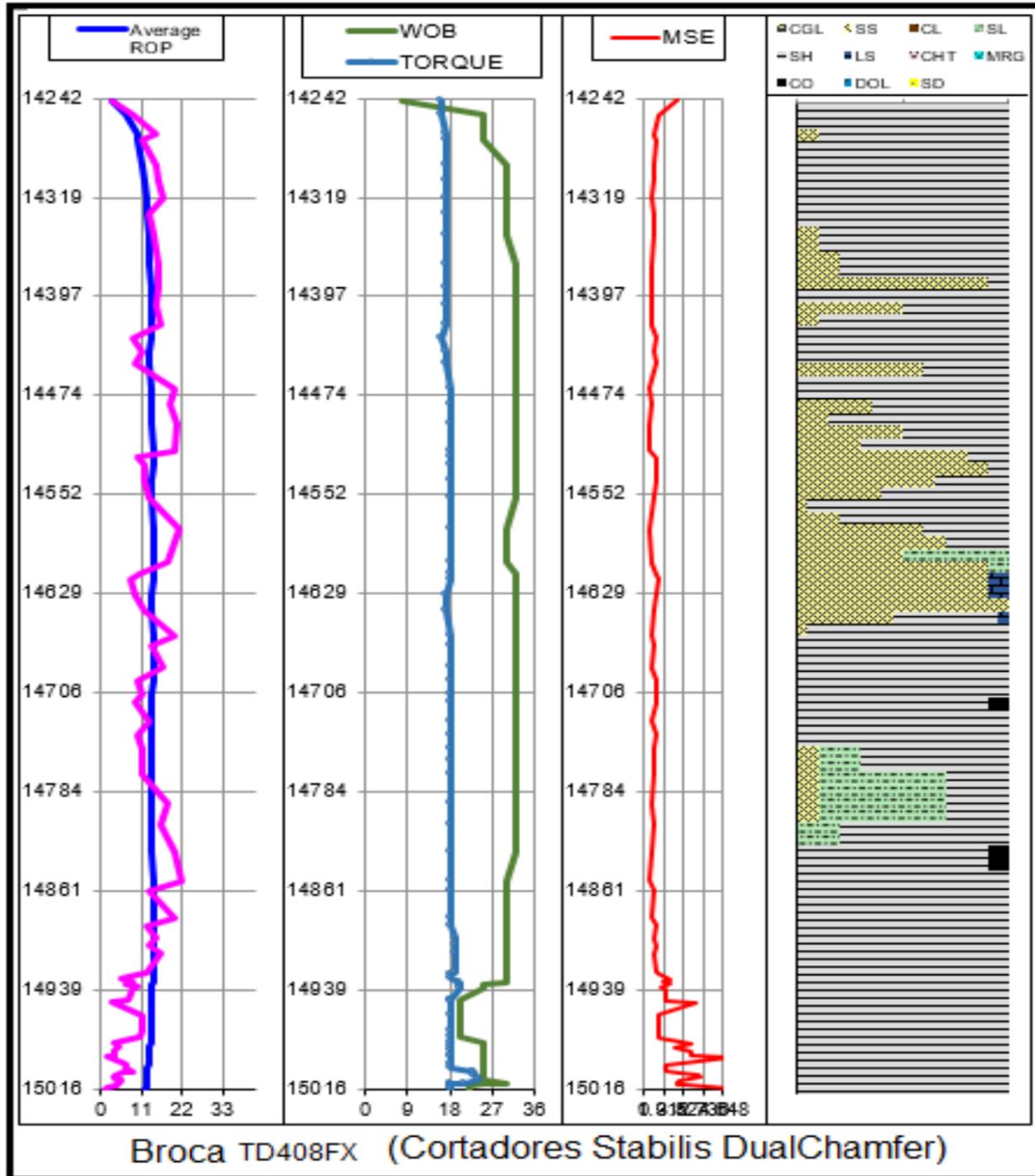
5.2.2 Comparación del comportamiento de los parámetros de perforación entre brocas con cortadores Stabilis DualChamfer y cortadores Estándar. La comparación se realiza para dos casos; el primero compara el desempeño de las brocas 5 y 6 corridas formación Los Cuervos en el Campo Payero, entre las profundidades de 14.242 ft a 15.016 ft y 15.016 ft a 15.336 ft respectivamente. En el segundo caso se describe el comportamiento de las brocas 7y 8 en la formación Mirador y C-8 en el campo Payero1, en las profundidades de 11663 ft a 11926 ft y 11541 ft a 12150 ft respectivamente.

5.2.2.1 Caso 3. La broca 5 inició perforación con bajo peso, entre 2-5 Klb, 100 rpm en superficie y TQ 14-15 Klb.ft **Figura 41**. El efecto de tener un cortador DualChamfer hace que se incremente rápidamente el WOB por encima de los 20 Klb para obtener avances en las areniscas de 10 ft/hr y en el MDST de hasta 25 ft/hr, esta fue la rata máxima para esta corrida.

En los intervalos de limolita mostró avance de 8-12 ft/hr, sin embargo, en el paquete de limolita que salió en 14920' se tuvo una ROP de 1-5 ft/hr. En 14898', 14955' y 14965' aparecen niveles de carbón lo cual empezó a generar TQ errático cuando pasaban las herramientas del BHA por estos puntos, esto hizo que no se pudiera aplicar más de 20 Klb de peso después de 1495 ft lo que limitó el avance de la broca, además se incrementó a 130 rpm para mitigar el torque errático lo que se vio reflejado en los picos de MSE al final de la corrida.

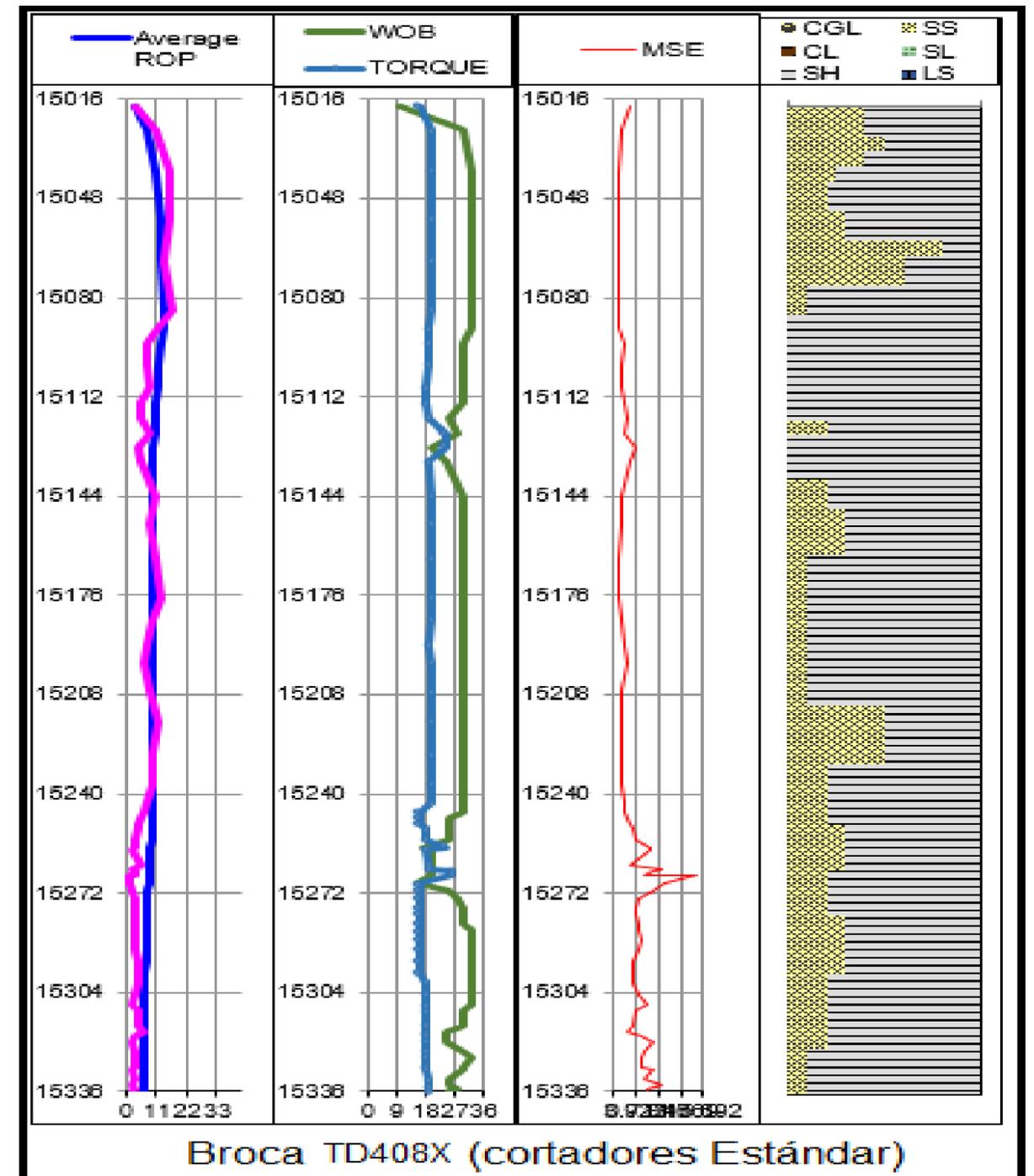
La broca 6 continua la perforación del bloque anterior, esta vez con cortadores estándar. Los parámetros iniciales de la broca fueron 5-10 Klb de WOB, 100 RPM, TQ: 15-16 Klb.ft. Se lleva el WOB a 28-30 Klb obteniendo ROP de 10-20 ft/hr, en 15102 ft se empieza a tener eventos de TQ erráticos alrededor de 10ft, se mitigan levantando y relajando la sarta cada 2-3 ft con un WOB mínimo de 18 Klb para volver a fondo con menos peso en 15124 ft. Después de esto se perforó sin TQ errático hasta llegar a 15243 ft, donde se presentó TQ errático asociado a un intervalo de lodolita por lo que se bajó el ROP hasta un mínimo de 2 ft/hr y se levantó el peso por debajo 25 Klb. La muestra en esos intervalos mostraba 80-90% de lodolita y 20-10% de arenisca. Cuando se bajó a 15266 ft se tuvo un evento de TQ errático con solo aplicarle 4 Klb de peso sobre la broca, se decidió llegar a fondo con 2-3 Klb y dejar descargar el peso mostrando aumento en la energía mecánica en ese punto, se continuo trabajando en una serie de intercalaciones de arenisca y lodolita lo cual hacia que la broca generara los TQ erráticos esporádicos que se controlaron levantando la sarta para llegar a fondo con menor peso, **Figura 42**.

Figura 41. Parámetros de perforación para la broca BROCA 5



Fuente: Reportes Baker Hughes. Modificado por el autor. 2019

Figura 42. Parámetros de perforación para la broca BROCA 6



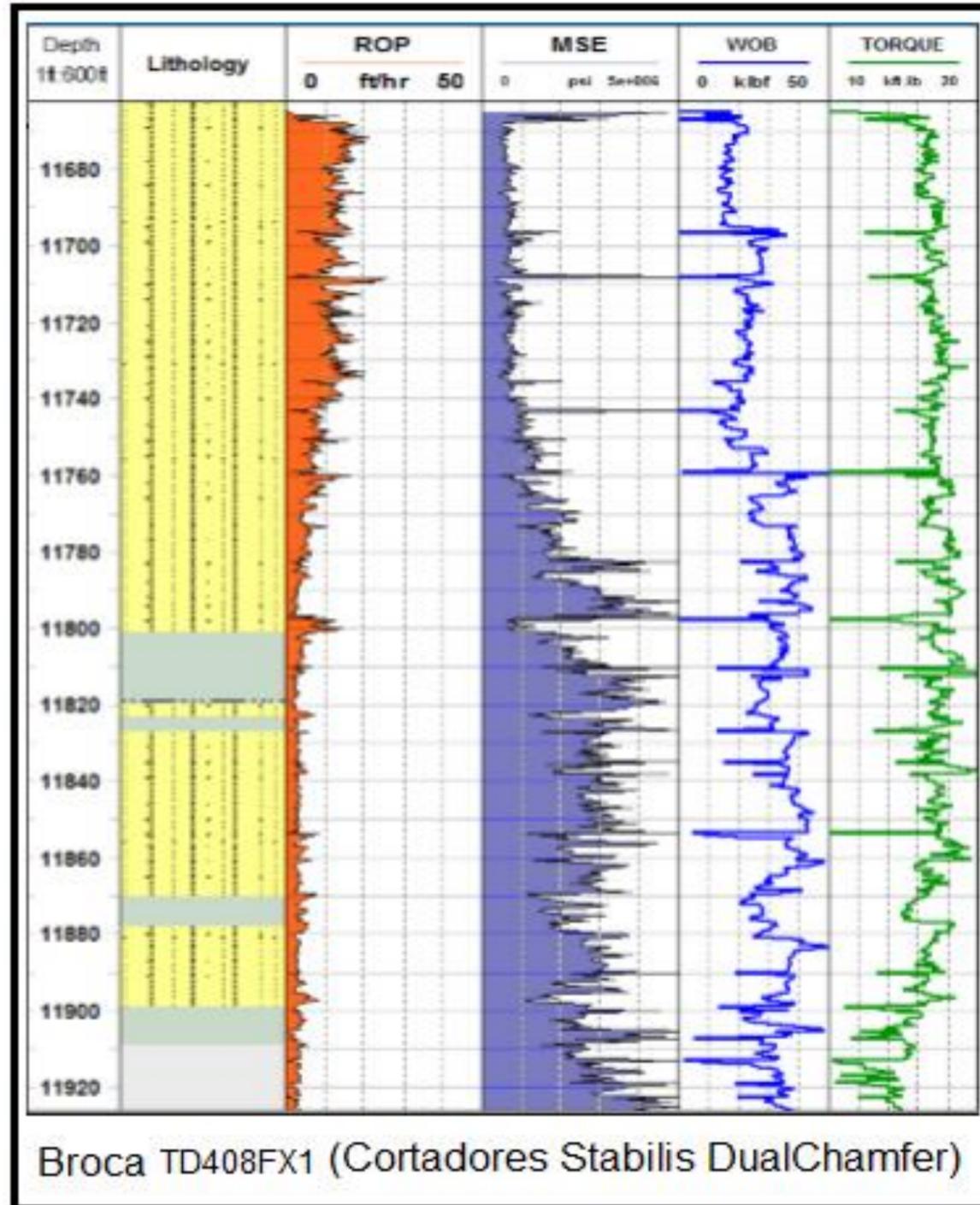
5.2.2.2 Caso 4. La broca 7 perfora la formación mirador con parámetros iniciales de 8 ft/hr se estabiliza el peso sobre la broca en 22 Klbs en una litología de dololita predominante, por lo que se trata de bajar aumentando el WOB para tratar de mantener tasa de penetración ROP sin mayor éxito.

A 11.812 ft se perfora un intervalo de arenisca cuarzosa manteniendo el WOB en un promedio de 37 Klbs y se generan torques erráticos por 10 ft hasta terminar el intervalo, posteriormente se decide continuar la perforación con un ROP entre 3-5 ft/hr hasta 11.920 ft donde se decide sacar la broca por bajo ROP, **Figura 43.**

El desempeño de la broca T508X, perforó 609 ft con una ROP efectiva de 11.45 ft/h pero fue afectada por la falla geológica de C8 en una profundidad entre 11.560 ft hasta 12.150 ft, por tal razón se controla el WOB para tener mejor tasa de penetración e identificar de nuevo la formación Mirador, **Figura 44.**

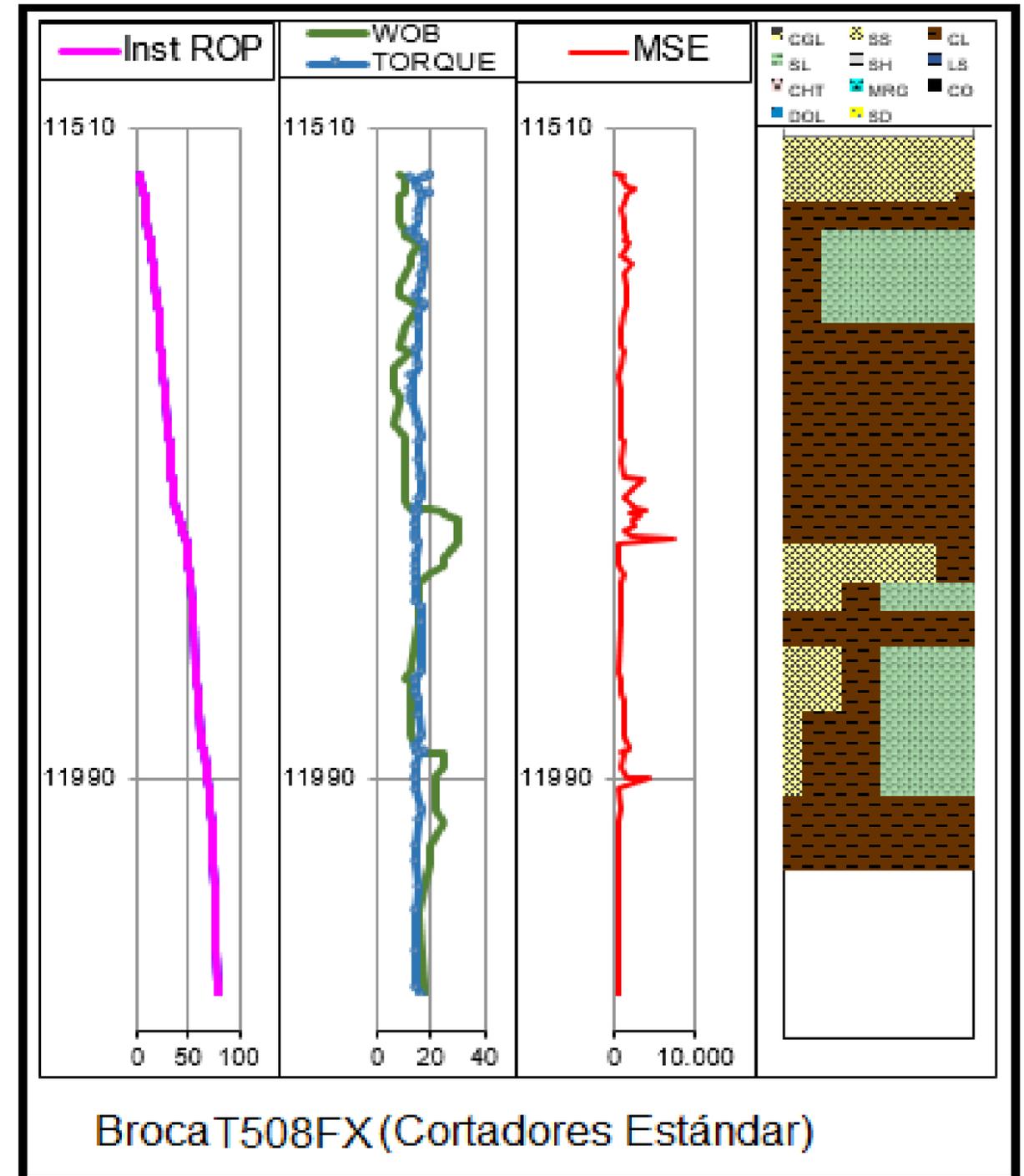
La broca perforó en hueco revestido iniciando en 11. 510 ft sin tener avance, por lo que se aplican 35 Klbs de WOB hasta el fondo sin rotación, en el fondo se inicia a rotar con 40-60 rpm, de esta manera fue que se pudo perforar con mejor avance, para obtener el mejor performance. Se perforó la formación Mirador hasta 11560 ft (19 ft) donde se presentó cambio litológico ocasionando incertidumbre geológica sin embargo se continuo perforando con normalidad hsta 11756 ft donde se aumentó el peso dada la presencia de arenisca para poder manejar la ROP, en este punto se estabilizó el peso y se continuo perforando hasta 12.150 Ft donde se decide sacar a superficie para cambiar BHA convencional.

Figura 43. Parámetros de perforación para la BROCA 7



Fuente: Reportes Baker Hughes. Modificado por el autor. 2019.

Figura 44. Parámetros de perforación para la BROCA 8



Fuente: Reportes Baker Hughes. Modificado por el autor. 2019.

5.3 COMPARACION DEL COMPORTAMIENTO DE LA ENERGIA MECANICA ESPECÍFICA (MSE) ENTRE BROCAS DE TECNOLOGIA NO PLANAR Y TECNOLOGIA ESTÁNDAR

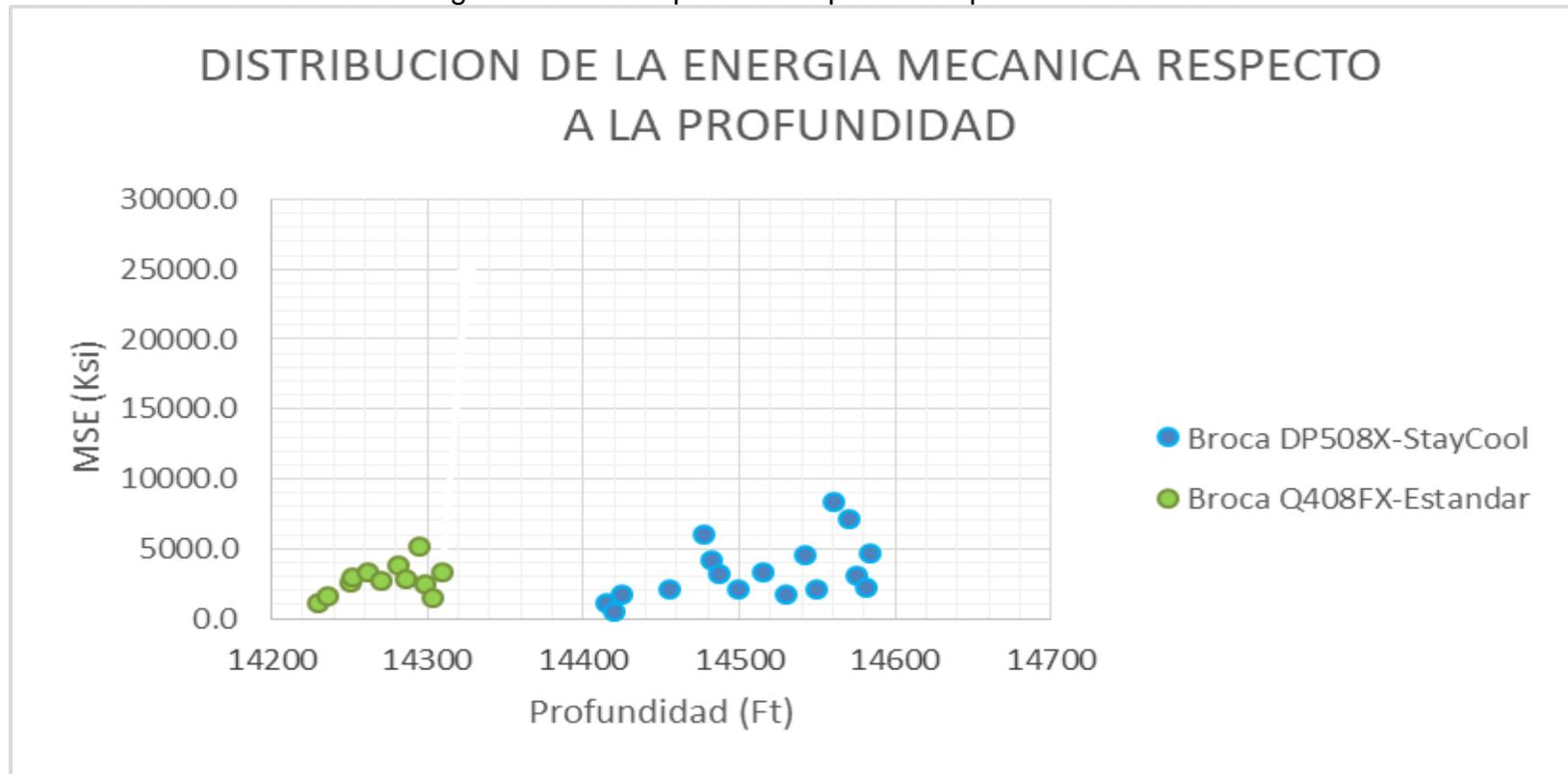
Como se describió anteriormente, la energía mecánica específica es un parámetro que evalúa la eficiencia mecánica de la broca y refleja el comportamiento de los parámetros de perforación como lo muestra la **Ecuación 4**, descrita en capítulos anteriores.

Los parámetros operativos a través de los cuales se obtiene el comportamiento de la energía mecánica específica (MSE) se describió anteriormente según el caso mencionado.

5.3.1 Comparación del comportamiento de la energía mecánica específica (MSE) entre brocas con cortadores StayCool y cortadores Estándar. Las especificaciones de parámetros de operación de las brocas descritas en esta sección se encuentran en los cuadros 10 y 11 respectivamente.

5.3.1.1 Caso 1. Comparación entre las brocas 1 y 2. La comparación del comportamiento de la MSE por pies perforados en la formación Guadalupe, evidencia como la energía mecánica aumenta a medida que aumenta la profundidad en ambos casos, sin embargo la broca 2 con cortadores estándar presenta un incremento más brusco según la tendencia de los puntos, mientras la broca 1 genera una pendiente menos pronunciada, **Grafica 1**.

Gráfica 1. Distribución de la energía mecánica específica respecto a la profundidad. Caso 1

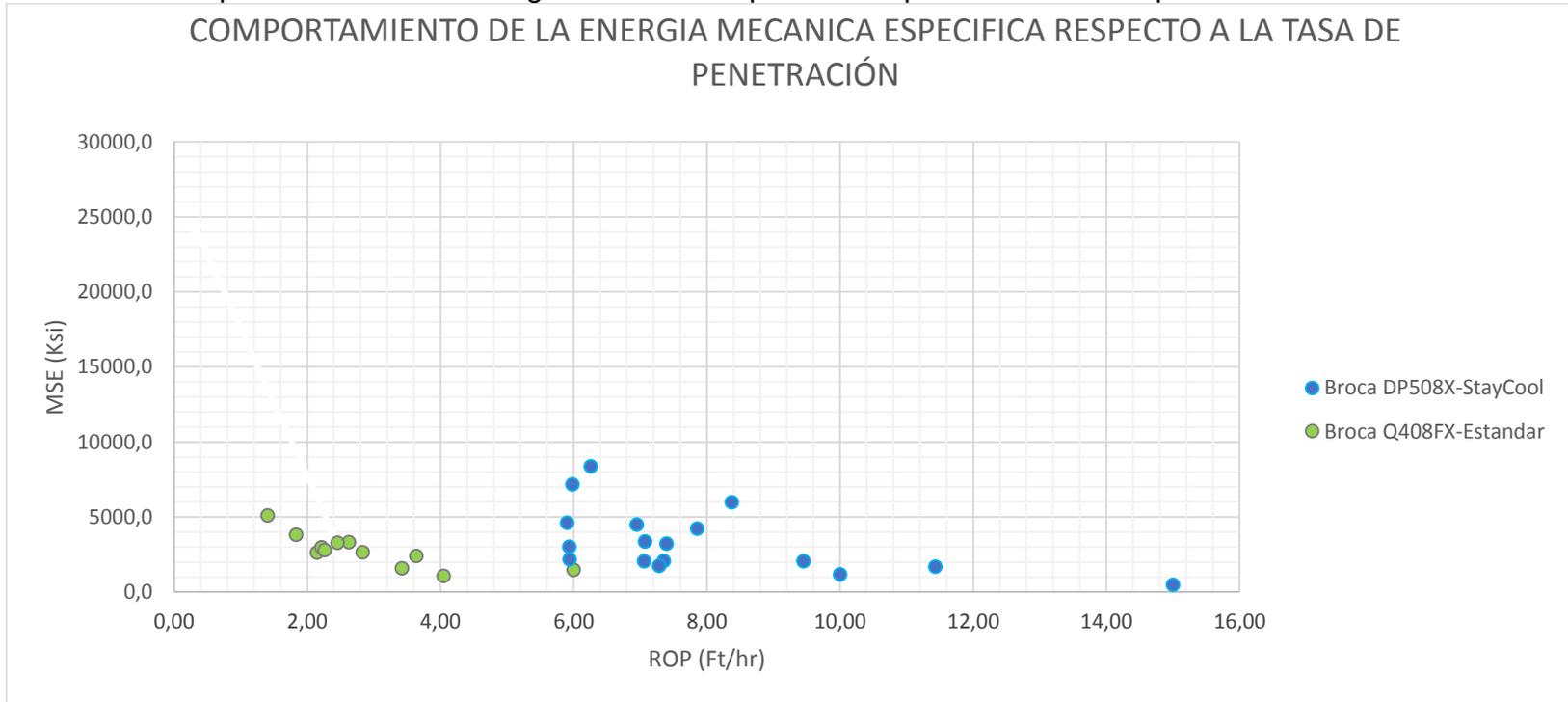


Fuente: elaboración propia.

Se evidencia que la tendencia general es de disminuir la MSE a medida que aumenta la ROP, exceptuando algunos puntos. Para la broca de cortadores estándar la máxima ROP alcanzada es de 6 ft/hr demandando una MSE de 1500 Ksi aproximadamente, siendo la mínima energía mecánica específica.

En el caso de la broca de cortadores StayCool la perforación inicia con una ROP promedio de 6 ft/ teniendo incrementales mínimos de energía mecánica específica, la cual tiende a disminuir cuando aumenta la ROP, sin embargo se presentan dos casos puntuales que se apartan de la tendencia cuando se alcanzan las tasas de penetración de 7,75 ft/hr y 8,25 ft/hr respectivamente, **Grafica 2.**

Gráfica 2. Comportamiento de la energía mecánica específica respecto a la tasa de penetración. Caso 1



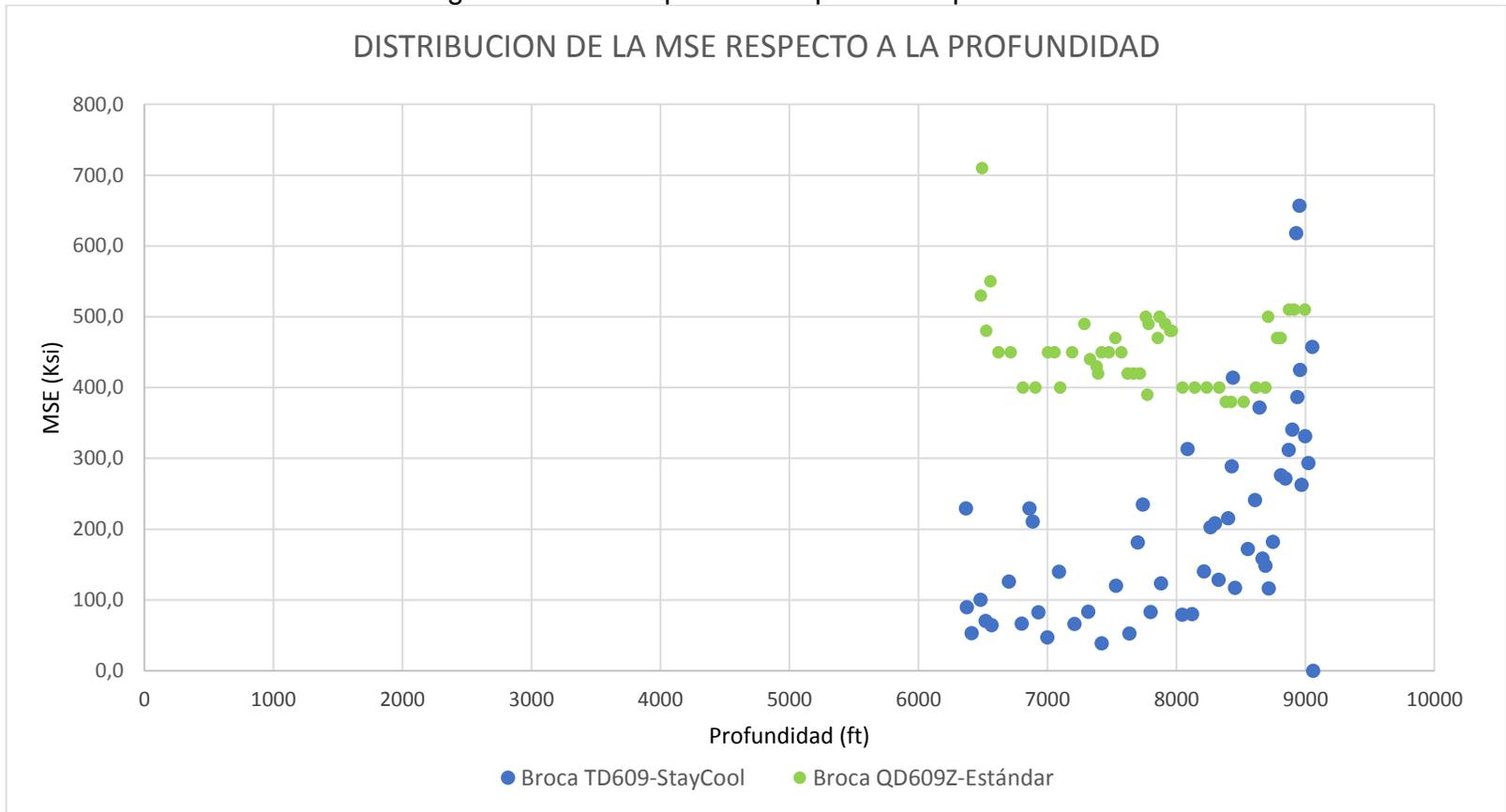
Fuente: elaboración propia

El comportamiento para la broca de cortadores estándar demuestra un incremento paulatino a medida que se aumenta el peso sobre la broca, sin embargo hay un aumento abrupto, de casi 2.500 Ksi en un peso de 42 Klbf.

Por otro lado la broca con cortadores estándar no presenta una tendencia definida, la energía mecánica específica presenta fluctuaciones a medida que se incrementa el peso sobre la broca, teniendo su valor máximo en 8.386Ksi con un WOB de 25 Klbf, **Grafica 3.**

5.3.1.2 Caso 2. Los parámetros promedio de operación bajo los cuales las brocas 3 y 4 trabajaron para obtener los resultados expuestos se describen en el **Cuadro 16.** La broca 3 de cortadores StayCool presentó un aumento constante a medida que avanzó en la perforación de 6369 ft a 8846 ft, profundidad a partir de la cual la MSE tuvo un drástico incremental llegando a un valor máximo de 618,1 Ksi a 8928 ft, la broca 4 de cortadores estándar inicia perforación con una energía mecánica máxima de 710 Ksi a 6493 ft y disminuye drásticamente a 460 Ksi sin mayor avance en profundidad donde logra establecer un rango de trabajo entre 400 y 500 Ksi en el avance de 7000 a 8000 ft, **Grafica 4.**

Gráfica 4. Distribución de la energía mecánica específica respecto a la profundidad. Caso 2



Fuente: elaboración propia

Con los cortadores estándar se logra llegar a una ROP máxima de 37,64 ft/hr con una demanda de 400Ksi, después de mantener la MSE en el rango entre 400 y 500 Ksi, se presentan tres momentos que se salen del comportamiento general de la broca al inicio de la perforación, cuando se inicia la perforación con una ROP de 12 ft/hr, cuando se alcanza la máxima energía mecánica específica en 21 ft/hr y posteriormente cuando se hace llegar al rango de operación ya mencionado.

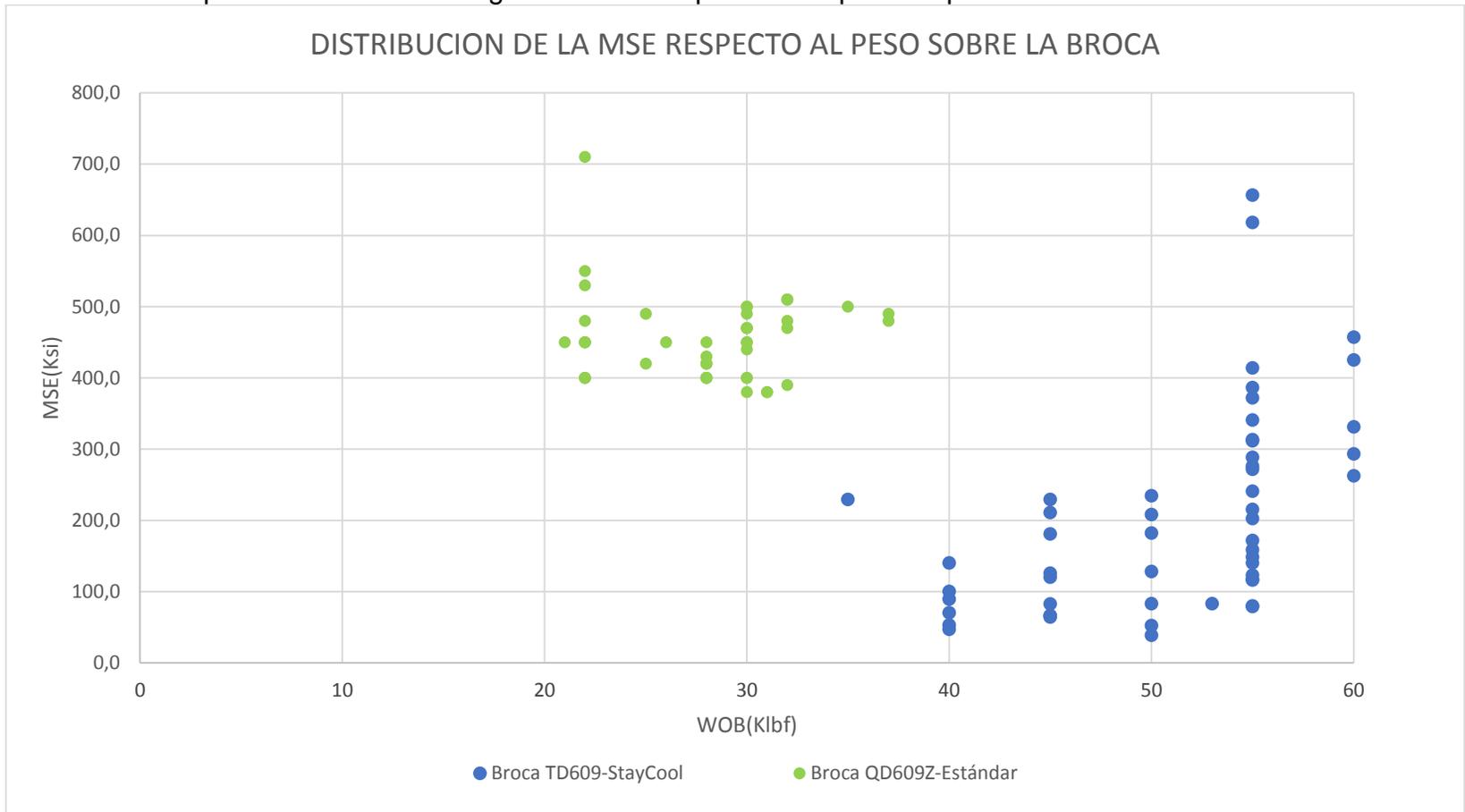
La broca de cortadores StayCool inicia perforación con una energía específica de 230 Ksi y una ROP de 14,40 ft que aumenta de manera de manera inesperada cuando se alcanza una tasa de penetración de 30 ft/hr, que posteriormente tiende a disminuir a medida que se logra aumentar la ROP, finalizando la perforación con una MSE mínima de 64,6 Ksi.

La corrida de la broca con cortadores estándar inicia con un WOB mínimo de 21 Klbf que fluctuó hasta un máximo de 37 Klbf manejando una energía mecánica específica en un rango de 400 a 500 Ksi, teniendo un comportamiento anómalo en un peso sobre la broca de 22 Klbf y llegando a una MSE de 710 Ksi.

Por otro lado la perforación con la broca StayCool en la misma formación inició perforación con un WOB de 35 Klbf a 229 Ksi, posteriormente se genera un aumento del peso sobre la broca lineal lo que genera un aumento en la MSE, llegando a su punto máximo de MSE con 6120 Ksi a 55 Klbf y terminando la perforación con un peso de 60 Klbf y 425 Ksi. En una relación de energía mecánica específica respecto al peso sobre la broca que se ejerce sobre la misma, los cortadores Estándar generan una energía mecánica específica entre el rango de 400 y 500 ksi, cuando se opera en un rango de 21 a 37 Klbf WOB, solo se observa un comportamiento anómalo que se sale de la tendencia cuando el peso sobre la broca es de 710Klbf y la MSE aumenta paulatinamente de 400 a 550Ksi punto donde ocurre un cambio fuera de la tendencia y la MSE llega a valor máximo con una energía mecánica específica de 710Ksi, **Grafica 5**.

Por otra parte la broca 3 de cortadores StayCool inicia perforación con un peso sobre la broca de 35 Klbf y 230 Kis de MSE, para disminuir la energía mecánica se aumenta en 5 unidades el peso sobre la broca; peso sobre el cual se logra disminuir la MSE a 48 Ksi, bajo este WOB se sigue operando hasta que se genera un aumento de la energía mecánica específica y de nuevo se aumenta el WOB en 5 unidades, iniciando en 65 Ksi, hasta llegar a 230 Ksi, momento donde nuevamente se incrementa el peso sobre la broca, disminuyendo la MSE a 50 Ksi. Se obtiene un valor máximo de 234,7 Ksi con el mismo WPB de 50 Klbf, para obtener una nueva variación de 5 unidades de WOB y operar hasta 414 Ksi, condición en la que se generó un acrecentamiento hasta alcanzar una energía mecánica específica máxima durante toda la operación de 657 Ksi, **Grafica 6**. Finalmente, la broca termino operación con un peso sobre la broca de 60 Klbf y 475ksi.

Gráfica 5. Comportamiento de la energía mecánica específica respecto al peso sobre la broca. Caso 2



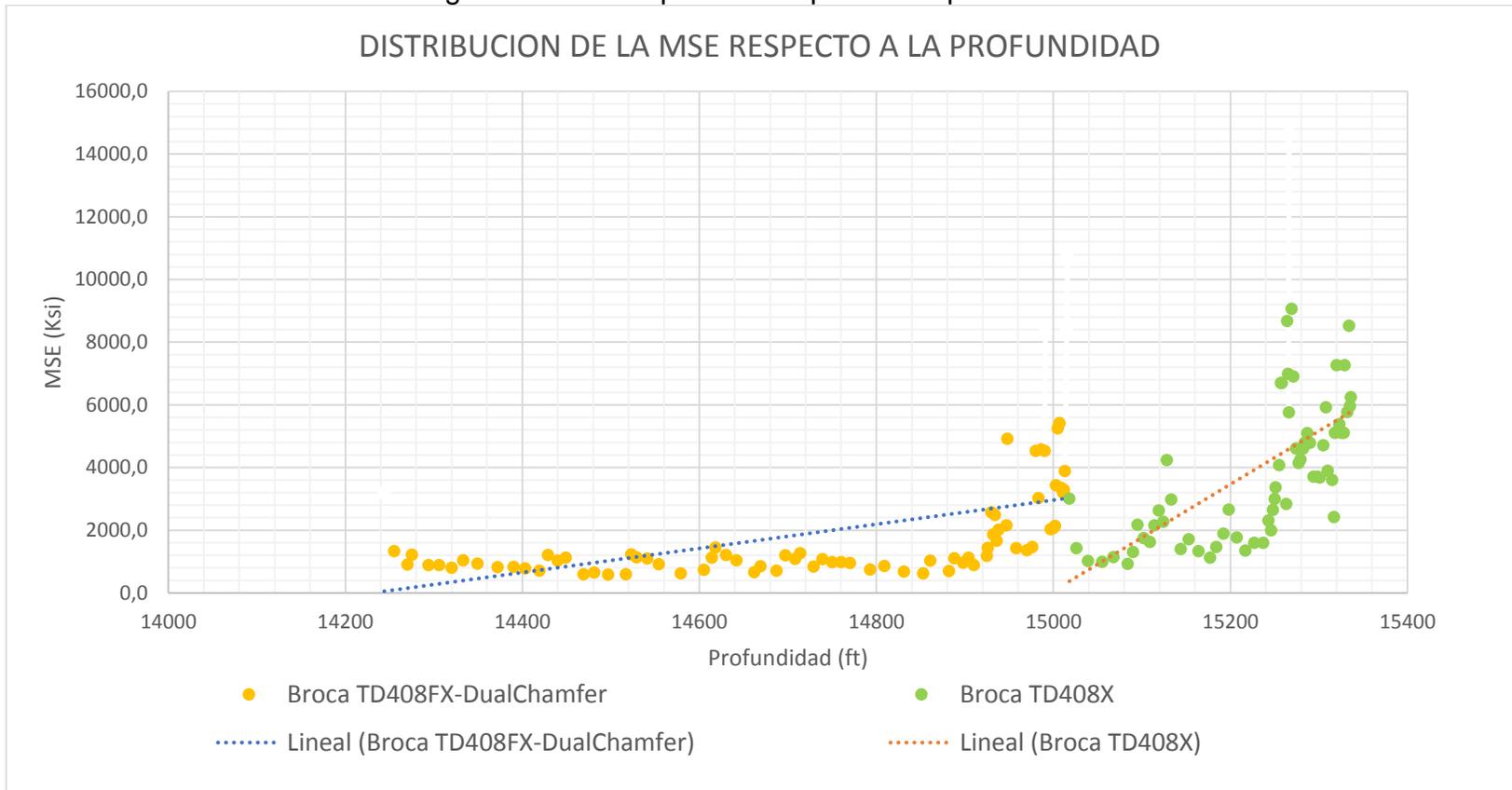
Fuente: elaboración propia

4.3.1 Comparación del comportamiento de la energía mecánica específica (MSE) entre brocas con cortadores Stabilis DualChamfer y cortadores Estándar. Las especificaciones de parámetros de operación de las brocas descritas en esta sección se encuentran en las tablas **Cuadro 21** y **Cuadro 22**, respectivamente.

5.3.1.3 Caso 3. Comparación de brocas 5 y 6. La broca 5 con cortadores Stabilis DualChamfer inicia perforación en 14244 ft generando una energía mecánica específica de 3189 Ksi, en el momento en que se avanza la perforación la energía mecánica específica MSE disminuye a 1220Ksi, valor promedio en el que se mantiene durante la perforación hasta llegar a los 14882 ft, profundidad en la cual se empieza a aumentar paulatinamente el valor de MSE, hasta llegar a una profundidad de 15013 ft, donde la energía mecánica específica tuvo un incremental de 3900Ksi a 10100 Ksi, sin avanzar en profundidad. Se determina concluir la perforación.

Por otro lado la perforación con la broca 6 de cortadores estándar inicia corrida en 15013 ft con una MSE de 3012Ksi, inmediatamente al avance de la broca, la energía mecánica específica declina a un valor de 1420 Ksi , energía en la que se estabiliza el comportamiento alrededor de 100 ft, profundidad en la que aumente la MSE de manera lineal hasta 4235 Ksi, con el avance de la perforación la MSE cae nuevamente en 15144Ft , se avanza 100 ft de penetración con la misma MSE y se empieza a generar una tendencia donde aumenta la MSE de manera rápida durante los siguientes 122 ft, de modo que llega a un valor máximo de WOB de 14645Ksi durante toda la operación, a los siguientes 10 ft la MSE decae nuevamente. La broca termina operación en 15340ft y 6248Ksi de MSE; **Grafica 6.**

Gráfica 6. Distribución de la energía mecánica específica respecto a la profundidad. Caso 3

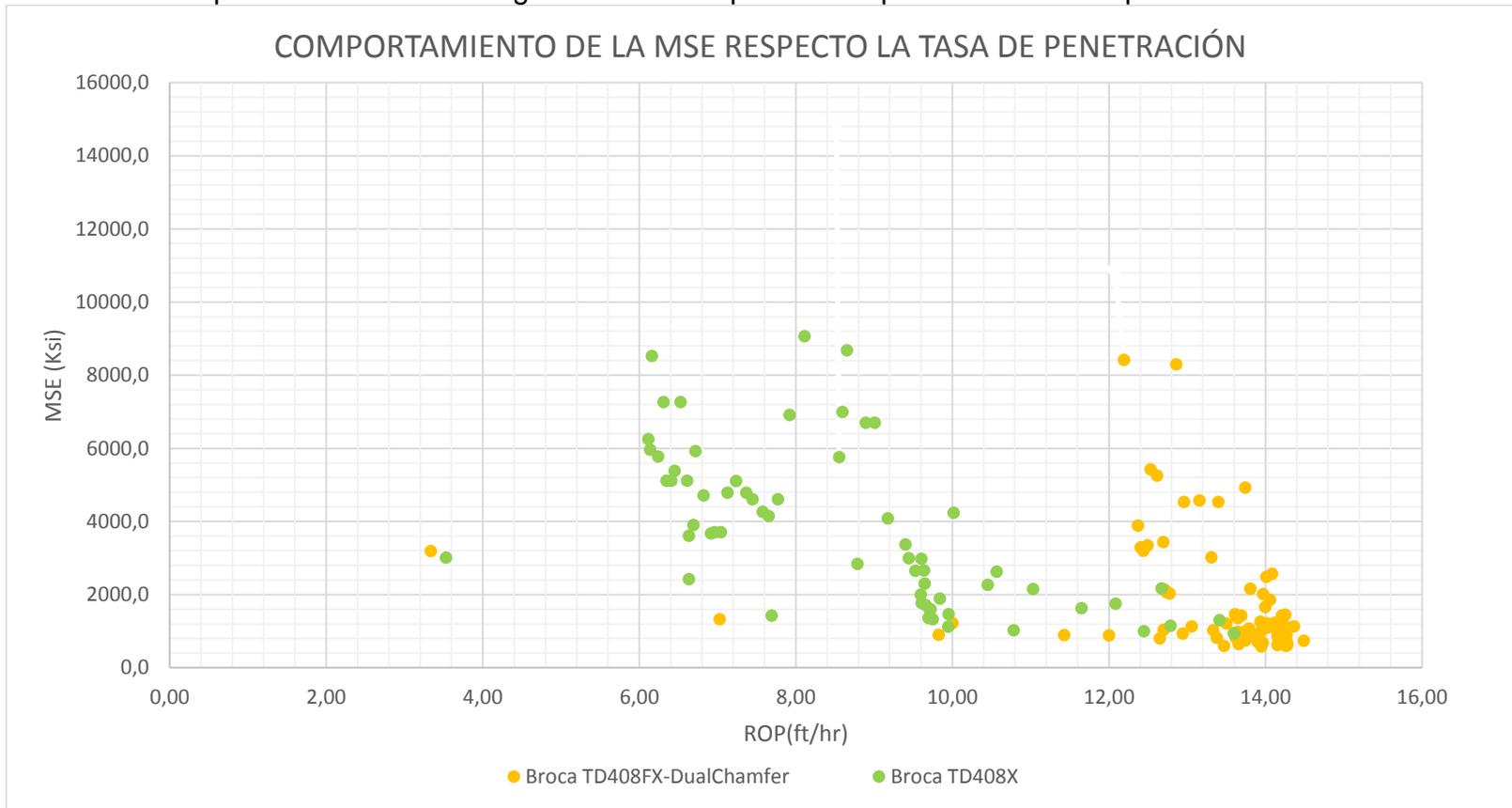


Fuente: elaboración propia.

La broca 5 con cortadores Stabilis DualChamfer inicia perforación con una rata de penetración de 3,5 ft/hr y una demanda de 3000 Ksi de MSE , conforme avanza en profundidad se alcanza un mayor ROP y se disminuye la energía mecánica requerida en la perforación, sin embargo tal tendencia cambia cuando se alcanza una ROP de 12 ft/h, llegando al punto máximo de energía mecánica en la corrida con 10880Ksi, conforme avanza la perforación se disminuye la MSE, recuperando el rango de energía mecánica específica que manejaba sobre una ROP de 13 ft/hr y termina operación con 14,5 ft/hr y 735 Ksi de MSE.

La broca de cortadores estándar broca 6 inicia perforación bajo los mismos parámetros que la broca anterior, sin embargo cuando llega a una ROP de 6ft/hr incrementa la energía mecánica específica a un valor de 8520Ksi, a medida que avanza la perforación la MSE decrece ligeramente obteniendo un mínimo de 1425 ksi a 7, 7 ft/hr, posteriormente se genera un pico máximo de 14645 Ksi con una ROP de 8,52 ft/hr, nuevamente decrece la MSE conforme se avanza en la perforación hasta terminar operación en 13,6 ft/hr y 930ksi, **Grafica 7**.

Gráfica 7. Comportamiento de la energía mecánica específica respecto a la tasa de penetración. Caso 3

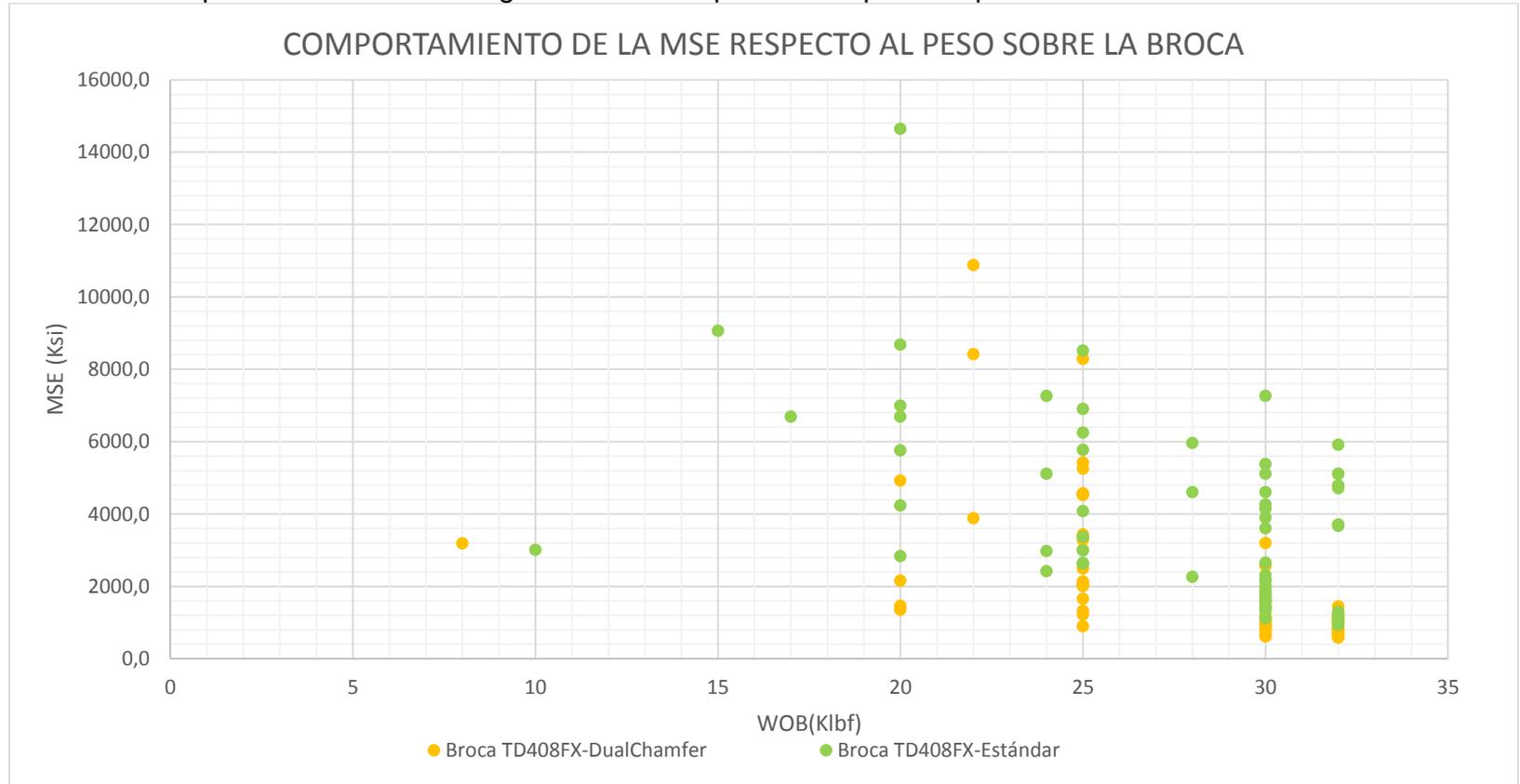


Fuente: elaboración propia

La broca 5 con cortadores Stabilis DualChamfer inicio perforación con un peso sobre la broca de 8 Klbf produciendo una energía mecánica específica MSE de 3200Ksi, conforme avanza la perforación se incrementa el peso sobre la broca WOB a 20 Klbf donde la MSE disminuye a 1420Ksi hasta llegar a 4920 Ksi, punto en el que se decide incrementar el peso sobre la broca 2 unidades más y se llega a una MSE máxima de 10880Ksi, de nuevo se incrementa el WOB a 25 Klbf para tratar de disminuir la MSE con éxito, retomado la energía demandada en 905 Ksi, peso sobre el cual se alcanzó una energía de 8000 ksi y de nuevo se aumentó el WOB a 30 klbf para disminuir la MSE a 620 Ksi que incremento a 2660Ksi, la broca termino la corrida con 32 Klbf y 600 Ksi.

La broca 6 de cortadores estándar BROCA 6 inicio perforación con un peso de 10 Klbf y 3010 Ksi de energía mecánica específica, en el transcurso de la corrida se incrementó el WOB a 15 Klbf, lo que tuvo como consecuencia un aumento en la MSE a un valor de 9060 Ksi, posteriormente se aumentó el peso sobre la broca para tratar de disminuir la MSE, llegó a 20 Klbf con 2840 ksi condiciones que llevaron a un un valor máximo de MSE en la corrida de 14650 ksi, por lo que aumenta el peso sobre la broca en 4 unidades para declinar los valores de MSE hasta 2420 Ksi, valor a partir del cual la MSE empezó a incrementar hasta 7625 Ksi, a partir de ahí varió el peso sobre la broca a 25 Klbf para tener en ese mismo peso una energía mecánica específica máxima de 8520 Ksi, parámetros en los cuales varia el WOB 30Klbf con una MSE mínima de 1125 Ksi y máxima de 7265Ksi.La broca termina operación con un peso sobre la broca de 32 Klbf y 930 Ksi, **Grafica 8.**

Gráfica 8. Comportamiento de la energía mecánica específica respecto al peso sobre la broca. Caso 3

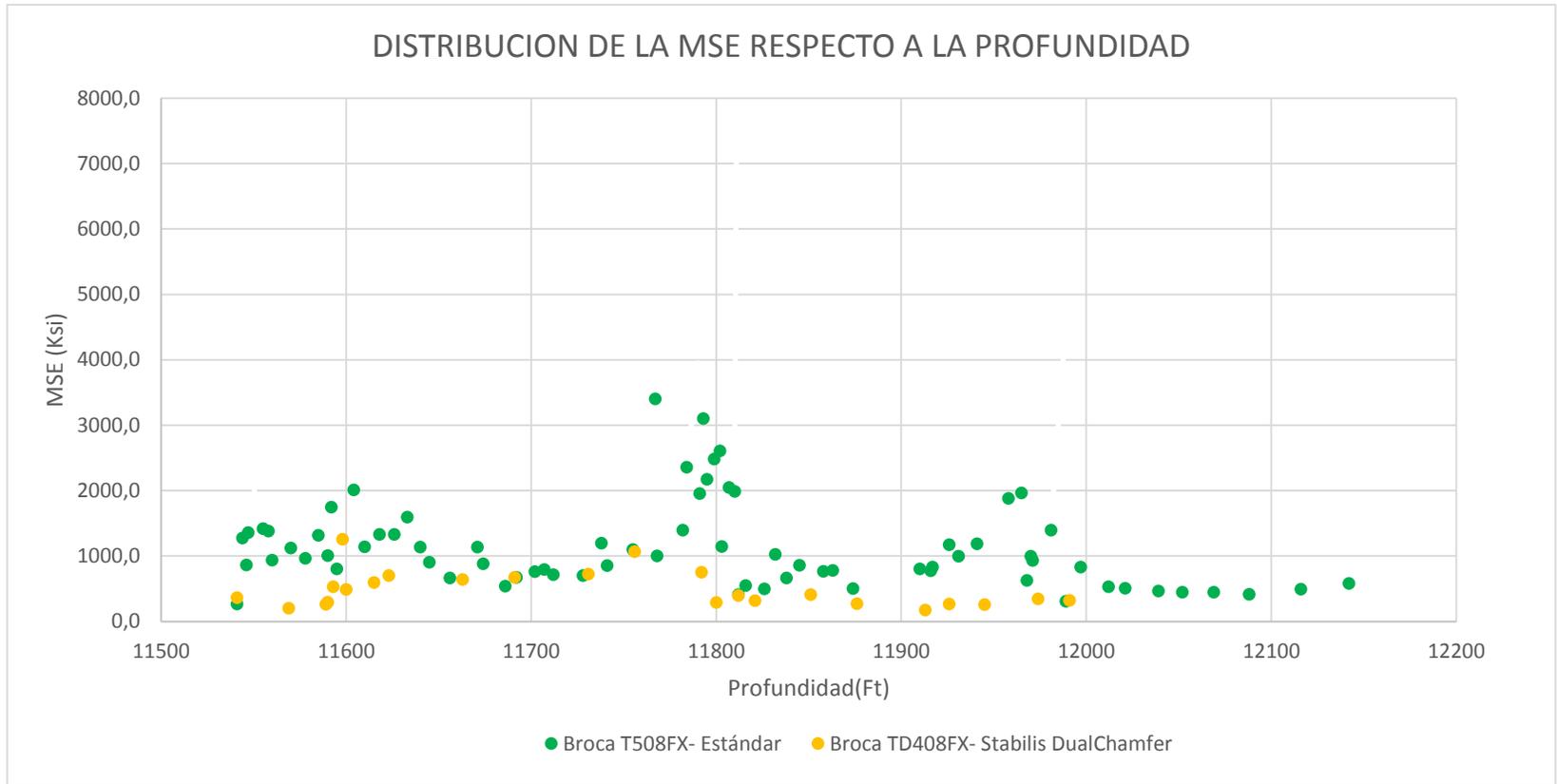


Fuente: elaboración propia

5.3.1.4 Caso 4. Comparación de brocas 7y 8. La broca 8 de cortadores estándar inicia perforación en 11541 ft generando una energía mecánica específica mínima de 265 Ksi, conforme la perforación avanza la MSE empieza a incrementar gradualmente hasta alcanzar un valor de 2500 Ksi, en 11600 ft la energía mecánica específica declina gradualmente hasta 716 Ksi a 11712 ft, punto donde la energía mecánica específica empieza a aumentar conforme se avanza en la perforación, presentando valores máximos de MSE en la profundidad de 11810 ft con una energía mecánica específica de 7440 Kis, que decae considerablemente en una profundidad de 11816 ft, con una MSE de 546Ksi y se mantiene en un rango de 500 y 1000 Ksi, hasta los 11940 Ft donde la energía mecánica específica aumenta linealmente y alcanza 4190 Ksi a una profundidad de 1990 ft, apartir de estas estas condiciones decrece para operar el último trayecto en un promedio de 490 Ksi hasta los 12142 ft para terminar la perforación.

El comportamiento de la broca 5 con cortadores Stabilis DualChamfer no presenta grandes fluctuaciones. Se inicia perforación en 11541 ft con una energía mecánica específica de 360 Ksi, al avanzar en la perforación la MSE llega a su valor mínimo en 11569ft con una MSE de 199 Ksi, a 11600ft se alcanza la máxima MSE de la corrida con un valor de 1250 Ksi y retoma su tendencia a 11620 ft hasta los 11756 ft donde se ve un pequeño incremento de MSE con un valor de 1060 Ksi, el cual disminuye a 291 Ksi a una profundidad de 11800 ft y se mantiene en un promedio de 272 Ksi, **Grafica 9.**

Gráfica 9. Distribución de la energía mecánica específica respecto a la profundidad. Caso 4

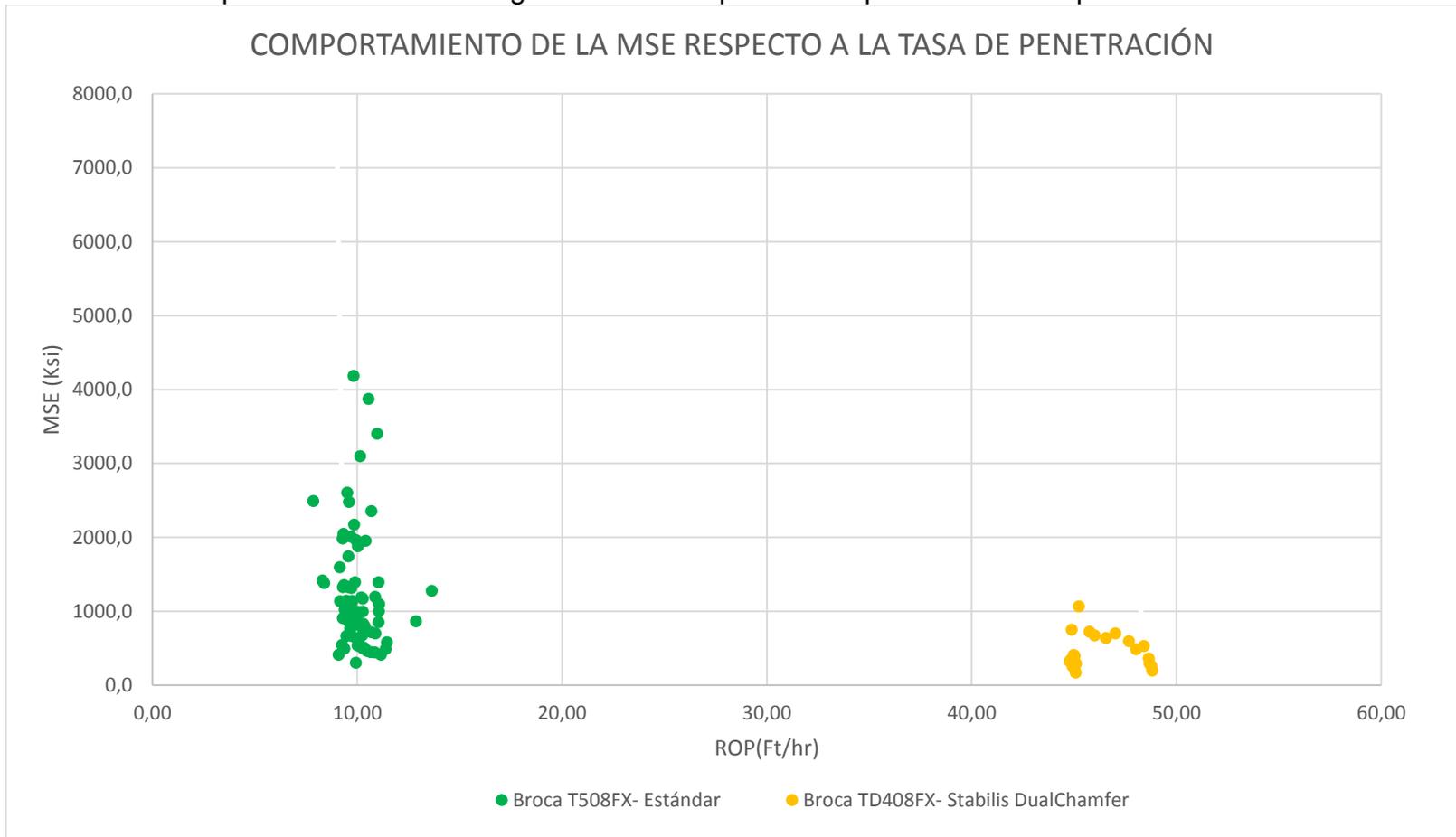


Fuente: elaboración propia

La broca 7 de cortadores estándar tuvo un comportamiento para el ROP que opero en un rango entre 7,8 ft/hr y 13,6 ft/hr como valores máximo y mínimo correspondientemente. La energía mecánica específica mínima fue de 305 Ksi, valor que aumento progresivamente hasta llegar a un máximo de 7440Ksi, condición en la que termino operación.

Por otro lado la broca 8 con tecnología de cortadores Stabilis DualChamfer , inicio perforación con una ROP de 46 ft/hr y una MSE de 178 Ksi, mantuvo la misma ROP mientras aumentaba la energía mecánica específica gradualmente hasta un valor de 726 Ksi, posterior a este evento la tasa de penetración aumento y con ello declino el valor de MSE a 529 Ksi a 49 ft/hr, momento en el que se alcanzó el máximo valor de MSE para la corrida en 1255 Ksi a una ROP de 48 ft/hr. La corrida finalizo con un ROP de 49 ft/hr y una MSE de 200 Ksi, **Grafica 10.**

Gráfica 10. Comportamiento de la energía mecánica específica respecto la tasa de penetración. Caso 4

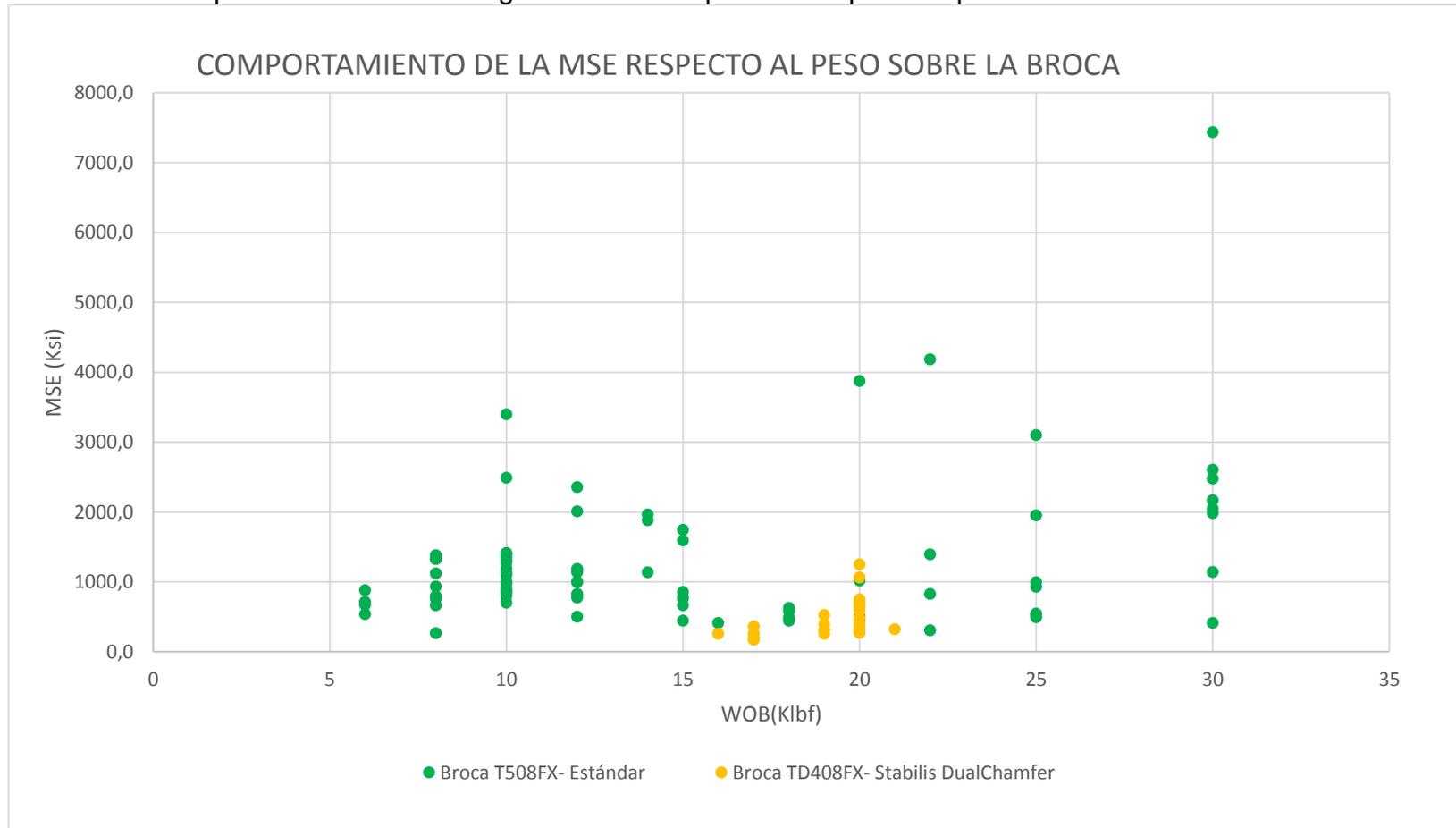


Fuente: elaboración propia

La broca 8 con cortadores estándar, trabajo en un rango entre 6 y 30 Klbf realizando un aumento cada 2 unidades de WOB excepto en el último tramo donde el WOB aumenta de 25 a 30 Klbf. La perforación comienza con un WOB de 6 Klbs y una MSE de 540 Ksi hasta llegar 720 Ksi donde se aumenta el WOB, iniciando con una energía mínima durante la corrida de 260 Ksi hasta 1120 Ksi, de esta manera fluctúa hasta alcanzar un peso sobre la broca de 30 Klbf, donde alcanza la máxima energía mecánica de la corrida con 7450 Ksi, punto donde finaliza la operación.

La broca 7 de cortadores Stabilis DualChamfer inicia con un peso sobre la broca de 16 Klbf y finaliza con 21 Klbf, manejando una energía mecánica específica de 260 Ksi en promedio, excepto por la energía que se alcanza con un peso sobre la broca de 20 Klbf y un aumento en la MSE de 1060 Ksi, posteriormente se disminuye la MSE a 320 Ksi con un peso de 21 Klbf y finaliza la operación, **Grafica 11.**

Gráfica 11. Comportamiento de la energía mecánica específica respecto al peso sobre la broca. Caso 4

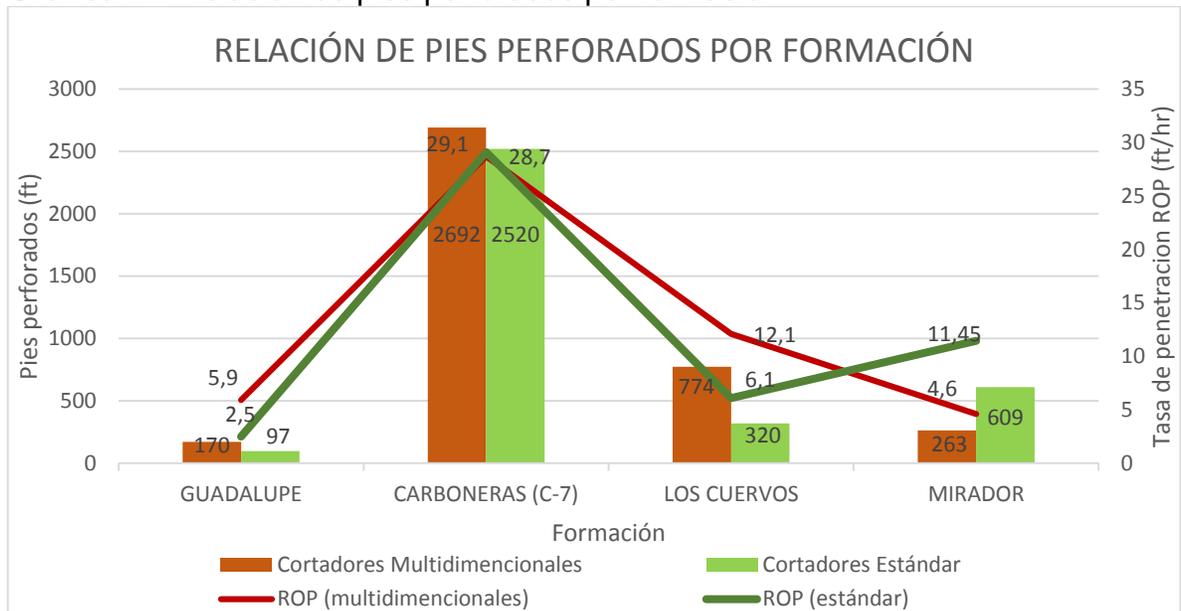


Fuente:elaboración propia

6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El estudio realizado en el bloque de Piedemonte para los Campos Floreña y Payero, donde se compara el desempeño de dos tecnologías multidimensionales de cortadores (StayCool y Stabilis DualChamfer) respecto a cortadores estándar; busco evaluar el comportamiento en las formaciones Guadalupe, Carbonera (C-7), Los Cuervos y Mirador. El estudio demostró que en las formaciones Guadalupe, Carbonera C-7 y Los Cuervos para las tecnologías no planares o también conocidas como multidimensionales se alcanzó una profundidad del 36% mayor respecto a cortadores estándar y por lo tanto tasas de penetración son relativamente altas, mientras que en la formación Los cuervos el comportamiento es totalmente opuesto; la broca con cortadores estándar perforó un 56% más que la broca con tecnología Stabilis DualChamfer y la tasa de penetración también fue superior, **Grafica 12**.

Gráfica 12. Relación de pies perforados por formación



Fuente: elaboración propia

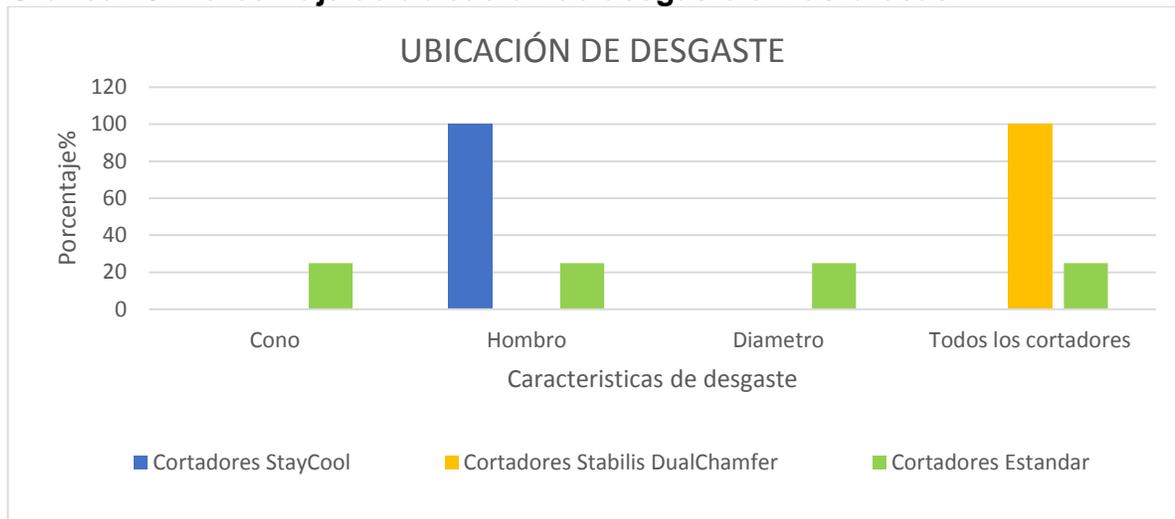
Este comportamiento se refleja en la calificación de salida de las brocas según el formato IADC mostrado anteriormente, las brocas de tecnología multidimensional, StayCool para los dos primeros casos y Stabilis DualChamfer para el tercer caso, presentaron menos desgaste en los cortadores externos, mientras que en el caso 4 la broca que presentó mayor desgaste fue la broca de tecnología Stabilis DualChamfer.

El desempeño y la calificación de las brocas se ven afectados por la ubicación donde ocurre el desgaste. Para los cortadores StayCool el desgaste se ocasiona únicamente en el hombro, razón por la cual los cortadores externos presentan mayor calificación que los internos, en el caso de la tecnología Stabilis DualChamfer

el desgaste es homogéneo y ocurre en todos los cortadores, motivo por el cual las calificaciones son similares entre el desgaste de cortadores tanto internos como externos **Grafica 13**.

Por otra parte las brocas con cortadores estándar muestran desgaste en varias secciones de la broca, como lo son el cono, el hombro, desgaste en el diámetro y en todos los cortadores cada uno con el 25%, esto demuestra que la estabilidad y el desempeño de los cortadores estándar es variante e inestable.

Gráfica 13. Porcentaje de ubicación de desgaste en las brocas.



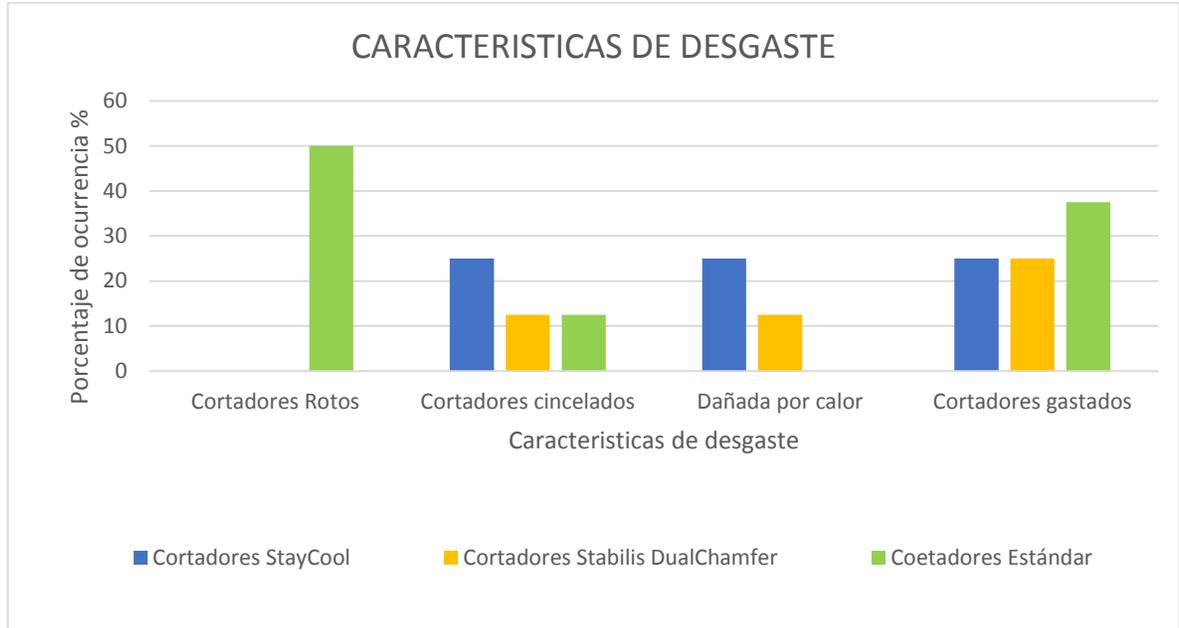
Fuente: elaboración propia

La ubicación donde ocurre el desgaste, está relacionada con la característica que origina tal desgaste; por tal motivo es importante identificar cuáles son las características que más se presentan y como la tecnología implementada ayuda a contrarrestar los daños que se generan.

La característica principal por la que los cortadores estándar tienen desgaste es por cortadores rotos en un 50%, seguido del desgaste normal que se origina con 37,5% y un 12,5% por cortadores cincelados. Las brocas de tecnología StayCool generan un equilibrio en el desempeño del cortador haciendo que este se desgaste por calor en 25% o se cincele 25% sin llegar a producir la ruptura del cortador, mitigando así un daño total a la integridad del cortador lo cual afecta la eficiencia de corte.

Las brocas de tecnología Stabilis DualChamfer tienen un comportamiento similar a la tecnología StayCool, sin embargo, esta tecnología muestra que cortadores cincelados es solo del 12,5%. En todos los cortadores se genera un desgaste normal por profundidad perforada, **Grafica 14**.

Gráfica 14. Porcentaje de características de desgaste según la tecnología de cortador usada.



Fuente: elaboración propia

En los casos 1,2 y 4 se perforaron formaciones compuestas principalmente por areniscas de grano medio a grueso, estas formaciones son Guadalupe, Carbonera C-7 y Mirador., respectivamente.

El primer caso perforó la formación Guadalupe y se obtuvo mejor desempeño con la broca de tecnología StayCool, dado a que sus cortadores están diseñados para perforar formaciones abrasivas, donde el calor generado sea menor ya que el contacto del cortador con la formación disminuye, eso le permite al mismo no alcanzar temperaturas tan altas durante la corrida para disminuir el riesgo de una ruptura por calentamiento. Esto junto a las variaciones de paramentos de perforación, donde se incrementa el WOB para disminuir la energía que demanda perforar el volumen de roca, hacen que el ROP sea superior al ROP de la broca con tecnología estándar, además de perforar más pies. Si bien la broca con cortadores estándar mantiene un comportamiento constante en la MSE, se debe aumentar el WOB de manera progresiva sin obtener tasas de penetración altas, generando un desempeño bajo.

En el caso 2 las dos brocas perforan la Formación Carbonera C-7, la broca de cortadores estándar perfora una sección con menos presencia de limolita, lo que hace más fácil la perforación. La calificación y desempeño de la broca 4 se ve afectado por una pega, que se reconoce al inicio de la perforación donde obtiene un valor máximo de MSE con 710 Ksi y baja contundentemente cuando se avanza en perforación, adquiriendo un comportamiento estable, que alcanzó un rango de 400

a 500 Ksi, sin embargo dada la eficiencia de los cortadores la tasa de perforación se estanca entre 31 y 35 ft/hr, ayudado por la variación del WOB.

La broca con cortadores StayCool tiene un aumento progresivo de MSE conforme disminuye la tasa de perforación, esta tendencia lineal hace que el desgaste generado se de manera paulatina y se logre avanzar en perforación sin llegar a general un daño definitivo en la broca.

La Formación Los Cuervos, es el objeto de estudio del caso 3 donde se compara el desempeño de los cortadores Stabilis DualChamfer y estándar, tal formación tiene una composición de lutitas con intercalación de arenisca, en este caso la tecnología Stabilis DualChamfer contrarrestó la abrasividad de las arenas, haciendo que se obtuviera mejor ROP pese al gasto de energía para perforar un pie de roca, sin embargo los cortadores estándar requieren de más esfuerzo y alcanzan una ROP menor a la de la broca con cortadores multidimensionales.

El caso 4 tuvo la particularidad de demostrar mejor desempeño con la broca 8 de cortadores estándar al perforar la formación Mirador compuesta por areniscas, sin embargo dada la litología y composición de la formación con intercalaciones de cuarzo, la tecnología Stabilis DualChamfer no es eficiente y por el contrario genera resistencia en la perforación, permitiendo una tasa de penetración limitada.

7. ANÁLISIS FINANCIERO

Con el fin de optimizar costos y mejorar la eficiencia del proceso de perforación la empresa Baker Hughes ha implementado nuevas tecnologías en los cortadores de brocas PDC, para obtener una mejor eficiencia en formaciones con alta intercalación litológica. Este proyecto se centró en el estudio en cuatro casos; los dos primeros para evaluar la tecnología StayCool respecto al cortador estándar en la formación Guadalupe y Carbonera C7 respectivamente y otros dos casos para evaluar la tecnología Stabilis DualChamfer en las formaciones Los Cuervos y Mirador. Se evalúa la eficiencia, con base en los parámetros obtenidos tras su uso, así como de la energía mecánica específica requiere en cada caso.

Se presenta el análisis de los costos de operación (Broca + taladro) con uso de cada una de las brocas en los diferentes intervalos de estudio, el costo de la broca en cuestión, los pies perforados y el tiempo de operación de taladro. Para el cálculo de dicho tiempo se tiene en cuenta el tiempo efectivo, es decir el tiempo en el que la broca estuvo en fondo perforando. El indicador principal para efectuar una comparación entre los costos para cada caso de estudio es el costo por pie y el costo por hora de taladro requerido para la perforación.

Se usa el dólar americano (USD) como unidad monetaria de valor constante. En cuanto a la tasa de interés de oportunidad (TIO) se maneja un valor de 12% efectivo anual el cual es usado por BAKER HUGHES para la evaluación de proyectos y se establece la relación beneficio-costos para indicar la viabilidad del proyecto. Debido a que una campaña de perforación en los campos mencionados tarda alrededor de ocho meses

7.1 TASA DE INTERÉS DE OPORTUNIDAD (TIO)

Es la tasa mínima dispuesta a aceptar un inversionista e un determinado proyecto. Para efectos este proyecto se usa una tasa de interés de oportunidad del 12% efectivo anual, la cual está dada por la compañía Baker Hughes para la evaluación de sus proyectos.

7.2 OPEX

Operating Expenditures se define como los costos operativos y están dados por compras de género o servicios usados en la operación diaria de una compañía. Se presentan los costos de operación para cada pozo en el intervalo de estudio correspondiente. Para esto, se calcula previamente el costo por pie para cada broca de estudio, el cual incluye el costo de la broca, el costo del taladro, el tiempo de viaje y el tiempo efectivo, tal como se muestra en la **Ecuación 6**.

Ecuación 6. Calculo OPEX

$$CPF = \frac{\text{Costo taladro} * \text{Tiempo} + \text{Costo broca}}{\text{Pies perforados}}$$

Fuente: Baker Hughes Colombia. Cálculo de costo por pie.

Donde:

CPF: Costo por pie (\$US/Ft)

Costo taladro: (\$US)

Tiempo: (Hr) Horas

Costo broca: (\$US) Pies perforados: (Ft)

La información de costos de perforación para el campo Floreña, que atravesó la formación Guadalupe en el caso 1 y la formación Carboneras C-7 para el caso 2, donde se utilizaron brocas con cortadores StayCool y Estándar está dada en el **Cuadro 26**.

Cuadro 26. Estimación de costos de operación para los casos 1 y 2, tecnología StayCool.

TIPO DE BROCA (Tecnología Cortadores)	COSTO UNIT EN \$ US/ Millones	COSTO REMANUFACTURE EN \$US / Millones	RENDIMIENTO ESPERADO (Ft)	COSTO DE BROCA POR Ft / \$US	COSTO DE TALADRO (Hr)/\$ US
Broca StayCool	3.7	1.1	40000	120.3	188.5
Broca Estandar	2.8	1.4	30000	140.0	188.5

Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte

Dado a que las brocas usadas tienen diferente rendimiento según los pies perforados y tiempo de perforación se estima el costo por pie perforado para cada caso. Para el caso 1 la estimación se muestra en el **Cuadro 26** y el caso 2 en el **Cuadro 27**.

Cuadro 27. Costo promedio de perforación por pie. Caso 1

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Pies perforados(Ft)	Tiempo(hr)	Costo de Broca (\$US)	Costo de Taladro (\$US)	Costo Total (\$US)	Costo Promedio por Ft (\$US)	Benefi c Bruto
Broca StayCool	Floreña	Guadalupe/Shal e&fosfatic	170	28.8	20,442.5	5,428.0	25,870.5	152.2	30%
Broca Estandar	Floreña	Guadalupe Massives	97	39.5	13,580.0	7,444.6	21,024.6	216.7	

Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte

Cuadro 28. Costo promedio de perforación por pie. Caso 2

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Pies perforados(Ft)	Tiempo(hr)	Costo de Broca (\$US)	Costo de Taladro (\$US)	Costo Total (\$US)	Costo Promedio por Ft (\$US)	Beneficio Bruto
Broca StayCool	Floreña	C7	2692	93.8	306,215.0	17,678.6	323,893.6	120.3	18%
Broca Estandar	Floreña	C7/C8/C7inv/C8i nv	2520	86.85	352,800.0	16,368.7	369,168.7	146.5	

Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte

La información de costos de perforación para el campo Payero, que atravesó la formación Los Cuervos en el caso 3 y la formación Mirador para el caso 4, donde se utilizaron brocas con cortadores Stabilis DualChamfer y Estándar, está dada en el **Cuadro 28**.

Cuadro 29. Estimación de costos de operación para los casos 3 y 4, tecnología Stabilis DualChamfer.

TIPO DE BROCA (Tecnología Costadores)	COSTO UNIT EN \$ US/ Millones	COSTO REMANUFACTURE EN \$US / Millones	RENDIMIENTO ESPERADO (Ft)	COSTO DE BROCA POR Ft / \$US	COSTO DE TALADRO (Hr) / \$ US
Stabilis DualChamfer	3.8	1.1	45000	109.8	188.5
Estándar	2.8	1.4	30000	140.0	188.5

Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte

Dado a que las brocas usadas tienen diferente rendimiento según los pies perforados y tiempo de perforación se estima el costo por pie perforado para los casos 3 **Cuadro 29** y caso 4, **Cuadro 30**.

Cuadro 30. Costo promedio de perforación por pie. Caso 3

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Pies perforados(Ft)	Tiempo(hr)	Costo de Broca (\$US)	Costo de Taladro (\$US)	Costo Total (\$US)	Costo Promedio por Ft (\$US)	Beneficio Bruto
Stabilis DualChamfer	Payero E1Z	Los cuervos	774	64.1	84,968.0	12,081.0	97,049.0	125.4	27%
Estándar	Payero E1Z	Los cuervos	320	52.4	44,800.0	9,866.5	54,666.5	170.8	

Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reporte

Cuadro 31. Costo promedio de perforación por pie. Caso 4

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Pies perforados(Ft)	Tiempo(hr)	Costo de Broca (\$US)	Costo de Taladro (\$US)	Costo Total (\$US)	Costo Promedio por Ft (\$US)	Beneficio Bruto
Stabilis DualChamfer	Payero E1	Mirador	263	56.6	28,871.6	10,667.5	39,539.0	150.3	4%
Estándar	Payero E1Z	Mirador/C8	609	53.2	85,260.0	10,026.7	95,286.7	156.5	

Fuente: elaboración propia, con base en: BAKER HUGHES, reporte

En la comparación de los costos de broca más taladro, en estos cuatro casos se puede observar que el menor costo se logra en el caso 2 con una broca de cortadores StayCool, perforando a 9061 ft, con un costo promedio por pie perforado de \$US 120,3 con un beneficio del 18% comparado con el costo promedio por pie perforado de una broca Estándar.

Si bien en el caso 2 se obtiene el menor costo, no necesariamente es el mejor beneficio ya que este se obtiene en el caso 1 utilizando el mismo tipo de broca StayCool perforando a 14585 ft, con un costo promedio Ft perforado de \$US 152,2 que representa un beneficio del 30% comparado con el costo promedio por pie perforado de una broca Estándar.

7.3 LA RELACIÓN BENEFICIO COSTO (RB/C)

Conocida también como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.
 $B/C = VAI / VAC$.

Según el análisis de costo-beneficio, un proyecto será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que uno (1). Si el resultado es mayor que uno (1), significa que los ingresos netos son superiores a los egresos netos. En otras palabras, los beneficios (ingresos) son mayores a los sacrificios (egresos) y, en consecuencia, el proyecto generará riqueza a una comunidad. Si el proyecto genera riqueza con seguridad traerá consigo un beneficio social.

Si el resultado es igual a 1, los beneficios igualan a los sacrificios sin generar beneficio alguno. Por tal razón no resulta de interés ejecutar el proyecto⁵⁵.

7.4 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La TIR o Tasa Interna de Retorno, según GUILLERMO BACA⁵⁶ es la tasa de interés o rentabilidad que genera un proyecto. Y se encarga de medir la rentabilidad de una inversión. Esto quiere decir, el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá esta, para los montos que no hayan sido retirados del proyecto. Y funciona como una herramienta complementaria del valor presente neto (VPN). Es importante aclarar que en muchos casos las decisiones que se toman basándose en el Valor Presente Neto no son congruentes con las que se toman basándose en la Tasa Interna de Retorno, ya que los flujos de dinero son irregulares, y resulta necesario garantizar mediante diferentes mecanismos que el Valor Presente Neto es correcto, para así corroborarlo a través de la Tasa Interna de Retorno.

Ecuación 7. Calculo de tasa interna de retorno TIR

$$TIR = \left[-I + \left[\frac{FC}{(1+X)^n} \right] \dots \right] = 0$$

The diagram shows the equation for the Internal Rate of Return (TIR). The equation is enclosed in a rectangular box. Labels with arrows point to different parts of the equation: 'Inversion inicial' points to the '- I' term; 'Flujo de Caja Neto' points to the 'FC' numerator; 'Tasa de descuento o incognita' points to the 'X' in the denominator; and 'Periodo de tiempo' points to the 'n' in the denominator.

Fuente: BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano. 2005. p.237. Modificado por los autores 2019.

⁵⁵ BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano. 2005. p.266

⁵⁶ BACA.Op.cit., p.237.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tanto de la RBC como de la TIR, para cada caso.

7.5 ANALISIS FINANCIERO PARA CADA CASO DE ESTUDIO

A continuación, se plantearán los escenarios financieros para cada uno de los cuatro casos que se desarrollaron en el estudio

Caso 1. La comparación de beneficio broca StayCool vs Estándar en el campo Floreña, en la formación Guadalupe. Señala un costo promedio por pie perforado de \$152.2 US y \$216.7 US, respectivamente. Este valor multiplicado por el número de pies perforados, proporciona el costo total de cada pozo al implementar la tecnología de cortadores correspondiente, **Cuadro 32**.

Cuadro 32. Escenario financiero, Caso 1

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Costo Promedio por Ft (\$US)	MD Out(Ft)	StayCool & Estandar1	B.StayCool1	B.Estandar1
					Costo Total x Pozo / \$US	Costo Total x Pozo / \$US	Costo Total x Pozo / \$US
Broca StayCool 1	Floreña	Guadalupe/Shale & fosfatic	152,2	14.585	2.219.533	2.219.533	3.161.276
Broca Estandar 1	Floreña	Guadalupe Massives	216,7	14.327	3.105.355	2.180.271	3.105.355
Costo Real Mix					5.324.889	4.399.805	6.266.632
Beneficio por utilizar Mix Vs Estandar X2					941.743		15%
Beneficio adicional al utilizar B.StayCool X2					925.084		15%

	1- \$US / Millones	2- Beneficio Obtenido	(2-1) Beneficio Neto	Uso Promedio de Las Brocas (Ft)	Proyeccion de Beneficio al 85% de uso de las Brocas	TIR (Estemada en un periodo de 8 meses)
Mayor valor del costo de la Broca StayCool1	-0,6	0,9	0,3	42%	1,90	35,5%

PROYECCIONES PARA CALCULAR EL TIR Y RBC

TASA DE DESCUENTO 12% Mínimo esperado por Baker
 TASA DESCUENTO E.A 8,0% (12% / 12 períodos X 8 períodos

PERIODO	INVERSIÓN	INGRESOS SUS (Millones)	COSTO	FNE
0	-0,6	-0,6	0	
1		0,24	0	0,24
2		0,24	0	0,24
3		0,24	0	0,24
4		0,24	0	0,24
5		0,24	0	0,24
6		0,24	0	0,24
7		0,24	0	0,24
8		0,24	0	0,24

1,90

TIR	35,5%	RB/C	2,2
		Sum-VAI	1,4
		Sum-VAC	0,0
		Sum-VAC + Inversión	0,61

Fuente: elaboración propia

En este caso se observa que los dos indicadores financieros permiten evaluar de manera favorable la viabilidad financiera del proyecto.

Una TIR del 35%, que significa 23 puntos por encima de lo esperado de la compañía (12%) y si analizamos RC/B También es muy favorable ya que es del 2,2 sabiendo que el caso de Baker Hughes lo mínimo esperado es de 1,12.

Caso 2. Comparación de beneficio broca StayCool Vs Estándar en el campo Floreña, formación Carbonera. Señala un costo promedio por pie perforado de \$120.3 US y \$146.5 US, respectivamente. Este valor multiplicado por el número de pies perforados, proporciona el costo total de cada pozo al implementar la tecnología de cortadores correspondiente, **Cuadro 33.**

Cuadro 33. Escenario financiero, Caso 2

BROCA	CAMPO	FORMACIÓ N	Costo Promedio por Ft (\$US)	MD Out(Ft)	Costo Total x Pozo / \$US	StayCool & Estandar	
						B.StayCool1	B.Estandar
						Costo Total x Pozo / \$US	Costo Total x Pozo / \$US
Broca StayCool 1	Floreña	C7	120,3	9.061	1.090.193	1.090.193	1.327.396
Broca Estandar 1	Floreña	C7/C8/C7inv /C8inv	146,5	9.003	1.318.899	1.083.215	1.318.899
Costo Real						2.409.092	
Beneficio Por no utilizar B.Estandar en los dos Pozos						237.203	9%
Beneficio adicional al utilizar B.StayCool en los dos pozos						235.684	9%

RELACION COSTO BENEFICIO

	1- \$US / Millones	2- Beneficio Obtenido	(2-1) Beneficio Neto	Uso Promedio de Las Brocas (Ft)	Proyeccion de Beneficio al 85% de uso de las Brocas	TIR (Estimada periodo de 8 meses)
Mayor valor del costo de la Broca StayCool1	-0,4	0,2	-0,1	26%	0,77	21,6%

PROYECCIONES PARA CALCULAR EL TIR Y RBC

TASA DE DESCUENTO 12% Minimo esperado por Baker
TASA DESCUENTO E.A 8,0% (12% / 12 peridos X 8 periodos)

PERIODO	INVERSIÓN	INGRESOS \$US (Millones)	COSTO	FNE
0	-0,4	-0,4	0	
1		0,096	0	0,10
2		0,096	0	0,10
3		0,096	0	0,10
4		0,096	0	0,10
5		0,096	0	0,10
6		0,096	0	0,10
7		0,096	0	0,10
8		0,096	0	0,10
		0,77		

TIR 21,6%

RB/C 1,6

Sum-VAI 0,6
Sum-VAC 0,0
Sum-VAC + Inversión 0,35

Fuente: elaboración propia

El caso 2 sin ser el mejor escenario, es una buena opción utilizar brocas StayCool, ya que los dos indicadores financieros me permiten evaluar de manera favorable la viabilidad financiera del proyecto.

Una TIR del 21,6%, que significa 9,6 puntos por encima de lo esperado de la compañía (12%) y si analizamos RC/B, también es muy favorable ya que es del 1,6 sabiendo que el caso de Baker Hughes lo mínimo esperado es de 1,12.

7.5.1 Caso 3. Comparación de beneficio broca Stabilis DualChamfer Vs Estándar en el campo Payero, formación Los Cuervos. Señala un costo promedio por pie perforado de \$125.4 US y \$170.8 US, respectivamente. Este valor multiplicado por el número de pies perforados, proporciona el costo total de cada pozo al implementar la tecnología de cortadores correspondiente, **Cuadro 34**.

Cuadro 34. Escenario financiero, Caso 3

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Costo Promedio por Ft (\$US)	MD Out(Ft)	Stabilis DualChamferE estándar	Stabilis DualChamfer	Estándar
					Costo Total x Pozo / \$US	Costo Total x Pozo / \$US	Costo Total x Pozo / \$US
Stabilis DualChamfer	Payero E1Z	Los cuervos	125,4	15.016	1.882.800	1.882.800	2.565.223
Estándar	Payero E1Z	Los cuervos	170,8	15.336	2.619.890	1.922.924	2.619.890
					Costo Real	4.502.690	
					Beneficio Por no utilizar B.Estandar en los dos Pozos	682.423	13%
					Beneficio adicional al utilizar B.StayCool en los dos pozos	696.966	13%

	1- \$US / Millones	2- Beneficio Obtenido	(2-1) Beneficio Neto	Uso Promedio de Las Brocas (Ft)	Proyeccion de Beneficio al 85% de uso de las Brocas	TIR (Estimada en un periodo de 8 meses)
Mayor valor del costo de la Broca Stabilis DualCha	-0,7	0,7	-0,1	42%	1,37	16,2%

PROYECCIONES PARA CALCULAR EL TIR Y RBC

ASA DE DESCUENTO 12% Minimo esperado por Baker
 ASA DESCUENTO E.A 8,0% (12% / 12 peridos X 8 periodos

PERIODO	INVERSIÓN	INGRESOS \$US (Millones)	COSTO	FNE
0	-0,7	-0,7	0	
1		0,17	0	0,17
2		0,17	0	0,17
3		0,17	0	0,17
4		0,17	0	0,17
5		0,17	0	0,17
6		0,17	0	0,17
7		0,17	0	0,17
8		0,17	0	0,17
		1,37		

IR	16,2%	RB/C	1,3
		Sum-VAI	1,0
		Sum-VAC	0,0
		Sum-VAC + Inversión	0,74

Fuente: elaboración propia

En este caso se emplea una broca Stabilis DualChamfer y se compara con la broca Estándar, los indicadores financieros proyectan un escenario poco atractivo ya que los beneficios son poco relevantes.

Una TIR del 16,2%, que significa 4,2 puntos por encima de lo esperado de la compañía (12%) y si se analiza la RC/B, también es bajo ya que es del 1,3 sabiendo que el caso de Baker Hughes lo mínimo esperado es de 1,12.

7.5.2 Caso 4. Comparación de beneficio broca Stabilis Dual Vs Estándar en el campo Payero, formación Mirador. Señala un costo promedio por pie perforado de \$150.3 US y \$156,5 US, respectivamente. Este valor multiplicado por el número de pies perforados, proporciona el costo total de cada pozo al implementar la tecnología de cortadores correspondiente, **Cuadro 35.**

Cuadro 35. Escenario financiero, Caso 4.

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Costo Promedio por Ft (\$US)	MD Out(Ft)	Costo Total x Pozo / \$US	Stabilis DualChamferE estándar	
						Costo Total x Pozo / \$US	Costo Total x Pozo / \$US
Stabilis DualChamfer	Payero E1	Mirador	150,3	11.926	1.792.936	1.792.936	1.865.991
Estándar	Payero E1Z	Mirador/C8	156,5	12.150	1.901.039	1.826.612	1.901.039
					Costo Real	3.693.975	
					Beneficio Por no utilizar B.Estandar en los dos Pozos	73.055	2%
					Beneficio adicional al utilizar B.StayCool en los dos pozos	74.427	2%

Stabilis DualChamfer		Estándar
3.619.548	3.767.030	

	1- \$US / Millones	2- Beneficio Obtenido	(2-1) Beneficio Real	Uso Promedio de Las Brocas (Ft)	Proyeccion de Beneficio al 85% de uso de las Brocas	TIR (Estemada en un periodo de 8 meses)
Mayor valor del costo de la Broca Stabilis DualChar	-0,7	0,1	-0,7	34%	0,19	-23,5%

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Costo Promedio por Ft (\$US)	MD Out(Ft)	Costo Total x Pozo / \$US	Costo Total x Pozo / \$US	Costo Total x Pozo / \$US
Stabilis DualChamfer	Payero E1	Mirador	150,3	11.926	1.792.936	1.792.936	1.865.991
Estándar	Payero E1Z	Mirador/C8	156,5	12.150	1.901.039	1.826.612	1.901.039
Costo Real					3.693.975	3.619.548	3.767.030
Beneficio Por no utilizar B.Estandar en los dos Pozos					73.055		
Beneficio adicional al utilizar B.StayCool en los dos pozos					74.427		

	1- \$US / Millones	2- Beneficio Obtenido	(2-1) Beneficio Real	Uso Promedio de Las Brocas (Ft)	Proyeccion de Beneficio al 85% de uso de las Brocas	TIR (Estemada en un periodo de 8 meses)
Mayor valor del costo de la Broca Stabilis DualChar	-0,7	0,1	-0,7	34%	0,19	-23,5%

DIRECCIONES PARA CALCULAR EL TIR Y RBC

TA DE DESCUENTO	12%	12% Minimo esperado por Baker
TA DE DESCUENTO E.A	8,0%	8,0% (12% / 12 periodos X 8 periodos

Fuente: elaboración propia

Este último caso, es el que menos espera una empresa o inversionista ya que es muy negativo, por lo tanto no es recomendable llevar a cabo el proyecto. Una TIR negativa (-23,5%) quiere decir que el ejercicio daría perdida. Y una RB/C muy inferior a 1.

Cuadro 36. Resumen del análisis financiero según el comportamiento de cada broca

BROCA	CAMPO	FORMACIÓN	Costo Operativo Promedio por Ft (\$US)	MD Out(Ft)	Mayor costo Broca nueva tecnología \$US /	Beneficio Obtenido	(2-1) Beneficio Neto	Promedio de Las Brocas (Ft)	de Beneficio al 85% de uso de las Brocas	TIR (Estemada en un periodo de 8 meses)	RBC (Estemada en un periodo de 8 meses)
Broca StayCool 1	Floreña	Guadalupe/Shale&fosfatic	152,2	14.585	-0,6	0,9	0,3	42%	1,9	35,5%	2,2
Broca Estandar 1	Floreña	Guadalupe Massives	216,7	14.327							
Broca StayCool 1	Floreña	C7	120,3	9.061	-0,35	0,2	-0,1	26%	0,8	22%	1,6
Broca Estandar 1	Floreña	C7/C8/C7Inv/C8Inv	146,5	9.003							
Stabilis DualChamfer	Payero E1Z	Los cuervos	125,4	15.016	-0,74	0,7	-0,1	42%	1,4	16%	1,3
Estándar	Payero E1Z	Los cuervos	170,8	15.336							
Stabilis DualChamfer	Payero E1	Mirador	150,3	11.926	-0,74	0,1	-0,7	34%	0,2	-23%	0,2
Estándar	Payero E1Z	Mirador/C8	156,5	12.150							

Fuente: elaboración propia, con base en : BAKER HUGHES, reporte

El uso de las brocas StayCool en lugar de las brocas estándar, en el Campo Floreña, es beneficioso financieramente para la empresa. Con este tipo de broca se puede lograr un beneficio de \$ US 2,7 millones con un uso del 85% de su vida útil, en campos con litología similar los del campo mencionado.

8. CONCLUSIONES

- Las brocas de tecnología multidimensional (StayCool, Stabilis DualChamfer) mostraron efectividad en el 75% de los casos de estudio, principalmente en las formaciones Guadalupe, Carbonera C-7 y Los Cuervos compuestas principalmente por areniscas de grano de fino a medio con intercalaciones menores de lutitas, sin embargo en la formación Mirador el desempeño de los cortadores multidimensionales no presento el mejor rendimiento asociado a la composición cuarzosa de la formación.
- La tecnología de cortadores multidimensionales permiten obtener un 24,6 % más de ROP en los casos 1 ,2 (tecnología StayCool, formaciones Guadalupe y Carbonera C-7, respectivamente) y 3 (tecnología Stabilis DualChamfer, Formacion Los Cuervos), que el ROP obtenido con cortadores estándar, lo que refleja disminución de tiempo en la perforación.
- El mejor desempeño en cuanto a pies perforados se da en la Formacion Carbonera C-7, taladrada con broca PDC de cortadores StayCool, evidenciado un 93,7% de efectividad en la profundidad de penetración en relación con las otras brocas de estudio.
- El comportamiento de la energía mecánica específica es un parámetro fundamental para determinar el desempeño de las brocas, sin embargo el ROP determina el rendimiento.
- Las secuencias litológicas de las Formaciones Guadalupe y C- 7 son similares, razón por la cual los parámetros de perforación son comparables en cuanto a la litología atravesada.
- El comportamiento de la energía mecánica específica es un parámetro fundamental para determinar el desempeño de las brocas, en el estudio las tecnologías multidimensionales generaron un 1,3% menos de energía requerida para perforar las formaciones.
- El mejor escenario se observa en el caso 2, en el campo Floreña, formación Guadalupe donde se utilizó tecnología StayCool. Los resultados son una TIR del 35,5% y una RB/C del 2,2, confirmando la viabilidad del su implementación.
- La evaluación financiera mostro un escenario negativo en el caso 4, donde no se justifica la implementación de la tecnología Stabilis DualChamfer en el campo Payero, formación Mirador, ya que la TIR es del -23% y la RB/C del 0,2.

9. RECOMENDACIONES

- Trabajar con los parámetros de operación en el rango establecido con la prueba drill off test con el fin de evitar desgaste prematuro en las brocas y obtener una perforación óptima en términos de MSE.
- Utilizar la broca PDC con cortadores StayCool en futuras perforaciones en las Formaciones Carboneras C7 y Guadalupe o en pozos con características litológicas similares a las estudiadas, debido a su buena respuesta en cuanto a desempeño, pies perforados, tiempos de corrida y costos
- Optimizar parámetros de perforación aplicados en los intervalos de estudio con el uso de la broca de tecnología Stabilis DualChamfer en la Formación Mirador con el fin de mejorar su desempeño
- Realizar el estudio de la broca PDC con cortadores StayCool en la Formación Mirador, con el fin conocer su desempeño dada la composición litológica compuesta principalmente por areniscas donde esta tecnología fue efectiva.
- Realizar la comparación del desempeño de las tecnologías StayCool y Stabilis DualChamfer en la misma formación para determinar su efectividad.
- Continuar con el uso de las brocas de tecnología StayCool ya que su desempeño es eficiente y logra el mayor beneficio. El cálculo estimado del beneficio de este tipo de broca al 85% de uso de su vida útil ($40.000 \text{ Ft} \times 85\% = 36.000 \text{ Ft}$) es de \$ US 1,9 millones en el campo Floreña, formación Guadalupe.

BIBLIOGRAFIA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS. Producción Mensual de petróleo. Disponible [en línea] <<http://www.anh.gov.co/Operaciones-Regalias-yParticipaciones/Sistema-Integrado-de-Operaciones/Paginas/Estadisticas-deProduccion.aspx>> Bogotá. 2015. BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano. 2005. 413 p.

BACA, Guillermo. Ingeniería económica. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano. 2005. p.266

BAKER HUGHES. Drill Bit Foundation. A comprehensive introduction to drill bits. Versión 5.0. 2008.

BAKER HUGHES. Fundamentos de las Brocas. Bogotá: Baker Hughes, 2003. 210 p.

BAKER HUGHES, a GE company, 2018. StayCool 2.0 Multidimensional Cutter Technology.

BAKER HUGHES, a GE company, 2018. StayCool 2.0 Multidimensional Cutter Technology.

CLEGG, John Martin. 2006. Faster, Longer, and More Reliable Bit Runs With New-Generation Thermostable PDC Cutter. Paper presented At 2006 SPE

DURRAND. J.C; SKEEM .M.R.. 2010. Thick PDC, Shaped Cutters For Geothermal Drilling: A Fixed Cutter Solution For a Roller Cone Drilling Environment. Paper presented At 2010 ARMA

HUGHES CHRISTENSEN COMPANY. Endura, GT and High Flow are trademarks. 1999. Sistema Estandarizado de Graduación Desgaste de Trépanos. P 3-8

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de trabajos escritos. NTC-1486-6166.. Bogotá: El instituto, 2018. ISBN 9879588585673 153 p.

MENDIETA, H.J; SUAREZ, L.O. Relacion entre la resistencia a compression uniaxial (UCS) y parametros indice de rocas sedimentarias. p, 44. 2004.

STOCKEY, David; DIGIOVANN, Anthony; FUSELIER, Danielle; Gavia, David; Zolnowsky Matt; Phillips Russell; Ridgway Derek. 2014. Innovate non-planar face PDC cutters demonstrate 21% drilling efficiency improvement in interbedded lutitas and sand. Paper presented At 2014 SP

ANEXOS

ANEXO A REPORTE BIT BROCA 1, BAKER HUGHES

Time			Total Distance & ROP				Slide				Rotate				Parameters	Max WOB	40	
Time In:	16/oct/2014 10:15	Time Range:	40:45	MD In:	14415	Foot Drilled:	170	Foot Drilled:	0	Slide ROP:	0,00	Foot Drilled:	170	Rotate ROP:		5,90	Min WOB	5
Time Out:	18/oct/2014 03:00	Effective Time:	28:80	MD Out:	14585	Effective ROP:	5,9	Effective Time:	0,00	%Slide ft:	0,00	Effective Time:	28,80	% Rotate ft:		100,00	Avg WOB	23

	Date	Md From	Md To	Start Time	End Time	Drill Time	Conn Time	Foot Drilled	Acum. Footage	Drilling Loss Time	Effective Time	Acum. Time	ROP Stand	ROP Aveq	Rotate / Side	WOB	RPM TDrive	RPM Motor	RPM Totals	Flow	Torque	SPP On	SPP Off	ΔP	MSE	H.S.I	TRC Krevs	Svy MD	Incl	Azimuth	Dog Leg	MW	Formation Name		
		(dd/mm)	(ft)	(ft)	(hh:mm)	(hh:mm)	(hh:mm)	(hh:mm)	(ft)	(ft)	(hh:mm)	(Hrs)	(Hrs)	(ft/h)	(ft/h)	R / S	(Kbf)	(Rv/min)	(Rv/min)	(Rv/min)	(gal/min)	(kips-ft)	(psi)	(psi)	(psi)	(ksi)	(hp/ft2)	(Kevs)	(ft)	(°)	(°)	(°/100 ft)		(ppg)	
1	16/oct	14415	14420	10:15	10:45	0:30		5	5		0,50	0,50	10,00	10,00	R	5	10	90	110	110,00	500	14	16	2000	2000	0,0	1169,4	1,2	3,3					8,9	BUADALUPE SHALE
2		14420	14425	10:50	11:00	0:10	0:05	5	10		0,17	0,67	30,00	15,00	R	15	22	110	120	120,00	630	15	18	2980	2980	0,0	478,7	2,435	4,5	14438	12,08	54,01	0,32	8,9	BUADALUPE SHALE
3		14425	14455	15:10	18:00	2:50	4:10	30	40		2,83	3,50	10,59	11,43	R	20	20	140	150	150,00	630	14	18	2940	2940	0,0	1694,5	2,4	30,0	14465,00	11,70	53,97	1,41	8,9	BUADALUPE SHALE
4		14455	14478	18:20	21:30	3:10	0:20	23	63		3,17	6,67	7,26	9,45	R	18	19	140	140	140,00	630	13	16	3200	3200	0,0	2049,3	2,4	56,6					8,9	BUADALUPE SHALE
5		14478	14482	21:30	22:50	1:20	0:00	4	67		1,33	8,00	3,00	8,38	R	20	22	150	150	150,00	630	15	18	2980	2980	0,0	5979,6	2,4	68,6					8,9	BUADALUPE SHALE
6	17/oct	14482	14487	22:50	0:00	1:10	0:00	5	72		1,17	9,17	4,29	7,85	R	20	25	140	160	160,00	630	15	17	2940	2940	0,0	4216,9	2,4	79,8	14495,00	11,22	52,87	1,76	8,9	BUADALUPE SHALE
7		14487	14500	0:40	3:00	2:20	0:40	13	85		2,33	11,50	5,57	7,39	R	25	30	150	150	150,00	630	13	18	2940	2940	0,0	3220,1	2,4	100,8					8,9	BUADALUPE SHALE
8		14500	14515	3:54	6:00	2:06	0:54	15	100		2,10	13,60	7,14	7,35	R	25	20	125	140	140,00	630	14	16	2980	2980	0,0	2083,8	2,4	118,4	14521,00	11,21	51,33	1,15	8,9	BUADALUPE SHALE
9		14515	14530	7:00	9:40	2:40	1:00	15	115		2,67	16,27	5,63	7,07	R	25	32	165	150	150,00	630	12	19	2940	2940	0,0	3366,7	2,4	142,4					8,9	BUADALUPE SHALE
10		14530	14542	10:20	11:30	1:10	0:40	12	127		1,17	17,43	10,29	7,28	R	20	30	150	150	150,00	630	15	18	2940	2940	0,0	1744,5	2,4	152,9	14544,00	11,36	49,40	1,77	8,9	BUADALUPE SHALE
11		14542	14550	12:00	14:00	2:00	0:30	8	135		2,00	19,43	4,00	6,95	R	25	25	150	150	150,00	630	13	18	2980	2980	0,0	4484,9	2,4	170,9					8,9	BUADALUPE SHALE
12		14550	14561	16:00	17:15	1:15	2:00	11	146		1,25	20,68	8,80	7,06	R	25	22	160	160	160,00	630	14	17	2960	2960	0,0	2053,9	2,4	182,9					8,9	JADALUPE FOSFATIC
13		14561	14571	17:45	22:00	4:15	0:30	10	156		4,25	24,93	2,35	6,26	R	20	25	150	165	165,00	630	15	18	2900	2900	0,0	8386,3	2,4	225,0					8,9	JADALUPE FOSFATIC
14	18/oct	14571	14576	23:00	1:00	2:00	1:00	5	161		2,00	26,93	2,50	5,98	R	30	37	160	150	150,00	600	14	18	2650	2650	0,0	7175,7	2,1	243,0					8,9	JADALUPE FOSFATIC
15		14576	14582	1:00	2:13	1:13	0:00	6	167		1,22	28,15	4,93	5,93	R	37	39	130	140	140,00	600	15	16	2720	2720	0,0	3018,4	2,1	253,2					9	JADALUPE FOSFATIC
16		14582	14584	2:21	2:40	0:19	0:08	2	169		0,32	28,47	6,32	5,94	R	37	40	130	130	130,00	600	15	16	2980	2980	0,0	2188,7	2,1	255,7					9	JADALUPE FOSFATIC
17		14584	14585	2:40	3:00	0:20	0:00	1	170		0,33	28,80	3,00	5,90	R	35	37	125	130	130,00	600	14	16,00	3140	3140	0,0	4606,9	2,1	258,3					9	JADALUPE FOSFATIC

ANEXO B REPORTE BIT BROCA 2, BAKER HUGHES

Time				Total Distance & ROP				Slide				Rotate				Parameters	Max WOB	48
Time In:	27/ago/2013 08:28	Time Range:	56:27	MD In:	14230	Foot Drilled:	97	Foot Drilled:	0	Slide ROP:	0,00	Foot Drilled:	97	Rotate ROP:	2,46		Min WOB	14
Time Out:	29/ago/2013 16:55	Effective Time:	39,50	MD Out:	14327	Effective ROP:	2,456	Effective Time:	0,00	%Slide ft:	0,00	Effective Time:	39,50	%Rotate ft:	100,00		Avg WOB	31

	Date	Md From	Md To	Start Time	End Time	Drill Time	Conn Time	Foot Drilled	Acum. Footage	Drilling Loss Time	Effectiv Time	Acum. Time	ROP Stand	ROP Aveg	Rotate / Slide	WOB	RPM TDrive	RPM Motor	RPM Totals	Flow	Tq	SPP On	SPP Off	ΔP	MSE	H.S.I	TRC Krevs	SvyMD	Incl	Azimuth	Dog Leg	M/W	Formation Name		
	(dd/mm)	(ft)	(ft)	(hh:mm)	(hh:mm)	(hh:mm)	(hh:mm)	(ft)	(ft)	(hh:mm)	(Hrs)	(Hrs)	(ft/h)	(ft/h)	R / S	(Kbf)	(Rv/min)	(Rv/min)	(Rv/min)	(gal/min)	(kbs-ft)	(psi)	(psi)	(psi)	(ksi)	(hp/hz)	(Krevs)	(ft)	(°)	(°)	(°/100 ft)	(ppg)			
1	27/ago	14230	14236	8:28	09:57	1:29		6	6		1,48	1,48	4,04	4,04	R	1	14	88	93	93	544	5	7	2993	2993	0	1069,5	2,996	8,277	14226	14,28	36,08	1,25	8,2	Guadalupe Massive
4	27/ago	14236	14251	10:07	14:30	4:23	0:10	15	21		4,38	5,87	3,42	3,58	R	0	23	79	91	91	547	6	9	2678	2678	0	1590,4	3,046	32,21					8,2	Guadalupe Massive
5	27/ago	14251	14252	14:50	15:18	0:28	0:20	1	22		0,47	6,33	2,14	3,47	R	17	25	79	94	94	594	7	9	3060	3060	0	2623,3	3,900	34,842					8,2	Guadalupe Massive
6	27/ago	14252	14262	15:27	19:58	4:31	0:09	10	32		4,52	10,85	2,21	2,95	R	6	32	94	110	110	597	7	9	3040	3040	0	2971,2	3,959	64,652					8,2	Guadalupe Massive
7	27/ago	14262	14271	20:09	23:35	3:26	0:11	9	41		3,43	14,28	2,62	2,87	R	25	37	100	119	119	602	7	11	2828	2828	0	3318,2	4,060	89,166					8,2	Guadalupe Massive
8	28/ago	14271	14282	0:25	04:18	3:53	0:50	11	52		3,88	18,17	2,83	2,86	R	0	38	99	113	113	602	8	10	2822	2822	0	2651,0	4,060	115,495					8,2	Guadalupe Massive
9	28/ago	14282	14286	4:48	06:59	2:11	0:30	4	56		2,18	20,35	1,83	2,75	R	27	43	89	105	105	603	8	10	2831	2831	0	3808,4	4,080	129,25					8,2	Guadalupe Massive
10	28/ago	14286	14295	7:16	11:15	3:59	0:17	9	65		3,98	24,33	2,26	2,67	R	36	46	87	95	95	551	8	10	2475	2475	0	2794,2	3,113	151,955					8,2	Guadalupe Massive
11	28/ago	14295	14299	11:32	14:23	2:51	0:17	4	69		2,85	27,18	1,40	2,54	R	36	45	86	108	108	600	8	10	2807	2807	0	5113,0	4,019	170,423					8,2	Guadalupe Massive
12	28/ago	14299	14303	14:40	15:46	1:06	0:17	4	73		1,10	28,28	3,64	2,58	R	31	43	89	120	120	549	8	11	2406	2406	0	2412,4	3,079	178,343					8,2	Guadalupe Massive
13	28/ago	14303	14309	15:55	16:55	1:00	0:09	6	79		1,00	29,28	6,00	2,70	R	0	44	94	121	121	596	8	11	2799	2799	0	1474,5	3,939	185,603					8,2	Guadalupe Massive
14	29/ago	14309	14326	17:02	23:58	6:56	0:07	17	96		6,93	36,22	2,45	2,65	R	21	48	86	110	110	550	7	11	2427	2427	0	3279,4	3,096	231,363					8,2	Guadalupe Massive
15	29/ago	14326	14327	0:43	04:00	3:17	0:45	1	97		3,28	39,50	0,30	2,46	R	39	44	101	112	112	600	8	10	2800	2800	0	24431,5	4,019	253,427					8,2	Guadalupe Massive

ANEXO C REPORTE BIT BROCA 3, BAKER HUGHES

Time		Total Distance & ROP						Slide				Rotate					Parameters		Max WOB
Time In:	09/ago/2014 04:45	Time Range:	122-53	MD In:	6369	Foot Drilled:	2692	Foot Drilled:	0	Slide ROP:	0.00	Foot Drilled:	2692	Rotate ROP:	28.70			60	
Time Out:	14/ago/2014 07:38	Effective Time:	93.80	MD Out:	9061	Effective ROP:	28.7	Effective Time:	0.00	%Slide ft:	0.00	Effective Time:	93.80	%Rotate ft:	100.00			10	
																		Avg WOB	35

	Date	Mid From (sk/mm)	Mid To (ft)	Start Time (hh:mm)	End Time (hh:mm)	Drill Time (hh:mm)	Conn- Time (hh:mm)	Foot Drilled (ft)	Acum. Footage (ft)	Dilling Loss Time (hh:mm)	Effective Time (Hrs)	Acum. Time (Hrs)	ROP Stand (ft/h)	ROP Aveg (ft/h)	Rotate/ Slide R/S	WOB (Klb)	RPM TDrive (R/min)	RPM Motor (R/min)	ROP Tatms (R/min)	Flow (gpm)	Torque (ft-lb)	SPP On		AP (psi)	MSE (kpi)	H.S.J (hp/k2)	TRC Keys (Keys)	Svy MD (ft)	Icd (ft)	Azimuth (°)	Dog Lag (°/100 ft)	MW (ppg)	Formation Name				
																						(psi)	(psi)														
1	09/ago	6369	6375	4:45	5:10	0:25		6	6				0.42	0.42	14.40	14.40	R	10	35	115	115	115.00	800	10	13.00	2918	2918	0.0	229.3	2.0	2.9					C7	
2		6375	6412	5:10	6:00	0:50		37	43				0.83	1.25	44.40	34.40	R	40	40	120	120	120.00	800	13	15.00	2850	2850	0.0	89.7	1.964	8.9	6463	9.91	29.16	2.26	11	C7
3		6412	6482	6:00	7:00	1:00		70	113				1.00	2.25	70.00	59.22	R	37	40	115	120	120.00	800	12	14.00	2930	2930	0.0	53.2	2.0	16.1	6508.00	11.16	25.47	3.16	11	C7
4		6482	6520	9:00	10:00	1:00		38	151				1.00	3.25	38.00	46.46	R	40	40	115	115	115.00	800	10	15.00	3120	3120	0.0	100.4	2.0	23.0	6558.00	12.14	22.62	2.27	11	C7
5		6520	6567	11:00	12:00	1:00		47	198				1.00	4.25	47.00	46.59	R	40	40	115	115	115.00	800	10	13.00	3120	3120	0.0	70.4	2.0	29.9	6653.00	14.01	25.81	2.11	11	C7
6		6567	6700	13:00	15:00	2:00		100	333				2.00	6.25	66.50	52.96	R	40	45	110	114	114.00	800	14	17.00	3120	3120	0.0	64.6	2.0	43.6	6749.00	16.37	26.66	2.47	11	C7
7		6700	6800	17:00	20:10	3:10		200	431				3.17	9.42	31.58	45.77	R	40	45	120	120	120.00	800	13	15.00	3120	3120	0.0	126.0	2.0	66.4	6847.00	18.90	25.87	2.59	11	C7
8		6800	6860	21:30	22:30	1:00		60	491				1.00	10.42	60.00	47.14	R	40	45	120	120	120.00	800	13	15.00	3120	3120	0.0	66.5	2.0	73.6					11	C7
9		6860	6886	22:30	0:00	1:30		26	517				1.50	11.92	17.33	43.38	R	40	45	120	120	120.00	850	13	15.00	3120	3120	0.0	229.4	2.4	84.4					11	C7
10	10/ago	6886	6930	3:20	3:00	1:40		44	561				1.67	13.58	26.40	41.30	R	40	45	120	140	140.00	850	15	18.00	3120	3120	0.0	210.9	2.4	98.4	6940.00	21.47	24.37	2.82	11	C7
11		6930	7000	3:20	4:30	1:10		70	631				1.17	14.75	60.00	42.78	R	40	45	120	140	140.00	850	15	16.00	3200	3200	0.0	82.6	2.4	108.2	7034.00	23.93	22.92	2.68	11	C7
12		7000	7090	4:30	6:10	1:40		90	721				1.67	16.42	54.00	43.92	R	40	40	118	115	115.00	850	8	10.00	3170	3170	0.0	47.2	2.4	119.7	7128.00	25.08	24.17	1.34	11.3	C7
13		7090	7299	7:33	10:00	2:27		123	840				2.45	19.87	48.57	44.52	R	30	40	110	140	140.00	850	16	22.00	3307	3307	0.0	140.1	2.4	140.2	7222.00	25.12	24.78	0.28	11.3	C7
14		7299	7316	10:50	12:30	1:40		107	947				1.67	20.53	64.20	46.12	R	36	45	120	120	120.00	850	15	16.00	3300	3300	0.0	66.2	2.4	152.2	7318.00	25.10	25.87	0.48	11.3	C7
15		7316	7420	13:00	15:00	2:00		104	1051				2.00	22.53	52.00	46.64	R	45	50	110	115	115.00	850	15	17.00	3260	3260	0.0	83.2	2.4	166.0	7507.00	25.18	26.43	0.12	11.3	C7
16		7420	7532	16:00	17:00	1:00		112	1163				1.00	23.53	112.00	49.42	R	45	50	110	115	115.00	850	15	17.00	3250	3250	0.0	38.8	2.4	172.9	7602.00	25.05	25.78	0.32	11.3	C7
17		7532	7635	17:40	20:00	2:20		103	1266				2.33	25.87	44.14	48.94	R	45	45	110	120	120.00	850	18	20.00	3200	3200	0.0	120.2	2.4	189.7	7696.00	25.05	25.50	0.13	11.3	C7
18		7635	7700	21:40	22:36	0:56		65	1331				0.93	26.80	69.64	49.66	R	45	50	90	110	110.00	850	10	15.00	3250	3250	0.0	52.6	2.4	195.9					11.3	C7
19	11/ago	7700	7739	22:40	0:00	1:20		39	1370				1.33	28.13	29.25	48.70	R	45	45	90	120	120.00	850	18	20.00	3220	3220	0.0	181.3	2.4	205.5	7792.00	25.31	24.87	0.39	11.3	C7
20		7739	7800	1:00	4:00	3:00		61	1431				3.00	31.13	20.33	45.96	R	45	50	110	120	120.00	850	14	18.00	3240	3240	0.0	234.7	2.4	227.1					11.3	C7
21		7800	7880	4:00	5:40	1:00		80	1511				1.67	32.80	48.00	48.07	R	35	53	110	120	120.00	850	14	15.00	3220	3220	0.0	83.0	2.4	239.1	7888.00	25.23	23.83	0.47	11.3	C7
22		7880	8045	6:00	10:00	4:00		220	1676				4.00	36.80	41.25	45.54	R	45	55	110	115	115.00	900	18	20.00	3620	3620	0.0	123.3	2.9	266.7	8077.00	25.40	22.34	0.45	11.3	C7
23		8045	8087	10:50	11:40	0:50		42	1718				0.83	37.63	50.40	45.65	R	50	55	100	120	120.00	900	14	15.00	3620	3620	0.0	79.1	2.9	272.7					11.3	C7
24		8087	8120	12:50	15:00	2:10		33	1751				2.17	39.80	15.23	43.99	R	55	55	110	120	120.00	900	16	18.00	3580	3580	0.0	313.2	2.9	288.3	8172.00	25.35	23.74	0.63	11.3	C7
25		8120	8213	15:30	17:30	2:00		93	1844				2.00	41.80	46.50	44.11	R	50	55	110	120	120.00	900	8	14.00	3620	3620	0.0	80.0	2.9	302.7					11.3	C7
26		8213	8264	17:30	19:00	1:30		51	1895				1.50	43.30	34.00	43.76	R	50	55	115	120	120.00	900	16	18.00	3530	3530	0.0	140.5	2.9	313.5	8266.00	25.35	24.43	0.31	11.3	C7
27		8264	8300	20:00	22:00	2:00		36	1931				2.00	45.30	18.00	42.63	R	50	55	80	110	110.00	900	14	15.00	3500	3500	0.0	202.6	2.9	326.7					11.3	C7
28	12/ago	8300	8328	22:10	0:00	1:50		28	1969				1.83	47.13	15.27	41.56	R	55	50	90	120	120.00	900	10	12.00	3540	3540	0.0	208.3	2.9	339.9	8361.00	25.26	22.80	0.74	11.3	C7
29		8328	8400	2:00	3:50	1:50		72	2031				1.83	48.97	39.27	41.48	R	50	50	80	120	120.00	900	14	19.00	3450	3450	0.0	128.4	2.9	353.1					11.3	C7
30		8400	8428	4:05	5:40	1:35		28	2059				1.58	50.55	17.68	40.73	R	55	55	90	115	115.00	900	12	15.00	3560	3560	0.0	215.5	2.9	364.0					11.3	C7
31		8428	8439	5:40	6:30	0:50		11	2070				0.83	51.38	13.20	40.29	R	50	55	85	115	115.00	900	12	15.00	3560	3560	0.0	288.6	2.9	369.8					11.3	C7
32		8439	8455	6:30	8:30	2:00		16	2086				2.00	53.38	8.00	39.98	R	50	55	80	100	100.00	850	14	15.00	3200	3200	0.0	414.0	2.4	381.8	8457.00	25.27	21.75	0.47	11.3	C7
33		8455	8554	9:30	11:50	2:20		100	2185				2.33	55.72	42.43	39.22	R	50	55	90	125	125.00	850	15	18.00	3200	3200	0.0	117.3	2.4	399.3	8554.00	25.33	20.29	0.65	11.3	C7
34		8554	8610	13:00	15:08	2:08		56	2241				2.13	57.85	26.25	38.74	R	50	55	80	120	120.00	850	15	17.00	3200	3200	0.0	171.8	2.4	414.6					11.3	C7
35		8610	8644	15:10	17:25	2:15		34	2275				2.25	60.10	15.11	37.85	R	50	55	90	110	110.00	850	13	15.00	3200	3200	0.0	241.2	2.4	429.5	8647.00	25.31	21.82	0.70	11.3	C7
36		8644	8667	17:25	20:00	2:35		23	2298				2.58	62.68	8.90	36.66	R	50	55	80	100	100.00	850	13	15.00	3200	3200	0.0	372.0	2.4	445.0					11.3	C7
37		8667	8690	20:40	21:30	0:50		23	2321				0.83	63.52	27.60	36.54	R	50	55	90	110	110															

43		14793	14809	2:00	3:00	1:00	0:00	16	567	1,00	41,08	16,00	13,80	R	30	32	100	115	115	550	16	18	3050	3050	0	860,1	0,000	259,783	14830	8,15	300,7	0,97	LOS CUERVOS	
44		14809	14831	3:55	5:00	1:05	0:55	22	589	1,08	42,17	20,31	13,97	R	30	32	100	115	115	550	16	18	3050	3050	0	677,8	0,000	267,258					LOS CUERVOS	
45		14831	14853	5:00	6:00	1:00	0:00	22	611	1,00	43,17	22,00	14,15	R	20	30	100	115	115	550	16	18	3050	3050	0	625,6	0,000	274,158					LOS CUERVOS	
46		14853	14861	6:00	6:36	0:36	0:00	8	619	0,60	43,77	13,33	14,14	R	20	30	100	115	115	550	16	18	3050	3050	0	1031,9	0,000	278,298					LOS CUERVOS	
47		14861	14882	6:56	8:00	1:04	0:20	21	640	1,07	44,83	19,69	14,28	R	20	30	100	115	115	550	16	18	3100	3100	0	699,1	0,000	285,658					LOS CUERVOS	
48		14882	14888	8:00	8:29	0:29	0:00	6	646	0,48	45,32	12,41	14,28	R	20	30	100	115	115	550	16	18	3100	3100	0	1108,3	0,000	288,993					LOS CUERVOS	
49		14888	14898	8:59	9:39	0:40	0:30	10	656	0,67	45,98	15,00	14,27	R	20	30	100	115	115	550	17	19	3100	3100	0	968,3	0,000	293,593					LOS CUERVOS	
50		14898	14904	9:56	10:24	0:28	0:17	6	662	0,47	46,45	12,86	14,25	R	20	30	100	115	115	550	17	19	3100	3100	0	1129,6	#REF!	296,813					LOS CUERVOS	
51		14904	14910	12:39	13:01	0:22	2:15	6	668	0,37	46,82	16,36	14,27	R	20	30	115	115	115	550	17	19	3050	3050	0	887,6	0,000	299,343					LOS CUERVOS	
52		14910	14925	13:39	14:52	1:13	0:38	15	683	1,22	48,03	12,33	14,22	R	20	30	115	115	115	550	17	19	3050	3050	0	1178,0	0,000	307,738					LOS CUERVOS	
53		14925	14926	15:04	15:10	0:06	0:12	1	684	0,10	48,13	10,00	14,21	R	20	30	110	120	120	550	16	18	3050	3050	0	1435,5	0,000	308,458					LOS CUERVOS	
54		14926	14930	16:10	16:53	0:43	1:00	4	688	0,72	48,85	5,58	14,08	R	20	30	110	120	120	550	16	18	3050	3050	0	2571,6	0,000	313,618					LOS CUERVOS	
55		14930	14932	17:04	17:18	0:14	0:11	2	690	0,23	49,08	8,57	14,06	R	20	30	110	120	120	550	13	20	3050	3050	0	1860,7	0,000	315,298					LOS CUERVOS	
56		14932	14934	18:14	18:32	0:18	0:56	2	692	0,30	49,38	6,67	14,01	R	20	25	120	125	125	550	13	20	3050	3050	0	2491,8	0,000	317,548					LOS CUERVOS	
57		14934	14936	18:50	19:02	0:12	0:18	2	694	0,20	49,58	10,00	14,00	R	20	25	120	125	125	550	13	20	3050	3050	0	1661,3	0,000	319,048	14936	7,42	297,66	0,79	LOS CUERVOS	
58		14936	14938	19:16	19:30	0:14	0:14	2	696	0,23	49,82	8,57	13,97	R	20	25	120	130	130	550	13	20	3050	3050	0	2015,7	0,000	320,868					LOS CUERVOS	
59		14938	14947	19:45	21:00	1:15	0:15	9	705	1,25	51,07	7,20	13,81	R	15	20	125	130	130	550	15	18	3050	3050	0	2159,5	0,000	330,618					LOS CUERVOS	
60		14947	14948	21:00	21:19	0:19	0:00	1	706	0,32	51,38	3,16	13,74	R	15	20	125	130	130	550	15	18	3050	3050	0	4923,3	0,000	333,088	14951	7,2	297,04	1,56	LOS CUERVOS	
61		14948	14958	21:35	22:30	0:55	0:16	10	716	0,92	52,30	10,91	13,69	R	15	20	125	130	130	550	15	18	3050	3050	0	1425,4	0,000	340,238					LOS CUERVOS	
62		14958	14970	22:30	23:33	1:03	0:00	12	728	1,05	53,35	11,43	13,65	R	15	20	125	130	130	550	15	18	3050	3050	0	1360,6	0,000	348,428					LOS CUERVOS	
63	01/oct	14970	14976	2:02	2:36	0:34	2:29	6	734	0,57	53,92	10,59	13,61	R	15	20	125	130	130	550	15	18	3100	3100	0	1468,6	0,000	352,848					LOS CUERVOS	
64		14976	14980	2:50	4:00	1:10	0:14	4	738	1,17	55,08	3,43	13,40	R	20	25	125	130	130	550	15	18	3100	3100	0	4534,7	0,000	361,948					LOS CUERVOS	
65		14980	14983	4:00	4:35	0:35	0:00	3	741	0,58	55,67	5,14	13,31	R	20	25	125	130	130	550	15	18	3100	3100	0	3023,3	0,000	366,498					LOS CUERVOS	
66		14983	14986	4:46	5:39	0:53	0:11	3	744	0,88	56,55	3,40	13,16	R	20	25	125	130	130	550	15	18	3120	3120	0	4577,9	0,000	373,388					LOS CUERVOS	
67		14986	14990	5:50	7:00	1:10	0:11	4	748	1,17	57,72	3,43	12,96	R	20	25	125	130	130	550	15	18	3120	3120	0	4534,7	0,000	382,488					LOS CUERVOS	
68		14990	14991	7:00	7:32	0:32	0:00	1	749	0,53	58,25	1,88	12,86	R	20	25	125	130	130	550	15	18	3150	3150	0	8291,7	0,000	386,648					LOS CUERVOS	
69		14991	14997	7:59	8:50	0:51	0:27	6	755	0,85	59,10	7,06	12,77	R	20	25	115	120	120	550	15	18	3150	3150	0	2033,4	0,000	392,768					LOS CUERVOS	
70		14997	15000	9:40	10:06	0:26	0:50	3	758	0,43	59,53	6,92	12,73	R	15	25	120	120	120	550	15	18	3120	3120	0	2073,2	0,000	395,888					LOS CUERVOS	
71		15000	15002	10:59	11:13	0:14	0:53	2	760	0,23	59,77	8,57	12,72	R	15	25	120	120	120	550	13	23	3120	3120	0	2139,7	0,000	397,568					LOS CUERVOS	
72		15002	15003	11:46	11:56	0:10	0:33	1	761	0,17	59,93	6,00	12,70	R	10	25	125	135	135	550	13	23	3120	3120	0	3438,5	0,000	398,918					LOS CUERVOS	
73		15003	15005	12:13	12:46	0:33	0:17	2	763	0,55	60,48	3,64	12,62	R	18	25	125	125	125	550	13	23	3120	3120	0	5253,0	0,000	403,043					LOS CUERVOS	
74		15005	15007	13:06	13:40	0:34	0:20	2	765	0,57	61,05	3,53	12,53	R	18	25	120	120	120	550	10	24	3100	3100	0	5421,6	0,000	407,123					LOS CUERVOS	
75		15007	15009	14:11	14:32	0:21	0:31	2	767	0,35	61,40	5,71	12,49	R	18	25	120	120	120	550	10	24	3100	3100	0	3348,8	0,000	409,643					LOS CUERVOS	
76		15009	15011	14:45	15:10	0:25	0:13	2	769	0,42	61,82	4,80	12,44	R	20	30	110	110	110	550	13	21	3100	3100	0	3197,8	0,000	412,393					LOS CUERVOS	
77		15011	15012	15:24	15:39	0:15	0:14	1	770	0,25	62,07	4,00	12,41	R	18	25	110	110	110	550	15	18	3100	3100	0	3289,0	0,000	414,043					LOS CUERVOS	
78		15012	15013	15:57	16:12	0:15	0:18	1	771	0,25	62,32	4,00	12,37	R	18	22	130	130	130	550	15	18	3100	3100	0	3886,9	0,000	415,993					LOS CUERVOS	
79		15013	15015	16:55	18:00	1:05	0:43	2	773	1,08	63,40	1,85	12,19	R	18	22	130	130	130	550	15	18	3100	3100	0	8421,1	0,000	424,443					LOS CUERVOS	
80		15015	15016	18:00	18:42	0:42	0:00	1	774	0,70	64,10	1,43	12,07	R	18	22	130	130	130	550	15	18	3100	3100	0	10882,6	1,857	429,903	15016	6,682	294,936	0,89	10,2	LOS CUERVOS

ANEXO E REPORTE BIT BROCA 5, BAKER HUGHES

Time				Total Distance & ROP				Slide				Rotate				Parameters		Max WOB	32
Time In:	05/oct/2016 22:42	Time Range:	71.06	MD In:	15016	Foot Drilled:	320	Foot Drilled:	0	Slide ROP:	0,00	Foot Drilled:	320	Rotate ROP:	6,11	Parameters		Min WOB	2
Time Out:	08/oct/2016 21:46	Effective Time:	52,35	MD Out:	15336	Effective ROP:	6,113	Effective Time:	0,00	%Slide ft:	0,00	Effective Time:	52,35	%Rotate ft:	100,00	Parameters		Avg WOB	17

	Date	M/d From	M/d To	Start Time	End Time	Drill Time	Conn Time	Foot Drilled	Acum. Footage	Drilling Loss Time	Effectiv. Time	Acum. Time	ROP Stand	ROP Avg	Rotate / Slide	WOB	RPM TDrive	RPM Motor	RPM Totals	Flow	Torque	SPP On	SPP Off	ΔP	MSE	H.S.I	TRC Krevs	SrvMD	Incl	Asimuth	Dog Leg	MW	Formation Name			
	(dd/mm)	(t)	(t)	(hh:mm)	(hh:mm)	(hh:mm)	(hh:mm)	(ft)	(ft)	(hh:mm)	(Hrs)	(Hrs)	(ft/h)	(ft/h)	R / S	(Kbf)	(Rv/min)	(Rv/min)	(Rv/min)	(gal/min)	(kbs-ft)	(psi)	(psi)	(psi)	(ksi)	(hp/h2)	(Krevs)	(ft)	(°)	(°)	(/100 ft)	(ppg)				
1	05/oct	15016	15018	22:42	23:16	0:34	0:00	2	2		0.57	0.57	3.53	3.53	R	5	10	100	100	100	550	15	16	3100	3100	0	3011.9	1.857	3.4	15024	6.89	234.82	0.57	10.2	LOS CUERVOS	
2		15018	15026	23:16	0:00	0:44	0:00	8	10		0.73	1.30	10.91	7.69	R	10	30	100	117	117	550	17	20	3080	3080	0	1425.6	0.000	8.548							LOS CUERVOS
3		15026	15039	0:00	1:00	1:00	0:00	13	23		0.83	2.13	15.60	10.78	R	30	32	117	120	120	550	18	20	3050	3050	0	1022.7	0.000	14.548							LOS CUERVOS
4		15039	15055	1:00	2:00	1:00	0:00	16	39		1.00	3.13	16.00	12.45	R	30	32	120	120	120	550	18	20	3050	3050	0	997.1	0.000	21.748							LOS CUERVOS
5		15055	15068	2:00	2:56	0:56	0:00	13	52		0.93	4.07	13.93	12.79	R	30	32	120	120	120	550	18	20	3050	3050	0	1145.3	0.000	28.468							LOS CUERVOS
6		15068	15084	3:30	4:26	0:56	0:34	16	68		0.93	5.00	17.14	13.60	R	30	32	120	120	120	550	18	20	3050	3050	0	930.7	0.000	35.188							LOS CUERVOS
7		15084	15090	4:32	5:03	0:31	0:06	6	74		0.52	5.52	11.61	13.41	R	30	32	120	120	120	550	17	19	3050	3050	0	1304.9	0.000	38.908							LOS CUERVOS
8		15090	15095	5:17	7:00	0:43	1:14	5	79		0.72	6.23	6.98	12.67	R	25	30	120	120	120	500	17	19	2700	2700	0	2171.7	0.000	44.068							LOS CUERVOS
9		15095	15102	7:00	8:00	1:00	0:00	7	86	0:07	0.88	7.12	7.92	12.08	R	25	30	120	110	110	500	17	19	2700	2700	0	1752.7	0.000	49.898							LOS CUERVOS
10		15102	15109	8:00	9:00	1:00	0:00	7	93	0:08	0.87	7.98	8.08	11.63	R	25	30	110	110	110	500	16	18	2700	2700	0	1629.2	0.000	55.618							LOS CUERVOS
11		15109	15114	9:00	10:00	1:00	0:00	5	98	0:06	0.90	8.88	5.56	11.05	R	25	30	110	100	100	500	16	18	2700	2700	0	2153.1	0.000	61.018							LOS CUERVOS
12		15114	15119	10:00	11:00	1:00	0:00	5	103	0:08	0.87	9.75	5.77	10.56	R	20	25	100	120	120	500	17	19	2700	2700	0	2626.0	0.000	67.258	15119	6.29	293.44	0.65			LOS CUERVOS
13		15119	15124	12:00	12:35	0:35	0:00	5	108		0.58	10.33	8.57	10.45	R	15	28	120	122	122	500	13	24	2700	2700	0	2269.9	0.000	71.528							LOS CUERVOS
14		15124	15128	13:00	13:51	0:51	0:25	4	112		0.85	11.18	4.71	10.01	R	10	20	110	125	125	500	13	24	2700	2700	0	4235.6	0.000	77.903							LOS CUERVOS
15		15128	15133	14:00	15:00	1:00	0:09	5	117		1.00	12.18	5.00	9.60	R	10	24	115	118	118	500	15	19	2700	2700	0	2979.4	0.000	84.983							LOS CUERVOS
16		15133	15144	15:00	16:00	1:00	0:00	11	128		1.00	13.18	11.00	9.71	R	22	30	116	116	116	500	18	20	2700	2700	0	1401.7	0.000	91.943							LOS CUERVOS
17		15144	15153	16:00	17:00	1:00	0:00	9	137		1.00	14.18	9.00	9.66	R	25	30	116	116	116	500	18	20	2700	2700	0	1713.1	0.000	98.903							LOS CUERVOS
18		15153	15164	17:00	18:00	1:00	0:00	11	148		1.00	15.18	11.00	9.75	R	25	30	110	110	110	500	18	20	2700	2700	0	1329.2	0.000	105.503							LOS CUERVOS
19		15164	15177	18:00	19:00	1:00	0:00	13	161		1.00	16.18	13.00	9.95	R	25	30	110	110	110	500	18	20	2700	2700	0	1124.8	0.000	112.103							LOS CUERVOS
20		15177	15184	19:00	19:42	0:42	0:00	7	168		0.70	16.88	10.00	9.95	R	25	30	110	110	110	500	18	20	2700	2700	0	1462.1	0.000	116.723							LOS CUERVOS
21		15184	15192	20:49	22:00	1:11	1:07	8	176	0:11	1.00	17.88	8.00	9.84	R	20	30	110	120	120	500	16	19	2680	2680	0	1894.0	0.000	123.923							LOS CUERVOS
22		15192	15198	22:00	23:00	1:00	0:00	6	182		1.00	18.88	6.00	9.64	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2680	2680	0	2658.0	0.000	131.123							LOS CUERVOS
23		15198	15207	23:00	0:00	1:00	0:00	9	191		1.00	19.88	9.00	9.61	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2680	2680	0	1772.2	0.000	138.323	15215	5.46	291.68	0.88			LOS CUERVOS
24	07/oct	15207	15217	0:00	1:00	1:00	0:00	10	201	0:09	0.85	20.73	11.76	9.69	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2650	2650	0	1355.8	0.000	144.443							LOS CUERVOS
25		15217	15227	1:00	2:00	1:00	0:00	10	211		1.00	21.73	10.00	9.71	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2650	2650	0	1595.0	0.000	151.643							LOS CUERVOS
26		15227	15237	2:00	3:00	1:00	0:00	10	221		1.00	22.73	10.00	9.72	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2650	2650	0	1595.0	0.000	158.843							LOS CUERVOS
27		15237	15243	4:25	5:13	0:48	1:25	6	227		0.80	23.53	7.50	9.65	R	20	30	120	130	130	500	18	20	2650	2650	0	2303.6	0.000	165.083							LOS CUERVOS
28		15243	15246	5:26	5:52	0:26	0:13	3	230		0.43	23.97	6.92	9.60	R	20	30	130	130	130	500	14	16	2640	2640	0	1996.6	0.000	168.463							LOS CUERVOS
29		15246	15248	6:06	6:29	0:23	0:14	2	232		0.38	24.35	5.22	9.53	R	18	25	120	130	130	500	14	16	2640	2640	0	2649.0	0.000	171.453							LOS CUERVOS
30		15248	15250	6:43	7:09	0:26	0:14	2	234		0.43	24.78	4.62	9.44	R	18	25	120	130	130	500	14	16	2640	2640	0	2994.5	0.000	174.833							LOS CUERVOS
31		15250	15251	7:32	7:45	0:13	0:23	1	235		0.22	25.00	4.62	9.40	R	18	25	120	130	130	500	15	18	2650	2650	0	3368.7	0.000	176.523							LOS CUERVOS
32		15251	15255	7:59	9:02	1:03	0:14	4	239		1.05	26.05	3.81	9.17	R	18	25	120	130	130	500	15	18	2650	2650	0	4081.3	0.000	184.713							LOS CUERVOS
33		15255	15257	9:48	10:30	0:42	0:46	2	241		0.70	26.75	2.86	9.01	R	15	17	120	120	120	500	13	24	2650	2650	0	6697.0	0.000	189.753							LOS CUERVOS
34		15257	15258	11:04	11:32	0:28	0:34	1	242		0.47	27.22	2.14	8.89	R	10	20	120	120	120	500	15	18	2650	2650	0	6697.1	0.000	193.113							LOS CUERVOS
35		15258	15263	11:56	12:50	0:54	0:24	5	247		0.90	28.12	5.56	8.78	R	15	20	120	125	125	500	17	19	2650	2650	0	2840.5	0.000	199.863							LOS CUERVOS
36		15263	15264	13:03	13:36	0:33	0:13	1	248		0.55	28.67	1.82	8.65	R	15	20	120	125	125	500	17	19	2650	2650	0	8678.6	0.000	203.988							LOS CUERVOS
37		15264	15265	13:51	14:09	0:18	0:15	1	249		0.30	28.97	3.33	8.60	R	15	20	125	135	135	500	13	26	2650	2650	0	6996.1	0.000	206.418							LOS CUERVOS
38		15265	15266	14:19	14:35	0:16	0:10	1	250		0.27	29.23	3.75	8.55	R	15	20	125	125	125	500	13	26	2650	2650	0	5758.1	0.000	208.418							LOS CUERVOS
39		15266	15266.2	16:14	16:23	0:09	1:39	0	250		0.15	29.38	1.53	8.52	R	15	20	120	130	130	500	13	26	2650	2650	0	14645.2	0.000	209.588							LOS CUERVOS
40		15266	15269	17:11																																

45	08oct	15279	15282	1:00	2:00	1:00	2:22	3	266	1,00	35,72	3,00	7,45	R	28	30	120	130	130	500	15	16	2700	2700	0	4606,8	0,000	258,988							LOS CUERVOS
46		15282	15284	2:00	2:40	0:40	0:00	2	268	0,67	36,38	3,00	7,37	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	4784,0	0,000	264,388							LOS CUERVOS
47		15284	15287	2:56	4:00	1:04	0:16	3	271	1,07	37,45	2,81	7,24	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	5102,8	0,000	273,028							LOS CUERVOS
48		15287	15290	4:00	5:00	1:00	0:00	3	274	1,00	38,45	3,00	7,13	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	4784,0	0,000	281,128							LOS CUERVOS
49		15290	15294	5:00	6:02	1:02	0:00	4	278	1,03	39,48	3,87	7,04	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	3707,7	0,000	289,498							LOS CUERVOS
50		15294	15298	6:24	7:26	1:02	0:22	4	282	1,03	40,52	3,87	6,96	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	3707,7	#REF!	297,868							LOS CUERVOS
51		15298	15301	7:45	8:26	0:41	0:19	3	285	0,68	41,20	4,39	6,92	R	28	32	120	135	135	500	17	18	2700	2700	0	3677,8	0,000	303,403							LOS CUERVOS
52		15301	15305	8:50	10:00	1:10	0:24	4	289	1,17	42,37	3,43	6,82	R	28	32	120	135	135	500	16	18	2700	2700	0	4709,2	0,000	312,853							LOS CUERVOS
53		15305	15308	10:00	11:06	1:06	0:00	3	292	1,10	43,47	2,73	6,72	R	25	32	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	5920,0	0,000	321,763							LOS CUERVOS
54		15308	15310	11:15	11:44	0:29	0:09	2	294	0,48	43,95	4,14	6,69	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	3902,0	0,000	325,678							LOS CUERVOS
55		15310	15315	11:50	12:57	1:07	0:06	5	299	1,12	45,07	4,48	6,63	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	3606,0	0,000	334,723							LOS CUERVOS
56		15315	15317	13:09	13:27	0:18	0:12	2	301	0,30	45,37	6,67	6,63	R	20	24	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	2422,0	0,000	337,153							LOS CUERVOS
57		15317	15318	13:38	13:57	0:19	0:11	1	302	0,32	45,68	3,16	6,61	R	20	24	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	5112,7	0,000	339,718							LOS CUERVOS
58		15318	15320	14:06	15:00	0:54	0:09	2	304	0,90	46,58	2,22	6,53	R	20	24	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	7265,2	0,000	347,008							LOS CUERVOS
59		15320	15323	15:00	16:00	1:00	0:00	3	307	1,00	47,58	3,00	6,45	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	5381,8	0,000	355,108							LOS CUERVOS
60		15323	15325	16:00	16:38	0:38	0:00	2	309	0,63	48,22	3,16	6,41	R	25	32	130	135	135	500	17	18	2660	2660	0	5112,8	0,000	360,238							LOS CUERVOS
61		15325	15328	17:03	18:00	0:57	0:25	3	312	0,95	49,17	3,16	6,35	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	5112,8	0,000	367,933							LOS CUERVOS
62		15328	15329	18:00	18:27	0:27	0:00	1	313	0,45	49,62	2,22	6,31	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	7265,3	0,000	371,578							LOS CUERVOS
63		15329	15332	18:59	20:00	1:01	0:32	3	316	1,02	50,63	2,95	6,24	R	18	25	130	135	135	500	16	19	2680	2680	0	5775,4	0,000	379,813							LOS CUERVOS
64		15332	15334	20:00	21:00	1:00	0:00	2	318	1,00	51,63	2,00	6,16	R	23	25	130	135	135	500	17	19	2680	2680	0	8520,9	0,000	387,913							LOS CUERVOS
65		15334	15335	21:00	21:21	0:21	0:00	1	319	0,35	51,98	2,86	6,14	R	23	28	130	135	135	500	17	19	2700	2700	0	5964,8	0,000	390,748							LOS CUERVOS
66		15335	15336	21:26	21:48	0:22	0:05	1	320	0,37	52,35	2,73	6,11	R	23	25	130	135	135	500	17	19	2700	2700	0	6248,7	1,395	393,718	15336	4,475	291,574	0,78	10,2		LOS CUERVOS

ANEXO F

REPORTE BIT BROCA 6, BAKER HUGHES

Time				Total Distance & ROP					Slide				Rotate				Parameters		Max WOB	32
Time In:	05/oct/2016 22:42	Time Range:	71.06	MD In:	15016	Foot Drilled:	320	Foot Drilled:	0	Slide ROP:	0.00	Foot Drilled:	320	Rotate ROP:	6.11	Parameters	Min WOB	2		
Time Out:	08/oct/2016 21:48	Effective Time:	52.35	MD Out:	15336	Effective ROP:	6.113	Effective Time:	0.00	%Slide ft:	0.00	Effective Time:	52.35	%Rotate ft:	100.00		Avg WOB	17		

	Date	M/d From	M/d To	Start Time	End Time	Drill Time	Conn Time	Foot Drilled	Acum. Footage	Drilling Loss Time	Effective Time	Acum. Time	ROP Stand	ROP Avg	Rotate / Slide	WOB	RPM T Drive		RPM Motor	RPM Totals	Flow	Torque		SPP On	SPP Off	ΔP	MSE	H.S.I	TRC Krevs	SvyMD	Incl	Azimuth	Dog Leg	MW	Formation Name
																	(dd/mm)	(ft)				(ft)	(h:mm)												
1	05/oct	15016	15018	22:42	23:16	0:34	2	2	0.57	0.57	3.53	3.53	R	5	10	100	100	100	100	550	15	16	3100	3100	0	3011.9	1.857	3.4	15024	6.89	294.82	0.57	10.2	LOS CUERVOS	
2		15018	15026	23:16	0:00	0:44	0.00	8	0.73	1.30	10.91	7.69	R	10	30	100	117	117	550	17	20	3080	3080	0	1425.6	0.000	8.548							LOS CUERVOS	
3		15026	15039	0:00	1:00	1:00	0.00	13	0.83	2.13	15.60	10.78	R	30	32	117	120	120	550	18	20	3050	3050	0	1022.7	0.000	14.548							LOS CUERVOS	
4		15039	15055	1:00	2:00	1:00	0.00	16	1.00	3.13	16.00	12.45	R	30	32	120	120	120	550	18	20	3050	3050	0	997.1	0.000	21.748							LOS CUERVOS	
5		15055	15068	2:00	2:56	0:56	0.00	13	0.93	4.07	13.93	12.79	R	30	32	120	120	120	550	18	20	3050	3050	0	1145.3	0.000	28.468							LOS CUERVOS	
6		15068	15084	3:30	4:26	0:56	0.34	16	0.93	5.00	17.14	13.60	R	30	32	120	120	120	550	18	20	3050	3050	0	930.7	0.000	35.188							LOS CUERVOS	
7		15084	15090	4:32	5:03	0:31	0.06	6	0.52	5.52	11.61	13.41	R	30	32	120	120	120	550	17	19	3050	3050	0	1304.9	0.000	38.908							LOS CUERVOS	
8		15090	15095	6:17	7:00	0:43	1:14	5	0.72	6.23	6.98	12.67	R	25	30	120	120	120	500	17	19	2700	2700	0	2171.7	0.000	44.068							LOS CUERVOS	
9		15095	15102	7:00	8:00	1:00	0.00	7	0.88	7.12	7.92	10.28	R	25	30	120	110	110	500	17	19	2700	2700	0	1752.7	0.000	49.898							LOS CUERVOS	
10		15102	15109	8:00	9:00	1:00	0.00	7	0.87	7.98	8.08	11.65	R	25	30	110	110	110	500	16	18	2700	2700	0	1629.2	0.000	55.618							LOS CUERVOS	
11		15109	15114	9:00	10:00	1:00	0.00	5	0.90	8.88	5.56	11.03	R	25	30	110	100	100	500	16	18	2700	2700	0	2153.1	0.000	61.018							LOS CUERVOS	
12		15114	15119	10:00	11:00	1:00	0.00	5	0.87	9.75	5.77	10.56	R	20	25	100	120	120	500	17	19	2700	2700	0	2626.0	0.000	67.258	15119	6.29	293.44	0.65			LOS CUERVOS	
13		15119	15124	12:00	12:35	0:35	1:00	5	0.58	10.33	8.57	10.45	R	15	28	120	122	122	500	13	24	2700	2700	0	2269.9	0.000	71.528							LOS CUERVOS	
14		15124	15128	13:00	13:51	0:51	0:25	4	0.85	11.18	4.71	10.01	R	10	20	110	125	125	500	13	24	2700	2700	0	4235.6	0.000	77.903							LOS CUERVOS	
15		15128	15133	14:00	15:00	1:00	0:09	5	1.00	12.18	5.00	9.60	R	10	24	115	118	118	500	15	19	2700	2700	0	2979.4	0.000	84.983							LOS CUERVOS	
16		15133	15144	15:00	16:00	1:00	0:00	11	1.00	13.18	11.00	9.71	R	22	30	116	116	116	500	18	20	2700	2700	0	1401.7	0.000	91.943							LOS CUERVOS	
17		15144	15153	16:00	17:00	1:00	0:00	9	1.00	14.18	9.00	9.66	R	25	30	116	116	116	500	18	20	2700	2700	0	1713.1	0.000	98.903							LOS CUERVOS	
18		15153	15164	17:00	18:00	1:00	0:00	11	1.00	15.18	11.00	9.75	R	25	30	110	110	110	500	18	20	2700	2700	0	1329.2	0.000	105.503							LOS CUERVOS	
19		15164	15177	18:00	19:00	1:00	0:00	13	1.00	16.18	13.00	9.95	R	25	30	110	110	110	500	18	20	2700	2700	0	1124.8	0.000	112.103							LOS CUERVOS	
20		15177	15184	19:00	19:42	0:42	0:00	7	0.70	16.88	10.00	9.95	R	25	30	110	110	110	500	18	20	2700	2700	0	1462.1	0.000	116.723							LOS CUERVOS	
21		15184	15192	20:49	22:00	1:11	1:07	8	1.00	17.88	8.00	9.84	R	20	30	110	120	120	500	16	19	2680	2680	0	1894.0	0.000	123.923							LOS CUERVOS	
22		15192	15198	22:00	23:00	1:00	0:00	6	1.00	18.88	6.00	9.64	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2680	2680	0	2658.0	0.000	131.123							LOS CUERVOS	
23		15198	15207	23:00	0:00	1:00	0:00	9	1.00	19.88	9.00	9.61	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2680	2680	0	1772.2	0.000	138.323	15215	5.46	291.68	0.88			LOS CUERVOS	
24	07/oct	15207	15217	0:00	1:00	1:00	0:00	10	0.85	20.73	11.76	9.69	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2650	2650	0	1355.8	0.000	144.443							LOS CUERVOS	
25		15217	15227	1:00	2:00	1:00	0:00	10	1.00	21.73	10.00	9.71	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2650	2650	0	1595.0	0.000	151.643							LOS CUERVOS	
26		15227	15237	2:00	3:00	1:00	0:00	10	1.00	22.73	10.00	9.72	R	20	30	110	120	120	500	18	20	2650	2650	0	1595.0	0.000	158.843							LOS CUERVOS	
27		15237	15243	4:25	5:13	0:48	1:25	6	0.80	23.53	7.50	9.65	R	20	30	120	130	130	500	18	20	2650	2650	0	2303.6	0.000	165.083							LOS CUERVOS	
28		15243	15246	5:26	5:52	0:26	0:13	3	0.43	23.97	6.92	9.60	R	20	30	130	130	130	500	14	16	2640	2640	0	1996.6	0.000	168.463							LOS CUERVOS	
29		15246	15248	6:06	6:29	0:23	0:14	2	0.38	24.35	5.22	9.53	R	18	25	120	130	130	500	14	16	2640	2640	0	2649.0	0.000	171.453							LOS CUERVOS	
30		15248	15250	6:43	7:09	0:26	0:14	2	0.43	24.78	4.62	9.44	R	18	25	120	130	130	500	14	16	2640	2640	0	2994.5	0.000	174.833							LOS CUERVOS	
31		15250	15251	7:32	7:45	0:13	0:23	1	0.22	25.00	4.62	9.40	R	18	25	120	130	130	500	15	18	2650	2650	0	3368.7	0.000	176.523							LOS CUERVOS	
32		15251	15255	7:59	9:02	1:03	0:14	4	1.05	26.05	3.81	9.17	R	18	25	120	130	130	500	15	18	2650	2650	0	4081.3	0.000	184.713							LOS CUERVOS	
33		15255	15257	9:48	10:30	0:42	0:46	2	0.70	26.75	2.86	9.01	R	15	17	120	120	120	500	13	24	2650	2650	0	6697.0	0.000	189.753							LOS CUERVOS	
34		15257	15258	11:04	11:32	0:28	0:34	1	0.47	27.22	2.14	8.89	R	10	20	120	120	120	500	15	18	2650	2650	0	6697.1	0.000	193.113							LOS CUERVOS	
35		15258	15263	11:56	12:50	0:54	0:24	5	0.90	28.12	5.56	8.78	R	15	20	120	125	125	500	17	19	2650	2650	0	2840.5	0.000	199.863							LOS CUERVOS	
36		15263	15264	13:03	13:36	0:33	0:13	1	0.55	28.67	1.82	8.65	R	15	20	120	125	125	500	17	19	2650	2650	0	8678.6	0.000	203.988							LOS CUERVOS	
37		15264	15265	13:51	14:09	0:18	0:15	1	0.30	28.97	3.33	8.60	R	15	20	125	135	135	500	13	26	2650	2650	0	6996.1	0.000	206.418							LOS CUERVOS	
38		15265	15266	14:19	14:35	0:16	0:10	1	0.27	29.23	3.75	8.55	R	15	20	125	125	125	500	13	26	2650	2650	0	5758.1	0.000	208.418							LOS CUERVOS	
39		15266	15266.2	16:14	16:23	0:09	0:39	0	0.15	29.38	1.53	8.52	R	15	20	120	130	130	500	13	26	2650	2650	0	14645.2	0.000	209.588							LOS CUERVOS	
40		15266	15269	17:11	19:00	1:49	0:48	3	1.82	31.20	1.52	8.11	R	2	15	120	130	130	500	15	16	2650	2650	0	9063.1	0.000	223.758							LOS CUERVOS	
41		15269	15271	19:00	20:00	1:00	0:00	2	1.00	32.20	2.00	7.92	R	15	25	120	130	130																	

45	08oct	15279	15282	1:00	2:00	1:00	2:22	3	266	1,00	35,72	3,00	7,45	R	28	30	120	130	130	500	15	16	2700	2700	0	4606,8	0,000	258,988						LOS CUERVOS
46		15282	15284	2:00	2:40	0:40	0:00	2	268	0,67	36,38	3,00	7,37	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	4784,0	0,000	264,388						LOS CUERVOS
47		15284	15287	2:56	4:00	1:04	0:16	3	271	1,07	37,45	2,81	7,24	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	5102,8	0,000	273,028						LOS CUERVOS
48		15287	15290	4:00	5:00	1:00	0:00	3	274	1,00	38,45	3,00	7,13	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	4784,0	0,000	281,128						LOS CUERVOS
49		15290	15294	5:00	6:02	1:02	0:00	4	278	1,03	39,48	3,87	7,04	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	3707,7	0,000	289,498						LOS CUERVOS
50		15294	15298	6:24	7:26	1:02	0:22	4	282	1,03	40,52	3,87	6,96	R	28	32	120	135	135	500	15	16	2700	2700	0	3707,7	#REF!	297,868						LOS CUERVOS
51		15298	15301	7:45	8:26	0:41	0:19	3	285	0,68	41,20	4,39	6,92	R	28	32	120	135	135	500	17	18	2700	2700	0	3677,8	0,000	303,403						LOS CUERVOS
52		15301	15305	8:50	10:00	1:10	0:24	4	289	1,17	42,37	3,43	6,82	R	28	32	120	135	135	500	16	18	2700	2700	0	4709,2	0,000	312,853						LOS CUERVOS
53		15305	15308	10:00	11:06	1:06	0:00	3	292	1,10	43,47	2,73	6,72	R	25	32	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	5920,0	0,000	321,763						LOS CUERVOS
54		15308	15310	11:15	11:44	0:29	0:09	2	294	0,48	43,95	4,14	6,69	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	3902,0	0,000	325,678						LOS CUERVOS
55		15310	15315	11:50	12:57	1:07	0:06	5	299	1,12	45,07	4,48	6,63	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	3606,0	0,000	334,723						LOS CUERVOS
56		15315	15317	13:09	13:27	0:18	0:12	2	301	0,30	45,37	6,67	6,63	R	20	24	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	2422,0	0,000	337,153						LOS CUERVOS
57		15317	15318	13:38	13:57	0:19	0:11	1	302	0,32	45,68	3,16	6,61	R	20	24	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	5112,7	0,000	339,718						LOS CUERVOS
58		15318	15320	14:06	15:00	0:54	0:09	2	304	0,90	46,58	2,22	6,53	R	20	24	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	7265,2	0,000	347,008						LOS CUERVOS
59		15320	15323	15:00	16:00	1:00	0:00	3	307	1,00	47,58	3,00	6,45	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	5381,8	0,000	355,108						LOS CUERVOS
60		15323	15325	16:00	16:38	0:38	0:00	2	309	0,63	48,22	3,16	6,41	R	25	32	130	135	135	500	17	18	2660	2660	0	5112,8	0,000	360,238						LOS CUERVOS
61		15325	15328	17:03	18:00	0:57	0:25	3	312	0,95	49,17	3,16	6,35	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	5112,8	0,000	367,933						LOS CUERVOS
62		15328	15329	18:00	18:27	0:27	0:00	1	313	0,45	49,62	2,22	6,31	R	25	30	130	135	135	500	17	18	2680	2680	0	7265,3	0,000	371,578						LOS CUERVOS
63		15329	15332	18:59	20:00	1:01	0:32	3	316	1,02	50,63	2,95	6,24	R	18	25	130	135	135	500	16	19	2680	2680	0	5775,4	0,000	379,813						LOS CUERVOS
64		15332	15334	20:00	21:00	1:00	0:00	2	318	1,00	51,63	2,00	6,16	R	23	25	130	135	135	500	17	19	2680	2680	0	8520,9	0,000	387,913						LOS CUERVOS
65		15334	15335	21:00	21:21	0:21	0:00	1	319	0,35	51,98	2,86	6,14	R	23	28	130	135	135	500	17	19	2700	2700	0	5964,8	0,000	390,748						LOS CUERVOS
66		15335	15336	21:26	21:48	0:22	0:05	1	320	0,37	52,35	2,73	6,11	R	23	25	130	135	135	500	17	19	2700	2700	0	6248,7	1,395	393,718	15336	4,475	291,574	0,78	10,2	LOS CUERVOS

**ANEXO G
 REPORTE BIT BROCA 7, BAKER HUGHES**

61		11023	11037	12:26	12:52	0:26	0:10	14	2310		0,43	47,48	32,31	48,65	R	15	25	105	110	110	550	12	17	2750	2750	0	363,3	0,000	346,6											C7	
62		11037	11098	13:06	14:11	1:05	0:14	61	2371		1,08	48,57	56,31	48,82	R	15	25	100	105	105	550	13	17	2700	2700	0	199,2	0,000	353,425												C7
63		11098	11127	14:56	15:34	0:38	0:45	29	2400		0,63	49,20	45,79	48,78	R	20	22	100	100	100	550	13	19	2650	2650	0	260,5	0,000	357,225												C7
64		11127	11159	15:40	16:25	0:45	0:06	32	2432		0,75	49,95	42,67	48,69	R	25	28	100	100	100	550	11	20	2650	2650	0	294,3	0,000	361,725												C7
65		11159	11180	16:30	17:13	0:43	0:05	21	2453		0,72	50,67	29,30	48,41	R	25	28	100	130	130	600	10	19	2950	2950	0	528,9	0,000	367,315												C7
66		11180	11183	17:27	17:45	0:18	0:14	3	2456		0,30	50,97	10,00	48,19	R	25	28	100	100	100	450	13	20	2050	2050	0	1254,3	0,000	369,115												C7
67		11183	11192	17:51	18:12	0:21	0:06	9	2465		0,35	51,32	25,71	48,04	R	25	28	100	100	100	600	13	20	2950	2950	0	488,1	0,000	371,215												C7
68		11192	11204	18:54	19:32	0:38	0:42	12	2477		0,63	51,95	18,95	47,68	R	5	15	90	90	90	430	13	20	1840	1840	0	595,8	0,000	374,635												C7
69		11204	11222	19:32	20:39	1:07	0:00	18	2495		1,12	53,07	16,12	47,02	R	5	15	90	90	90	450	13	20	2000	2000	0	700,3	0,000	380,665												C7
70		11222	11237	20:39	21:30	0:51	0:00	15	2510		0,85	53,92	17,65	46,55	R	5	15	90	90	90	450	13	20	2000	2000	0	639,7	0,000	385,255												C7
71		11237	11254	21:30	22:31	1:01	0:00	17	2527		1,02	54,93	16,72	46,00	R	5	15	90	90	90	450	13	20	2000	2000	0	675,1	0,000	390,745												C8
72		11254	11261	22:31	22:58	0:27	0:00	7	2534		0,45	55,38	15,56	45,75	R	5	15	90	90	90	450	13	20	2000	2000	0	725,7	0,000	393,175												C8
73		11261	11271	23:10	0:01	0:51	0:12	10	2544		0,85	56,23	11,76	45,24	R	5	15	100	100	100	420	13	20	1700	1700	0	1066,0	0,000	398,275												C8
74	11/sep	11271	11286	0:23	1:10	0:47	0:22	15	2559		0,78	57,02	19,15	44,88	R	5	15	100	115	115	470	13	20	2100	2100	0	753,3	0,000	403,68												C8
75		11286	11380	2:15	4:04	1:49	1:05	94	2653		1,82	58,83	51,74	45,09	R	10	25	115	120	120	470	13	20	2300	2300	0	291,2	0,000	416,76												C8
76		11380	11398	4:42	5:12	0:30	0:38	18	2671		0,50	59,33	36,00	45,02	R	10	25	115	120	120	470	12	19	2300	2300	0	397,5	0,000	420,36												C8
77		11398	11423	5:28	6:01	0:33	0:16	25	2696		0,55	59,88	45,45	45,02	R	10	25	115	120	120	470	12	19	2300	2300	0	314,9	0,000	424,32												C8
78		11423	11445	6:15	6:48	0:33	0:14	22	2718		0,55	60,43	40,00	44,98	R	15	25	120	130	130	470	12	20	2300	2300	0	407,9	0,000	428,61												C8
79		11445	11460	7:04	7:19	0:15	0:16	15	2733		0,25	60,68	60,00	45,04	R	15	25	100	130	130	470	12	20	2300	2300	0	272,1	0,000	430,56												C8
80		11460	11474	7:19	7:34	0:15	0:00	14	2747		0,25	60,93	56,00	45,08	R	20	25	90	90	90	470	13	17	2300	2300	0	171,7	0,000	431,91												MRADOR
81		11474	11486	8:12	8:32	0:20	0:38	12	2759		0,33	61,27	36,00	45,03	R	20	25	90	90	90	470	12	17	2300	2300	0	266,9	0,000	433,71												MRADOR
82		11486	11510	8:39	9:20	0:41	0:07	24	2783		0,68	61,95	35,12	44,92	R	20	25	90	90	90	450	12	16	2050	2050	0	257,5	0,000	437,4												MRADOR
83		11510	11522	9:31	9:53	0:22	0:11	12	2795		0,37	62,32	32,73	44,85	R	20	25	90	90	90	450	14	20	2000	2000	0	345,2	0,000	439,38												MRADOR
84		11522	11541	9:59	10:30	0:31	0:06	19	2814		0,52	62,83	36,77	44,79	R	20	25	90	90	90	450	14	21	2050	2050	0	322,6	0,000	442,17												MRADOR

ANEXO H

REPORTE BIT BROCA 8, BAKER HUGHES

Time				Total Distance & ROP				Slide				Rotate				Parameters			Max WOB	30
Time In:	15/sep/2018 13:30	Time Range:	63:53	MD In:	11541	Foot Drilled:	609	Foot Drilled:	0	Slide ROP:	0,00	Foot Drilled:	609	Rotate ROP:	11,45	Parameters		Min WOB	2	
Time Out:	18/sep/2018 05:23	Effective Time:	53:20	MD Out:	12150	Effective ROP:	11,447	Effective Time:	0,00	% Slide ft:	0,00	Effective Time:	53,20	% Rotate ft:	100,00			Avg WOB	16	

Date	M d From	M d To	Start Time	End Time	Drill Time	Conn Time	Foot Drilled	Acum. Footage	Drilling Loss Time	Effectiv Time	Acum. Time	ROP Stand	ROP Avg	Rotate / Slide	WOB		RPM TDrive		RPM Motor	RPM Totals	Flow	Torque		SPP On	SPP Off	ΔP	MSE	H.S.I	TRC Krevs	SvyMD	Incl	Azimuth	Dog Leg	MW	Formation Name		
															(Kbf)	(Rv/min)	(Rv/min)	(Rv/min)	(gal/min)	(kbs-ft)		(psi)	(psi)	(psi)	(ksi)											(hp/h2)	(Krevs)
1	15/sep	11541	11544	13:30	13:36	0:06	3	3		0,10	0,10	30,00	30,00	R	2	8	60	60	60	486	10	20	1850	1850	0	265,9	0,739	0,36								9,5	MIRADOR
2		11544	11546	13:36	13:52	0:16	0:00	2	5	0,27	0,37	7,50	13,64	R	10	10	80	80	80	486	10	18	1850	1850	0	1275,7	0,739	1,64								9,5	MIRADOR
3		11546	11547	13:52	13:58	0:06	0:00	1	6	0,10	0,47	10,00	12,86	R	10	10	100	100	100	490	10	13	1850	1850	0	863,8	0,757	2,24								9,5	MIRADOR
4		11547	11553	14:11	15:00	0:49	0:13	6	12	0,82	1,28	7,35	9,35	R	8	10	100	100	100	490	10	15	1850	1850	0	1356,6	0,757	7,14								9,5	MIRADOR
5		11553	11555	15:00	15:30	0:30	0:00	2	14	0,50	1,78	4,00	7,85	R	8	10	100	100	100	490	12	15	1850	1850	0	2491,5	0,757	10,14	11555	37,63	48,92	0,82				9,5	MIRADOR
6		11555	11558	15:44	16:00	0:16	0:14	3	17	0,27	2,05	11,25	8,29	R	10	10	120	120	120	490	10	20	1900	1900	0	1417,5	0,757	12,06								9,5	MIRADOR
7		11558	11560	16:00	16:13	0:13	0:00	2	19	0,22	2,27	9,23	8,38	R	8	8	120	120	120	490	12	16	1900	1900	0	1382,0	0,757	13,62								9,5	MIRADOR
8		11560	11570	16:13	17:00	0:47	0:00	10	29	0,78	3,05	12,77	9,51	R	8	8	120	120	120	490	12	15	1900	1900	0	936,9	0,757	19,26								9,5	C-8 FALLA
9		11570	11578	17:00	17:45	0:45	0:00	8	37	0,75	3,80	10,67	9,74	R	8	8	120	120	120	490	12	15	1900	1900	0	1121,2	0,757	24,66								9,5	C-8 FALLA
10		11578	11585	18:21	19:00	0:39	0:36	7	44	0,65	4,45	10,77	9,89	R	8	10	120	120	120	490	12	13	1900	1900	0	962,5	0,757	29,34	11585	37,62	49,65	1,49				9,5	C-8 FALLA
11		11585	11590	19:00	19:36	0:36	0:00	5	49	0,60	5,05	8,33	9,70	R	8	10	110	110	110	490	13	15	1910	1910	0	1315,6	0,757	33,3								9,5	C-8 FALLA
12		11590	11592	19:51	20:02	0:11	0:15	2	51	0,18	5,23	10,91	9,75	R	10	12	110	110	110	490	13	15	1910	1910	0	1005,1	0,757	34,51								9,5	C-8 FALLA
13		11592	11595	20:02	20:27	0:25	0:00	3	54	0,42	5,65	7,20	9,56	R	12	15	105	105	105	490	12	18	1920	1920	0	1744,2	0,757	37,135								9,5	C-8 FALLA
14		11595	11604	20:27	21:00	0:33	0:00	9	63	0,55	6,20	16,36	10,16	R	10	12	110	110	110	490	12	18	1920	1920	0	804,1	0,757	40,765								9,5	C-8 FALLA
15		11604	11610	21:00	21:55	0:55	0:00	6	69	0,92	7,12	6,55	9,70	R	10	12	110	110	110	490	12	18	1920	1920	0	2009,9	0,757	46,815								9,5	C-8 FALLA
16		11610	11618	22:13	23:00	0:46	0:18	8	77	0,78	7,90	10,26	9,75	R	10	10	110	110	110	490	12	16	1920	1920	0	1140,2	0,757	51,963								9,5	C-8 FALLA
17		11618	11626	23:00	23:59	0:59	0:00	8	85	1,00	8,90	8,00	9,55	R	6	8	100	100	100	490	12	16	1950	1950	0	1328,5	0,781	57,9613								9,8	C-8 FALLA
18	16/sep	11626	11633	0:00	1:00	1:00	0:00	7	92	1,00	9,90	7,00	9,30	R	6	8	100	100	100	492	13	14	1950	1950	0	1328,9	0,791	63,9613								9,8	C-8 FALLA
19		11633	11640	1:00	1:56	0:56	0:00	7	99	0,93	10,83	7,50	9,14	R	10	15	100	100	100	490	12	18	1950	1950	0	1594,7	0,781	69,5613								9,8	C-8 FALLA
20		11640	11645	2:28	3:00	0:32	0:32	5	104	0,53	11,36	9,38	9,15	R	10	14	107	107	107	490	12	15	1950	1950	0	1137,6	0,781	72,9853	11649	38,01	50,47	1,12				9,8	C-8 FALLA
21		11645	11656	3:00	4:00	1:00	0:00	11	115	1,00	12,36	11,00	9,30	R	8	10	100	100	100	490	12	15	1950	1950	0	906,1	0,781	78,9853								9,8	C-8 FALLA
22		11656	11671	4:00	5:00	1:00	0:00	15	130	1,00	13,36	15,00	9,73	R	8	8	100	100	100	490	10	15	1960	1960	0	664,5	0,781	84,9853								9,8	C-8 FALLA
23		11671	11674	5:00	5:22	0:22	0:00	3	133	0,37	13,73	8,18	9,69	R	10	12	100	100	100	490	12	14	1960	1960	0	1137,0	0,781	87,1853	11682	37,86	51,26	1,55				9,8	C-8 FALLA
24		11674	11686	6:00	7:00	1:00	0:38	12	145	1,00	14,73	12,00	9,84	R	4	6	106	106	106	500	10	15	1970	1970	0	880,4	0,830	93,5453								9,8	C-8 FALLA
25		11686	11692	7:00	7:21	0:21	0:00	6	151	0,35	15,08	17,14	10,01	R	4	6	107	107	107	500	10	13	1980	1980	0	539,2	0,830	95,7923								9,8	C-8 FALLA
26		11692	11702	7:21	8:00	0:39	0:00	10	161	0,65	15,73	15,38	10,24	R	4	6	120	120	120	500	10	13	2000	2000	0	673,8	0,830	100,472								9,8	C-8 FALLA
27		11702	11707	8:00	8:22	0:22	0:00	5	166	0,37	16,10	13,64	10,31	R	6	8	120	120	120	500	10	13	2000	2000	0	760,2	0,830	103,112								9,8	C-8 FALLA
28		11707	11712	8:36	9:00	0:24	0:14	5	171	0,40	16,50	12,50	10,37	R	6	8	115	115	115	504	10	13	2000	2000	0	794,7	0,850	105,872	11714	38	51,7	0,96				9,8	C-8 FALLA
29		11712	11728	9:00	10:00	1:00	0:00	16	187	1,00	17,50	16,00	10,89	R	4	6	115	115	115	504	10	15	2050	2050	0	716,4	0,850	112,772								9,8	C-8 FALLA
30		11728	11738	10:00	10:36	0:36	0:00	10	197	0,60	18,10	16,67	10,89	R	4	10	110	110	110	504	10	16	2050	2050	0	701,7	0,850	116,732								9,8	C-8 FALLA
31		11738	11741	10:42	11:00	0:18	0:06	3	200	0,30	18,40	10,00	10,87	R	8	10	120	120	120	504	12	15	2050	2050	0	1196,0	0,850	118,892	11745	37,88	52,55	1,73				9,8	C-8 FALLA
32		11741	11755	11:00	12:00	1:00	0:00	14	214	1,00	19,40	14,00	11,03	R	8	10	120	120	120	504	12	15	2050	2050	0	854,4	0,850	126,092								9,8	C-8 FALLA
33		11755	11767	12:00	13:02	1:02	0:00	12	226	1,03	20,43	11,61	11,06	R	8	10	120	120	120	504	12	16	2050	2050	0	1098,6	0,850	133,532								9,8	C-8 FALLA
34		11767	11768	13:02	13:18	0:16	0:00	1	227	0,27	20,70	3,75	10,97	R	10	10	120	120	120	504	12	16	2050	2050	0	3401,7	0,850	135,452	11779	38,13	54,19	1,29				9,8	C-8 FALLA
35		11768	11782	14:26	15:32	1:06	1:08	14	241	1,10	21,80	12,73	11,06	R	8	10	120	120	120	500	11	16	2050	2050	0	1002,4	0,830	143,372								9,8	C-8 FALLA
36		11782	11784	15:32	15:46	0:14	0:00	2	243	0,23	22,03	8,57	11,03	R	10	10	120	120	120	500	11	15	2000	2000	0	1395,3	0,830	145,052								9,8	C-8 FALLA
37		11784	11790	15:46	17:02	1:16	0:00	6	249	1,27	23,30	4,74	10,69	R	10	12	120	120	120	500	11	14	2000	2000	0	2356,5	0,830	154,172								9,8	C-8 FALLA
38		11790	11791	17:02	17:27	0:25	0:00	1	250	0,42	23,71	2,40	10,54	R	18	20	100	100	100	500	12	14	2000	2000	0	3875,8	0,830	156,672								9,8	C-8 FALLA
39		11791	11793	17:30	18:00	0:29																															

42		11799	11802	20:00	21:00	1:00	0:00	3	261		1,00	27.20	3.00	9,59	R	30	30	80	80		80	500	12	14	2000	2000	0	2480,8	0,830	173,424						9,8	C-8 FALLA			
43		11802	11803	21:00	21:21	0:21	0:00	1	262		0,35	27,55	2,86	9,51	R	30	30	80	80		80	500	12	14	2000	2000	0	2604,8	0,830	175,104						9,8	C-8 FALLA			
44		11803	11807	21:27	22:00	0:32	0:06	4	266		0,55	28,10	7,32	9,47	R	30	30	90	90		90	500	12	14	2000	2000	0	1144,6	0,830	178,056	11807	38,12	53,69	1,25	9,8	C-8 FALLA				
45		11807	11810	22:00	22:44	0:44	0:00	3	269		0,73	28,83	4,09	9,33	R	30	30	90	90		90	500	12	14	2000	2000	0	2046,8	0,830	182,016						9,8	C-8 FALLA			
46		11810	11811	22:44	23:00	0:16	0:00	1	270		0,27	29,10	3,75	9,28	R	30	30	80	80		80	500	12	14	2000	2000	0	1984,8	0,830	183,296						9,8	C-8 FALLA			
47		11811	11812	23:00	23:59	0:59	0:00	1	271		1,00	30,10	1,00	9,00	R	30	30	80	80		80	500	12	14	2000	2000	0	7439,3	0,830	188,095						9,8	C-8 FALLA			
48	17/sep	11812	11816	0:17	0:28	0:11	0:17	4	275		0,18	30,28	21,82	9,08	R	30	30	80	90		90	500	12	15	2000	2000	0	411,6	0,830	189,085						9,8	C-8 FALLA			
49		11816	11826	0:28	1:00	0:32	0:00	10	285		0,53	30,82	18,75	9,25	R	20	25	100	110		110	500	12	14	2000	2000	0	546,1	0,830	192,605						9,8	C-8 FALLA			
50		11826	11832	1:00	1:16	0:16	0:00	6	291		0,27	31,08	22,50	9,36	R	20	25	120	120		120	500	12	14	2000	2000	0	496,5	0,830	194,525						9,8	C-8 FALLA			
51		11832	11838	1:59	2:35	0:35	0:43	6	297		0,60	31,68	10,01	9,37	R	20	20	110	110		110	500	12	14	2000	2000	0	1022,5	0,830	198,481	11839	38,3	54,16	1,04	9,8	C-8 FALLA				
52		11838	11845	2:35	3:00	0:25	0:00	7	304		0,42	32,10	16,80	9,47	R	10	15	120	120		120	500	12	14	2000	2000	0	664,6	0,830	201,481						9,8	C-8 FALLA			
53		11845	11858	3:00	4:00	1:00	0:00	13	317		1,00	33,10	13,00	9,58	R	12	15	120	120		120	500	12	14	2020	2020	0	858,8	0,830	208,681						9,8	C-8 FALLA			
54		11858	11863	4:00	4:18	0:18	0:00	5	322		0,30	33,40	16,67	9,64	R	10	15	120	120		120	500	12	16	2020	2020	0	765,6	0,830	210,841	11869	38,58	54,79	1,5	9,8	C-8 FALLA				
55		11863	11874	5:06	6:00	0:53	0:48	11	333		0,90	34,30	12,27	9,71	R	10	15	90	90		90	500	14	16	2020	2020	0	780,1	0,830	215,683	11901	38,49	55,42	1,24	9,8	C-8 FALLA				
56		11874	11910	6:18	8:00	1:42	0:18	36	369		1,70	36,00	21,18	10,25	R	10	12	100	100		100	500	14	16	2020	2020	0	502,2	0,830	225,883						9,8	C-8 FALLA			
57		11910	11916	8:00	8:31	0:31	0:00	6	375		0,52	36,51	11,61	10,27	R	8	10	100	100		100	500	12	14	2020	2020	0	801,1	0,830	228,983						9,8	C-8 FALLA			
58		11916	11917	8:42	8:47	0:05	0:11	1	376		0,08	36,60	12,00	10,27	R	8	12	100	100		100	500	12	14	2080	2080	0	775,3	0,830	229,483						9,8	C-8 FALLA			
59		11917	11926	8:53	9:41	0:48	0:06	9	385		0,80	37,40	11,20	10,29	R	8	12	100	100		100	500	12	14	2000	2000	0	830,4	0,839	234,303	11929	38,87	55,65	1,42	9,9	C-8 FALLA				
60		11926	11931	10:24	11:00	0:35	0:43	5	390		0,59	37,99	8,51	10,27	R	10	12	100	100		100	500	12	15	2100	2100	0	1171,1	0,839	237,828						9,9	C-8 FALLA			
61		11931	11941	11:00	12:00	1:00	0:00	10	400		1,00	38,99	10,00	10,26	R	8	12	100	100		100	500	12	15	2050	2050	0	996,8	0,839	243,828						9,9	C-8 FALLA			
62		11941	11958	12:00	13:54	1:54	0:00	17	417		1,90	40,89	8,95	10,20	R	8	12	100	100		100	500	12	16	2050	2050	0	1188,2	0,847	255,228						10	C-8 FALLA			
63		11958	11965	14:35	16:00	1:25	0:41	7	424		1,42	42,30	4,94	10,02	R	10	14	100	100		100	504	12	14	2100	2100	0	1882,6	0,867	263,728						10	C-8 FALLA			
64		11965	11968	16:00	16:38	0:38	0:00	3	427		0,63	42,94	4,74	9,94	R	10	14	100	100		100	504	12	14	2100	2100	0	1963,8	0,867	267,528	11969	39,13	56,21	1,1	10	C-8 FALLA				
65		11968	11970	16:47	16:54	0:07	0:09	2	429		0,12	43,05	17,14	9,96	R	15	18	90	90		90	500	12	18	2100	2100	0	628,1	0,847	268,158						10	C-8 FALLA			
66		11970	11971	16:54	17:00	0:06	0:00	1	430		0,10	43,15	10,00	9,96	R	18	25	100	100		100	500	12	15	2100	2100	0	997,0	0,847	268,758						10	C-8 FALLA			
67		11971	11981	17:00	18:00	1:00	0:00	10	440		1,00	44,15	10,00	9,97	R	20	25	100	100		100	500	12	14	2100	2100	0	930,5	0,847	274,758						10	C-8 FALLA			
68		11981	11988	18:00	19:03	1:03	0:00	7	447		1,05	45,20	6,67	9,89	R	20	22	100	100		100	507	12	14	2120	2120	0	1395,5	0,883	281,058						10	C-8 FALLA			
69		11988	11989	19:11	19:38	0:27	0:08	1	448		0,45	45,65	2,22	9,81	R	20	22	100	100		100	505	12	14	2120	2120	0	4185,9	0,873	283,758						10	C-8 FALLA			
70		11989	11997	19:45	20:00	0:15	0:07	8	456		0,25	45,90	32,00	9,93	R	20	22	105	105		105	500	12	14	2120	2120	0	305,6	0,847	285,333	11997	39,48	56,39	1,32	10	C-8 FALLA				
71		11997	12012	20:00	21:00	1:00	0:00	15	471		1,00	46,90	15,00	10,04	R	15	22	117	117		117	500	14	16	2100	2100	0	829,5	0,847	292,353						10	C-8 FALLA			
72		12012	12021	21:00	21:24	0:24	0:00	9	480		0,40	47,30	22,50	10,15	R	20	25	120	120		120	500	14	15	2150	2150	0	531,9	0,847	295,233	12028	39,94	56,84	1,75	10	C-8 FALLA				
73		12021	12039	22:06	23:00	0:53	0:42	18	498		0,89	48,20	20,15	10,33	R	18	20	108	110		110	500	12	14	2150	2150	0	508,1	0,847	301,129						10	C-8 FALLA			
74		12039	12052	23:00	23:36	0:36	0:00	13	511		0,60	48,80	21,67	10,47	R	18	20	108	108		108	500	12	14	2150	2150	0	464,0	0,847	305,017	12061	40,55	56,94	1,84	10	C-8 FALLA				
75		12052	12069	0:16	1:00	0:43	0:40	17	528		0,73	49,52	23,39	10,66	R	12	18	105	105		105	500	12	15	2150	2150	0	447,6	0,847	309,595						10	C-8 FALLA			
76		12069	12088	1:00	1:52	0:52	0:00	19	547		0,87	50,39	21,92	10,86	R	12	15	105	105		105	500	12	14	2150	2150	0	445,7	0,847	315,055	12092	40,77	57,45	1,19	10	C-8 FALLA				
77		12088	12116	2:00	3:10	1:10	0:08	28	575		1,17	51,56	24,00	11,15	R	12	16	107	107		107	500	12	14	2180	2180	0	415,0	0,847	322,545	12121	41,05	57,76	1,89	10	C-8 FALLA				
78		12116	12142	3:45	5:00	1:14	0:35	26	601		1,25	52,80	20,86	11,38	R	10	18	110	110		110	500	12	14	2180	2180	0	490,9	0,847	330,773						10	C-8 FALLA			
79		12142	12150	5:00	5:23	0:23	0:00	8	609		0,40	53,20	20,17	11,45	R	10	18	110	110		110	500	12	16	2180	2180	0	580,1	0,847	333,391						10	C-8 FALLA			
80		12150																			0																10	C-8 FALLA		
81																					0																		10	C-8 FALLA
82																					0																		10	C-8 FALLA