



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Diseño del Programa de Brocas y Optimización del Rendimiento
para los Pozos Direccionales del Campo Sacha de Petroproducción”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN PETRÓLEO

Presentada por:

Luis Antonio Cruz Pintado



GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2006



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la sabiduría y paciencia necesaria para culminar esta tesis. A mis Padres y Hermanas por el apoyo que siempre me han brindado en mi carrera. A mi novia por su invaluable ayuda y a mis amigos que de una u otra forma ayudaron en la realización de mi tesis, particularmente a los Ingenieros de Baker Hughes Christensen, Petroproducción y mis profesores y amigos de la ESPOL.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de grado a mis
Padres y Hermanas, que siempre
confiaron en mí durante toda mi
carrera y me motivaron a seguir
adelante.



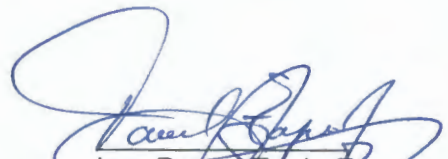
BIBLIOTECA FICT
ESPOL

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Ricardo Gallegos O.
DECANO DE LA F.I.C.T.
PRESIDENTE


Ing. Héctor Román F.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Klever Malavé
VOCAL


Ing. Daniel Tapia F.
VOCAL



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

RESUMEN

El siguiente trabajo trata sobre el proceso para diseñar el Programa de Brocas de Perforación y su posterior proceso de Optimización para los tres Pozos Direccionales de Petroproducción en el Campo Sacha en la Campaña de Perforación del 2005.

Inicia con la descripción de los tipos de brocas existentes hoy en día y hace mayor énfasis en aquellas brocas utilizadas en el País. Continúa detallando las operaciones de corridas de brocas en campo y detalla los principales problemas que sufren las brocas durante la perforación.

Continúa con la recopilación de toda la información necesaria y criterios de ingeniería para elaborar el Programa de Brocas del primer pozo. En el proceso de optimización se analiza los resultados del primer diseño, se analizan los problemas técnicos y operacionales y se propone cambios para el Programa de Brocas del segundo Pozo. Posteriormente se realiza el mismo proceso para el tercer pozo y se diseña el último Programa.

Finalmente se realiza un análisis económico de los costos operativos y del ahorro generado mediante el proceso de optimización de brocas, y se presentan las conclusiones y recomendaciones observadas durante el desarrollo de la tesis y se recomienda cambios para futuros pozos.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	I
INDICE DE TABLAS	II
INDICE DE FIGURAS	III
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO 1

Brocas Usadas en el Ecuador	3
1.1. Breve Historia de las Brocas de Perforación	3
1.2. Tipos de Brocas usadas en el Ecuador	6
1.3. Brocas PDC	7
1.3.1. Componentes de las Brocas PDC	7
1.3.2. Estructura de Corte	8
1.3.3. Cuerpo de la Broca	14
1.3.4. Conexión (Shank)	17
1.3.5. Otros Materiales	19
1.4. Tecnología del Diseño de las Brocas PDC	20
1.4.1. Mecanica de Corte	20
1.4.2. Perfil	22
1.4.3. Dinámica de la Broca	25
1.4.4. Diseño Hidráulico	34
1.4.5. Aplicación Direccional con Motor de Fondo	39
1.5. Brocas Tricónicas	42
1.5.1. Componentes de las Brocas Tricónicas	42
1.5.2. Estructura de Corte	44
1.5.3. Cojinetes y Sellos	48
1.5.4. Cuerpo de la Broca	51
1.5.5. Sistema de Lubricación	52
1.6. Tecnología de las Brocas Tricónicas	54
1.6.1. Mecanismo de Corte	54
1.6.2. Diseño Hidráulico	54
1.6.3. Características Opcionales	57

CAPITULO 2

Operaciones de Campo con Brocas	63
2.1. Preparación Previa a la Carrera de una Broca	63
2.2. Procedimientos durante la Carrera de una Broca	64
2.2.1. Perforación del Equipo de Flotación	64
2.2.2. Patrón de Fondo	69
2.2.3. Parámetros Operativos durante la Perforación	72
2.2.4. Resolución de Problemas	76
2.2.5. Extracción de una Broca	84
2.3. Término de la Carrera de una Broca	85
2.3.1. Sistema Estandarizado de Graduación de Desgaste IADC	86
2.4. Código IADC para Brocas Tricónicas	120



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

2.5.	Código IADC para Brocas de Diamantes -----	124
------	--	-----

CAPITULO 3

	Diseño de Programas de Brocas -----	127
3.1.	Generalidades -----	127
3.2.	Características del Campo Sacha -----	129
3.2.1.	Ubicación Geográfica -----	129
3.2.2.	Estructura -----	131
3.2.3.	Reservas -----	132
3.2.4.	Estados de Pozos -----	133
3.2.5.	Litológicas del Campo Sacha -----	136
3.3.	Información Requerida para el Diseño del Programa Brocas del Sacha 176 -----	139
3.3.1.	Objetivos Geológicos -----	139
3.3.2.	Información de los Rendimientos de Brocas de Pozos Vecinos -----	140
3.3.3.	Sección Estratégica Trnasversal de los Pozos mas cercanos -----	144
3.3.4.	Topes y Bases estimados del Sacha 176D -----	145
3.3.5.	Plan Direccional -----	145
3.3.6.	Estado Mecánico del Pozo -----	148
3.3.7.	Motores del Fondo -----	149
3.3.8.	Información del BHA -----	152
3.3.9.	Parámetros Operativos y Rendimiento -----	156
3.3.10.	Características del Equipo de Perforación -----	159
3.4.	Selección de Brocas -----	160
3.4.1.	Sección de 26" (Conductor Superficial) -----	160
3.4.2.	Sección de 16" (revestimiento Intermedio) -----	163
3.4.3.	Sección de 12 1/4 (Revestimiento de Producción) -----	170
3.4.4.	Sección 8.5" -----	180
3.4.5.	Programa de Broca Recomendado -----	184
3.4.6.	Sumario del Diseño del Pozo Propuesto -----	185

CAPITULO 4

	Análisis de los Resultados -----	326
4.1.	Análisis de los Resultados del Sacha 176 -----	189
4.2.	Sección de 26" -----	189
4.2.1.	Rendimiento Propuesto -----	189
4.2.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #1 -----	190
4.2.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #1 -----	190
4.3.	Sección de 16" Primera Carrera Propuesta -----	191
4.3.1.	Rendimiento Propuesto -----	191
4.3.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #2 -----	191
4.3.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #2 -----	192
4.4.	Sección de 16" 2da. Carrera Propuesta -----	193
4.4.1.	Rendimiento Propuesto -----	193
4.4.2.	Rendimiento Alcanzado -----	193
4.5.	Sección de 12.25" Primera Carrera Propuesta -----	197
4.5.1.	Rendimiento Propuesto -----	197



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4.5.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera # 4 & 5 -----	198
4.5.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera # 5 -----	199
4.6.	Sección de 12.25" Segunda Carrera Propuesta -----	200
4.6.1.	Rendimiento Propuesto -----	200
4.6.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #6 -----	200
4.6.3.	Comentarios de rendimiento de la Carrera #6 -----	201
4.7.	Sección 12.25" Tercera Carrera Propuesta -----	202
4.7.1.	Rendimiento Propuesto -----	202
4.7.2.	Rendimiento Alcanzado - Carrera#7-----	203
4.8.	Sección de 8.5" -----	206
4.8.1.	Rendimiento Propuesto -----	206
4.8.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #8 -----	206
4.8.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #8 -----	207
4.9.	Recomendaciones para el Programa de Brocas del Sacha 155D -----	207
4.10.	Análisis de los Resultados del Sacha 155D -----	209
4.11.	Sección de 26" -----	209
4.11.1.	Rendimiento Propuesto -----	209
4.11.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #1 -----	210
4.11.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #1 -----	210
4.12.	Sección de 16" Primera Carrera Propuesta -----	211
4.12.1.	Rendimiento Propuesto -----	211
4.12.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #2 -----	211
4.12.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #2 -----	212
4.13.	Sección de 16" 2da. Carrera Propuesta -----	213
4.13.1.	Rendimiento Propuesto -----	213
4.13.2.	Rendimiento Alcanzado Carrera #3 -----	213
4.14.	Sección de 12.25" Primera Carrera Propuesta -----	215
4.14.1.	Rendimiento Propuesto -----	215
4.14.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera # 4 & 5 -----	215
4.15.	Sección de 12.25" Segunda Carrera Propuesta -----	218
4.15.1.	Rendimiento Propuesto -----	218
4.15.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #6 -----	218
4.15.3.	Comentarios de rendimiento de la Carrera #6 -----	219
4.16.	Sección 12.25" Tercera Carrera Propuesta -----	220
4.16.1.	Rendimiento Propuesto -----	220
4.16.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #5R -----	220
4.17.	Sección de 8.5" -----	221
4.17.1.	Rendimiento Propuesto -----	221
4.17.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #7 -----	222
4.17.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #7 -----	222
4.18.	Recomendaciones para el Programa de Brocas del Sacha 154D -----	223
4.19.	Análisis de los Resultados del Sacha 154D -----	224
4.20.	Sección de 26" -----	225
4.20.1.	Rendimiento Propuesto -----	225
4.20.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #1 -----	225
4.20.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #1 -----	226
4.21.	Sección de 16". Primera Carrera Propuesta -----	227
4.21.1.	Rendimiento Propuesto -----	227
4.21.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #2 -----	227

4.21.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #2	228
4.22.	Sección de 16". 2da Carrera Propuesta	228
4.22.1.	Rendimiento Propuesto	228
4.22.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #3 & 3R	228
4.23.	Sección 12.25". Primera Carrera Propuesta	231
4.23.1.	Rendimiento Propuesto	231
4.23.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #4	231
4.24.	Sección de 12.25". Segunda Carrera Propuesta	234
4.24.1.	Rendimiento Propuesto	234
4.24.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #6	234
4.24.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #6	235
4.25.	Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta	236
4.25.1.	Rendimiento Propuesto	236
4.25.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #5R	236
4.26.	Sección de 8.5"	238
4.26.1.	Rendimiento Propuesto	238
4.26.2.	Rendimiento Alcanzado – Carrera #7	238
4.26.3.	Comentarios de Rendimiento de la Carrera #7	239

CAPÍTULO 5

Factores Económicos en los que intervienen las Brocas de Perforación	240
--	-----

5.1.	Generalidades	240
5.2.	Herramientas Económicas Aplicadas a las Brocas	241
5.2.1.	Costo por Pie	242
5.2.2.	Curva de Balance	246
5.3.	Tipos de Negocios de Brocas	251
5.3.1.	Renta de PDCs	252
5.3.2.	Venta de Tricónicas	253
5.4.	Contratos de Servicios de Brocas	255
5.4.1.	Contrato por Rendimiento de la Carrera	256
5.4.2.	Contrato Lump Sum por Pozo – Único Valor Pozo	258
5.4.3.	Contrato Lump Sum por Sección	260
5.5.	Análisis Económico Final de los Pozos Sacha	261
5.5.1.	Resultados Obtenidos de los Pozos Sacha	262
5.5.2.	Análisis de Costos de los Pozos de Sacha	266

CAPÍTULO 6

Conclusiones y Recomendaciones	269
--------------------------------	-----

6.1.	Generalidades	269
6.2.	Conclusiones y Recomendaciones Sección 26"	273
6.3.	Conclusiones y Recomendaciones sección 16"	276
6.4.	Conclusiones y Recomendaciones Sección 12 1/4 "	282
6.5.	Conclusiones y Recomendaciones Sección 8.5"	295

Bibliografía



**BIBLIOTECA FICP
ESPOL**

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Rango de Tamaño de las Brocas -----	12
Tabla 2.1. Sistema de Registro de Brocas -----	86
Tabla 2.2. Característica Principal de Desgaste -----	89
Tabla 2.3. Razones de Salida de una Broca -----	94
Tabla 2.4. Sistema de Graduación de Desgaste IADC -----	95
Tabla.2.5. Cuadro IADC para TCI & ST -----	123
Tabla 2.6. Código IADC para Brocas de Dientes de Acero -----	124
Tabla 2.7. Código IADC para Brocas de Insertos -----	124
Tabla 2.8. Código IADC para Brocas de Diamantes -----	126
Tabla 3.1. Estado Actual de las Reservas en el Campo Sacha por Arena -----	133
Tabla 3.2. Estado Actual de los Pozos del Campo Sacha -----	135
Tabla 3.3. Topes y Bases Estimados del Pozo Sacha 176D -----	145
Tabla 3.4. Especificaciones Técnicas de una Broca Tricónica -----	161
Tabla 3.5. Rendimiento Propuesto para la Broca. Sección de 26" -----	163
Tabla 3.6. Especificaciones Técnicas de la Broca. Primera Carrera 16" -----	165
Tabla 3.7. Rendimiento Propuesto para la Broca. Primera Carrera de 16" -----	166
Tabla 3.8. Especificaciones Técnicas de la Broca. Segunda Carrera 16" -----	168
Tabla 3.9. Rendimiento Propuesto de la Broca. Segunda Carrera 16" -----	169
Tabla 3.10. Especificaciones Técnicas de la Broca. Primera Carrera 12.25"-----	172
Tabla 3.11. Rendimiento Propuesto de la Broca. Primera Carrera 12.25" -----	174
Tabla 3.12. Especificaciones Técnicas de una Broca. Segunda Carrera 12.25" -----	175
Tabla 3.13. Rendimiento Propuesto de la Broca. Segunda Carrera 12.25" -----	176
Tabla 3.14. Especificaciones Técnicas de la Broca. Tercera Carrera 12.25" -----	178
Tabla 3.15. Rendimiento Propuesto de la Broca Tercera Carrera 12.25" -----	180
Tabla 3.16. Especificaciones Técnicas de la Broca Sección 8.5" -----	182
Tabla 3.17. Rendimiento Propuesto de una Broca Sección 8.5" -----	184
Tabla 3.18. Sumario del Diseño del Pozo Propuesto -----	185
Tabla. 4.1. Bit Record Real del Pozo Sacha 176D -----	189
Tabla. 4.2. Rendimiento Propuesto. Sección de 26" -----	189
Tabla. 4.3. Rendimiento Alcanzado. Sección de 26" Carrera #1 -----	190
Tabla. 4.4 Parámetros Operativos Carrera #1 -----	190
Tabla. 4.5. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Primera Carrera Propuesta -----	191
Tabla. 4.6. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #2 -----	191
Tabla. 4.7. Parámetros Operativos. Sección de 16". Carrera #2 -----	191
Tabla. 4.8. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Segunda Carrera Propuesta ----	193
Tabla. 4.9. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Segunda Carrera Propuesta ----	193
Tabla. 4.10. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #3 -----	193
Tabla. 4.11. Parámetros Operativos. Sección de 16". Carrera #3 -----	193
Tabla. 4.12. Rendimiento Alcanzado. Carrera #3R -----	195
Tabla. 4.13. Parámetros Operativos. Carrera # 3R -----	195
Tabla. 4.14. Rendimiento Alcanzado. Carrera # 3RR -----	196
Tabla. 4.15. Parámetros Operativos. Carrera # 3RR -----	196
Tabla. 4.16. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25".Primera Carrera Propuesta .	197
Tabla. 4.17. Rendimiento Alcanzado.Sección de 12.25". Primera Carrera Propuesta	198
Tabla. 4.18. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4 & 5 -----	198
Tabla. 4.19. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Segunda Carrera Propuesta	200
Tabla. 4.20. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carrera #6 -----	200
Tabla. 4.21. Parámetros Operativos. Sección de 12.25". Carrera #6 -----	201



Tabla. 4.22. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta	202
Tabla. 4.23. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta	203
Tabla. 4.24. Rendimiento Alcanzado. Carrera #5R	203
Tabla. 4.25. Parámetros Operativos. Carrera #5R	203
Tabla. 4.26. Rendimiento Alcanzado. Carrera #7	204
Tabla. 4.27. Parámetros Operativos. Carrera #7	204
Tabla. 4.28. Rendimiento Propuesto. Sección de 8.5"	206
Tabla. 4.29. Rendimiento Alcanzado. Sección de 8.5"	206
Tabla. 4.30. Parámetros Operativos Sección de 8.5". Carrera #8	206
Tabla. 4.31. Bit Record Propuesto para el Sacha 155D	208
Tabla. 4.32. Bit Record Real del Pozo Sacha 155D	209
Tabla. 4.33. Rendimiento Propuesto. Sección de 26"	209
Tabla. 4.34. Rendimiento Alcanzado. Sección de 26" Carrera #1	210
Tabla. 4.35. Parámetros Operativos Carrera #1	210
Tabla. 4.36. Rendimiento Propuesto. Sección de 16".Primera Carrera Propuesta	211
Tabla. 4.37. Rendimiento Alcanzado.Sección de 16".Carrera #2	211
Tabla. 4.38. Parámetros Operativos Sección de 16".Carrera #2	211
Tabla. 4.39. Rendimiento Propuesto.Sección de 16".Segunda Carrera Propuesta	213
Tabla. 4.40. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16".Carrera #3	213
Tabla. 4.41. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #3	213
Tabla. 4.42. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Primera Carrera Propuesta	215
Tabla. 4.43. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carreras #4 & 5	215
Tabla. 4.44. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4	215
Tabla. 4.45. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4	217
Tabla. 4.46. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Segunda Carrera Propuesta	218
Tabla. 4.47. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carrera #6	218
Tabla. 4.48. Parámetros Operativos. Sección de 12.25". Carrera #6	218
Tabla. 4.49. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta	220
Tabla. 4.50. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carrera #5R	220
Tabla. 4.51. Parámetros Operativos. Carrera #5R	220
Tabla. 4.52. Rendimiento Propuesto. Sección de 8.5"	221
Tabla. 4.53. Rendimiento Alcanzado. Sección de 8.5"	222
Tabla. 4.54. Parámetros Operativos. Carrera #7	222
Tabla. 4.55. Bit Record Propuesto para el Sacha 154D	224
Tabla. 4.56. Bit Record Real del Pozo Sacha 154D	225
Tabla. 4.57. Rendimiento Propuesto. Sección de 26"	225
Tabla. 4.58. Rendimiento Alcanzado. Sección de 26" Carrera #1	225
Tabla. 4.59. Parámetros Operativos Carrera #1	226
Tabla. 4.60. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Primera Carrera Propuesta	227
Tabla. 4.61. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #2	227
Tabla. 4.62. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #2	227
Tabla. 4.63. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Segunda Carrera Propuesta	228
Tabla. 4.64. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #3 & 3R	228
Tabla. 4.65. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #3	229
Tabla. 4.66. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #3R	230
Tabla. 4.67. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Primera Carrera Propuesta	231
Tabla. 4.68. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carreras #4	231
Tabla. 4.69. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4	231
Tabla. 4.70. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4	233

Tabla. 4.71. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Segunda Carrera Propuesta: 234

Tabla. 4.72 Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carrera #6 ----- 234

Tabla. 4.73. Parámetros Operativos. Sección de 12.25". Carrera #6 ----- 235

Tabla. 4.74. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta 236

Tabla. 4.75. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carrera #5R ----- 236

Tabla. 4.76. Parámetros Operativos. Carrera #5R ----- 236

Tabla. 4.77. Rendimiento Propuesto. Sección de 8.5" ----- 238

Tabla. 4.78. Rendimiento Alcanzado. Sección de 8.5" ----- 238

Tabla. 4.79. Parámetros Operativos. Carrera #7 ----- 238

Tabla 5.1. Tabla de Costos del Proyecto Sacha ----- 263

Tabla 5.2. Análisis del CPF del Sacha 176D ----- 264

Tabla 5.3. Análisis del CPF del Sacha 155D ----- 264

Tabla 5.4. Análisis del CPF del Sacha 154D ----- 265

Tabla 6.1. Programa de Brocas del 176D ----- 273



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Primera Broca Bicónica ----- 4

Fig. 1.2 Primera broca con diamante PDC ----- 4

Fig. 1.3. Inicios en la Fabricación de Las Brocas de Perforación ----- 6

Fig. 1.4. Componentes de la Broca PDC ----- 8

Fig. 1.5. Diamante Compacto Policristalino (PDC) ----- 9

Fig. 1.6. Fabricación de un Compacto PDC ----- 10

Fig. 1.7. Comparación de Tamaño de los Cortadores PDC ----- 12

Fig. 1.8. Colocación de los Cortadores PDC ----- 13

Fig. 1.9. Comparación de la Exposición de los Cortadores ----- 14

Fig. 1.10. Polvo de Matriz de Carburo Tungsteno y Molde ----- 15

Fig. 1.11. Sección Transversal del Molde para la fabricación de una PDC ----- 15

Fig. 1.12. Cuerpo de Acero Previo al Torneado ----- 16

Fig. 1.13. Cuerpo de Acero Posterior al Torneado ----- 17

Fig. 1.14. Herramienta para desenroscar la PDC "Bit Breaker" ----- 18

Fig. 1.15. Proceso de Suelta del Shank al Cuerpo de una PDC ----- 19

Fig. 1.16. Boquillas Intercambiables ----- 19

Fig. 1.17. Mecánica de Corte de la PDC ----- 20

Fig. 1.18. Angulo de Rastrillaje o "Back Rake" ----- 22

Fig. 1.19. Angulo de Orientación Lateral o Side Rake ----- 22

Fig. 1.20. Componentes del Perfil de la Broca PDC ----- 24

Fig. 1.21. Componentes del Perfil PDC por separados ----- 25

Fig. 1.22. Modos de Vibración ----- 26

Fig. 1.23. Componentes de la Fuerza del Torque ----- 27

Fig. 1.24. Magnitudes y Direcciones de las Fuerzas de Corte ----- 27

Fig. 1.25. Prueba de Estabilidad con Simulador en Superficie ----- 29

Fig. 1.26. Vibración Lateral que produce el Remolino de la PDC ----- 31

Fig. 1.27. Protección Adicional para Reducir la Vibración Lateral ----- 31

Fig. 1.28. Comparación de la Vibración Opcional y Stick Slip ----- 32

Fig. 1.29. Características Adicionales de las PDCs para minimizar la Vibración Axial ----- 34

Fig. 1.30. Tendencia al Embolamiento con peso sobre la Broca ----- 35

Fig. 1.31. Simulación de Análisis de Flujo de Partículas ----- 36

Fig. 1.32. Tiempo de Residencia de Partículas Acumuladas ----- 37

Fig. 1.33. Comparación del Flujo - Balanceado Caso Original VS Caso Optimizado ----- 39

Fig. 1.34. Modo Slide, Rotación y Tortuosidad del Hoyo ----- 40

Fig. 1.35. Dogleg vs. Profundidad ----- 41

Fig. 1.36. Componentes de las Brocas Tricónicas ----- 43

Fig. 1.37. Componentes de la Estructura de Corte ----- 44

Fig. 1.38. Numeración de los Conos ----- 44

Fig. 1.39. Conos con Dientes de Acero ----- 45

Fig. 1.40. Protección con Revestimiento duro a los Dientes de Acero ----- 46

Fig. 1.41. Cono de Acero Carburado y Post-carburado ----- 47

Fig. 1.42. Conos de Broca TCI ----- 48

Fig. 1.43. Cojinete de una Broca Tricónica ----- 49

Fig. 1.44. Sellos de una Broca Tricónica ----- 50

Fig. 1.45. Sellos Metal - Metal ----- 51

Fig. 1.46. Cuerpo de la Broca ----- 52

Fig. 1.47. Sistema de Lubricación ----- 52

Fig. 1.48. Engrasado del Sistema de Lubricación ----- 53



Fig. 1.49. Mecánica de Corte	54
Fig. 1.50. Etapas de Mecanismo de Corte	54
Fig. 1.51. Sistemas Hidráulicos Orientado al Fondo	56
Fig. 1.52. Sistemas Hidráulicos Orientado a la Cara Posterior del Cono	56
Fig. 1.53. Sistemas Hidráulicos Orientado al Centro de la Broca	57
Fig. 1.54. Calibre protegido con insertos de Carburo Tungsteno	59
Fig. 1.55. Calibre mejorado con Diamante	60
Fig. 1.56. Hilera del Calibre Mejorado con Diamante	61
Fig. 1.57. Protección en la Pata de la Broca	62
Fig. 2.1. Equipo de Flotación	64
Fig. 2.2. Patrón del Agujero de Botón	69
Fig. 2.3. Prueba de Perforación Responde a RPM	73
Fig. 2.4. Prueba de Perforación Responde a WOB	73
Fig. 2.5. Embolamiento de una Broca	81
Fig. 2.6. Grados de Desgaste Interno y Externo	87
Fig. 2.7. Grados de Desgaste de una Broca de Inserto	88
Fig. 2.8. Grados de Desgaste de una PDC	88
Fig. 2.9. Ubicación de las Brocas Tricónicas	90
Fig. 2.10. Ubicación de las Brocas PDC	91
Fig. 2.11. Desgaste en el Calibre del G- Gauge Calibre	92
Fig. 2.12. Cono Roto – Broken Cone	96
Fig. 2.13. Dientes Rotos – Broken Teeth	97
Fig. 2.14. Tricónica Embolada (BU) – Bit Balling	98
Fig. 2.15. Cono Fisurado (CC) – Cracked Cone	98
Fig. 2.16. Cono Arrastrado (DC) – Cono Dragged	99
Fig. 2.17. Interferencia de Conos (CI) – Cone Interferente	100
Fig. 2.18. Coroneado (CR) – Coring	101
Fig. 2.19. Dientes Astillados (CT)	102
Fig. 2.20. Erosión (ER) – Erosion	102
Fig. 2.21. Cresta Achatada (FC) – Flat Crested Wear	103
Fig. 2.22. Fisuras por Calor (HC) – Heat Checking	104
Fig. 2.23. Daño por Chatarra (JD) Junk Damage	104
Fig. 2.24. Cono Perdido (LC) – Lost Cone	105
Fig. 2.25. Boquilla Perdida (LN) – Lost Nozzle	105
Fig. 2.26. Dientes Perdidos (LT) – Lost Teeth	106
Fig. 2.27. Desgaste Excéntrico (OC) – Off Center Wear	107
Fig. 2.28. Broca Comprimida (PB) – Pinched Bit	108
Fig. 2.29. Boquilla Tapada (PN) – Plugged Nozzle	108
Fig. 2.30. Calibre Redondeado (RG) – Rounded Gauge	109
Fig. 2.31. Daño externo de la Pata (SD) – Shirttail Damage	110
Fig. 2.32. Desgate Autoafilado (SS) – Self Sharpening Wear	110
Fig. 2.33. Sobrehuella (TR) – Tracking	111
Fig. 2.34. Lavado de la Soldadura (WO) - Washed Out Bit	112
Fig. 2.35. Dientes Desgastados (WT) – Worn Teeth	112
Fig. 2.36. Falla de Adherencia (BT) – Bond Failure	113
Fig. 2.37. Dientes Rotos (BT) – Broken Teeth/Cutters	113
Fig. 2.38. Broca Embolada (BU) – Balled Up	114
Fig. 2.39. Broca Coroneada (CR) – Cored	114
Fig. 2.40. Dientes Astillados (CT) – Chipped Teeth/Cutters	115



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Fig. 2.41. Erosión (ER) – Erosion	115
Fig. 2.42. Fisuras por Calentamiento (HC) – Heat Cheaking	116
Fig. 2.43. Daño por Desechos (JD) – Junk Damage	116
Fig. 2.44. Boquilla Perdida (LN) – Lost Nozzle	117
Fig. 2.45. Dientes Perdidos (LT) – Lost Teeth/Cutters	117
Fig. 2.46. Boquillas Tapadas (PN) – Plugged Nozzle	118
Fig. 2.47. Broca Anillada (RO) – Ring Out	118
Fig. 2.48. Lavado (WO) – Wash Out	119
Fig. 2.49. Cortador Desgastado (WT) – Worn Teeth	119
Fig. 2.50. No presenta desgaste (NO) - No Major Dull Chracteristic	120
Fig. 3.1. Mapa de Ubicación del Campo Sacha en la Región Amazónica	130
Fig. 3.2. Descripción del Campo Sacha en la Cuenca Amazónica Ecuatoriana	131
Fig. 3.3. Sacha 3D. Mapa Estructural al Tope Caliza "A"	132
Fig. 3.4. Litológicas Del Campo Sacha	138
Fig. 3.5. Proceso de Optimización y Desgaste de Brocas del Pozo Sacha 186	143
Fig. 3.6. Proceso de Optimización y Desgaste de Brocas del Pozo Sacha 198	143
Fig. 3.7. Mapa de Ubicación de los Pozos mas cercanos al Sacha 176D	144
Fig. 3.8. Plan Direccional de los Pozos Sacha 198 Pad y Sacha 176D	146
Fig. 3.9. Plan Anticolisión.	147
Fig. 3.10. Estado Mecánico del Pozo	148
Fig. 6.11. Hojas Técnicas de los Motores de Fondo en el Diseño Sacha 176D	151
Fig. 3.12. Ensamblaje de Fondo # 1 Sacha 176D	152
Fig. 3.13. Ensamblaje de Fondo # 2 Sacha 176D	152
Fig. 3.14. Ensamblaje de Fondo # 3 Sacha 176D	153
Fig. 3.15. Ensamblaje de Fondo # 4 Sacha 176D	153
Fig. 3.16. Ensamblaje de Fondo # 5 Sacha 176D	154
Fig. 3.17. Ensamblaje de Fondo # 6 Sacha 176D	154
Fig. 3.18. Ensamblaje de Fondo # 7 Sacha 176D	155
Fig. 3.19. Ensamblaje de Fondo # 8 Sacha 176D	155
Fig. 3.20. Tiempo de Perforación de Sacha 176D	158
Fig. 3.21. Comparación de ROP	158
Fig. 3.22. Sección de 26" (Conductor Superficial)	160
Fig. 3.23. Registro Litológico de una Broca de Sección de 26"	161
Fig. 3.24. Hidráulica de la Broca de Sección de 26"	163
Fig. 3.25. Broca Tricónica de Dientes de Acero. Primera Carrera de 16"	164
Fig. 3.26. Registro Litológico. Primera Carrera de 16"	164
Fig. 3.27. Hidráulica de la Broca. Primera Carrera de 16"	166
Fig. 3.28. Broca PCD de 5 Aletas Segunda Carrera 16"	167
Fig. 3.29. Parámetros Operativos vs. Litología de la Segunda Carrera 16"	167
Fig. 3.30. Hidráulica de la Broca. Segunda Carrera 16"	169
Fig. 3.31. Broca PDC 5 Aletas Cuerpo de Acero Primera Carrera 12 ¼	170
Fig. 3.32. Parámetros Operativos vs. Litología de la Primera Carrera 12 ¼	171
Fig. 3.33. Hidráulica de la Broca. Primera Carrera 12 ¼	173
Fig. 3.34. Broca Tricónica de Insertos. Segunda Carrera 12 ¼	174
Fig. 3.35. Parámetros Operativos vs. Litología de la Segunda Carrera 12 ¼	175
Fig. 3.36. Hidráulica de la Broca. Segunda Carrera 12 ¼	176
Fig. 3.37. Broca PDC de 5 Aletas. Tercera Carrera 12 ¼	177
Fig. 3.38. Parámetros Operativos vs Litología de la Tercera Carrera 12 ¼	178
Fig. 3.39. Hidráulica de la Broca Tercera Carrera 12 ¼	179



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Fig. 3.40. Broca de 6 aletas de Cuerpo de Matriz. Sección 8.5 "	180
Fig. 3.41. Parámetros Operativos vs. Litología de la Sección 8.5 "	181
Fig. 3.42. Hidráulica de la Broca. Sección 8.5 "	184
Fig. 3.43. Programa de Broca Recomendado	185
Fig. 4.1. Broca utilizada en la Sección de 26". Carrera #1	190
Fig. 4.2. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #2	192
Fig. 4.3. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #3	194
Fig. 4.4. Broca Utilizada en la Carrera #3RR	196
Fig. 4.5. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #4	198
Fig. 4.6. Broca utilizadas en la Carrera # 5	199
Fig. 4.7. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #6	201
Fig. 4.8. Brocas Utilizadas en la Carrera #5R	203
Fig. 4.9. Brocas Utilizadas en la Carrera #7	205
Fig. 4.10. Broca utilizadas en la Sección 8.5". Carrera #8	206
Fig. 4.11. Broca utilizada en la Sección de 26". Carrera #1	210
Fig. 4.12. Broca utilizada en la Sección de 16". Carrera #2	212
Fig. 4.13. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #3	213
Fig. 4.14. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #4	215
Fig. 4.15. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #5	217
Fig. 4.16. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #6	219
Fig. 4.17. Brocas Utilizadas en la Carrera #5R	220
Fig. 4.18. Broca utilizadas en la Sección 8.5". Carrera #7	222
Fig. 4.19. Broca utilizada en la Sección de 26". Carrera #1	226
Fig. 4.20. Broca utilizada en la Sección de 16". Carrera #2	227
Fig. 4.21. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #3	229
Fig. 4.22. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #3R	230
Fig. 4.23. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #4	232
Fig. 4.24. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #5	233
Fig. 4.25. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #6	235
Fig. 4.26. Brocas Utilizadas en la Carrera #5R	237
Fig. 4.27. Broca utilizadas en la Sección 8.5". Carrera #7	238
Fig. 5.1. Curva de Balance del Ejemplo	249
Fig. 5.2. Pozos de Sacha ROP VS Costos	265
Fig. 5.3. Pozos de Sacha Costos por Secciones	266
Fig. 5.4. Pozos de Sacha Porcentaje del Costo Total	267
Fig. 5.5. Pozos de Sacha Porcentaje del Costo Total	267
Fig. 6.1. Sección de 26" (Conductor Superficial)	273
Fig. 6.2. Broca Tricónica de Dientes de Acero. Primera Carrera de 16"	276
Fig. 6.3. Broca PCD de 5 Aletas Segunda Carrera 16"	278
Fig. 6.4. Broca PDC 5 Aletas Cuerpo de Acero Primera Carrera 12 ¼	282
Fig. 6.5. Broca Tricónica de Insertos. Segunda Carrera 12 ¼	286
Fig. 6.6. Broca PDC de 5 Aletas. Tercera Carrera	291
Fig. 6.7. Broca de 6 aletas de Cuerpo de Matriz. Sección 8.5 "	295



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

INTRODUCCIÓN

En el 2005, Petroproducción planificó en su Campaña Anual de Perforación con el Taladro Sinopec 188, la ejecución de tres Pozos Direccionales de Avanzada con el objeto de incrementar su producción total aprovechando el gran potencial de este campo. Los Pozos fueron: el Sacha 176D, el Sacha 155D y el Sacha 154D.

La Campaña de Perforación del 2004 con el taladro en mención, que contempló únicamente la perforación de pozos verticales sirvió como punto de referencia para la nueva propuesta. Un sinnúmero de modificaciones tanto en el taladro como en el diseño de los mismos pozos fueron necesarios para la ejecución de estos pozos tales como: nuevos planes direccionales, sistemas de lodos, herramientas de fondo, diseños de brocas, cambios en el sistema de perforación del taladro (de Kelly a TopDrive), etc.

Esta tesis trata sobre los criterios necesarios para la perforación de los tres pozos direccionales desde el punto de vista de las Brocas de Perforación presentado acorde a la forma actual de cómo las compañías de Brocas, en este caso Baker Hughes Christensen, recopila, procesa y analiza la información



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

disponible para proponer un Programa de Brocas que cumpla con las expectativas y requerimientos de la operadora en este caso Petroproducción.

Posteriormente se efectúa un análisis detallado y objetivo de las variantes a los Programas Propuestos, se presentan las causas, consecuencias y criterios de ingeniería para plantear los nuevos diseños en un continuo proceso de optimización

Finaliza presentando las conclusiones y recomendaciones para los futuros proyectos de perforación y proporciona una idea de cómo podría variar la forma de perforar este tipo de pozos con el desarrollo tecnológico de las brocas de perforación y todo aquello que afecta a su rendimiento.

CAPITULO 1

BROCAS USADAS EN ECUADOR

1.1. BREVE HISTORIA DE LAS BROCAS DE PERFORACIÓN

Desde los inicios de la industria del petróleo el hombre ha ingeniado un sinnúmero de herramientas que le permitiera perforar los pozos de la manera más eficiente y económica posible para así obtener el preciado petróleo.

Entre la variedad de herramientas inventadas se destacan las brocas de perforación, las cuales han conseguido un gran desarrollo tanto en sus componentes, diseños y tecnologías, que las han convertido hoy en día en herramientas altamente tecnificadas e indispensables para la perforación.



**BIBLIOTECA FIC1
ESPOL**

La primera patente significativa de brocas de perforación fue otorgada a G.F. Case en Febrero de 1867. Su diseño presentó una broca con cuerpo de acero y diamantes naturales colocados en aletas.



Fig. 1.1 Primera Broca Bicónica

En 1909, Howard Hughes introdujo a la industria del petróleo el primer diseño de brocas con conos rodantes y por cerca de 15 años se convirtió en el estándar para formaciones blandas por sus bajos precios y altas tasas de penetración “ROP – Rate Of Penetration” dejando a un lado a las brocas de diamantes o limitándolas para trabajos de toma de núcleos “Coring”.

En 1940 Christensen revolucionó la industria de las brocas de diamantes al introducir la matriz de carburo de Tungsteno. El polvo de carburo de tungsteno junto con una aleación de cobre y níquel permitieron desarrollar diseños mas complejos y novedosos patrones de ubicación para colocar los diamantes. Sin embargo las brocas de diamante seguían siendo entre de 10 a 15 veces más costosas

que las de conos rodantes. Pese a sus altos costos los ingenieros de perforación de aquella época quedaron intrigados con la idea de usar este



Fig. 1.2 Primera broca con diamante PDC



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

tipo de brocas ya que podían permanecer mucho más tiempo en fondo que una broca de conos rodantes ya que no poseen componentes móviles que poseen un determinado número de revoluciones totales sin que el cono sufra daño.

En 1950 las más grandes compañías de petróleos del mundo iniciaron programas de investigación para desarrollar brocas de Diamantes y los resultados de estos estudios ayudaron un mejor entendimiento de la mecánica de la perforación y la influencia de la hidráulica en la penetración.

Con el descubrimiento del diamante sintético por General Electric en 1955 y posteriormente el desarrollo del cortador PDC "Polycrystalline Diamond Compact" en 1976 y junto con la flexibilidad de diseños y fabricación que ofrecía la matriz una nueva generación de brocas de diamantes surgió mientras que la brocas de conos rodantes también siguieron evolucionando tecnológicamente logrando rodamientos y sellos más duraderos, insertos mas resistentes, diseños hidráulicos y mecánicos más eficientes generalizándose en lo que hoy son las Brocas Tricónicas o de de Tres Conos Rodantes.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

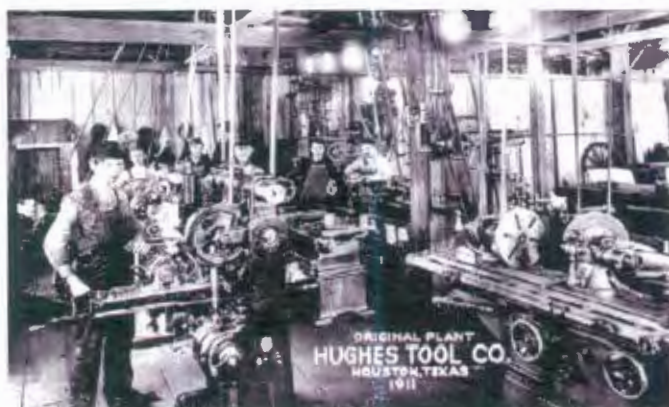


Fig. 1.3. Inicios en la Fabricación de Las Brocas de Perforación

1.2. TIPOS DE BROCAS USADAS EN ECUADOR

Debido al origen sedimentario de la cuenca amazónica Ecuatoriana el ambiente depositacional alberga en su gran mayoría formaciones sedimentarias blandas de arcilla, arcillolitas, lutitas, limolitas, algunas arenas abrasivas, calizas y formaciones duras y abrasivas como conglomerados y chert. En algunos sectores del oriente Ecuatoriano especialmente en campos cercanos a la cordillera existe intrusivos volcánicos, basamentos y tobas muy duras.

Hoy en día el mercado de brocas Ecuatoriano ha encontrado mayor cabida para dos tipos de brocas que se adaptan perfectamente en costo y rapidez a las diferentes litologías y son: Las Brocas PDCs y Las Tricónicas, razón por la cual se ahondará en estos dos tipos de brocas en las que analizaremos sus componentes principales, así como



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

también la tecnología, el diseño y el proceso de optimización para el proyecto de perforación seleccionado.

1.3. BROCAS PDC

Las Brocas PDCs obtienen su nombre de los cortadores que forman su estructura de corte es decir los cortadores de PDC "Polycrystalline Diamond Compact, por sus siglas en Ingles" - Diamante Compacto Policristalino.

En este capítulo se analiza en detalle los componentes principales de las brocas PDCs así como también la tecnología que encierra su diseño la cual es de gran importancia para entender su optimización.

1.3.1. COMPONENTES DE LAS BROCAS PDC

La estructura de una Brocas PDC puede dividirse en tres componentes principales: la estructura de corte dada por los cortadores, el cuerpo también denominado corona que sirve como soporte para los cortadores y el shank o espiga que sirve como conexión y alberga la identificación de la broca.

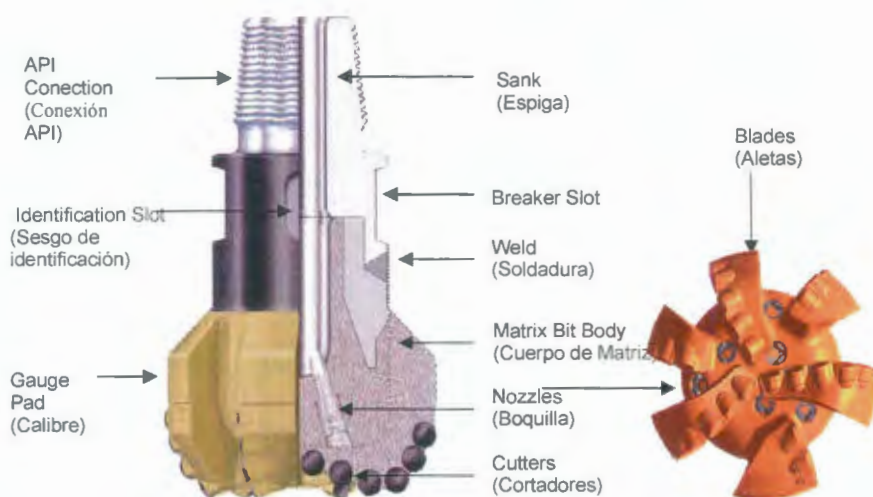


Fig. 1.4. Componentes de la Broca PDC

1.3.2. ESTRUCTURA DE CORTE

La Estructura de Corte aunque es parte integral del cuerpo de la broca es tratada por separado debido a la gran importancia de sus elementos en la aplicación de las PDC. Cuando se menciona la estructura de corte se refiere a los cortadores que la conforman. Los cortadores PDC son justamente los que le dan el nombre a la broca.

DIAMANTE COMPACTO POLICRISTALINO (PDC)

Fue General Electric quien introdujo el primer compacto de diamante policristalino en 1976, bajo el nombre de "Stratapax"



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

para aplicaciones de perforación en la industria del petróleo y la minería. Los primeros intentos por desarrollar un diamante sintético se remontan a mediados de 1800's pero fue hasta 1955 que General Electric pudo producir un diamante sintético utilizando carbono y un solvente catalítico para vencer la barrera cinética. La cantidad producida fue microscópica.

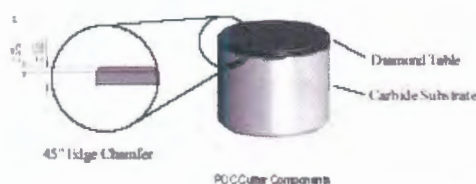


Fig. 1.5. Diamante Compacto Policristalino (PDC)

El término policristalino significa que se trata de una estructura compuesta por numerosos cristales mientras que un diamante natural es monocristalino.

Un cortador PDC consiste de una serie de diamantes sintéticos en una tableta circular "tableta de diamante" unida a un sustrato de carburo de tungsteno cementado. La tableta de diamante tiene un borde biselado a 45° para mejorar la durabilidad.

El proceso de fabricación del PDC comienza elaborando el diamante sintético que se utilizará como materia prima. Para ello se toma carbono y se lo somete a temperaturas y presiones

muy elevadas 3000°F + 1MM Psi aproximadamente con el objeto de formar microgranos de diamante sintético.

El cortador PDC es formado cuando el diamante sintético es ensamblado al carburo de tungsteno llamado sustrato en una estructura cilíndrica con cobalto como solvente catalítico sometido a altas presiones y temperatura. El cobalto produce adherencia de diamante a diamante para formar la tableta de diamante sintético y también sirve para unirla al sustrato de carburo de tungsteno quedando finalmente ambos el sustrato y la tableta de diamante como un solo cuerpo.



Fig. 1.6. Fabricación de un Compacto PDC

▪ Tamaño y Forma de los cortadores PDC

La forma más común de los cortadores PDC es la cilíndrica, se han estandarizado cinco tamaños aceptados por el IADC ("International American Drilling Contractors", por sus siglas en Ingles). : $\frac{7}{8}$ -plg. (22mm), $\frac{3}{4}$ -plg. (19mm), $\frac{5}{8}$ -plg. (16mm), $\frac{1}{2}$ -plg. (13mm) y $\frac{3}{8}$ -plg. (8mm).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

El tamaño del cortador depende algunos factores tales como:
La aplicación, el diámetro de la broca, estándares de las
Compañías de Brocas, disponibilidad en su fabricación, etc.

No todas las Compañías de Brocas utilizan cortadores de 22 mm y su aplicación se base en aquellas formaciones blandas que no presentan riesgos de daño a la broca por impacto. Los cortadores de 19mm poseen mayor área de corte mientras que cortadores de 13mm son más versátiles ya que pueden usarse con brocas de tamaños por debajo de 5 pulg. de diámetro y como características adicionales en brocas de mayores diámetros. Los cortadores de 16mm se están convirtiendo en el estándar mundial pues permite mayor número de cortadores y mediana exposición mientras que los de 8mm son muy poco utilizados o colocados como accesorios adicionales para proteger el calibre.

La durabilidad de un cortador depende de dos factores: resistencia al impacto y resistencia a la abrasión. Un factor determinante para la resistencia al impacto es el sustrato de carburo de tungsteno y el esfuerzo residual entre la tableta y el sustrato. Análisis de elementos finitos son realizados para



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

determinar la forma de la interfase para proveerle al cortador mayor resistencia y disipación de los esfuerzos.

Para la abrasión los factores determinantes son las propiedades de los materiales usados en tableta aunque también es una función del volumen y el tamaño del mismo.

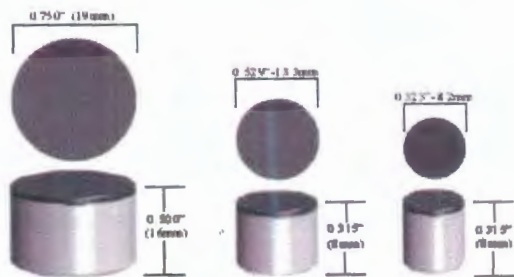


Fig. 1.7. Comparación de Tamaño de los Cortadores PDC

Preferred		Acceptable	
Air Cutter			
S Cut			
Air Cutter			
<5"	5 3/4" - 8 3/4"	6 3/4" - 10"	10" - 14 3/4"

Tabla 1.1. Rango de Tamaño de las Brocas

▪ Colocación de los cortadores PDC

Los cortadores PDC tienen un límite termal de 1380°F (750°C). El límite termal es una función de la expansión y contracción de los diferentes materiales usados en su

elaboración. Este límite esta por debajo del usado cuando se molda el cuerpo de matriz de una broca a 2150°F (1180°C), es por eso que los cortadores son soldados dentro de la broca después de que el molde de matriz es formado.

Cavidades llamadas bolsillos son creados en el cuerpo de la matriz y localizado en las aletas permitiendo alojar a los cortadores. Un método de soldadura de plata es usado para asegurar que cada cortador PDC quede dentro de los bolsillos. Es importante notar que el sustrato de carburo es adherido al bolsillo de la matriz.



Fig. 1.8. Colocación de los Cortadores PDC

▪ Exposición de los cortadores PDC

La exposición de los cortadores describe la relación entre el cortador y el cuerpo de la aleta que lo soporta. Los cortadores



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

pueden tener varios grados de exposición desde total exposición hasta mínima, generalmente se usa la exposición media es decir que medio cortador queda expuesto mientras que la otra mitad es soldada al cuerpo.

La importancia de esta exposición radica en que la rata de penetración se puede volver antieconómica cuando $1/3$ o $1/2$ del cortador ha sido desgastado.

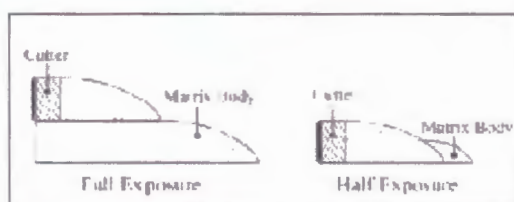


Fig. 1.9. Comparación de la Exposición de los Cortadores

1.3.3. CUERPO DE LA BROCA

Existen dos tipos de cuerpos para brocas PDCs: Cuerpo de Matriz y Cuerpo de Acero.

CUERPO DE MATRIZ

La fabricación del cuerpo de matriz de una broca PDC inicia con una mezcla o colada de polvo de matriz de carburo de tungsteno con una aleación de níquel y cobre como aglutinante,

vertida en un molde de grafito que tiene la forma de la broca y que posteriormente es sometido a altas temperaturas (2200 °F)



Fig. 1.10. Polvo de Matriz de Carburo Tungsteno y Molde

El carburo de tungsteno es sumamente resistente a la abrasión y a la erosión. El cuerpo de matriz protege y soporta a los cortadores y define el curso de los fluidos o áreas de desalojo "Junk Slot Areas - JSA"



Fig. 1.11. Sección Transversal del Molde para la fabricación de una PDC

CUERPO DE ACERO

Las brocas de cuerpo de acero como lo indica su nombre están compuestas de una alta aleación de acero que posee gran resistencia y elasticidad. Un cilindro de acero es torneado totalmente para darle la forma a la broca; cuando finaliza el proceso, la corona se suelda al shank y simultáneamente, los cortadores se colocan en los bolsillos que han sido previamente torneados y se adhieren a la broca mediante soldadura de plata.



Fig. 1.12. Cuerpo de Acero Previo al Torneado

Los materiales utilizados están normados por el ASTM 148 125/135 para moldes de acero que es fabricado mediante un proceso de tratamiento térmico desde una baja hasta una muy alta dureza en el rango de 275–325 Brinell (28–32 Rockwell C).



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

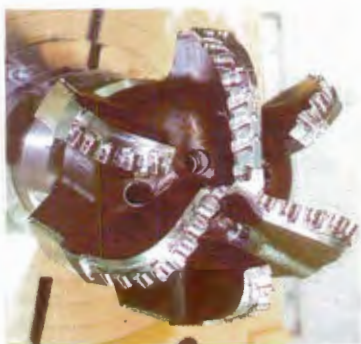


Fig. 1.13. Cuerpo de Acero
Posterior al Torneado

El acero es menos resistente a la abrasión y a la erosión que la matriz de carburo de tungsteno, sin embargo el desarrollo en la tecnología de agregado de sueldas protectoras o “revestimiento duro” aplicado en áreas críticas

prolongan la vida útil de estas brocas. El material usado en el “revestimiento duro” es carburo de tungsteno macrocristalino con hierro como aglutinante.

Las cuerpo de acero usan cortadores PDC en el gauge pad (Pata de la broca) para reducir el desgaste en el mismo. Para minimizar la erosión interna, una cubierta de carburo es colocada en la entrada de las boquillas.

1.3.4. CONEXIÓN (SHANK)

El shank provee una conexión API con el pin (rosca) para ensamblar la broca al ensamblaje de fondo o BHA “Bottom Hole Assembly, por sus siglas en ingles”, así como también posee el “bit breaker slot” que es un sesgo que permite enroscar o

desenroscar la broca mediante una herramienta en forma de U llamada "bit breaker" la cual se coloca en el cuadrante de la mesa

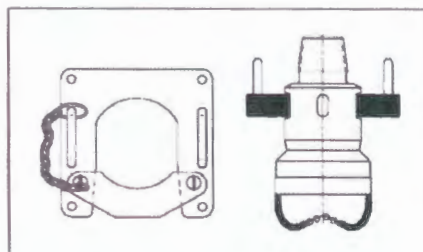


Fig. 1.14. Herramienta para desenroscar la PDC "Bit Breaker"

rotaria a la cual se le aplica un torque específico mediante llaves hidráulicas/neumáticas.

También el shank alberga la identificación de la broca, es decir el tipo, serie y numero de parte de la misma.

El shank es formado de una aleación de acero térmicamente tratado (4140). Para las ambas brocas, cuerpo de acero y de matriz el shank es un elemento de fabricación separada.

Las brocas de cuerpo de matriz deben soldarse a una estructura de sostén llamada "blank". La matriz de carburo de tungsteno es colada alrededor del blank y se utiliza para ser soldada al shank. Para el blank se utiliza acero relativamente dúctil y blando (1018), dado que se lo somete a un importante ciclo térmico durante la colada.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



Fig. 1.15. Proceso de Suelta del Shank al Cuerpo de una PDC

1.3.5. OTROS MATERIALES

Boquillas.- Son piezas intercambiables cuya función es liberar la energía hidráulica y la fuerza de impacto requerida hacia la formación para el levantamiento de cortes, limpieza del hoyo y enfriamiento de la broca.

Son elaboradas de carburo de tungsteno compacto y cobalto a alta presión y están diseñadas para soportar dureza y resistencia a la erosión.



Fig. 1.16. Boquillas Intercambiables

1.4. TECNOLOGÍA DEL DISEÑO DE LAS BROCAS PDC

1.4.1. MECÁNICA DE CORTE

Para perforar un pozo, una broca debe transmitir la suficiente energía a la formación para romper la roca y remover los recortes. El objetivo principal del diseño es cortar la roca tan eficientemente como sea posible. La configuración hidráulica de la broca debe asegurar que el fondo del pozo y la estructura de corte se mantengan limpias.



Fig. 1.17. Mecánica de Corte de la PDC

El cortador PDC fractura la roca por corte o cizallamiento, durante esta acción la dirección de la carga y la fractura resultante son paralelas aproximadamente.

A medida que el cortador penetra en la formación, la punta del cortador corta y elimina el material en capas.

ORIENTACIÓN DE LOS CORTADORES

Existen dos diferentes formas de orientar los cortadores en una broca PDC y son: según el ángulo contra la formación (Back Rake) y según en ángulo paralelo a la formación (Side Rake).

Back Rake.- O ángulo de rastrillaje es el ángulo formado entre la cara del cortador y una línea perpendicular a la superficie de corte y se expresa por medio de un número positivo. Este es un factor clave en la determinación de la durabilidad y la agresividad de la broca (y por lo tanto la sensibilidad al torque). Comúnmente se manejan tres diferentes ángulos de back rake: 15°, 20° y 30°.

Una variedad de back rake es usado según su aplicación en diferentes partes de la broca. Por ejemplo un back rake bajo como de 15° es considerado agresivo, utilizado principalmente en formaciones blandas y colocados especialmente en el cono donde la durabilidad no es tan relevante. En cambio un mayor ángulo de back rake por ejemplo 30° es menos agresivo y es menos sensible al peso y al torque por lo que podría colocarse en la parte superior del hombro y en el calibre.



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

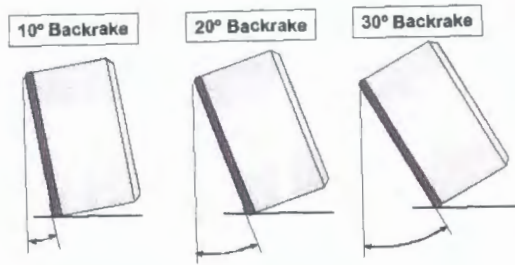


Fig. 1.18. Angulo de Rastrillaje o "Back Rake"

Side Rake.- La orientación lateral es el ángulo formado entre la cara del cortador y una línea generada desde el centro del cortador y el centro de la broca. Determina si la cara de un cortador es paralela o si posee un ligero ángulo con respecto a la formación. Si un cortador posee un side rake mayor que cero su cara tiene un borde que de ataque contra la formación. El ángulo side rake esta generalmente entre 0° y 10° .



Fig. 1.19. Angulo de Orientación Lateral o Side Rake

1.4.2. PERFIL

El perfil es el elemento principal en todos los diseños de brocas que poseen cortadores fijos. El término "perfil" hace referencia a la forma distintiva de la broca vista lateralmente. El objetivo básico de cualquier perfil es permitir un desgaste equilibrado de la estructura de corte y optimizar la estabilización de la broca.

El diseño del perfil es un factor clave a la hora de determinar el número de cortadores que se colocarán en una aleta.

Cuanto más largo es el perfil, más cortadores podrán ser colocados por aleta. El diseño del perfil también es un factor que se debe tomar en cuenta para equilibrar estabilidad y durabilidad.

Un perfil más largo tendrá más cortadores y se desgastará más lentamente, pero será menos estable, mientras que un perfil más corto tendrá menos cortadores y, en teoría, se desgastará más rápido, pero será más estable.

COMPONENTES DEL PERFIL

El perfil es una curva compuesta por tres partes: el cono, la nariz y el hombro. La forma del perfil influye directamente en el número de cortadores por unidad de área o “densidad de cortadores”, en los esquemas de colocación de los cortadores y en la configuración hidráulica.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



Fig. 1.20. Componentes del Perfil de la Broca PDC

Cono.- Es la sección del perfil comprendida entre el eje geométrico y la nariz. Provee mayor área de superficie disponible para colocar cortadores. El cono también estabiliza la broca impidiéndole tener movimiento lateral. Los ángulos generalmente usados en el cono están entre 20° – 25° .

Nariz.- Representa el punto más bajo del perfil, su radio determina el grado y forma de la nariz. Un radio largo provee mayor durabilidad pero ofrece menor rata de penetración así como ofrece mayor estabilidad pero reduce la longitud y resistencia al desgaste del hombro.

Hombro.- Es la parte del perfil entre la curva de unión de la nariz y el calibre. El hombro es una curva de empalme continua que se extiende desde la nariz hasta el calibre vertical para brindar la máxima densidad de cortadores a lo largo del diámetro exterior (OD), y así reducir el desgaste en el calibre.



Fig. 1.21. Componentes del Perfil PDC por separados

1.4.3. DINÁMICA DE LA BROCA

Las vibraciones producidas por la dinámica de la broca es considerada como una de las principales causas de fallas prematuras de una PDC.

Existen tres mecanismos de vibración que pueden causar el daño a una PDC: Vibración axial (Bit bounce), vibración torsional (stick-slip) y vibración lateral (bit whirl). Es importante notar que cada una de estos modos de vibración puede inducir a otros.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

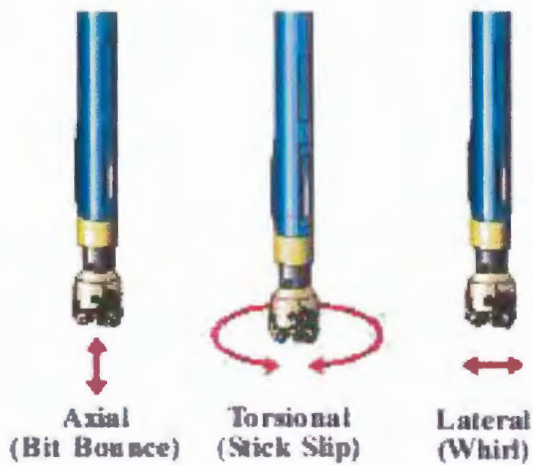


Fig. 1.22. Modos de Vibración

FUERZAS DE BALANCE

Cuando una carga es aplicada a la broca ésta se puede descomponer en tres fuerzas: Fuerza lateral (side force), Peso Sobre la Broca (WOB) y el Torque (cutting force).

La fuerza lateral se produce debido a la orientación de los cortadores (back rake, side rake y posición en el perfil). Cada cortador tiene su propia fuerza debido a su posición única. El porcentaje de imbalance es la razón de la suma de las fuerzas laterales y el peso de la broca.

$$\text{SIDE IMBALANCE \%} = \frac{\sum \text{Side Force}}{\sum \text{WOB Force}}$$



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

El torque es la fuerza en la dirección del corte la cual asume una profundidad de corte "Depth Of cut" y rotación tal como se muestra en la grafica.

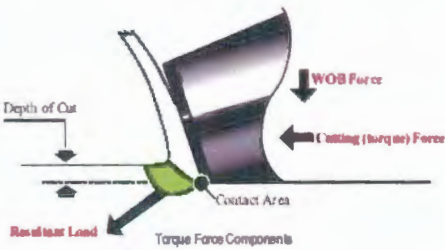


Fig. 1.23. Componentes de la Fuerza del Torque

El porcentaje de imbalance del torque es la razón entre la sumatoria de las fuerzas individuales de cada cortador y de los componentes del peso sobre la broca (WOB).

$$\text{TORQUE \% IMBALANCE} = \frac{\sum \text{Torque Force}}{\sum \text{WOB Force}}$$

El imbalance lateral y del torque tiene una magnitud y dirección tal como se ilustra en la gráfica.

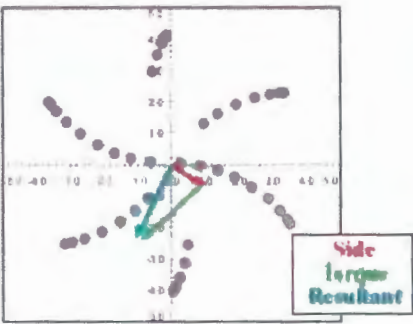


Fig. 1.24. Magnitudes y Direcciones de la Fuerzas de Corte

El radio del las fuerzas laterales y torsionales con respecto al WOB tienen un efecto en la estabilidad de la broca. Se desearía mantener esta relación lo mas cercano posible a 1:1.

ESTABILIDAD

Antes del desarrollo de la tecnología anti-remolino, a finales de la década de los 80, no se prestaba mucha atención a la estabilidad de las brocas PDC. Dada la naturaleza fija de sus cortadores y la solidez de su cuerpo, nada hacia pensar que un broca de estas características pudiera rotar de otra forma que con absoluta concentricidad.

AMOCO fue la líder en la investigación de la vibración y estabilidad de las brocas y produjo los primeros trabajo para la SPE "Society of Petroleum Engineers" sobre el fenómeno de vibración lateral de las brocas: SPE # 19571 – Bit Whirl, A new Theory of PDC Bit Failure & SPE #19572 Development of a Whirl Resistant Bit. Varios fabricantes de brocas participaron del desarrollo inicial de AMOCO para crear una broca resistente a la vibración lateral.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Desde el punto de vista del diseño de las brocas, el objetivo principal es la estabilidad lateral. Durante el desarrollo de las brocas anti-remolino se verificó la estabilidad por medio de una prueba de laboratorio. Dicha prueba utilizaba un simulador de superficie y brocas de tamaño real ensayados en condiciones atmosféricas empleando piedra caliza de Carthage. Se contó con un protocolo de ensayo establecido para aumentar



Fig. 1.25. Prueba de Estabilidad con Simulador en Superficie

escalonadamente la tasa de penetración a un régimen de rotación fijo. El patrón de fondo del pozo y el diámetro se controlaron cada vez que se iba

incrementaba la ROP.

La estabilidad para la broca bajo ensayo se definió como la ROP a la cual la broca comenzaba a perforar un patrón de fondo del pozo a escasa tortuosidad y con el pozo en calibre.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

La estabilidad incrementa la durabilidad de los cortadores e influencia significativamente en la ROP. Cuando los cortadores se encuentran sustancialmente afectados la ROP decrece drásticamente.

VIBRACIÓN LATERAL

La vibración lateral de la broca es lo que en inglés se denomina bit whirl "remolino de la broca", tal como su nombre lo indica, se trata de un tipo de vibración que causa movimiento lateral.

El resultado de la vibración lateral es que la broca no rota alrededor de su centro geométrico, sino que pivota alrededor de un punto en el calibre que se desplaza permanentemente alrededor de la broca.

El BHA también puede exhibir un movimiento en remolino y puede afectar a una broca con diseño estable, así como también una broca con diseño estable puede no proveer beneficios a problemas relacionados con movimientos laterales de los drill collars.

El remolino de la broca puede detectarse frecuentemente en brocas desgastadas si se reconocen ciertos tipos específicos de daño, como cortadores partidos, calibre con desgaste dispar, calibre redondeado o marcas en el cuerpo de la broca.

Para mejorar la estabilidad de las brocas cada compañía posee características especiales pero todas ellas están diseñadas para proteger a los cortadores del impacto.

Otra mejora para evitar el movimiento lateral es el patrón en que se colocan los cortadores en el que las fuerzas de imbalance sean menores que el 7% del WOB para bajo imbalance o relativamente altas cercanas al 15% del WOB para alto imbalance.

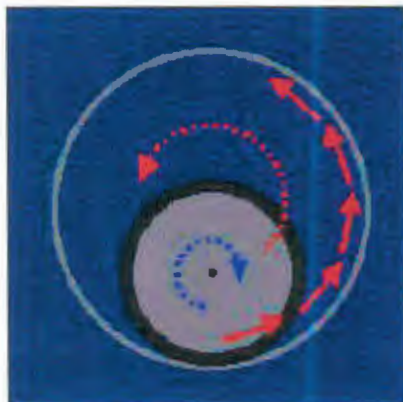


Fig. 1.26. Vibración Lateral que produce el Remolino de la PDC



Fig. 1.27. Protección Adicional para Reducir la Vibración Lateral



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

VIBRACIÓN TORSIONAL

La vibración torsional se caracteriza en condiciones extremas como “stick-slip”, pega y libera. Es una rotación no uniforme de la broca que puede ser reconocida en variaciones de frecuencias bajas (típicamente < 1Hz) en el torque de superficie. La vibración torsional producida por la broca es la interacción de los cortadores con la formación y la fricción generada por el calibre. Sin embargo hay otros elementos del BHA particularmente los estabilizadores que podrían causar vibración torsional independientemente de la broca.

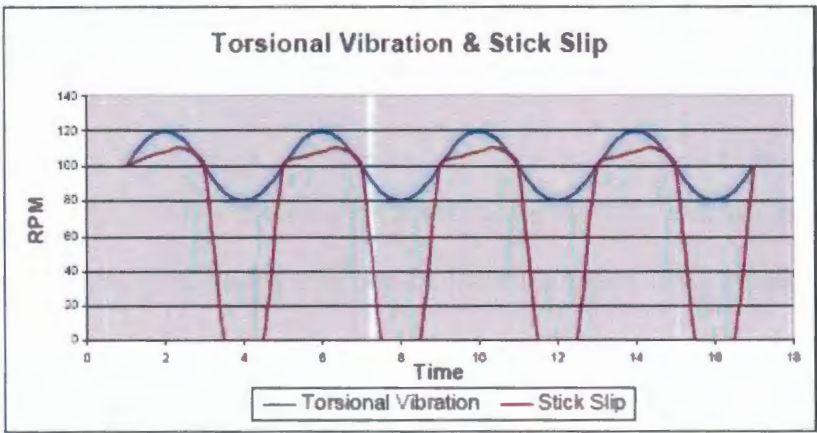


Fig. 1.28. Comparación de la Vibración Opcional y Stick Slip

Mientras la sarta rota los drill pipe almacenan energía torsional como un resorte cuando el torque aplicado excede al total de

las fuerzas estáticas friccionales se produce en el BHA un movimiento rotatorio.

Diseños menos agresivos de brocas con altos ángulos de rastrillaje “backrakes” y bordes más gruesos en los cortadores pueden minimizar la vibración torsional.

VIBRACIÓN AXIAL

La vibración axial ocurre en el plano vertical, paralelo a la dirección en que la broca está perforando. Las brocas de conos rodantes (tricónicas) presentan generalmente una vibración de este tipo.

La sarta sube armónicamente mientras perfora debido a la acción de corte de los tres conos. Para las brocas PDC pueden presentarse algunas vibraciones axiales debido a interacción entre la broca, el BHA y la formación.

La vibración axial provocará daño en los cortadores fracturándolos o quebrándolos debido a la alta carga axial sobre la broca.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

En aplicaciones direccionales u horizontales, el BHA puede colgarse y repentinamente liberarse causando que la broca impacte el fondo del pozo con significativa fuerza (algunas veces se refiere como sick-slip axial). La vibración lateral también puede producir vibración axial.

Mayor protección en la nariz y hombro de la broca son unas de las opciones del diseño para mitigar los efectos de la vibración axial. Otra técnica es la exposición reducida de los cortadores.

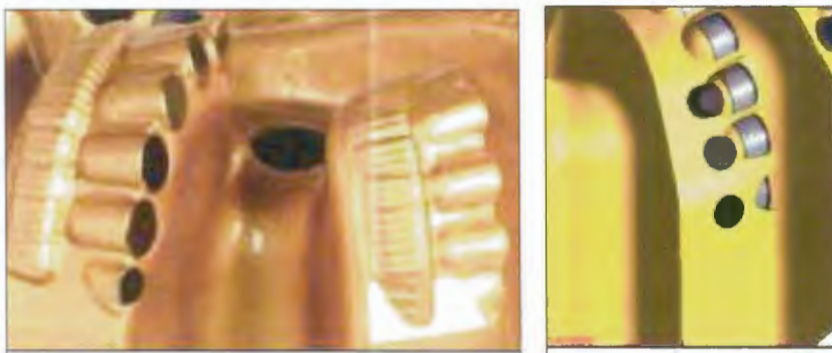


Fig. 1.29. Características Adicionales para las PDCs para minimizar la Vibración Axial

1.4.4. DISEÑO HIDRÁULICO

El diseño hidráulico describe la metodología utilizada para controlar el flujo de los fluidos de perforación a través de la cara frontal de la broca. El objetivo fundamental de un diseño hidráulico es utilizar de manera eficiente la energía hidráulica disponible para obtener la limpieza y el enfriamiento óptimo



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

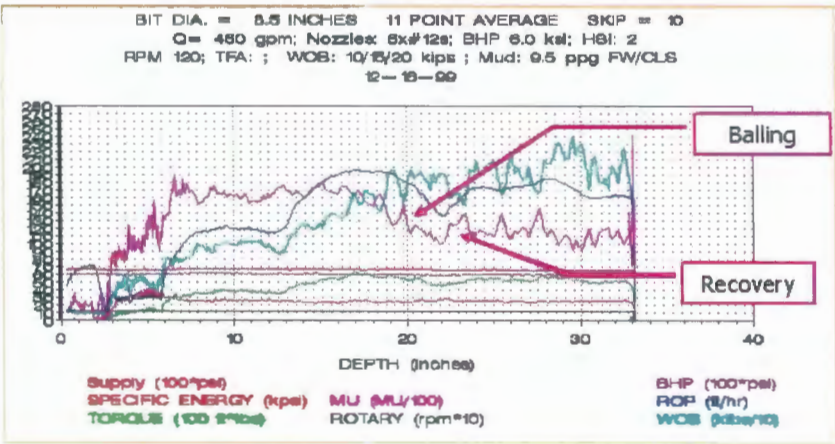


Fig. 1.30. Tendencia al Embolamiento con peso sobre la Broca

CANALES DE LIMPIEZA O JUNK SLOTS AREA

Son regiones de desalojo entre las aletas de una broca que son usadas para llevar los cortes al espacio anular. Su propósito es cargar los cortes de la formación fuera de los cortadores.

Generalmente, los junk slots deben ser tan anchos y profundos como el diseño de broca y la estabilidad lo permitan, especialmente en formaciones blandas donde un rápido ROP incrementa la necesidad de limpieza.

Un factor limitante del ancho y la profundidad de los junk slots es el esfuerzo que soportan las aletas.

EFICIENCIA HIDRÁULICA

Desde el punto de vista de la eliminación de material, la eficiencia hidráulica se define como la máxima tasa de penetración lograda sin que se produzca embolamiento. Esto es realizado mediante pruebas en un simulador de perforación perforando lutitas en condiciones prefijadas.

Un análisis del flujo de partículas que cada compañía de brocas realiza mediante simuladores computacionales de flujo permite optimizar la hidráulica evaluando la evacuación y remoción de cortes.

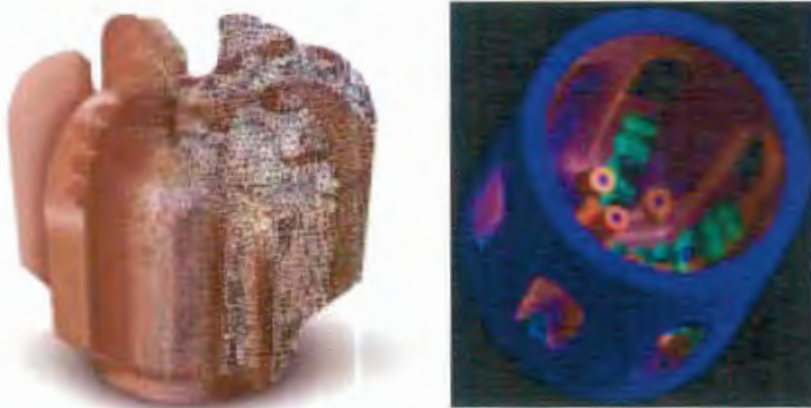


Fig. 1.31. Simulación de Análisis de Flujo de Partículas



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

TIEMPO DE RESIDENCIA

El tiempo de residencia de las partículas (también conocido como “transporte de los recortes”) es el tiempo relativo que requieren las partículas liberadas por cada cortador y por cada boquilla dentro del campo de flujo, para salir de los canales de limpieza a través de un plano predeterminado.

El número de partículas por cortador se basa en la velocidad de trabajo de ese cortador específico. Los cortadores que tienen una mayor velocidad de trabajo inyectan más partículas en un periodo dado de tiempo.

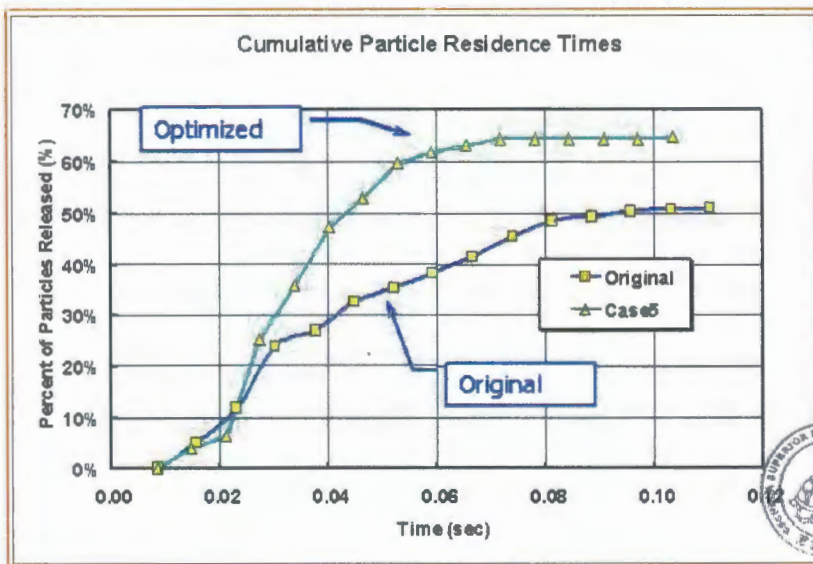


Fig. 1.32. Tiempo de Residencia de Partículas Acumuladas

FLUJO BALANCEADO

El flujo balanceado se logra haciendo corresponder el caudal de fluido con el caudal de recortes en cada par: (aleta - canal de limpieza). Para cada par, el caudal de equilibrio es el caudal porcentual dividido por el volumen porcentual de recortes generado.

La relación debe ser positiva. Una relación negativa indica que se está fluyendo mas fluido hacia el centro de la broca del que se está abandonando por ese canal de limpieza en particular. Además esta relación debe ser lo más cercana a 1. Esto indica que el caudal porcentual de fluido es igual al volumen porcentual de recortes generado en un canal de limpieza dado.

En el siguiente ejemplo se aprecia la optimización de la hidráulica de una broca. El gráfico de la izquierda muestra la situación original, mientras que a la derecha se ve el resultado de la optimización. En el eje X se representan el número del canal de limpieza y en el eje Y la relación de equilibrio de flujo. 1 es el valor ideal para todas las barras.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

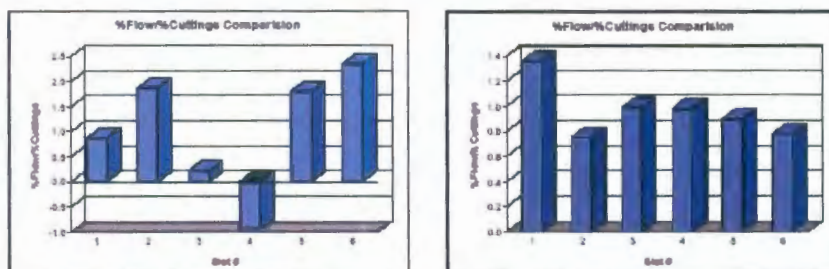


Fig. 1.33. Comparación del Flujo - Balanceado Caso Original VS Caso Optimizado

1.4.5. APLICACIÓN DIRECCIONAL CON MOTOR DE FONDO

Las aplicaciones direccionales requieren de brocas que posean eficiente corte axial y lateral. En un pozo direccional factores como la inclinación y el azimut son de vital importancia, las brocas deben ser diseñadas para facilitar el control de la dirección del pozo y mantener la calidad del hoyo debido a esto las brocas para aplicaciones direccionales deben poseer las siguientes características:

Facilidad del control del tool face (cara de la herramienta).-

Debe proporcionar buen control de la orientación del pozo ajustándose a la tasa de construcción planeada.

Proporcionar buena calidad del hoyo.- Minimizando los dog leg (pata de perro) y manteniéndose en calibre durante toda la

carrera aligerando la transición de los distintos modos de rotación y/o deslizamiento.

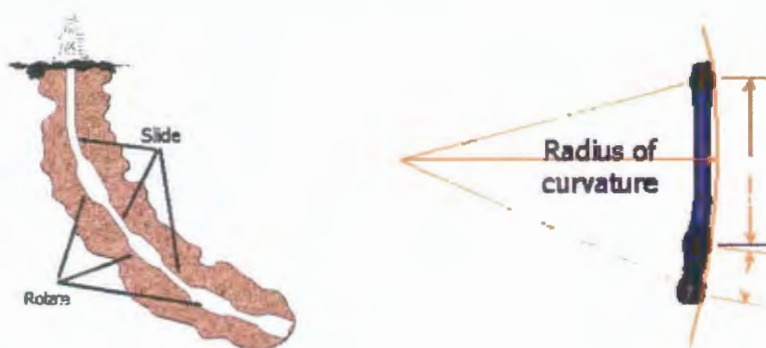


Fig. 1.34. Modo Slide, Rotación y Tortuosidad del Hoyo

Maximizar la ROP.- Evitando las levantadas del fondo debido a stalling (para del motor) y/o control del tool face que demoran la perforación.

Resistencia. Eliminando viajes por cambio de broca.

Gauge largos.- Se tenía el concepto de que brocas con mayor corte lateral y gauge cortos eran mejores para direccionar, el desarrollo en la tecnología de brocas direccionales demostró que aunque el corte lateral es necesario para desviar, brocas con gauge cortos aunque eran buenas para pasar a través de hoyos irregulares se dañaban mas rápidamente e impactaban enormemente en la calidad de hoyo. Brocas con gauge más

largo resultan ser superiores en la calidad del hoyo, responden mejor en el momento de construir y mejoran la ROP.

Baja agresividad.- Las brocas de conos rodantes son mucho menos agresivas que las PDC ya que toleran mejor los cambios de WOB. Para reducir la agresividad de las PDC y acercarse mas al comportamiento de una tricónica los cortadores en una broca direccional PDC poseen exposición reducida de los cortadores, esto funciona como un limitador de torque aunque limita la profundidad de corte - DOC (Depth Of Cut).

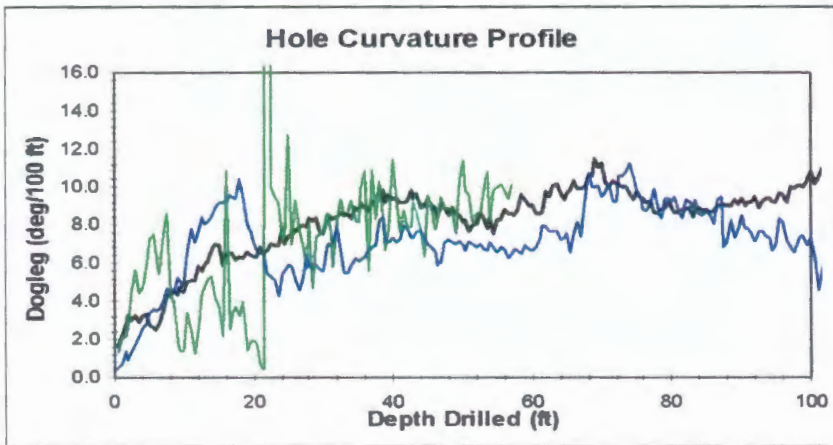


Fig. 1.35. Dogleg vs. Profundidad



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

1.5. BROCAS TRICÓNICAS

Las brocas tricónicas se definen como aquellas que poseen tres conos soportado por cojinetes que les permiten tener rodamiento. La estructura de corte comprende los elementos de corte y divide a las brocas tricónicas en dos tipos: broca de insertos de carburo de tungsteno y brocas dientes de acero.

En esta sección se detallará los componentes principales de los dos tipos de brocas tricónicas y se analizará la tecnología de sus diseños.

1.5.1. COMPONENTES DE LAS BROCAS TRICÓNICAS

Las brocas tricónicas están divididas en tres componentes principales: La estructura de corte, los cojinetes & sellos y el cuerpo de la broca. También se incluye el sistema de lubricación así como sus componentes.

La estructura de corte consiste en los elementos de corte los cuales pueden ser de insertos de carburo de tungsteno o de dientes de acero contenidos en conos rodantes. Los conos son

colocados sobre los cojinetes los cuales pueden ser sellados o no sellados.

El cuerpo de la broca contiene los canales de salida de las boquillas y también el sistema de compensación de presión. El Shank o conexión es maquinado para conectar la broca a la sarta de perforación y posee la identificación de la broca.

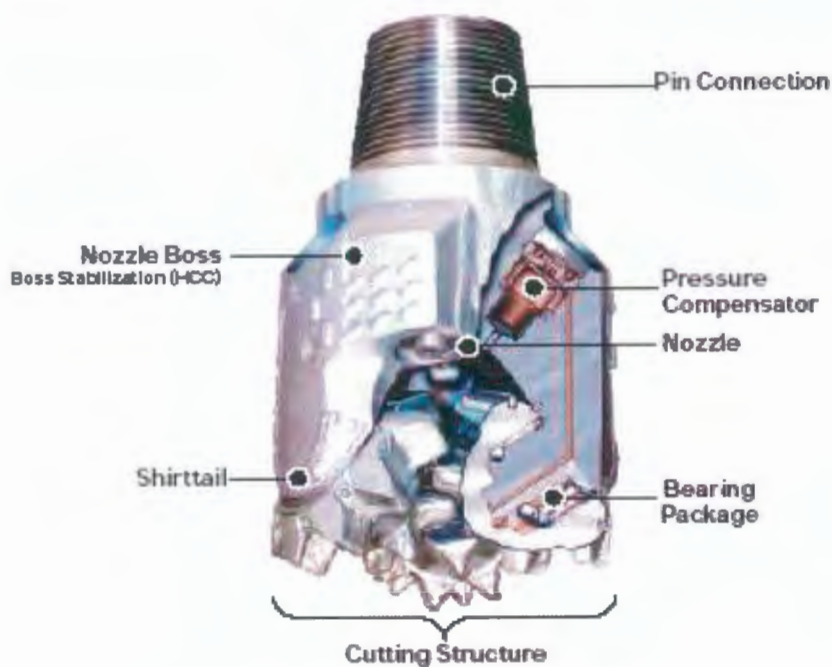


Fig. 1.36. Componentes de las Brocas Tricónicas

Todas las brocas tricónicas tienen los mismos componentes pero diferentes elementos de corte, cojinetes, tipos de sellos y configuración de las boquillas.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

1.5.2. ESTRUCTURA DE CORTE

Dos distintos tipos de elementos de cortes actualmente están siendo usados en brocas tricónicas. Dientes de acero “ST – Steel Tooth” e Insertos de Carburo de Tungsteno “TCI – Tungsten Carbide Insert”.

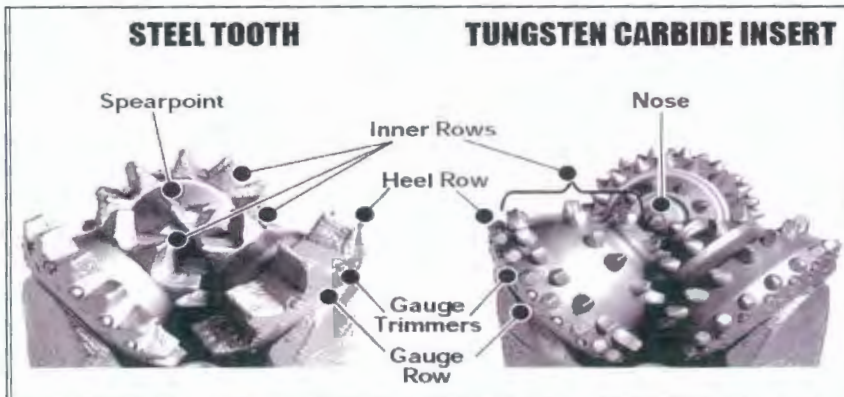


Fig. 1.37. Componentes de la Estructura de Corte

Los conos son numerados empezando por el cono que posee la punta de flecha en la nariz (para las brocas TCI es el cono con el compacto que está más cerca del centro) este es el cono número uno. Entonces los conos son



Fig. 1.38. Numeración de los Conos

numerados dos y tres según en sentido de las manecillas del reloj mirándola la broca desde arriba.

CONOS

Las tricónicas están sometidas a condiciones severas de funcionamiento cuando perforan por lo que los conos deben ser resistentes no solo al desgaste sino también a la carga de choque. La mayoría de los conos se pierden cuando fallan los sellos ya que se desprenden de los cojinetes (desgaste por falla de los sellos). También pueden ocurrir fisuras por recalentamiento que harán que el cono se rompa y se pierda en el pozo con los consiguientes problemas de pesca.

CONOS CON DIENTES DE ACERO

Los conos con dientes de acero se maquinan a partir de piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo. A los dientes se les aplica material duro (revestimiento



Fig. 1.39. Conos con Dientes de Acero

duro) que contiene varios tamaños y tipos de partículas de carburo de tungsteno diseñadas para maximizar la vida de corte del diente. Este material es aplicado mediante un proceso de oxiacetileno.

El diseño de los dientes es el resultado de años de continuo trabajo experimental y de desarrollo, muchos diferentes diseños de dientes han sido probados el más común es una cuña en forma de dientes con una larga dimensión de la cresta centrada a lo largo del eje del cono.

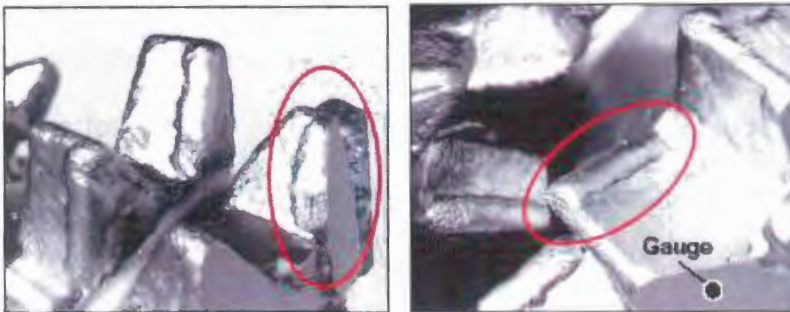


Fig. 1.40. Protección con Revestimiento duro a los Dientes de Acero

Las superficies del cojinete se endurecen luego de un tratamiento térmico para lograr superficies de precisión con máxima dureza y resistencia al desgaste.



**BIBLIOTECA FIC
ESPOL**



Fig. 1.41. Cono de Acero Carburado y Post-carburado

CONOS DE INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO

Al igual que los conos con dientes de acero, los conos con insertos de carburo de tungsteno se maquinan a partir de piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo. Los conos maquinados se carburan y templean en aceite.

Este tratamiento térmico permite lograr un núcleo altamente resistente que pueda retener a los compactos y a las superficies de cojinetes endurecidas para resistir el desgaste.

No obstante, los conos se procesan de tal manera que las superficies de las áreas donde se deben perforar los orificios para instalar los insertos no se carburen.



Fig. 1.42. Conos de Broca TCI

1.5.3. COJINETES & SELLOS

COJINETES

El cono se encuentra sujeto a cuerpo de la broca (pata) por medio del cojinete que posee un mecanismo de retención que utiliza balineras o rulemanes. En el cojinete y cono respectivamente se maquinan pistas en donde van colocados dichos rulemanes.

La pata de la broca cuenta con un orificio que se perfora desde el lado hacia las pistas de los rulemanes en el cojinete y es por donde se insertan los rulemanes una vez que se coloca el cono



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

en el cojinete. Cuando la pista se encuentra llena se coloca un tapón en el orificio de entrada y se suelda para que permanezca cerrado.



Fig. 1.43. Cojinete de una Broca Tricónica

SELLOS

La función del sello es mantener el lodo fuera de los cojinetes y dentro el lubricante de manera efectiva. Los sellos fueron desarrollados en 1959 mejorando la vida útil de las brocas y permitiéndoles soportar mayores pesos al perforar formaciones duras.

Actualmente existen dos tipos de sellos para brocas tricónicas y son: Sellos Elastoméricos y sellos Metal – Metal.

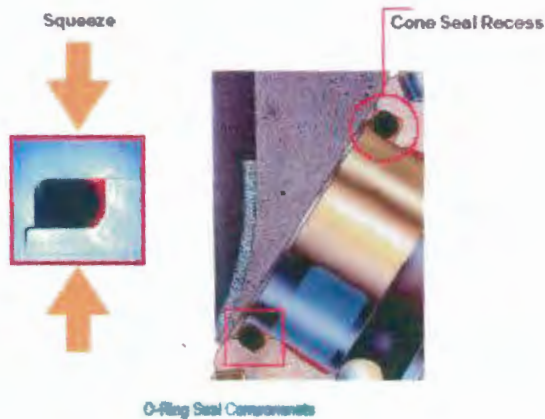


Fig. 1.44. Sellos de una Broca Tricónica

Sellos Elastoméricos.- También conocido como sello de o-ring es un sello radial dinámico compuesto por un anillo de caucho que debe soportar las cargas sobre el cono. Como el cono rota el sello experimenta desgaste dentro y fuera de sus caras por lo que sus propiedades deben ser optimizadas para proveer resistencia al desgaste, a la temperatura y a los químicos provenientes de los fluidos de perforación.

Sellos Metal – Metal.- Este sello es compuesto de dos anillos metálicos sumamente duros y altamente pulidos que se mantienen estacionarios con respecto al movimiento del cono y que presionados unos con otros por dos anillos de caucho. Estos sellos alargan la vida de las brocas tricónicas en



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

aplicaciones a altas RPM, altas temperatura y condiciones abrasivas.

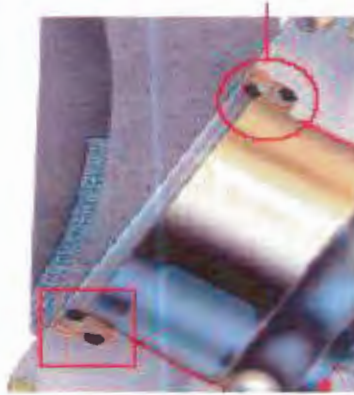


Fig. 1.45. Sellos Metal - Metal

1.5.4. CUERPO DE LA BROCA

El cuerpo o comúnmente llamado patas de la broca (para brocas tricónicas) son maquinados a partir de una aleación de acero forjado. El pin del cojinete es carburado para proveer dureza y resistencia al desgaste.

La carburarización es un tratamiento térmico que incrementa la dureza del acero introduciéndole partículas atómicas de carbono. La combinación de alta dureza y superficies pulidas es beneficiosa ya que hacen que el acero soporte altos esfuerzos y resistencia a la fatiga.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**



Fig. 1.46. Cuerpo de la Broca

1.5.5. SISTEMAS DE LUBRICACIÓN

Las brocas tricónicas sufren extremada carga sobre los cojinetes lo cual puede resultar en contacto del cojinete con el cono. Una apropiada formulación de grasas es utilizada para minimizar estos contactos y mantener una película lubricante sobre la superficie del cojinete reduciendo el desgaste y previniendo fallas catastróficas del mismo. Esta grasa es comprimida por un sistema compensador.



Fig. 1.47. Sistema de Lubricación



Fig. 1.48. Engrasado del Sistema de Lubricación

El sistema compensador de lubricación y presión consiste de un reservorio de grasa, un compensador de caucho, un tubo conductor y un sello de rodamiento.

El sistema compensador de presión equilibra la presión del rodamiento con la presión en el fondo del pozo dada por el fluido de perforación. Esto es requerido para prevenir los diferenciales de presión al otro lado de los sellos del rodamiento. El compensador de presión es esencialmente un diafragma que permite que la presión del lodo no sea comunicada a la presión de la grasa dentro del rodamiento.

El sistema de lubricación es evacuado al vacío y luego engrasado a presión para asegurar un sistema libre de goteos que es llenado al 100% de su capacidad. Una sólida tapa y sello sobre el reservorio de grasa previenen que el fluido de perforación gotee dentro del sistema de lubricación.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

1.6. TECNOLOGÍA DE LAS BROCAS TRICÓNICAS

1.6.1. MECANISMO DE CORTE

El mecanismo de corte de las brocas tricónicas se debe a tres acciones producidas por los dientes o insertos. El inserto compacta y tritura la formación



Fig. 1.49. Mecánica de Corte

generando los recortes que posteriormente son paleados hacia fuera por el mismo cortador.



Fig. 1.50. Etapas de Mecanismo de Corte

1.6.2. DISEÑO HIDRÁULICO

El fluido de perforación limpia el fondo y enfría la broca. Las primeras tricónicas no empleaban diseños hidráulicos como la conocemos hoy en día. El fluido de perforación simplemente llegaba al fondo del pozo para que pudieran salir a superficie los recortes.

En 1948 se introdujo a la industria un nueva tricónica en el que el fluido de perforación se impulsaba a través de los orificios de las boquillas. Esta corriente de fluido a alta velocidad estaba dirigida intencionalmente al fondo del pozo, lejos de los conos, para limpiar el fondo y evitar que se erosione las paredes del pozo. La orientación de las boquillas, que apuntaba al fondo cerca de la unión de la pared, más o menos equidistante entre los conos, pasó a ser el estándar en la industria y se conoció como "broca de chorro". A efectos comparativos, a esta configuración se le denominará boquilla convencional.

El siguiente desarrollo comercial importante en la hidráulica de las tricónicas tuvo lugar en 1984 cuando la compañía REED introdujo un diseño en que las boquillas estaban orientadas de forma tal que parte del fluido de perforación limpiaba los conos y también el fondo del pozo.

SISTEMAS HIDRÁULICOS

Cada compañía de brocas emplea sus propios sistemas hidráulicos pero se diferencian en la orientación de las boquillas. Existen sistemas hidráulicos en el que el flujo que



**BIBLIOTECA FIC
ESPOL**

sale por las boquillas pasa a través de la mitad del área entre los conos y toca el fondo. Los recortes que son removidos hacia arriba del espacio anular chocan contra el chorro provocando un cambio en la dirección del fluido que genera turbulencia y recirculación cerca del chorro en el fondo del pozo en un patrón de flujo mucho menos eficiente.



Fig. 1.51. Sistemas Hidráulicos Orientado al Fondo

Otros sistemas hidráulicos dirigen el chorro mas cerca del cono y de la pared apuntando a la esquina del pozo. Este chorro pasa por la estructura de corte de la hilera externa y del calibre limpiándolas más eficientemente removiendo los recortes fuera del área del sello.

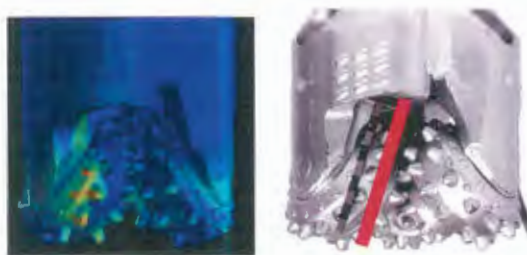


Fig. 1.52. Sistemas Hidráulicos Orientado a la Cara Posterior del Cono



Otra variante de sistema hidráulico es una que coloca el chorro casi en la cara posterior de los conos impactando en el fondo del cono. Este sistema limpia múltiples hileras del cono y el chorro se orienta de forma tal que el punto de impacto en el fondo del pozo se encuentre bastante alejado de las paredes. Una restricción de este sistema es que en entornos muy abrasivos o sistemas de lodo con alto contenido de sólidos pueden causar erosión severa en el cono y/o nariz.



Fig. 1.53. Sistemas Hidráulicos Orientado al Centro de la Broca

1.6.3. CARACTERÍSTICAS OPCIONALES

Se puede mejorar el rendimiento de una tricónica añadiendo ciertas características opcionales las cuales están orientadas a alargar la vida del sello y del cojinete dependiendo de la aplicación requerida. A continuación se detallan las principales características que pueden ser añadidas a las tricónicas:

PROTECCIÓN DEL CALIBRE

Esta protección es la clave si se desea mantener un pozo en calibre y mejorar la durabilidad de la estructura de corte. Para aplicaciones muy abrasivas, se diseñan tricónicas con la mayor cantidad de insertos de carburo de tungsteno posible en la hilera del heel (externa) y del calibre. Estos insertos están sometidos a esfuerzos y desgaste extremos cuando perforan el ángulo que forma la pared del pozo con el fondo.

Las mejoras producidas en la estructura de corte, sellos y cojinetes se tradujeron en intervalos más largos en la mayoría de las aplicaciones, por lo que la necesidad de mejorar la capacidad del calibre resulta de primordial importancia.

▪ Calibre protegido con insertos de Carburo de tungsteno

Utiliza insertos de carburo de tungsteno de mayor densidad del tipo cuñavoides u ovoides en la hilera externa (heel). Esta protección permite mantener el calibre del la broca especialmente en aplicaciones a altas RPM o altamente abrasivas.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL



Fig. 1.54. Calibre protegido con insertos de Carburo Tungsteno

▪ Calibre mejorado con diamante

La hilera del calibre y la del heel de la estructura de corte del cono son los elementos que permiten que la broca perfora un pozo en calibre. La función de la hilera del calibre es mantener un pozo en calibre, compartir la carga y desgaste del calibre con la hilera del heel y proteger al sello del cojinete para que no quede expuesto debido a un desgaste severo del calibre.

En algunas aplicaciones más abrasivas, la hilera del heel con carburo de tungsteno no es la más adecuada y se necesitan compactos de diamantes para alargar la vida útil de la broca.



Fig. 1.55. Calibre mejorado con Diamante

▪ Protección de la Hilera externa (Heel)

La hilera del heel de la estructura de corte ayuda considerablemente a que la broca pueda perforar un pozo en calibre. Esta hilera es la encargada de cortar la esquina que forma la pared y el fondo del pozo. En la mayoría de las aplicaciones es necesario que los compactos de esta hilera sean duraderos y que los insertos sean de alta densidad para resistir el desgaste y las roturas.

• Heel mejorado con Carburo de Tungsteno

A fin de brindar mayor resistencia a la rotura cuando se perforan carbonatos y debido a que la fricción sobrecalienta



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

los compactos del heel se pueden utilizar compactos con un grado de carburo de tungsteno más resistente a la rotura.

▪ Heel mejorado con Diamante

En algunas aplicaciones más abrasivas la hilera del heel con carburo no es la más adecuada y se necesita un compacto de diamante para alargar al máximo la vida útil de la broca.



Fig. 1.56. Hilera del Calibre Mejorado con Diamante

▪ Protección en la Pata

La protección de la pata es de particular importancia en aplicaciones direccionales. El grado de protección dependerá de la aplicación.

La protección básica de la pata se logra aplicando material duro (revestimiento duro). Una mayor protección de la pata



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

se logra mediante la colocación compactos en el Shirttail (Calibre), que pueden ser tanto de carburo de tungsteno como de PDC.

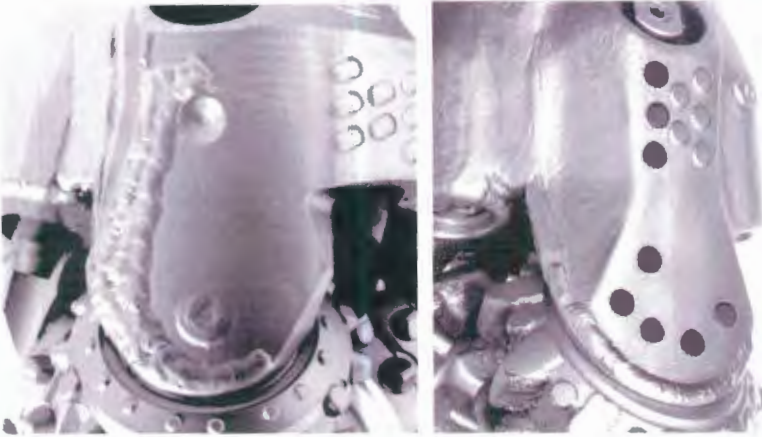


Fig. 1.57. Protección en la Pata de la Broca

▪ Otras características orientadas a la ROP

Cuando se mencionan brocas triconicas se disponen de una gran variedad de características adicionales la mayoría de ellas están orientadas a proteger el sello y el cojinete. Otro tipo de características están orientadas a mejorar la ROP de las cuales las más importantes son: Jet Central e hidráulica mejorada, Proyección y forma de los insertos, Grado TCI de los insertos, recubrimiento de Material duro, Offset de los conos, y los varios tipos de sellos anteriormente mencionados.

CAPITULO 2

OPERACIONES DE CAMPO CON BROCAS

El objetivo de este capítulo es presentar de una manera sencilla las operaciones de campo para conducir con éxito las operaciones de perforación con Brocas PDC y Tricónicas usadas en Ecuador.

Un buen funcionamiento de broca es efectivo en costo y está dentro o excede las expectativas de la operación. La información de este capítulo ayudará a maximizar la probabilidad de un buen funcionamiento de las brocas en el proyecto de perforación seleccionado.

2.1. PREPARACIÓN PREVIA A LA CARRERA DE UNA BROCA

Antes de correr una broca nueva se debe clasificar el desgaste de la broca anterior y se debe prestar mayor atención a si la broca presenta dientes rotos o perdidos, conos caídos u otros restos que pudieran estar



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

todavía en el fondo. Si existe una cantidad de chatarra significativa en el agujero, una limpieza con una canasta para chatarra (Junk basket) y una broca diente de acero debería ser considerada. El desgaste de las brocas será descrito al final de este capítulo.

Cuando se realizan viajes con brocas PDC o Tricónicas, cualquier punto apretado deberá ser rimado (o repasado) al pasar a través de ellos.

2.2. PROCEDIMIENTOS DURANTE LA CARRERA DE UNA BROCA

2.2.1. PERFORACIÓN DEL EQUIPO DE FLOTACIÓN

Los procedimientos que se emplean cuando se perfora el equipo de flotación o de cementación pueden diferir levemente para brocas PDC y tricónicas. En ésta sección se detallará por separado los procedimientos correctos para perforar el equipo de flotación.

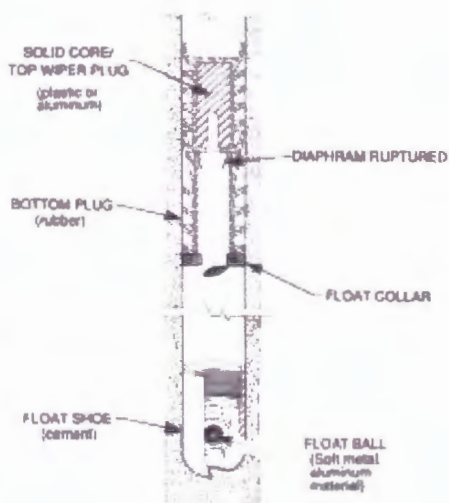


Fig. 2.1. Equipo de Flotación

PERFORACIÓN DEL EQUIPO DE FLOTACIÓN CON TRICÓNICAS

El equipo de flotación deberá ser correctamente ajustado, algunas compañías prefieren soldar el zapato flotador mediante 3 puntos de soldadura a más de la suelda liquida.

El cemento sobre el tapón puede ser difícil de perforar si usualmente hay un período de más de unos días entre la colocación del cemento y la perforación. En pozos de alto ángulo existe un peligro potencial por el daño que puede sufrir la broca y el revestidor (casing) ya que cemento sobre el tapón al endurecerse y puede actuar como una cuchara (Whipstock) forzando a la broca dentro del revestidor.

Parámetros adecuados de operación cuando se perfora el collar y el zapato flotador prevendrán el daño de la broca y del revestidor. El excesivo peso sobre la broca y la velocidad de la rotatoria pueden promover la falla de la rosca del zapato como también dañar la broca.

El insuficiente nivel de fluidez del fluido de perforación puede permitir que restos se acumulen en la cara de la broca

dañándola. Normalmente una broca tricónica de dientes cortos debería ser usada para perforar el equipo de flotación, pero se debe tener en cuenta los materiales que van a ser perforados y las propiedades de la formación debajo del zapato.

1) Parámetros Operativos con BHA Rotario y Tricónica

- 2,000 lbs de WOB (Peso sobre la broca) por pulgada del diámetro de la broca. Una broca de insertos puede necesitar un poco más de peso.
- 40 a 60 RPM (Rotación) con una broca de diente de acero.
- Bombear de 35 a 60 GPM (Caudal) por pulgada del diámetro de broca.
- Levantar la sarta varios pies del fondo frecuentemente mientras se circula y rotarla para limpiar los recortes.
- Monitorear el retorno de recortes en las zarandas ya que la naturaleza y apariencia de los recortes pueden dar valiosas indicaciones del progreso de la perforación, pero se debe tener en cuenta el tiempo de retraso de los recortes antes de llegar a las zarandas.



**BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL**

2) Parámetros Operativos con Motor de Fondo y Tricónica

Cuando se utiliza motor de fondo se debe tener en cuenta que este gira debido a la circulación del fluido. La rotación estará controlada por la cantidad de fluido que se bombee (Caudal).

- 2,000 lbs. de WOB por pulgada del diámetro de la broca.
Una broca de insertos puede necesitar un poco más WOB
- El caudal se debe fijar en la mitad de la velocidad normal de perforación al igual que la rotación.

PERFORACIÓN DEL EQUIPO DE FLOTACIÓN CON PDC

El procedimiento de perforación dependerá del conjunto de fondo según se lo utilice con motor o sin motor de fondo.

1) Parámetros Operativos con BHA rotario y PDC

Una vez que se localiza y toca el fondo, el procedimiento para una broca PDC es el siguiente:

- 2,000 lbs - 4,000 lbs. de WOB (máximo absoluto 6000 lbs.) por pulgada del diámetro de la broca. (Ej.: Una broca de 8.5" a 3000 lbs x plg. = 25.500 lbs)

- 50 a 80 RPM (Rotación).
- 40 a 60 GPM (Caudal) por cada pulgada del diámetro de la broca (Ej.:Una broca 8.5" a 50 GPM = 425 GPM)
- Se Utiliza el torque y la ROP como guía para aplicar peso sobre la broca
- Se debe observar los retornos para así determinar cuando se encuentre la formación nueva.

2) Parámetros Operativos con motor de fondo y PDC

Las RPMs depende de la circulación del fluido a través del motor y la rotación estará controlada por la cantidad de fluido bombeado (GPM):

- 2,000 lbs - 4,000 lbs. WOB (máximo absoluto 6000 lbs.) por pulgada del diámetro de la broca.
- Se deberá fijar el caudal y la rotación a la mitad de la velocidad normal de perforación.
- Levantar la sarta cada cinco minutos para que se puedan evacuar los cortes.
- Monitorear el retorno en las zarandas.
- Antes de incrementar WOB o RPM se debe asegurar de que todos los estabilizadores se encuentren fuera del revestidor.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

En algunas ocasiones pueden existir parámetros específicos en determinadas áreas, se debe tomar en cuenta que los parámetros anteriormente mencionados nos sirven únicamente como una referencia y su aplicación debe ser discutida en cada locación.

2.2.2. PATRÓN DE FONDO

En innumerables ocasiones se deberá reemplazar una broca por otra en un hueco abierto debido a cambios en las formaciones o debido a la baja tasa de penetración entre otras razones. En estos casos, resulta aconsejable establecer un nuevo patrón de fondo de pozo con la nueva broca ya sea Tricónica o PDC antes de perforar en condiciones normales.

Este patrón, que se establecerá durante el periodo de asentado permitirá que los dientes, insertos o cortadores de la broca funcionen según las características del diseño en lugar de soportar cargas irregulares.

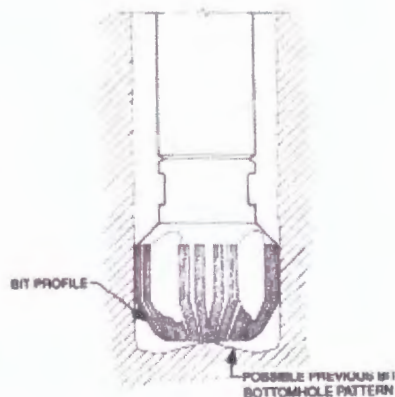


Fig. 2.2. Patrón de Fondo del Aguero

Al operar, las brocas distribuyen el peso en todo el fondo del pozo, por consiguiente, cada diente, insertos o cortador comparte el peso sobre la broca a medida que se perfora. Cuando se cambia de broca, la distribución del peso es diferente y se necesita establecer un nuevo patrón. Esto sucede incluso cuando se desgasta una broca y se cambia por otra del mismo tipo. La distribución del peso sobre la broca desgastada es distinta de la anterior.

A continuación se expondrán los lineamientos generales para establecer un nuevo patrón de fondo. En algunos casos puede ser necesario realizar algunos cambios.

PATRÓN DE FONDO CON TRICÓNICA

1) Patrón de Fondo con BHA Rotario y Tricónica

- Se debe llegar lentamente al fondo y marcar el Kelly y luego levantar aproximadamente 3 pies del fondo.
- El caudal debe ser el mismo que se emplea en operaciones normales.
- Las RPM deben ser la mitad de las empleadas en operaciones normales de perforación.

- Descender al fondo lentamente.
- El WOB no debe ser mayor que 500 lbs por pulgada del diámetro de la broca
- Una vez que la broca perfora con ese peso, levantar del fondo y circular el pozo. Bajar nuevamente al fondo usando los parámetros anteriores.
- Perforar 2 ft y continuar con la perforación normalmente ya que se ha establecido un nuevo patrón de fondo.

2) Patrón de Fondo con Motor de Fondo y Tricónica

- Caudal y Rotación a la mitad del valor empleado en operaciones normales.
- 500 lbs. de WOB por pulgada del diámetro de la broca.
- Perforar 2 ft.
- El caudal y el peso sobre la broca deben alcanzar las condiciones de perforación normales al mismo tiempo.

PATRÓN DE FONDO CON BROCA PDC

1) Patrón de Fondo con BHA Rotatorio y Broca PDC

- Se debe llegar hasta el fondo y una vez que tocado levantar la 3 ft.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

- Llevar las bombas al máximo caudal.
- Comenzar con la rotación de 30 a 60 RPM
- Colocar no más de 500 lbs .de WOB por pulgada de diámetro de la broca.
- Perforar 2ft y aumentar el WOB a condiciones normales y luego las RPM.

2) Patrón de Fondo con Motor de Fondo y Broca PDC

- Cuando se utiliza un motor de fondo varían los procedimientos en el asentado
- Llevar el caudal a la mitad de la tasa de perforación normal.
- No más de 500 lbs. de WOB por pulgada del diámetro de la broca.
- Perforar 2 ft.
- El Caudal y el WOB deben alcanzar las tasas normales al mismo tiempo.

2.2.3. PARÁMETROS OPERATIVOS DURANTE LA PERFORACIÓN

Los parámetros operativos para Brocas Tricónicas y PDC pueden encontrarse en las hojas técnicas de cada broca. Estos



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

parámetros son referenciales y se debe determinar los parámetros operativos correspondientes a la aplicación y al ambiente de perforación específico para ello es necesario efectuar en campo pruebas de perforación (Drill Off Test).

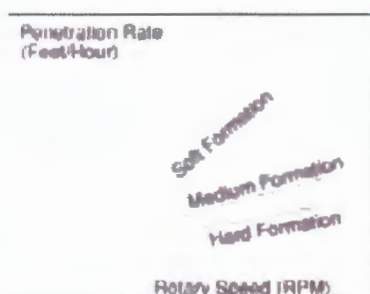


Fig. 2.3. Prueba de Perforación
Responde a RPM

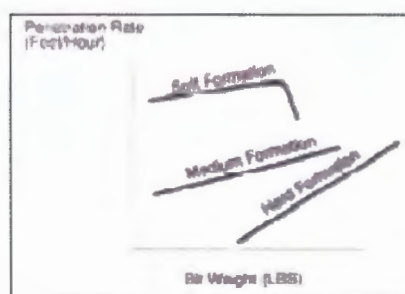


Fig. 2.4. Prueba de Perforación
Responde a WOB

PRUEBAS DE PERFORACIÓN

La prueba de perforación puede ayudar a optimizar los parámetros de perforación (WOB y RPM) para que la broca alcance su máximo rendimiento es decir la mayor ROP para la formación específica. Se debe realizar ensayos de penetración en los siguientes casos:

- Broca nueva
- Cambios en las características de la broca
- Cambios en el diseño
- Formación diferente o nueva
- Después de establecer un patrón de fondo de pozo

- No se recomienda la prueba si la formación no es uniforme.

Se deberán utilizar datos de referencia para seleccionar el punto de partida para el peso sobre la broca y la rotación. Las dos pruebas principales que se pueden realizar a las brocas son: Pasiva o Activa

(a) PRUEBA PASIVA

1. Levantar del fondo y llevar el WOB a cero.
2. Mientras se trabaja con un régimen de rotación moderado, aplicar el máximo WOB permitido. Luego se debe trabar la palanca del freno del malacate para que el aparejo permanezca a una altura fija.
3. Escoger un incremento de peso a aplicar (Por Ej. 5,000 lbs) y monitorear el WOB en forma continúa.
4. Registrar el tiempo que llevó perforar con el incremento de peso elegido.
5. Continuar registrando los tiempos que lleva perforar con el incremento de peso elegido hasta que la tasa de penetración caiga muy por debajo de la velocidad al comienzo del ensayo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

6. De los tiempos registrados, el intervalo más corto que tomó perforar el incremento de peso se considera el WOB óptimo para esta rotación.
7. Repetir el ensayo con diferentes regímenes de rotación hasta alcanzar la tasa más alta que se pueda aplicar.
8. Se considera rotación y peso óptimo a aquel que haya tomado menos tiempo para perforar con el incremento de peso elegido.

(b) PRUEBA ACTIVA

1. Fijar el régimen de rotación basándose en los registros de pozos vecinos.
2. Fijar el WOB en el menor rango permitido.
3. Seleccionar un intervalo de tiempo para perforar. (por Ej. 5 min.)
4. Registrar la penetración lograda durante el intervalo de tiempo seleccionado
5. Repetir el ensayo con varios pesos diferentes.
6. Una vez que se encontró el peso óptimo, se puede optimizar el régimen de rotación utilizando ese peso y aumentando o disminuyendo la rotación con respecto a la empleada en el ensayo que determinó el peso.

2.2.4. RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Por mucho que se planee una carrera, en determinadas ocasiones las cosas no suceden tal como lo programado.

Los indicadores de problemas con los que se cuenta en superficie son los siguientes: Presión de Bombeo, Torque, RPM, WOB, Caudal, ROP, Vibraciones, Muestras de formaciones y MWD.

Cada uno de ellos debe examinarse en mayor detalle para así encontrar la manera de realizar una recomendación válida que ayude en la operación.

Dentro de cada categoría presentada se incluye las posibles causas del problema. Algunas de estas causas son inherentes a la broca mientras otras son atribuidas a agentes externos.

Variación de la presión de bombeo

- Embolamiento de la broca
- Empaquetamiento anular
- Variación en el caudal

Aumento de la presión de bombeo

- Aumento en el caudal
- Aumento en la viscosidad o densidad del lodo
- Obstrucción de boquillas
- Restricción en el espacio anular
- Anillado o coroneado
- Embolamiento de la broca

Disminución de la presión de bombeo

- Disminución del caudal
- Disminución en la viscosidad o densidad del lodo
- Washout (lavado) de la tubería
- Lodo aireado
- Surgencia de gas
- Pérdida de circulación
- Perdida de boquillas
- Desenrosque
- Tubería cortada (y muestra una sustancial pérdida de peso sobre el gancho)

Torque Irregular

- Vibración Torsional o lateral



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

- Formaciones con intercalaciones o fisuras
- Colgamiento del conjunto de fondo (especialmente en pozo de alto ángulo)
- WOB excesivo
- Broca con bajo calibre o con pérdida de diámetro (acción de los estabilizadores)
- Chatarra en el pozo
- Ojos de llave o patas de perro (irregular geometría del pozo)

Aumento del Torque

- Aumento en el WOB
- Cambio de formación
- Restricciones en el anular (incremento del mud cake)
- Tricónicas con fallas en los cojinetes
- Brocas bajo calibre (pérdida de diámetro)
- Incremento de la inclinación del pozo

Disminución del Torque

- Disminución en el WOB
- Cambio de formación
- Broca desgastada o dañada
- Embolamiento de la broca

- Decrecimiento de la inclinación del pozo
- Vibración torsional

Disminución en la Tasa de Penetración (ROP)

- Cambio de formación
- Aumento en la densidad del lodo o propiedades desfavorables
- Falta de optimización del peso sobre la broca
- Falta de optimización de las RPM
- Escasa limpieza de la broca (hidráulica) o embolamiento.
- Condiciones de la broca (desgaste)

Aumento en la Tasa de Penetración (ROP)

- Cambio de formación
- Reducción en la densidad del lodo o mejoras en las propiedades
- Aumento en la presión de poros
- Optimización del peso sobre la broca
- Optimización de las RPM
- Optimización de la limpieza de la broca (hidráulica)



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Tasa de Penetración variable

- Formaciones fisuradas, intercaladas o en capas
- Embolamiento de la roca
- Interferencia del conjunto de fondo o colgamiento

Aumento en el Caudal con Presión de Bombeo constante

- Washout (lavado)
- Lodo aireado
- Surgencia de gas
- Pérdida de circulación
- Disminución en la viscosidad o peso del lodo

Disminución en el Caudal con presión constante

- Restricción en el espacio anular
- Obstrucción de las boquillas
- Embolamiento de la broca
- Aumento en la viscosidad o densidad del lodo
- Anillamiento

Embolamiento de la broca

Uno de los problemas que ocurren con mayor frecuencia durante la perforación es el embolamiento de la broca. Esta

ocurre cuando arcilla plástica e hidratable es adherida a la broca y no puede ser limpiada por los chorros de las boquillas, consecutivamente empieza a conglomerarse hasta taponar por completo los canales de limpieza pudiendo inclusive llegar a taponar boquillas.



Fig. 2.5. Embolamiento de una Broca

Este problema se presenta en formaciones plásticas e hidratables como lutitas y arcillolitas en condiciones de perforación y su prevención se base especialmente en las propiedades del lodo, el diseño y número de aletas de la broca y a condiciones operativas.

Causas del Embolamiento de una Broca

- Cambio de formación
- Aumento en la densidad del lodo o propiedades desfavorables

- Falta de optimización del peso sobre la broca (generalmente excesivo peso)
- Falta de optimización de las RPM (generalmente bajas)
- Escasa limpieza de la broca (hidráulica)
- Condiciones de la broca (desgaste)
- Las señales en superficie de un embolamiento son:
- Disminución en la Tasa de Penetración (ROP)
- Reducción drástica en el torque de perforación
- Reducción drástica de la ROP
- Aumento sustancial en la presión de bombeo
- Aumento en el peso sobre la broca no afecta o mejora la ROP

Limpieza de la broca cuando se presume un embolamiento

- Enviar al sistema de lodo píldoras viscosas o dispersas que ayuden a limpiar la broca trabajos operacionalmente la tubería.
- Enviar agentes sólidos tales como cáscara de nuez o de arroz para ayudar a la limpieza de la broca según el tamaño permitido de los equipos de fondo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- Levantar la broca del fondo y bombear al máximo caudal permitido con máximas revoluciones (RPM), trabajar subiendo y bajando la tubería.
- Mantener alto caudal y aplicar alto WOB con RPM normales con el propósito de liberar la arcilla sobre la broca (Aplastar la bola).
- Levantar del fondo y reiniciar la perforación maximizado el caudal, aumentar las RPM antes de tocar el fondo y aplicar no más del 80% del WOB que se había usado anteriormente.

No existe un método efectivo para desembolar la broca y en ocasiones un severo embolamiento tardará horas en ser limpiado. Todas las recomendaciones anteriores deberán efectuarse reiteradamente y en Alguna ocasión será imposible conseguir desembolarla por lo que la broca tendrá que ser llevada a superficie para efectuarle una limpieza. Lo más aconsejable es la prevención del embolamiento. Se debe considerar el uso de químicos como surfactantes o polímeros agregados al sistema de lodos que ayuden a la limpieza de la broca y el fondo del pozo así como también mantener un alto caudal, altas revoluciones y pesos sobre la broca bajos.

2.2.5. EXTRACCIÓN DE UNA BROCA

Una broca es extraída por diversos factores, algunos de los cuales son positivos y otros negativos. A continuación se expondrán algunas razones:

- Cuando se llega a la Profundidad final (TD) o punto de revestimiento.
- Cuando se terminan un intervalo predeterminado o por cambio de formación y resulta indispensable cambiar la broca o BHA.
- Cuando se llega al KOP (kick Off Point), o punto en donde se empieza a desviar el pozo y es necesario cambiar el BHA y colocar una Broca Direccional.
- Cuando se llega a un punto de extracción de núcleo o corona
- Cuando el torque es excesivo y produce stalling del motor o del top drive
- Cuando se tiene excesivas vibraciones torsional o laterales.
- Cuando se tiene una disminución drástica e inesperada de la ROP
- Cuando la broca sale muy dañada después de atravesar formaciones complejas.



- Debido a aspecto económicos como ROP bajas o ventajas en la utilización de otro tipo de brocas

2.3. TÉRMINO DE LA CARRERA DE UNA BROCA

Después de la carrera la broca es evaluada mediante el Sistema Estandarizado de Graduación de Desgaste el cual es regulado por el IADC (International Association Of Drilling Contractor). El estudio de las estructuras de corte y del cojinete de una broca pueden ser datos de gran importancia cuando la broca sale a superficie. Una precisa graduación del desgaste permite visualizar como fue perforado el pozo, si obtuvo la broca el resultado esperado o si necesitamos realizar algunos cambios antes de volver a bajar la herramienta.

Una minuciosa inspección de la estructura de corte desgastada y de los cojinetes pueden dar una buena pista sobre el desgaste característico de la broca que podría afectar la próxima selección de brocas y las prácticas operativas. Graduar el desgaste y evaluar las observaciones son operaciones simples que pueden mejorar la eficiencia de perforación reduciendo los costos.

2.3.1. SISTEMA ESTANDARIZADO DE GRADUACIÓN DE DESGASTE DE BROCAS IADC

La competitividad en los yacimientos actualmente demanda que la perforación de pozos se realice lo más eficiente y económicamente posible.

Una de las herramientas para obtener información precisa y exacta es la graduación o medición del desgaste de la broca. La industria ha desarrollado un método de graduación de desgaste de letras y de símbolos que simplifican esta importante operación. Los símbolos de graduación de desgaste que se indicarán a continuación pueden ser utilizados para evaluar todo tipo de brocas, incluyendo Brocas Tricónicas, PDC, Impregnadas y de Diamantes Naturales

Estructura del Sistema

Se utilizan ocho columnas en el Registro de Brocas o Bit Record que se detalla a continuación:

IADC DULL GRADING SYSTEM CHART							
Cutting Structure				B	G	Remarks	
Inner Rows	Outer Rows	Dull Characteristics	Location	Bearing Seals	Gauge 1/16"	Other Characteristics	Reason Pulled

Tabla 2.1. Sistema de Registro de Brocas

1. **Columna 1 (I - *Inner* - Interior).**- Se utiliza para reportar la condición de los elementos cortadores que **NO** están en contacto con la pared del pozo. En la versión anterior del sistema se tenía como "Interior = 2/3 de la estructura de corte". El cambio fue hecho para reducir variaciones en la graduación e incrementar la comprensión del sistema.

2. **Columna 2 (O - *Outer* - Exterior).**- Se utiliza para reportar la condición de los elementos cortadores que tocan las paredes del pozo. En la versión anterior, esto era 1/3 de las estructuras cortadoras. Este cambio refleja la importancia de la condición del calibre y la hilera exterior para un buen rendimiento de la broca. En las columnas 1 y 2 se emplea una escala lineal de 0 a 8 para describir la condición de la estructura cortadora de la siguiente manera:

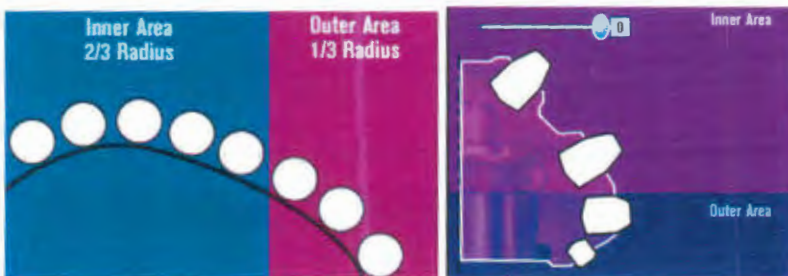


Fig. 2.6. Grados de Desgaste Interno y Externo de PDC y Tricónica

Para Brocas de Dientes de Acero: Se mide la altura perdida del diente por desgaste o daño.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

- 0 – El diente no perdió altura
- 8 – El diente perdió toda su altura

Brocas de Insertos: Se mide de manera combinada la reducción de la estructura cortadora debido a pérdida, desgaste y/o rotura del inserto.

- 0 – No hay pérdida de estructura cortadora
- 8 – Pérdida total de estructura cortadora



Fig. 2.7. Grados de Desgaste de una Broca de Inserto

Broca de Cortadores Fijos (PDC): Usando una escala lineal de cero a ocho se asigna un valor a los cortadores en las columnas del interior y del exterior para indicar la cantidad de desgaste de la siguiente forma.

- 0 – No hay desgaste representativo del cortador
- 8 – Cortador que perdió toda la tableta de diamante o caído.

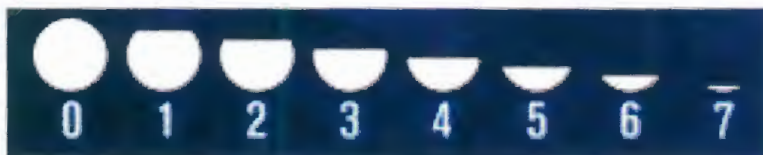


Fig. 2.8. Grados de Desgaste de una PDC

3. **Columna 3 (D – Dull Characteristic - Característica Principal del Desgaste).**- Se utiliza un código de dos letras para indicar la característica principal del desgaste de la estructura cortadora. En la tabla aparece un listado de códigos de dos letras que describe estas características. Posteriormente serán mayormente detalladas tanto para brocas PDC como tricónicas.

*BC - Cono Roto	LN - Boquilla perdida
BF - Falla en el enlace	LT - Dientes perdido
BT - Diente/cortador roto	OC - Desgaste excéntrico
BU - Trépano embolado	PB - Trépano comprimido
*CC - Cono fisurado	PN - Boquillas o canales tapados
*CD - Cono arrastrado	RG - Calibre redondeado
CI - Interferencia de conos	RO - Anillado
CR - Coroneado	SD - Daño en el extremo de la pata
CT - Dientes astillados	SS - Autoafilado
ER - Erosión	TR - Sobre huella
FC - Crestas achatadas	WO - Lavado
HC - Fisuras x calentamiento	WT - Diente/cortador desgastado
JD - Daño por chatarra	NO - Sin desgaste
*LC - Cono perdido	

* Indicar Nº o Nos. de cono/s en la columna 4.

Tabla 2.2. Característica Principal de Desgaste

4. **Columna 4 (L- Location - Ubicación).**- Se utiliza un código de una letra o un número para indicar la ubicación en la cara de la broca en donde ocurre la característica principal del desgaste. A continuación se presentan las forma de ubicar el desgaste tanto para brocas tricónicas como para brocas PDCs.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Ubicación en brocas tricónicas

La ubicación se define de la siguiente manera:

Calibre (G) – Gauge: Estructuras cortadoras que tocan la pared del pozo

Nariz (N) – Nose: Las estructuras cortadoras más centrales de la broca

Intermedia (M) – Middle: Estructuras cortadoras entre la nariz y el calibre

Todas (A) – All: Todas las hileras

"G" (hilera del calibre) reemplaza la "H" para esta versión.

El cono N°1: contiene los elementos de corte centrales o punta de flecha, mientras que el 2 y 3 siguen en sentido de las agujas del reloj al mirar la broca sobre el pin.



Fig. 2.9. Ubicación de las Brocas Tricónicas

Ubicación en las brocas PDC

La ubicación se define de la siguiente manera:

Calibre (G) – Gauge: Cortadores que tocan la pared del pozo



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Nariz (N) – Nose: Cortadores mas sobresalientes de la broca

Hombro (S) – Shoulder: Cortadores ubicados entre la nariz y el calibre

Cono (C) – Cone: Cortadores entre la nariz y el centro geométrico de la broca

Las aletas se numeran en sentido de las manecillas de reloj al mirar la broca sobre su pin, siendo la aleta 1 aquella cuyos cortadores llegan al centro de la broca y se encuentran mas abajo que el resto de cortadores.



Fig. 2.10. Ubicación de las Brocas PDC

5. **Columna 5 (B – Bearing - Cojinetes/sellos).** - Se utiliza un código de una letra o un número, según el cojinete, para indicar la condición del mismo. Para brocas tricónicas de cojinete no sellado, se utiliza una escala lineal de 0 a 8 para indicar la vida utilizada del cojinete. Cero (0) indica cojinete sin desgaste y ocho (8) indica cojinete sin vida remanente (perdido o trabado).



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Para brocas con cojinete sellado se utiliza un código de una letra para indicar la condición del sello. Una "E" indica sello efectivo, una "F" sello fallado y una "N" indica "No es posible graduar", este último código fue agregado para reportar cuando la condición del sello y cojinete no puede ser determinada. Para Brocas PDC se coloca una "X" en este casillero ya que no posee cojinetes.

6. **Columna 6 (G - Gauge - Calibre).**- se utiliza para reportar el daño del calibre de la broca tanto en PDC como en tricónicas. La letra I significa "In Gauge" e indica que no hubo reducción de calibre.

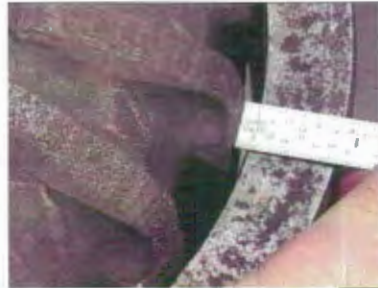


Fig. 2.11. Desgaste en el Calibre

Si la broca tiene una reducción en el calibre se debe registrar en 1/16" de pulgada utilizando un aro medidor "Ring Gauge" para efectuar dicha operación.

Para brocas tricónicas se debe aplicar la "Regla de los dos tercios". Esta regla requiere que el anillo del calibre sea colocado de manera que contacte dos de los conos en sus



puntos más salientes. Entonces la distancia entre el punto más saliente del cono y el anillo del calibre se multiplica por $\frac{2}{3}$ y se redondea al $\frac{1}{16}$ " de pulgada más próximo para obtener la reducción del diámetro correcta.

7. **Columna 7 (O - Others Characteristics - Otras Características).**- Se utiliza para reportar cualquier otra característica de desgaste de la broca, en adición al desgaste de la estructura cortadora descrito en la columna 3. Se debe notar que esta columna no es exclusiva para características de desgaste de la estructura cortadora. Se utiliza en esta columna los códigos listados en la Tabla 3.3.

8. **Columna 8 (R - Reason Pulled - Razón de salida)** se utiliza para reportar la causa por la cual la broca fue sacada. En la siguiente tabla a parece un listado con códigos de dos o tres letras que se utilizan en esta columna.

BHA	Bottom Hole Assembly	Cambio por ensamble de fondo (Ej: Drill collar, estabilizadores, PDM, MWD, etc. Cuando alguna de estas herramientas fallan.
CM	Conditon Mud	Este código es utilizado si la broca es sacada para cambiar las propiedades del fluido de perforación o cambiar de sistema de lodo.
CP	Core Point	Este código se usa cuando se necesita tomar un núcleo de formación y la broca es retirada para colocar una herramienta toma muestras.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DMF	Downhole Motor Failure	Este código se usa cuando el motor de fondo falla y es necesario reemplazarlo por otro
DP	Drill Plug	Este código se usa cuando la broca es usada para perforar el tapón y el equipo de flotación y luego es reemplazada por otra.
DSF	Drillstring Failure	Este código obedece a fallas de la sarta de perforación. La cual puede doblarse, sobreatorquearse o perderse dentro del pozo.
DSF	Drill Steam Test	Este código describe cuando es necesario realizar evaluaciones de presión de formación durante la perforación.
DTF	Downhole Tool Failure	Este código describe la razón de sacada cuando las herramientas de fondo fallan.
FM	Formation Change	Este código es usado cuando es necesario cambiar el tipo de broca en orden de efectivizar la perforación de una nueva formación.
HP	Hole Problem	Este código se utiliza cuando cualquier problema que presente el hoyo afecte a la perforación y sea necesario sacar la broca.
HR	Hours	En brocas tricónicas ya que los sellos y cojinetes poseen un límite de confiabilidad en RPM calculado en base a las horas de rotación.
LH	Left in Hole	Este código es usado en casos en que la tubería es dejada dentro del pozo cuando se imposibilita su extracción o pesca.
LOG	Run Log	Este código se utiliza cuando es necesario sacar la broca para correr herramientas de registros.
PP	Pump Pressure	Cuando existen problemas de incremento o caída de la presión de bombeo.
PR	Penetration Rate	Cuando la tasa de penetración es demasiado baja y vuelve a la perforación antieconómica.
RIG	Rig Repair	Cuando es necesario realizar reparaciones en el rig para poder continuar con la perforación.
TD	Total Depth / Casing Depth	Cuando es alcanzada la profundidad total o el punto de asentar el revestimiento.
TQ	Torque	Cuando el excesivo torque imposibilita continuar la perforación.
WC	Weather Condition	Cuando las condiciones climáticas imposibilitan continuar con la perforación.
TW	Twist Off	Cuando cualquier parte de la tubería de perforación o Ensamblaje de fondo se desenrosca.

Tabla 2.3. Razones de Salida de una Broca



A continuación se muestra un resumen a manera de tabla del Sistema de Graduación de Desgaste IADC que es el estándar aceptado en las operaciones de perforación hoy en día.

SISTEMA DE GRADUACIÓN DE DESGASTE DE IADC

ESTRUCTURA CORTADORA				Cojinetes / Sellos	Calibre	Otras Características de Desgaste	Razón de Salida
Interior	Exterior	Caract. Desgaste	Ubicación				
I	O	D	L	B	G	Q	R

1.- ESTRUCTURA CORTADORA INTERIOR (Hileras interiores)

0.- ESTRUCTURA CORTADORA EXTERIOR (Hileras del Calibre)

En las Columnas 1 y 2 se emplea una escala lineal de 0 a 8 para describir la condición de la estructura cortadora de la siguiente manera.

BROCAS DE DIENTES DE ACERO

Medida de altura perdida del diente x desgaste o daño

0 - EL DIENTE NO PERDIO ALTURA

8 - EL DIENTE PERDIO TODA SU ALTURA

BROCAS DE INSERTOS

Medida combinada de reducción de estructura cortadora debido a pérdida, desgaste y/o rotura del inserto/diente.

0 - SIN PERDIDA DE ESTRUCTURA CORTADORA

8 - PERDIDA TOTAL DE ESTRUCTURA CORTADORA.

BROCAS DE CORTADORES FIJOS

Medida de estructura cortadora perdida, desgastada o rota

0 - SIN PÉRDIDA, DESGASTE Y/O DAÑO DE ESTRUCTURA CORTADORA

8 - TODA LA ESTRUCTURA CORTADORA PERDIDA, DESGASTADA Y/O DAÑADA

D.- CARACTERÍSTICA DE DESGASTE

BC	Cono Roto	LN	Boquilla perdida
BF	Falla en el enlace	LT	Dientes perdidos
BT	Diente/cortador rota	OC	Desgaste excéntrico
BU	Trepante embolado	PE	Trepante comprimido
CC*	Cono fisurado	PN	Boquillas/canales tapados
CD*	Cono arrastrado	RG	Calibre resonante
CI	Interferencia conos	RO	Amallado
CR	Coronado	SD	Daño en extremo de la pata
CT	Dientes astillados	SS	Autoallado
ER	Erosión	TR	Sobre huella
FC	Crestas achatadas	WO	Lavado
HC	Fisuras x calentamiento	WT	Diente/cortador desgastado
JD	Daño por chatarra	WO	Sin desgaste
LC*	Cono perdido		

* Indicar N° de cono/s en la columna 4

L.- UBICACION

Triconicas

N	Hilera de nariz	# Cono	Cortadores Fijos
M	Hilera intermedia	1	C Cono
G	Hilera del Calibre	2	N Nariz
A	Todas las hileras	3	T Taper
			S Hombro
			G Calibre
			A Todas áreas

B.- SELLOS/COJINETES

COJINETES NO SELLADOS: Escala lineal estimando la vida utilizada del cojinete (0 - Vida no utilizada, 8 - Toda la vida utilizada).

COJINETES SELLADOS:

E	Sellos Efectivos
F	Sellos Fallados
N	Imposible de Graduarse
X	Brocas de Cortadores Fijos

G.- CALIBRE

I	En calibre
1/16	1/16" fuera de calibre
2/16	2/16" fuera de calibre
3/16	3/16" fuera de calibre

Q.- OTRA CARACTERÍSTICA DE DESGASTE (Ver columna 3)

R.- RAZÓN DE SALIDA O FIN DE CARRERA

BHA	- Cambio de ensamble de fondo
CM	- Tratamiento fluido
CP	- Coronado
DMF	- Falla de Motor de Fondo
DP	- Barra tapada
DSF	- Falla de barras
DST	- Ensayo de formación
DTF	- Falla de herramientas de fondo
FM	- Cambio de formación
HP	- Problema de diámetro
HR	- Horas
LH	- Dajado en el pozo
LOG	- Perfilaje
PP	- Presión de la bomba
RIG	- Reparación del Equipo
TD	- Profundidad final/Profundidad de entubamiento
TQ	- Torque
TW	- Barra torcida
WC	- Condiciones climáticas

Tabla 2.4. Sistema de Graduación de Desgaste de IADC

DETALLE DE LAS CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE

Las Características de desgaste fueron señaladas anteriormente en la tabla que precede la columna 3. Ciertas características son exclusivas de las brocas tricónicas y otras de las brocas PDC aunque muchas son aplicables a los dos tipos de brocas. Sin embargo un análisis por separado ayudará a entender el desgaste presentado en los dos tipos de Brocas.

CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE EN LAS TRICÓNICAS

Cono Roto (BC) – Broken Cone



Fig. 2.12. Cono Roto – Broken Cone

Un cono puede romperse cuando la broca golpea contra un filo durante un viaje, o una conexión o cuando hay interferencia entre conos a causa de una falla en el

cojinete. Las roturas axiales chatas de esta tricónica en particular y la rotura circunferencial es el deterioro causado en este caso por el sulfuro de hidrogeno. Generalmente el "BC" en Cono N°1 y Cono N°2 se debe a la chatarra que dejó el Cono N°3 en el fondo.

Dientes Rotos (BT) - *Broken Teeth*



Fig. 2.13. Dientes Rotos – Broken Teeth

Esta fotografía es un ejemplo de rotura múltiple de los dientes. Los bordes filosos y las marcas de los golpes en la carcasa del cono indican que este astillado o rotura

ocurrió casi al finalizar la carrera de la tricónica. Se debe notar además que los insertos de la hilera exterior y los de la nariz permanecen en mejor condición.

Los dientes también pueden dañarse cuando la Tricónica perfora en chatarra, golpea con alguna saliente o choca repentinamente contra el fondo, o ha sido introducido incorrectamente, lo cual se indica por un cambio importante en la forma del fondo del pozo.

Perforar una formación demasiado dura para un tipo de Tricónica inadecuada también puede provocar rotura de los dientes.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Tricónica Embolada (BU) – *Bit Balling*



Fig. 2.14. Tricónica Embolada (BU) – Bit Balling

Una tricónica embolado muestra desgaste en los dientes debido a la imposibilidad del cono a la rotación debido a restos de formación estacionaria entre ellos. Puede considerarse, erróneamente, que se bloqueo el

cojinete. Luego de limpiar las estructuras cortadoras de este tricono particular, se descubre que los cojinetes estaban en buenas condiciones, caso típico de tricónica embolada. El embolamiento puede ocurrir por inadecuada limpieza hidráulica del pozo o cuando la broca es forzada dentro de la formación (broca clavada) sin bombas en funcionamiento al atravesar una formación plástica.

Cono Fisurado (CC) – *Cracked Cone*



Fig. 2.15. Cono Fisurado (CC) – Cracked Cone

La fotografía muestra un cono fisurado circunferencialmente. La fisura fue causada por desgaste de la carcasa del cono, lo que

redujo el grosor de la carcaza sobre el canal de retención del cono. El calor generado por el desgaste de la formación durante la carrera fuera de centro es el causante de esta fisura en particular. Desde el punto de vista operacional, un cono puede fisurarse cuando se deja chatarra en el fondo del pozo, el tricono golpea contra alguna saliente dura o contra el fondo, o se cae la sarta. Los conos también pueden fisurarse por el efecto del sulfuro de hidrogeno, erosión de la carcaza del cono o sobrecalentamiento.

Cono Arrastrado (CD) – Cone Dragged



Fig. 2.16. Cono Arrastrado (DC) – Cono Dragged

Esta característica indica que uno o más conos no rotaron durante parte de la carrera de la tricónica. Esto se demuestra por uno o más puntos de desgaste

plano. Generalmente un cono arrastrado es causado por falla en el cojinete en uno o mas conos, almacenamiento de desechos entre los conos, tricónica comprimida que causa interferencia de conos o tricónica embolada.



**BIBLIOTECA FIC
ESPOL**

Interferencia de Conos (CI) – *Cone Interferente*



Fig. 2.17. Interferencia de Conos (CI) –
Cone Interference

En ocasiones la interferencia de los conos, que puede producir el acanalamiento del cono y dientes rotos, se puede mal interpretar como daño por formación.

Los dientes rotos a causa de la interferencia de conos no son indicadores de mala selección de brocas. Algunas causas de este desgaste son: brocas comprimidas, debido al ensanchamiento de un diámetro de menor calibre con excesivo peso sobre la broca, o falla del cojinete en uno o más conos.

Observar que el desgaste "ST, M3" es irregular, indicando que la carcasa y los insertos del Cono N°1 impactaron en otro. El "WT, M1" es un buen ejemplo del desgaste de insertos contra el material adyacente a la carcasa del cono, contrariamente al desgaste contra la formación.

Coroneado (CR) - *Coring*



Fig. 2.18. Coroneado (CR) - Coring

Los cortadores de esta triconica fueron dañados por un perfil de roca dejada en el pozo por la broca anterior. Esta es casi la única manera por la que una broca

triconica puede sufrir coroneado.

Una triconica generalmente se coronea cuando la parte de la nariz de uno o mas conos se daña o cuando la abrasividad de la formación excede la resistencia al desgaste de los cortadores centrales.

La mala introducción de una broca luego de un cambio en el perfil del fondo del pozo también puede producir coroneado, también cuando se pierden los cortadores debido a la erosión de la carcaza del cono, o cuando la chatarra dejada en el pozo daña los cortadores centrales.



BIBLIOTECA FI-
ESPOL

Dientes Astillados (CT) – *Chipped Teeth*



Fig. 2.19. Dientes Astillados (CT)

En tricónicas de insertos, los dientes astillados se transforman generalmente en dientes rotos. Un diente se considera astillado si

una parte substancial permanece sobre la carcasa del cono. Las posibles causas de astillamiento son la carga de impactos por corrida brusca y/o pequeñas interferencias entre conos. Generalmente, los dientes astillados no son indicativos de problemas en aplicaciones o parámetros operativos.

Erosión (ER) - *Erosion*



Fig. 2.20. Erosión (ER) – Erosion

En tricónicas de insertos, la pérdida del material que recubre la carcasa del cono puede provocar la perdida de insertos, ya que el

material de la carcasa del cono es reducido. La erosión también puede indicar un problema relacionado a la hidráulica. Los cortes abrasivos pueden erosionar la carcasa del cono por hidráulica no adecuada. Por otro lado, un exceso hidráulico



puede llevar a una erosión debido a la velocidad del fluido. Una formación abrasiva en contacto con la carcaza del cono entre los cortadores también puede causar erosión causado por tracking, desgaste excéntrico o exceso de peso sobre la broca. La erosión que se puede observar en la fotografía indica la presencia de cortes abrasivos en el lodo transportados a alta velocidad de derecha a izquierda. Al encontrar un inserto, el efecto remolino causa que los recortes remuevan la carcaza del cono en el lado derecho de los insertos

Cresta Achatada (FC) – *Flat Crested Wear*



Fig. 2.21. Cresta Achatada (FC) – Flat Crested Wear

Esta característica reduce la penetración y termina con varias carreras de tricónicas de dientes. Como se ve en la foto, el desgaste de crestas achatadas es una

reducción moderada en altura a lo largo de la cara entera de los cortadores y depende de varios factores, incluyendo la formación, recubrimiento de metal duro y parámetros operativos.

Fisuras por Calor (HC) – *Heat Checking*



Fig. 2.22. Fisuras por Calor (HC) – Heat Checking

Las fisuras por sobre calentamiento se presentan cuando un cortador se sobrecalienta al ser arrastrado en la formación y luego es enfriado por el

fluido tras varios ciclos. Las fisuras por calentamiento también pueden ocurrir cuando se ensancha un diámetro fuera de calibre con altas RPMs. En este caso particular, el desgaste se produjo al ensanchar con un motor un hoyo fuera de calibre, considerada una práctica de perforación no adecuada.

Daño por Chatarra (JD) – *Junk Damage*



Fig. 2.23. Daño por Chatarra (JD) Junk Damage

Se puede determinar por marcas en cualquier parte de la broca. Las rasgaduras circunferenciales en la pata provienen del daño por

chatarra. A veces es necesario sacar la chatarra del pozo antes de poder continuar. La chatarra proviene principalmente de materiales que cae en el pozo desde la superficie, chatarra pro-



veniente de la sarta, de las aletas estabilizadoras, chatarra de una broca corrida anteriormente y chatarra de la misma broca.

Cono Perdido (LC) – Lost Cone



Fig. 2.24. Cono Perdido (LC) – Lost Cone

Los conos pueden perderse de diversas formas. Con algunas excepciones, el cono perdido deberá ser sacado del pozo antes de poder continuar con la perforación. Los conos pueden perderse cuando la broca golpea una formación dura o cemento duro o el fondo del pozo durante el viaje o conexión, cuando existe en el fondo chatarra como una barra caída, o cuando fallan los cojinete o por acción del sulfuro de hidrogeno que pueden causar la perdida de un cono.

Boquilla Perdida (LN) – Lost Nozzle



Fig. 2.25. Boquilla Perdida (LN) – Lost Nozzle

Una pérdida de boquilla causa pérdida de presión por lo cual la broca debe ser sacada a superficie. Una boquilla perdida también es



BIBLIOTECA FIL
ESPOL

una fuente de chatarra en el pozo. Algunas causas de esta característica son: instalación incorrecta o diseño de boquilla no adecuado, o daño mecánico por erosión en la boquilla o en el sistema de retención

Dientes Perdidos (LT) – Lost Teeth



Fig. 2.26. Dientes Perdidos (LT) – Lost Teeth

En tricónicas de insertos, esta característica provoca la pérdida de insertos enteros dejados en el pozo, causando potencial daño por chatarra. A veces, la

pérdida de dientes es seguida por insertos rotos. Además, los dientes pueden perderse por fisuras que aflojan el soporte de los insertos provocadas por sulfuro de hidrógeno. En la figura se puede observar la hilera media del cono N°1 es un buen ejemplo de fractura de cono corriendo circunferencialmente, esto afloja el soporte del cono en el inserto y causa la pérdida de algunos insertos. Es importante observar que se ha perdido el inserto de la nariz del cono N°1 por la erosión de la carcasa del cono.

Desgaste Excéntrico (OC) – *Off Center Wear*



Fig. 2.27. Desgaste Excéntrico (OC) – Off Center Wear

Esto ocurre cuando el centro geométrico del diente y el centro geométrico del pozo no coinciden. El resultado es

un agujero de mayores dimensiones.

Este desgaste se identifica ya sea por desgaste en la carcasa de los conos entre las hileras de cortadores, mayor desgaste del calibre en uno de los conos, o penetración menor a la esperada.

Las causas de este desgaste son: cambio en la formación de quebradiza a plástica, mala estabilización en pozo desviado, peso inadecuado para la formación, tipo de tricono incorrecto y presión hidrostática que excede significativamente a la presión en la formación.

Se puede eliminar el desgaste excéntrico cambiando el tipo de broca y por consiguiente, el perfil del fondo de pozo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Broca Comprimida (PB)- *Pinched Bit*

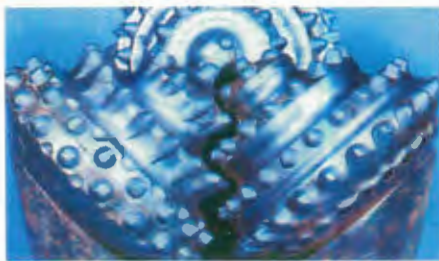


Fig. 2.28. Broca Comprimida (PB) – Pinched Bit

Las brocas se comprimen cuando se fuerzan mecánicamente a un calibre menor. Otras causas de este desgaste son: forzar una tricónica a una sección

perforada por una broca PDC o comprimir la broca en un plato de ajuste inadecuado. Las tricónicas comprimidos pueden llevar a la rotura o astillado de dientes, interferencia de conos, conos -arrastrados u otras condiciones de desgaste de las estructuras cortadoras.

Boquilla Tapada (PN) – *Plugged Nozzle*



Fig. 2.29. Boquilla Tapada (PN) – Plugged Nozzle

Si bien esta condición no describe la estructura cortadora, puede ser útil al brindar información sobre la carrera de la broca. Una boquilla tapada puede re-

ducir la hidráulica o forzar el viaje fuera del pozo debido a presión excesiva en las líneas y las bombas. Introducir la broca

por completo dentro de la formación con bombas apagada puede tapar una boquilla. También se puede producir durante una conexión cuando el material sólido ascendiendo a través de la sarta se deposita en una boquilla cuando finaliza la circulación. Cuando se bombea material sólido, también se puede depositar en una boquilla.

Calibre redondeado (RG) – *Rounded Gauge*



Fig. 2.30. Calibre Redondeado (RG) –
Rounded Gauge

El calibre de una broca puede resultar redondeado al atravesar una formación abrasiva con excesivas RPMs o al ensanchar un

pozo fuera de calibre.

Esta condición describe una broca que ha experimentado desgaste del calibre en forma redondeada, sin presenta normal desgaste del calibre. Los insertos de la hilera exterior pueden estar un poco por debajo del calibre pero las contra caras de los conos permanecen en diámetro nominal. En este caso, la falta de desgaste en el extremo de la pata y en el recubrimiento de metal duro, junto con los biseles restantes en los insertos del calibre sugiere que aun perforaba el diámetro nominal del pozo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Daño extremo de la Pata (SD) – *Shirttail Damage*



Fig. 2.31. Daño externo de la Pata (SD) –
Shirttail Damage

El daño en el extremo de la pata puede ser diferente al daño por chatarra y no se lo considera característica de desgaste de la estructura cortadora. El daño en el

extrema de la pata puede llevar a la falla de los sellos. Algunas de las causas de este tipo de desgaste son: chatarra dejada en el pozo, ensanchamiento de un pozo fuera de calibre en formaciones falladas, o una broca comprimida que hace que el extremo de la pata sea la parte más saliente de la broca.

Desgaste Autoafilado (SS) – *Self Sharpening Wear*



Fig. 2.32. Auto afilado (SS) – Self
Sharpening Wear

Indica que el diente o inserto conserva un borde activo pese a la rotura o astillamiento. El autoafilado ayuda a mantener la penetración a lo largo de la

carrera e indica generalmente selección apropiada de broca y parámetros de perforación. Como se muestra en la foto, los



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

cortadores se desgastan de manera tal que conservan algún borde filoso.

Sobrehuella (TR) – *Tracking*



Fig. 2.33. Sobrehuella (TR) - Tracking

Una broca en sobrehuella, perforara el diámetro nominal del pozo con todos los conos alcanzando el calibre. El tracking ocurre cuando los

dientes encajan como engranajes en el fondo del pozo es decir con los orificios dejados por el anterior inserto. El desgaste de los cortadores en una sobrehuella se producirá en el lado dominante y el lado arrastrado. El desgaste de la carcaza del cono será entre los cortadores de una hilera. El tracking puede ser causado por cambios en la formación de quebradiza a plástica, o cuando la presión hidrostática excede significativamente a la presión de la formación.

Lavado de la soldadura (WO) – *Washed Out Bit*

El lavado puede ocurrir en cualquier momento de la carrera de una broca. Si la soldadura de la broca es porosa, o no está bien



Fig. 2.34. Lavado de la Soldadura (WO) - Washed Out Bit

sellada, la broca comenzará a lavarse en cuanto comience la circulación. Generalmente, las soldaduras están cerradas, pero se agrie-

tarán durante la corrida por el impacto con el fondo del pozo o con extremos salientes de la formación en las conexiones. Cuando se produce una fisura y el fluido la atraviesa, se establece rápidamente el lavado.

Dientes Desgastados (WT) – *Worn Teeth*



Fig. 2.35. Dientes Desgastados (WT) – Worn Teeth

Esta es una característica de desgaste muy común tanto para brocas de insertos como para brocas de dientes. Cuando se nota dientes desgastados

en brocas de insertos, es adecuado observar y anotar autoafilado (SS) o crestas achatadas (FC). Este tipo de desgaste es el ideal para cualquier broca indica correcta selección de broca e insertos y se produce por el normal



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

esfuerzo de trabajo de los insertos o dientes y se manifiesta en reducción de la altura de los insertos o dientes.

CARACTERÍSTICAS DEL DESGASTE EN LAS PDC

Falla de Adherencia (BF) *Bond Failure*

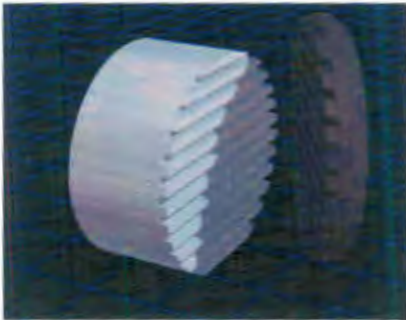


Fig. 2.36. Falla de Adherencia (BT) – Bond Failure

La falla de adherencia es la separación de la tableta de diamante de un PDC de su sustrato provocando que éste entre en contacto con la

formación. Dicho daño puede producirse por impacto directo del cortador.

Dientes Rotos (BT) – Broken *Teeth/Cutters*



Fig. 2.37. Dientes Rotos (BT) – Broken Teeth/Cutters

Un cortador es considerado como roto cuando una gran porción de su elemento de corte ha sido partido quedando usualmente el resto del cortador con claras

muestras de haber sufrido dicho daño.

Broca Embolada (BU) – *Balled Up*



Fig. 2.38. Broca Embolada (BU) – Balled Up

Una broca que sufre embolamiento es aquella que es empaquetada con material de la formación especialmente

arcillas y lutitas que han sido comprimidas al punto de disminuir o detener el progreso de la perforación, disminuyendo el torque e incrementando la presión de trabajo. También puede producir el taponamiento de boquillas.

Broca Coroneada (CR) – *Cored*



Fig. 2.49. Broca Coroneada (CR) - Cored

El coroneado ocurre en las áreas de la nariz y del cono de la broca. El coroneado puede ser ligero hasta severo y produce un hoyo en la nariz y cono provocando torque errático, aumento de la presión

al estar las boquillas más cerca del fondo y decreciendo de la rata de penetración. Se produce cuando restos de chatarra se acumulan en el centro de la broca en un nuevo patrón de fondo



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

o por daño por impacto de los cortadores de la nariz y el cono en formaciones duras y abrasivas con altos WOB y RPMs.

Dientes Astillados (CT) – *Chipped Teeth/Cutters*



Fig. 2.40. Dientes Astillados (CT) – Chipped Teeth/Cutters

Este tipo de desgaste se caracteriza cuando el cortador es deslaminado. Se diferencia del desgaste (BT) ya que produce caras planas

de desgaste y puede presentar autoafilamiento y generalmente deja restos del cortador como una indicación de este tipo de desgaste.

Erosión (ER) – *Erosión*



Fig. 2.41. Erosión (ER) - Erosion

La erosión crea áreas lisas y frecuentemente descubre la matriz y soldaduras alrededor de los cortadores. Se produce por altas velocidades de flujo

del lodo de perforación al salir por las boquillas. Es una característica común cuando se trabaja con altos caudales o cuando se trabaja con motor de Fondo



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Fisuras por calentamiento (HC) – *Heat Cheacking*



Fig. 2.42. Fisuras por Calentamiento (HC) – Heat Cheacking

Este desgaste produce pequeñas fisuras o craking haciendo que los materiales sean más susceptibles al rompimiento y se produce

por excesiva fricción en formaciones muy abrasivas con altas RPMs. Las fisuras por calentamiento pueden ocurrir en el cuerpo de la broca, en el sustrato de carburo de tungsteno y en la tableta de diamante.

Daño por desechos (JD) – *Junk Damage*



Fig. 2.43. Daño por Desechos (JD) – Junk Damage

Este daño se produce en la broca por cualquier objeto extraño o chatarra dejada en el pozo. Marcas o rasgaduras en cualquier

parte de la broca son señales de este tipo de daño.

Boquilla Perdida (LN) – *Lost Nozzle*

Una mala colocación de boquillas, fallas o ausencia de los cauchos aislantes o lavado excesivo por alto flujo pude



Fig. 2.44. Boquilla Perdida (LN) – Lost Nozzle

provocar que las boquillas se salgan y se pierdan en el fondo del pozo. Una boquilla perdida afectará negativamente a la perforación, causará una repentina caída de presión por lo cual la broca tendrá que ser

sacada. Las boquillas perdidas pueden provocar daño por chatarra.

Dientes Perdidos (LT) – Lost Teeth/Cutters



Fig. 2.45. Dientes Perdidos (LT) – Lost Teeth/Cutters

Un cortador perdido presenta muy poco o nada de restos en la matriz o deja al descubierto el orificio del bolsillo donde se encontraba. Puede ocurrir

cuando los cortadores han sido desgastados al punto de afectar a la matriz y posteriormente al bolsillo.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Boquillas tapadas (PN) – *Plugged Nozzle*



Fig. 2.46. Boquillas Tapadas (PN) –
Plugged Nozzle

Durante la perforación las boquillas pueden taparse con material de la formación lo que produce un repentino aumento de la presión de bombeo, afectando la hidráulica

planeada e incluso embolando la aleta que lo contiene o peor aún volver imposible la perforación.

Broca anillada (RO) – *Ring Out*



Fig. 2.47. Broca Anillada (RO) – Ring Out

Este daño produce canales especialmente en las áreas de la nariz, hombro y calibre. Se produce al entrar en formaciones duras y abrasivas con alto WOB y RPM que

parten a los cortadores y posteriormente desgastan la matriz de manera circular. Este es un daño muy severo para las brocas pero puede ser prevenido con parámetros adecuados es decir bajos WOB (3–6 klbs.) y bajas RPM (50–60) durante la

perforación de formaciones duras y abrasivas como conglomerados o chert.

Lavado (WO) - *Wash Out*



Fig. 2.48. Lavado (WO) – Wash Out

Este daño se produce cuando el fluido induce un hoyo en cualquier parte de la broca especialmente en las soldaduras. Este daño provoca una repentina caída

de presión y de la ROP.

Cortador desgastado (WT) – *Worn Teeth*



Fig. 2.49. Cortador Desgastado (WT) – Worn Teeth

Es el desgaste más común que presentan los cortadores. Muestra un gradual desgaste de la tableta de diamante y el

sustrato. Este tipo de desgaste es característico de brocas con altas tasas de penetración y produce autoafilamiento del cortador en el mejor de los casos o al contrario redondeo del borde activo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

No presenta desgaste (NO) – *No Major Dull Chracteristic*



Fig. 2.50. No presenta desgaste (NO) -
No Major Dull Chracteristic

Si una broca no exhibe ninguna evidencia de desgaste entonces se coloca la letra "NO" en las casillas 3 y 8. Se debe ser muy cuidadoso en colocar esta característica especialmente en la casilla 3 puesto que casi todas las brocas presentan algún tipo de

desgaste.

2.4. CÓDIGO IADC PARA BROCAS TRICÓNICAS



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

La Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC) ha desarrollado un sistema estandarizado para clasificar las brocas tricónicas de conos rodantes. Se clasifican de acuerdo con el tipo (dientes de acero o de insertos), la clase de formación para la cual fueron diseñadas (en términos de serie y tipo), las características mecánicas de la broca y en el fabricante. El sistema de clasificación permite hacer comparaciones entre los tipos de brocas que ofrecen los distintos fabricantes.

Para evitar confusión entre los tipos de brocas equivalentes en relación con sus distintos fabricantes la IADC creó el sistema Código IADC, de clasificación de tres dígitos, como se relaciona a continuación.

El primer dígito. Identifica el tipo de estructura de corte y también el diseño de la estructura de corte con respecto al tipo de formación, como se relaciona a continuación:

1. Dientes fresados para formaciones blandas
2. Dientes fresados para formación media
3. Dientes fresados para formación dura
4. Dientes de insertos de tungsteno para formación muy blanda
5. Dientes de insertos de tungsteno para formación blanda
6. Dientes de insertos de tungsteno para formación media
7. Dientes de insertos de tungsteno para formación dura
8. Dientes de insertos de tungsteno para formación extra dura

El segundo dígito. Identifica el grado de dureza de la formación en la cual se usará la broca. Varía de suave a dura, como se relaciona a continuación.

- Para formación suave
- Parea formación media suave
- Para formación media dura
- Para formación dura

El tercer dígito. Identifica el sistema de rodamiento y lubricación de la broca en ocho clasificaciones. Como se indica a continuación:

1. Cojinetes de rodamiento estándar con boquillas para lodo
2. Cojinetes de rodamiento estándar con boquillas para aire
3. Cojinete de rodamiento auto lubricable
4. Cojinete de rodamiento sellado
5. Cojinete de rodamiento sellada con protección en el calibre
6. Cojinete de fricción sellado
7. Cojinete de fricción sellado con protección en el gauge
8. Otros



**BIBLIOTECA FIC
ESPOL**

La tabla 5.7 muestra en forma esquemática y generalizada, el código IADC descrito anteriormente para la selección y clasificación de las brocas tricónicas.

		1er Dígito	2do Dígito	3er Dígito								
		Sistema de Corte	Dureza	Sistema de rodamiento								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dientes de Acero	1	Dientes de acero para formación blanda	1 Suave	T	T	P	B	B	C	C	P	O
			2 Media Suave	O	O	R	A	A	H	H	A	T
			3 Media Dura	B	B	E	L	E	U	U	R	R
			4 Dura	E	E	R	E	R	M	M	A	S
	2	Dientes de acero para formación media	1 Suave	A	A	C	C	S	A	A	P	
			2 Media Suave	S	S	I	O	S	C	C	E	
			3 Media Dura	P	A	S	E	S	E	R	R	
			4 Dura	A	R	E	L	L	A	A	P	
	3	Dientes de acero para formación dura	1 Suave	L	O	A	A	A	S	E	S	
			2 Media Suave	O	D	L	D	O	L	L	A	
			3 Media Dura	D	O	C	A	A	L	L	O	
			4 Dura	O	O	A	U	T	A	A	O	
Dientes de Inertes	4	Dientes de inserto para formación muy blanda	1 Suave	Y	Y	B	B	P				
			2 Media Suave	B	B	I	I	P				
			3 Media Dura	A	A	B	B	R				
			4 Dura	L	L	R	R	O				
	5	Dientes de inserto para formación blanda	1 Suave	S	S	Y	Y	B				
			2 Media Suave	E	E	B	B	P				
			3 Media Dura	R	R	I	I	R				
			4 Dura	O	O	C	C	O				
	6	Dientes de inserto para formación media	1 Suave	S	S	B	B	P				
				E	E	B	B	R				
				S	S	I	I	R				
				T	T	A	A	N				
	7	Dientes de inserto para formación dura	1 Suave	A	A	B	B	P				
			2 Media Suave	R	R	I	I	R				
			3 Media dura									
			4 Dura									
	8	Dientes de inserto para formación extra dura	1 Suave									
			2 Media Suave									
			3 Media dura									
			4 Dura									

Tabla.2.5. Cuadro IADC para TCI & ST

En las tablas siguientes se presentan los cuadros IADC para las brocas Tricónicas de Insertos y de Dientes de Acero actual de los principales fabricantes de brocas.

IADC Code Steel Tooth Bit Comparison

Series	Formation Type	1 Standard Roller				4 Sealed Bearing				5 Sealed Roller Bearing & Gauge Protection				6 Sealed Friction Bearing				7 Sealed Friction Bearing & Gauge Protection			
		WOB	RTC	SEC	SR	WOB	RTC	SEC	SR	WOB	RTC	SEC	SR	WOB	RTC	SEC	SR	WOB	RTC	SEC	SR
Steel Tooth	1	BT	Y11	301	DSJ					BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	2	BT	Y12	302	DSJ					BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	3	BT	Y13	303	DSJ					BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	4	BT	Y14	304	DSJ					BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11

Tabla 2.6. Código IADC para Brocas de Dientes de Acero

IADC Code Tungsten Carbide Bit Comparison

Series	Formation Type	5 Sealed Roller Bearing & Gauge Protection				7 Sealed Friction Bearing & Gauge Protection			
		WOB	RTC	SEC	SR	WOB	RTC	SEC	SR
Steel Tooth	1	BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	2	BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	3	BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	4	BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
Tungsten Carbide	1	BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	2	BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	3	BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11
	4	BT-30	BT-30	BT-30	BT-30	BT-11	BT-11	BT-11	BT-11

Tabla 2.7. Código IADC para Brocas de Insertos

2.5. CÓDIGO IADC PARA BROCAS DE DIAMANTES

Las brocas de diamante tienen un diseño muy elemental. A diferencia de las triconica, carecen de partes móviles, aunque ésta característica sería deseable.

El material usado para su construcción, además del los diamantes, puede variar según el tipo de broca y de más características de los fabricantes.

El IADC desarrolló un sistema de codificación para la identificación de brocas de cortadores fijos que incluye a todos los tipos: Diamante Natural, Compactos de Diamantes (PDC) o de Diamantes Térmicamente Estables (TSP). Este código consiste en cuatro caracteres (Una letra y tres números) que describen siete características básicas:

1. Tipo de cortador
2. Material del cuerpo de la broca
3. Perfil de la broca
4. Diseño Hidráulico para el fluido de perforación
5. Distribución del flujo
6. Tamaños de los cortadores
7. Densidad de los cortadores



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

En función de la identificación con el código IADC, existen por lo menos cinco aspectos fundamentales en el diseño de brocas de diamante: la forma de los cortadores, ángulos de inclinación lateral y de retardo y tipo de protección al calibre. Si bien todos ellos son factores importantes en el desarrollo de las brocas de diamante, lo que se pretende con este

código IADC es dar una idea del tipo de broca y lograr que se identifiquen fácilmente sus principales características.

En la Tabla 5.8 se muestra la identificación de las brocas de diamante mediante los cuatro códigos IADC. Cabe hacer notar, que a diferencia del código IADC para brocas tricónicas, el código IADC para brocas de diamante no los relaciona con la formación a perforar. Únicamente se pueden identificar sus características más notables.

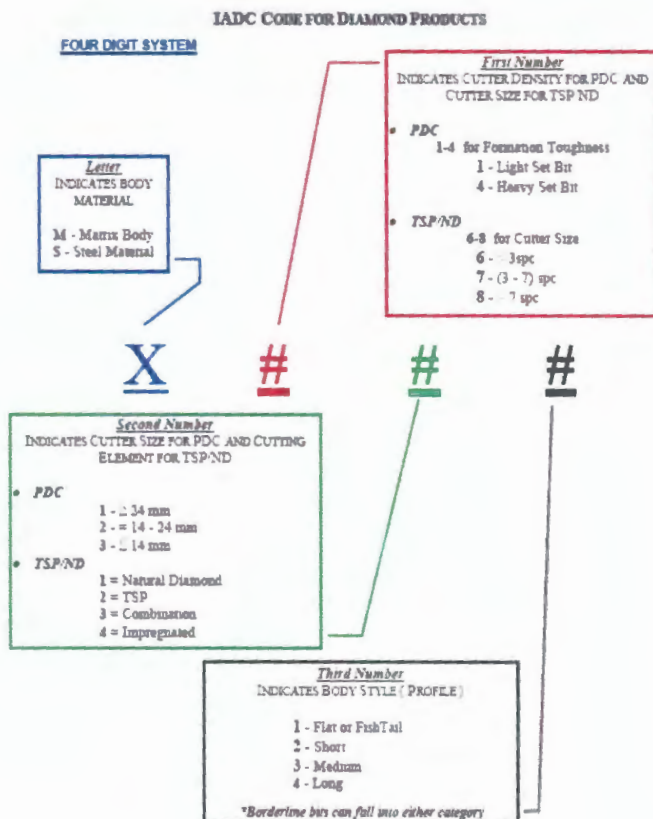


Tabla 2.8. Código IADC para Brocas de Diamantes

CAPITULO 3

DISEÑO DEL PROGRAMA DE BROCAS

3.1. GENERALIDADES

El objetivo de toda perforación es lograr el mejor rendimiento en el menor tiempo posible, de la manera más técnica y económica, controlando la desviación y dirección del pozo.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La correcta selección de brocas ha demostrado cumplir con los objetivos de la perforación generando un ahorro significativo directamente a los costos de la operación. La selección de brocas es un proceso de un amplio análisis de toda la información disponible para perforar un pozo. Información va que desde las características del pozo, tal como: los registros de Brocas de pozos vecinos, plan direccional, programa de lodos, estado mecánico del pozo, información de los

motores de fondo, información de los ensamblajes de fondo (BHA), registros eléctricos, registros litológicos, limitantes del taladro, economía del pozo así como también el campo en donde se perforará dicho pozo. En este capítulo se detallará los pasos a seguir para obtener la información precisa para diseñar un efectivo programa de brocas.

Las Compañías Operadoras realizan anualmente programas de perforación con el propósito de mantener o mejorar la producción de sus campos. Estos pozos pueden ser según su geometría: horizontales, verticales o direccionales y su construcción dependerá tanto de restricciones ambientales, geológicas, logísticas o económicas. Según la etapa del desarrollo del campo los tipos de pozos pueden ser: exploratorios, de avanzada, inyectoros y de abandono.

Petroproducción en su campaña de perforación del 2005 planificó la perforación de tres pozos Direccionales de avanzada en el Campo Sacha con el objeto de incrementar su producción aprovechando el gran potencial de este campo. A continuación se presentará las características del Campo Sacha en donde se efectuó el diseño del programa de brocas para los Pozos Sacha 176D, 155D, 154D.

3.2. CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO SACHA

El campo Sacha fue descubierto mediante el pozo exploratorio Sacha 1 perforado en Febrero de 1969. Durante 1969 a 1970 fueron perforados 3 pozos de avanzada Sacha 2, Sacha 3, Sacha 4 con resultados positivos. El Desarrollo del Campo comenzó en Marzo de 1971 con un espaciamiento de 250 a 100 acres por pozo.

3.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El Campo Sacha se encuentra ubicado en el eje central de la subcuenca del Napo al Nor-Oriente de la Región Amazónica, formando parte del tren de estructuras orientadas en sentido norte-sur.

Geográficamente esta ubicado entre los 00°11'00" y los 00°24'30" de Latitud Sur y desde los 76°49'40" hasta los 76°54'16" de Longitud Oeste y cubre un área total de 24 Km² aproximadamente. Se encuentra cercano a los siguientes campos:

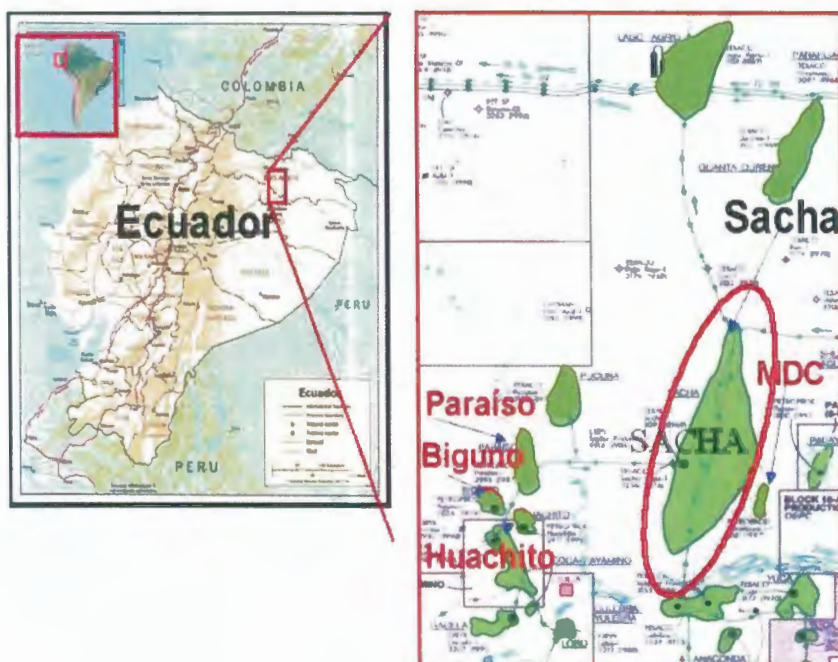


Fig. 3.2. Descripción del Campo Sacha en la Cuenca Amazónica Ecuatoriana

3.2.2. ESTRUCTURA

Sacha es un anticlinal de dirección NNE - SSO que se localiza en el flanco occidental del corredor Petrolífero Sacha - Shushufindi. Tiene un ancho de 4 Km. al norte y alrededor de 7 Km. al centro y sur, con una longitud aproximada de 33 Km. Posee un cierre vertical máximo cercano a 240 ft a la base caliza "A" y un área de 32 167 acres.

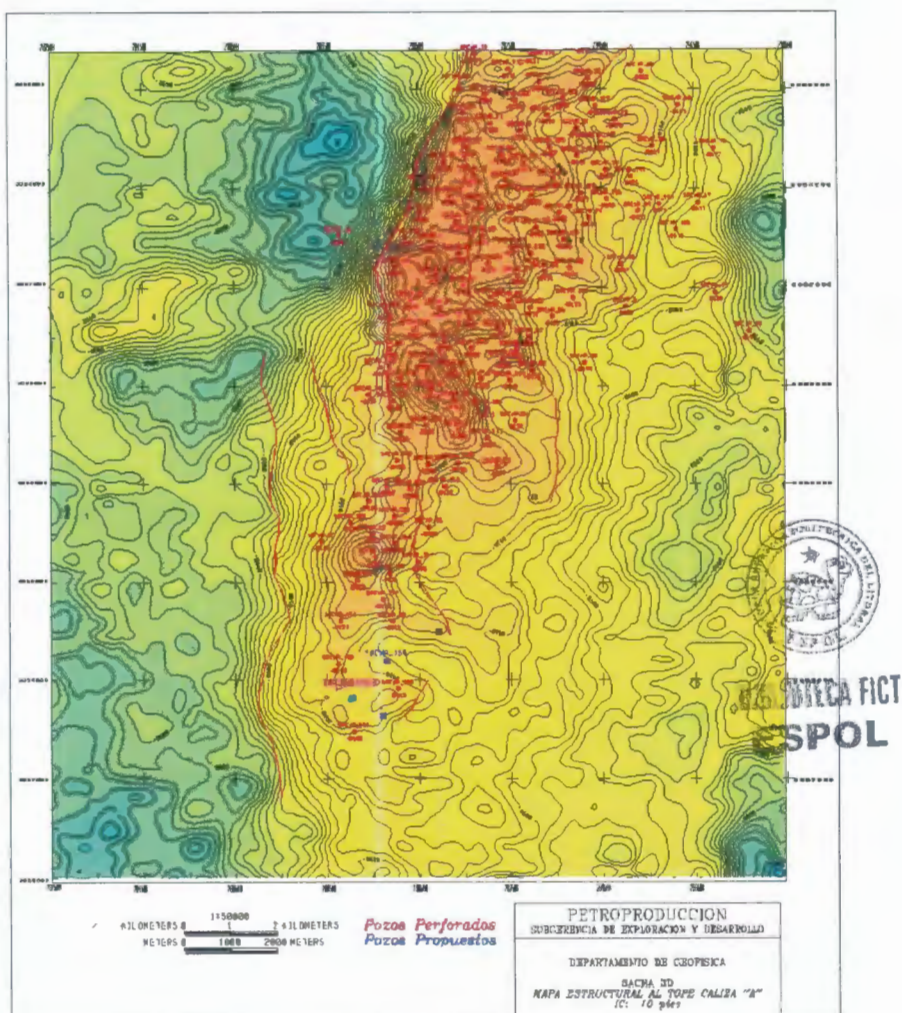


Fig. 3.3. Sacha 3D. Mapa Estructural al Tope Caliza "A"

3.2.3. RESERVAS

Según el estudio de reservas de marzo del 2003 oficializado por la Dirección Nacional de Hidrocarburos las reservas remanentes del campo Sacha a Diciembre del 2002 son las que se muestran en la Tabla 6.1.



BIBLIOTECA FI-
ESPOL

CAMPO	ARENA	VOLUMEN IN SITU BLS.	FR %	RESERVAS ORIGINALES BLS.	PRODUCCION ACUMULADA BLS.	RESERVAS REMANENTES BLS.
SACHA	BT	67.692.332	26,03	17.619.967	13.052.247	4.567.720
	U	762.615.924	39,78	292.844.515	153.972.629	138.871.886
	T	483.325.941	33,46	177.863.946	72.357.333	105.506.613
	HOLLIN	2.137.516.953	31,68	664.767.772	405.812.428	258.955.344
	TOTAL			1.153.096.200	645.194.637	507.901.563

Tabla 3.1. Estado Actual de las Reservas en el Campo Sacha por Arena

3.2.4. ESTADO DE LOS POZOS

Hasta Junio del 2003 se habían perforado 168 pozos: tres han resultado secos y convertidos en inyectores, seis se usan como inyectores de agua para el mantenimiento de presión de los Yacimientos "U" y "T" de la formación Napo y 96 pozos se encuentran en producción

Pozos Verticales.- Desde 1969 se han perforado 168 pozos verticales, siendo el objetivo principal el yacimiento Hollín Inferior y como objetivos secundarios los yacimientos Hollín Superior, Napo "U", Napo "T" y Basal Tena.

Pozos Direccionales.- Se han perforado en el campo Sacha dos pozos direccionales: SA-163D y 174D (año 2002).

Pozos Horizontales.- Se perforaron tres pozos Horizontales: SA-171H, 173H, 175H, cuyo principal objetivo fue la arena Hollín inferior (años 2001-2002).

Pozos Cerrados.- Existen 57 pozos cerrados, por las siguientes causas:

20 cerrados por espera de reacondicionamiento.

15 cerrados por bajo aporte.

22 cerrados por alto BSW.

Pozos Produciendo.- A Julio del 2004 el Campo Sacha produce de 96 pozos de las formaciones Basal Tena, Napo U, Napo T y Hollín. El sistema de producción del campo es principalmente por Bombeo Hidráulico, con 4 pozos produciendo a flujo natural, 9 pozos produciendo con bombeo electro sumergible, y 83 pozos con bombeo hidráulico.

Pozos abandonados o por abandonarse.- Existen 11 pozos abandonados, los cuales poseen placas de abandono y otros con abandono temporal, que esperan reacondicionamiento para ser abandonados definitivamente.

Perforación de nuevos pozos.- Se tiene previsto perforar los siguientes pozos propuestos: 184, 185, 189, 193, los cuales serán pozos verticales, y guardan esta secuencia en orden de prioridades.

En el cuadro a continuación se presenta un resumen del estado de los pozos.

ESTADO DE POZOS	NUMERO
PERFORADOS	173
EN PRODUCCIÓN	96
FLUJO NATURAL	4
BES	9
HIDRÁULICO	83
CERRADOS	57
ABANDONADOS	11
INYECTORES	6
REINYECTORES	3

Tabla 3.2. Estado Actual de los Pozos del Campo Sacha



**BIBLIOTECA FIL
ESPOL**

3.2.5. LITOLÓGICAS DEL CAMPO SACHA

Formación Hollín.- Formada por areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, con estratificación cruzada. Se caracteriza por la presencia de capas guijarrosas delgadas e intercalaciones de lutitas, limolitas y arenas negras impregnadas de asfalto. Las areniscas gruesas de la parte inferior son continentales, en tanto que la parte más superior de grano más fino fue depositada en medio marino litoral. Buenos afloramientos se presentan en el Sistema Subandino. Su espesor varía entre 30 y 150 m.

Hollín Principal.- Formada por areniscas cuarzosas, de grano medio a grueso, fino en menor proporción, con porosidad alrededor del 18% en promedio, con ocasionales niveles limosos y arcillosos. Tienen un GOR de producción de aproximadamente 6 a 15 ft³/ STB.

Hollín Superior.- (o Arenisca Napo Basal). Arenisca cuarzosa-glaucónica, calcárea, de grano fino a medio, con una porosidad del 14%. Se encuentra interestratificada con lutita.

T Principal.- Es la sección arenosa de la secuencia T de mayor continuidad vertical y lateral, su espesor total varía entre 20 y 90' y se encuentra más desarrollada en la parte central del campo, siendo menor su desarrollo en el norte y sur del mismo.

T Superior.- Tiene un espesor total que oscila entre 30 y 100'. La distribución de tamaño y desarrollo arenoso es similar al descrito para la T principal. Esta arenisca es más discontinua y heterogénea que T principal con un GOR de 240-250 ft³/STB.

Arenisca U.- Es una cuarzo-arenita sularcósica y sublítica, de cuarzo policristalino, con menor proporción de feldespatos y fragmentos líticos. Entre los minerales accesorios se describen circón, muscovita y glauconita. La matriz predominante es caolinítica y el cemento silíceo. La porosidad descrita intergranular tiene un valor promedio del 17 %. La arenisca U Inferior es de mayor desarrollo, mientras que U Superior es una unidad más discontinua. Los reservorios de la arena U tiene asociado una presión de Burbuja de alrededor de 1180 a 1360 PSIA, con un GOR de 260 - 350 ft³/STB.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

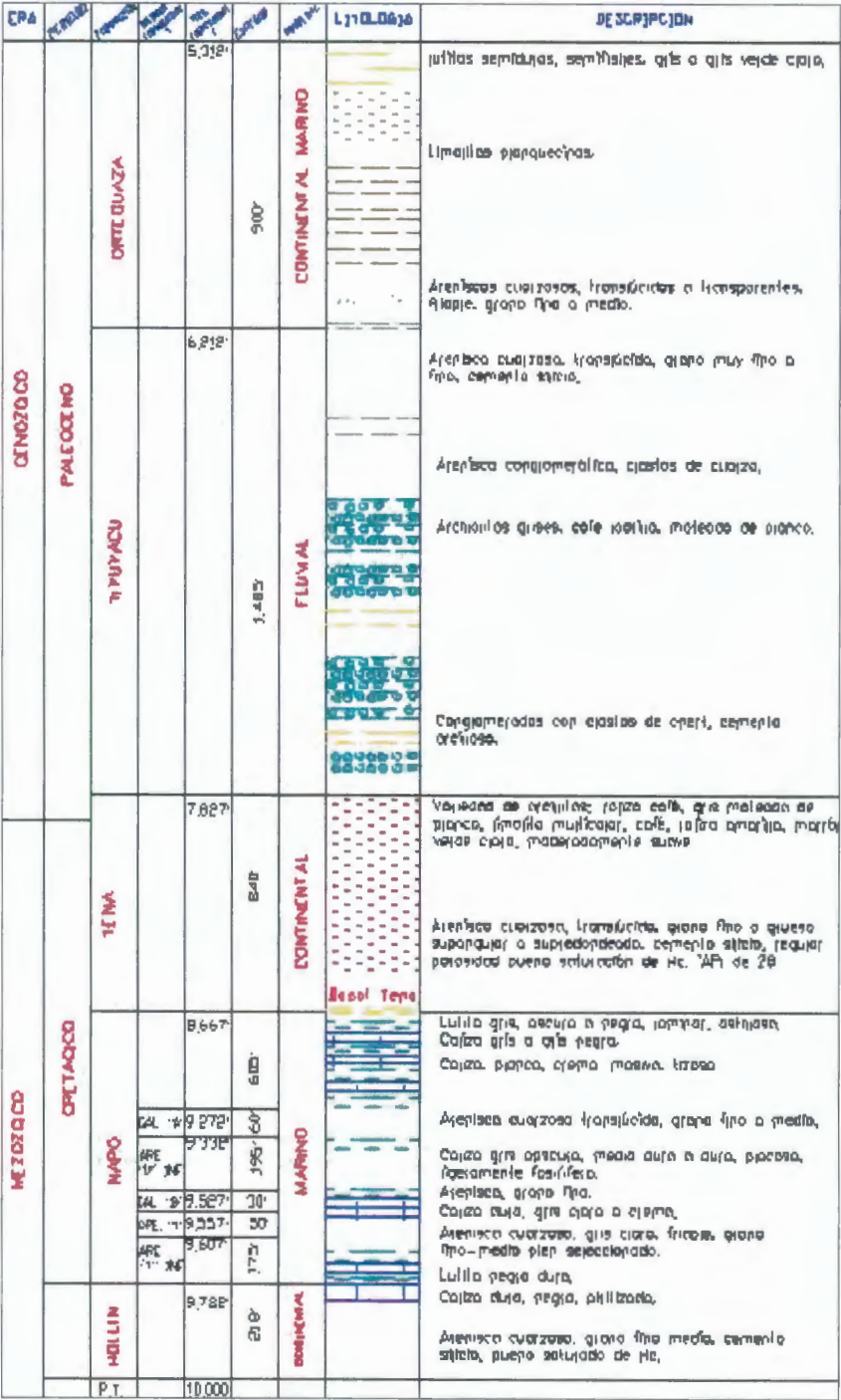


Fig. 3.4. Litológicas Del Campo Sacha

3.3. INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DISEÑO DEL PROGRAMA BROCAS DEL SACHA 176D

La campaña direccional de Petroproducción con el Taladro de Perforación Sinopec 188 inicia con el pozo Sacha 176D. El diseño del programa de brocas de este pozo se basa en toda la información disponible, que es presentada a continuación.

3.3.1. OBJETIVOS GEOLÓGICOS

Como objetivo primario se encuentra perforar y probar la existencia de acumulaciones de petróleo en los reservorios Hollín Superior e inferior y dejarlos en producción.

Como objetivo secundario se encuentra probar las acumulaciones de petróleo en las areniscas "U", "T" y Basal Tena, adquirir información para calibrar la interpretación de la sísmica 3D e información que permita actualizar el modelo geológico del campo.

3.3.2. INFORMACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE BROCAS DE POZOS VECINOS

Para diseñar un programa de Brocas se debe partir inicialmente del análisis de los Registros de Brocas de Pozos vecinos o "Bit Records", que proporcionan valiosa información para el nuevo diseño.

La cantidad de registros analizados depende del ingeniero de brocas pero es preferible poseer la mayor cantidad de ellos para efectuar comparaciones más acertadas, considerando principalmente el mejor pozo o pozo record (Benchmark) que será la base del nuevo diseño.

El registro de brocas presenta información de cada una de las carreras como por ejemplo: el tipo, tamaño, serie, fabricante, parámetros operativos, información del lodo, la inclinación y el azimut, las características de desgaste, etc. La presentación depende de cada compañía de brocas y de esta información se puede inferir características de la corrida, como por ejemplo si se escogió el tipo adecuado de broca o si el número aletas fue el correcto para determinada formación u optimización cambiando los parámetros o características de la broca.



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

Estas características serán detalladas en el transcurso del diseño de programa del 176, Pero básicamente el bit record posee un sinnúmero de datos que con el resto de información del pozo permiten tener una idea acertada del rendimiento

En ocasiones no se cuentan con información precisa de los pozos vecinos ya que pueden variar en su diseño con el pozo, este es el caso del programa de brocas del Sacha 176D; La campaña de perforación anterior contempló únicamente a pozos verticales que poseían diferentes diámetros, geometría, profundidades de perforación, BHA, brocas, etc. Sin embargo información muy útil puede ser obtenida de aquellos registros de brocas y aplicada en el nuevo diseño.

A continuación se presenta el proceso de optimización que se consiguió con el pozo vertical más rápido perforado en la campaña 2004; el Sacha 198, con el objetivo de identificar ciertas características que sirvan para el diseño del 176D.

PROCESO DE OPTIMIZACIÓN DE POZO SACHA 198

La correcta selección y efectuar los cambios de brocas en las formaciones adecuadas demostraron ser el éxito del diseño del programa del 198. La optimización de brocas del 198 provino del análisis de los problemas encontrados durante la perforación del Sacha 186 que son detalladas a continuación.

Sacha 198 se convirtió el pozo récord del campo, fue perforado en 18.041 días a una profundidad de 10000 Pies en 192.5 horas de rotación usando únicamente 4 brocas. Posteriormente fueron perforados otros pozos que no consiguieron superar al 198 y requirieron del uso de más de 4 brocas como por ejemplo el Sacha 183 que fue perforado con 8 brocas. Problemas operativos, falta de control litológico e inclusive mala optimización de brocas causaron no poder superar el record impuesto por el Sacha 198.

En el Anexo se presentan los pozos perforados en la campaña del 2004, en el que se observa las carreras de cada broca así



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

como también el desgaste presentado por cada una de ellas y los tiempos que demoraron en ser perforados cada pozo.

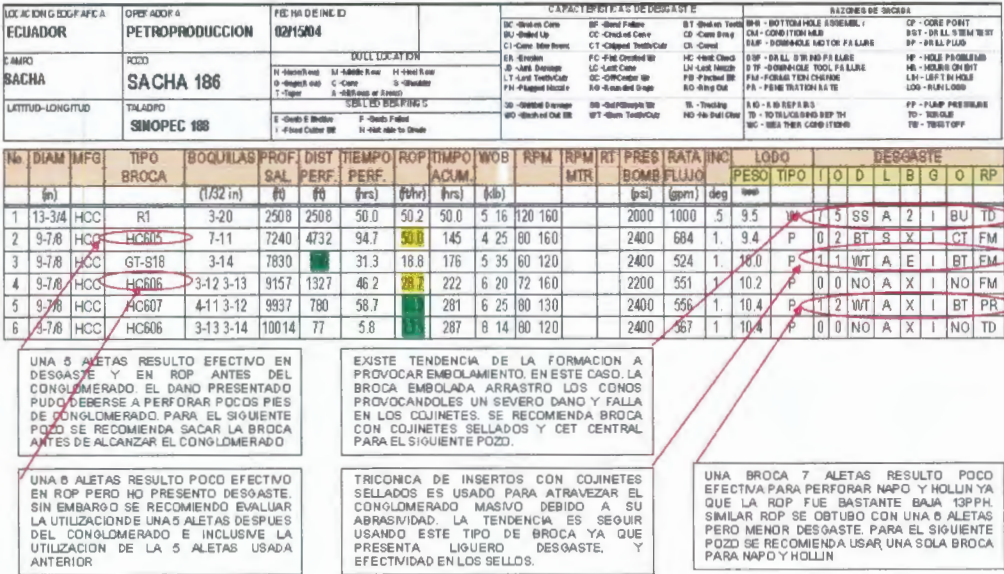


Fig. 3.5. Proceso de Optimización y Desgaste de Brocas del Pozo Sacha 186

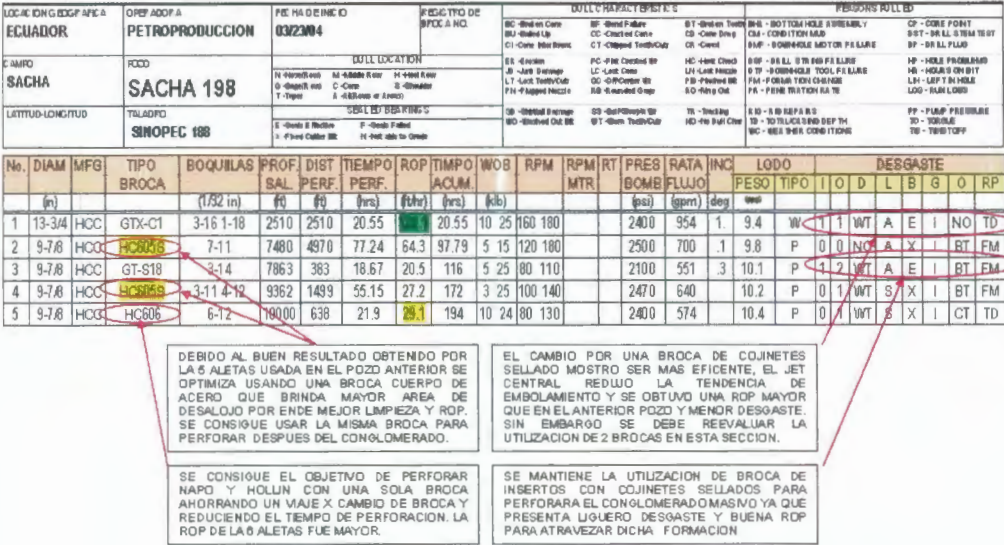


Fig. 3.6. Proceso de Optimización y Desgaste de Brocas del Pozo Sacha 198

3.3.3. SECCIÓN ESTRATIGRÁFICA TRANSVERSAL DE LOS POZOS MÁS CERCANOS

Según la ubicación y dirección los pozos más cercanos al Sacha 176D son el Sacha 198 y el Sacha 146, ambos verticales. Los registros eléctricos y litológicos de estos pozos ayudan a correlacionar y determinar los topes y bases de las formaciones del 176D a más de proporcionar valiosa información a cerca de la litología.

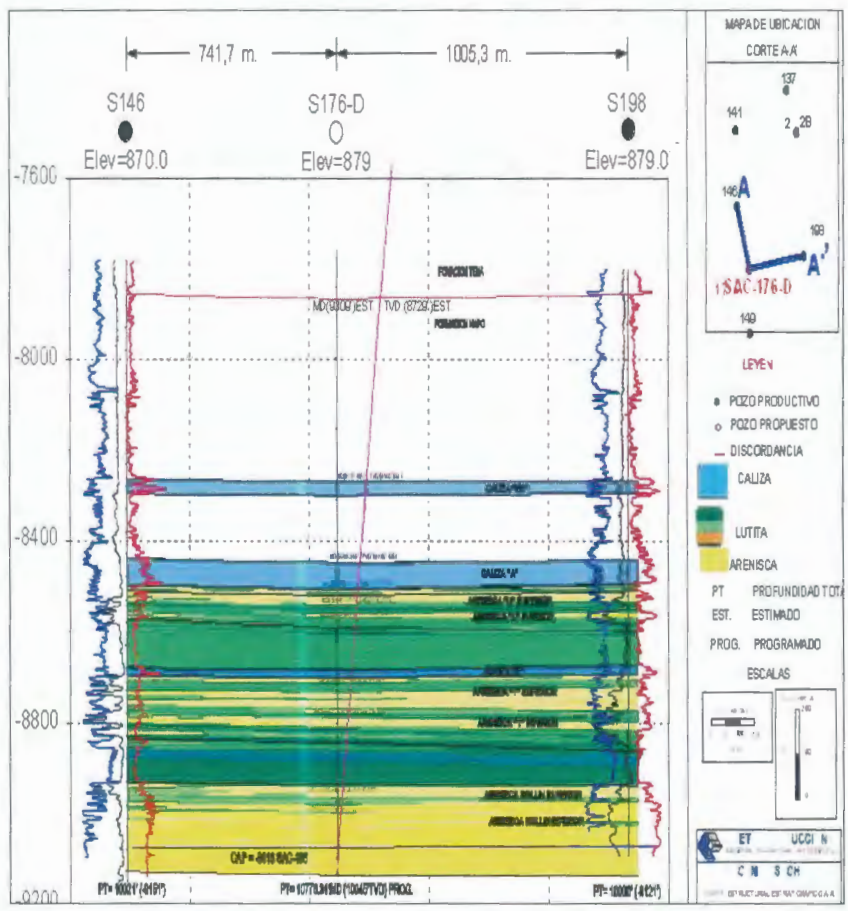


Fig. 3.7. Mapa de Ubicación de los Pozos mas cercanos al Sacha 176D

3.3.4. TOPES Y BASES ESTIMADOS DEL SACHA 176D

FORMACION	MD	MD	TVD	TVD	INCLIN.	AZIMUT
	(PIES)	(PIES) N.M.	(PIES)	(PIES) N.M.		
KICK OFF POINT	1350	-	1350	-	-	-
END OF BUILD	2455.54	-	2429	-	26.20	259.7
ORRE GUARA	5647.419	-4768.419	5444	-4565	26.20	259.7
TUTUYACU	6363.079	-5484.079	6086	-5207	26.20	259.7
TENA	8303.833	-7424.833	7827	-6948	26.20	259.7
BASAL TENA	9251.358	-8372.358	8577	-7798	26.20	259.7
NAPO	9309.324	-8430.324	8729	-7850	26.20	259.7
TOPE CALIZA M-2	9767.480	-8888.480	9140	-8261	26.20	259.7
TOPE CALIZA "A"	9965.903	-9086.903	9318	-8439	26.20	259.7
BASE CALIZA "A"	10041.706	-9161.705	9386	-8507	26.20	259.7
TOPE "U" SUP.	10047.279	-9168.279	9391	-8512	26.20	259.7
TOPE "U" INF.	10082.655	-9203.951	9423	-8544	26.20	259.7
BASE "U" INF.	10128.655	-9249.655	9464	-8585	26.20	259.7
TOPE CALIZA "B"	10232.325	-9353.325	9557	-8678	26.20	259.7
TOPE "T" SUP.	10252.390	-9373.390	9575	-8696	26.20	259.7
TOPE "T" INF.	10327.078	-9448.078	9642	-8763	26.20	259.7
BASE "T" INF.	10420.715	-9541.715	9726	-8847	26.20	259.7
TOPE MOLLIN SUP.	10515.468	-9636.468	9811	-8932	26.20	259.7
TOPE MOLLIN INF.	10564.516	-9685.516	9855	-8976	26.20	259.7
PT.	10776.316	-9897.316	10045	-9166	26.20	259.7

Tabla 3.3. Topes y Bases Estimados del Pozo Sacha 176D

3.3.5. PLAN DIRECCIONAL

Se planea un Pozo Direccional tipo "J". Que inicia vertical hasta el KOP y posteriormente mantiene una tangente de 26.2° hasta la profundidad Total. El Plan direccional es presentado a continuación por Secciones:

SECCIÓN 16"

Inicia vertical hasta 2800ft (KOP) en donde empieza la construcción del ángulo a razón de 2° por cada 100ft es decir con un DLS (Dog Leg Severity) = 2 y una dirección de 259.7°



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

SECCIÓN DE 8½"

Mantiene la inclinación a 26.2° y la dirección a 259.7° y se llega hasta el PT (Profundidad Total) @ 10776' MD/10045' TVD y asienta el Colgador (Liner).

PLAN ANTICOLISIÓN

Se calcula las menores distancias del pozo programado con respecto a los pozos vecinos para mantenerlo lo más alejado de los pozos offset (vecinos) y se proyecta con aquellos pozos que serán perforados en el futuro.

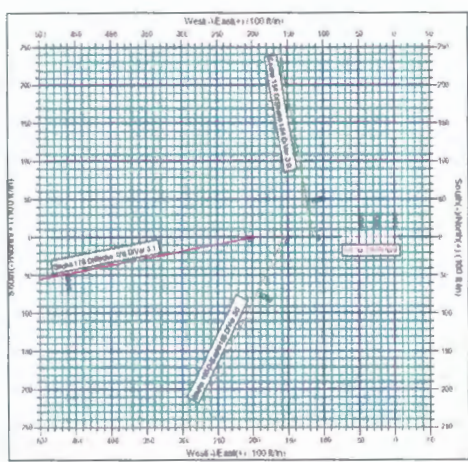


Fig. 3.9. Plan Anticolisión. Comparación del Pozo Sacha 198 con los Pozos 155D, 154D y 176D (Pozos Futuros)

En este plan se compara el Sacha 198 cuya menor distancia fue 197ft (A la cabeza del pozo 176D) y se planifica los pozos 155D a 41ft y 154D a 82ft de la cabeza del 176D que serán perforados en el

futuro. El desplazamiento vertical fue estimado de 3258.85 ft y el azimut de 259.7°.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

3.3.6. ESTADO MECÁNICO DEL POZO

El estado mecánico del pozo comprende el diseño de los diferentes diámetros del revestimiento para que pueda soportar los esfuerzos compresivos, de colapso o de estallido, y en conjunto con la litología se establecen las profundidades de asentamiento de cada revestidor.

Para el Sacha 176D es planificado asentar un conductor superficial de 20" Tipo H40-STC a 180ft MD, el revestimiento intermedio de 13 3/8" Tipo C95 BTC a 6547ft MD /5444ft TVD, el revestimiento de Producción de 9

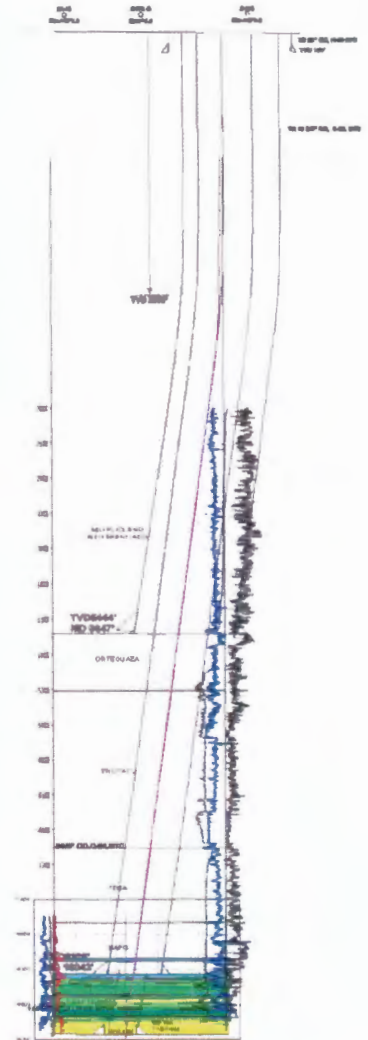


Fig. 3.10. Estado Mecánico del Pozo

5/8" tipo C95 BTC a 10042" MD /9386'TVD y Finalmente colgar un liner de 7" hasta el PT del Pozo a 10776' MD/10045' TVD.

3.3.7. MOTORES DE FONDO

Las características de los Motores de Fondo varían según el tipo, modelo, fabricante, diámetro, velocidad, torque, etc. Las especificaciones de cada motor proporcionan los rangos en que pueden ser aplicados los parámetros operativos en donde se especifica los rangos de galonajes mínimos y máximos, velocidades de rotación, máximos torques, máximo WOB, máxima presión diferencial, máxima caída de presión, etc.

La ROP esta relacionada a la presión diferencial que produce el motor ya que los cortes generados por la broca en su ascenso se vuelven momentáneamente una restricción al flujo incrementando la presión del sistema. Mientras más cortes mayor presión diferencial y mayor ROP. La presión diferencial es la resta entre la presión en fondo y la presión fuera del fondo y mientras más alta sea esta presión (sin exceder el límite) mayor será la ROP y depende del peso sobre la broca aplicado.

Existen motores de alta velocidad - bajo torque que poseen un factor de rev/gal alto, pero no pueden soportar carga excesiva

ya que con un incremento de la presión diferencial incrementa el torque produciendo que el motor se detenga lo que se conoce como "Stalling" que inclusive puede llegar a parar la rotación del TopDrive; Es decir este tipo de motores poseen un límite de torque menor. Otros motores de alto torque – baja velocidad poseen un factor de rev/gal menor es decir proporcionan menor rotación por galón, pero pueden soportar mayores cargas sin que el motor se detenga.

La importancia del factor rev/gal del motor radica en que proporciona las RPMs del motor y por ende las de la broca en fondo. P. Ej. El Motor de 9 5/8" presentado inicialmente posee un factor de 0.22 rev/gal por el galonaje de trabajo (900gpm) gira a 198 RPM, a estas revoluciones se les suman las del TopDrive (100rpm) lo que indica que la broca esta girando en el fondo a 298rpm cuando rota y 198rpm cuando desliza.

A continuación se presenta las hojas técnicas de los motores usadas en el diseño del Pozo Sacha 176D que corresponden a las secciones de 16", 12 ¼" y 8 ½".



**BIBLIOTECA FIC I
ESPOL**

8-5/8" O.D. 3:4 LUBE 0.0 STAGE

Motor Type: Regular

Power Split Type: Medium Speed - Performance



3:4 LUBE 0.0

REG



General Data	
Max. Inlet Length	7' 0" (21.34 m) 10' 0" (3.05 m)
Weight lbs. (kg.)	7' 0" (21.34 m) 10' 0" (3.05 m)
Speed Range	0 - 200 & 0 - 300
Bit Size Range	12 1/4" - 20 1/2" (311.18 mm)
Bit Connection Type	6-5/8" REG or 6-5/8" REG-2-Step
Top Connection Type	7-5/8" REG-2-Step

Performance Data	
Bit. Flow Range	100 - 1,200 GPM (3.79 - 4.54 LPM)
Bit Speed Range Feet (Meters)	120 - 200 RPM
Max. Torque (Nm)	3,300 (2,414)
Max. Operating Torque	3,300 (2,414)
Max. Operating HP (Kilowatts)	4,000 (2,983)
Max. Weight on Bit	40,000 lb. (18,144 kg)
Max. Operating Differential Pressure	150 PSI (10.3 bar)
Bit Pressure Range (Low Pressure Restrictor)	0 - 400 PSI (0 - 27.6 bar)
Bit Pressure Range (High Pressure Restrictor)	200 - 1,200 PSI (13.8 - 82.7 bar)

Maximum Loading (Maximum Load) Restrictor (Restrictor)	
Thrust Drilling Play (Restrictor)	0.250 in. (6.35 mm)
Body Wt. Overhaul	100,000 lb. (45,360 kg)
Bit Wt. Overhaul	125,000 lb. (56,700 kg)
Bitting Wt. in Full Overhaul	100,000 lb. (45,360 kg)
Wt. WOB	100,000 lb. (45,360 kg)
Bitting Wt. in Full Overhaul	100,000 lb. (45,360 kg)

Minimum Loading (Min. Load) Restrictor (Restrictor)	
Body Wt. Overhaul	100,000 lb. (45,360 kg)
Bit Wt. Overhaul	100,000 lb. (45,360 kg)
Bitting Wt. in Full Overhaul	100,000 lb. (45,360 kg)
Wt. WOB	100,000 lb. (45,360 kg)

Approximate Dimensions

REG

REG-2-Step

REG-3-Step

REG-4-Step

REG-5-Step

REG-6-Step

REG-7-Step

REG-8-Step

REG-9-Step

REG-10-Step

REG-11-Step

REG-12-Step

REG-13-Step

REG-14-Step

REG-15-Step

REG-16-Step

REG-17-Step

REG-18-Step

REG-19-Step

REG-20-Step

REG-21-Step

REG-22-Step

REG-23-Step

REG-24-Step

REG-25-Step

REG-26-Step

REG-27-Step

REG-28-Step

REG-29-Step

REG-30-Step

REG-31-Step

REG-32-Step

REG-33-Step

REG-34-Step

REG-35-Step

REG-36-Step

REG-37-Step

REG-38-Step

REG-39-Step

REG-40-Step

REG-41-Step

REG-42-Step

REG-43-Step

REG-44-Step

REG-45-Step

REG-46-Step

REG-47-Step

REG-48-Step

REG-49-Step

REG-50-Step

REG-51-Step

REG-52-Step

REG-53-Step

REG-54-Step

REG-55-Step

REG-56-Step

REG-57-Step

REG-58-Step

REG-59-Step

REG-60-Step

REG-61-Step

REG-62-Step

REG-63-Step

REG-64-Step

REG-65-Step

REG-66-Step

REG-67-Step

REG-68-Step

REG-69-Step

REG-70-Step

REG-71-Step

REG-72-Step

REG-73-Step

REG-74-Step

REG-75-Step

REG-76-Step

REG-77-Step

REG-78-Step

REG-79-Step

REG-80-Step

REG-81-Step

REG-82-Step

REG-83-Step

REG-84-Step

REG-85-Step

REG-86-Step

REG-87-Step

REG-88-Step

REG-89-Step

REG-90-Step

REG-91-Step

REG-92-Step

REG-93-Step

REG-94-Step

REG-95-Step

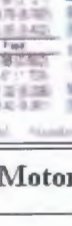
REG-96-Step

REG-97-Step

REG-98-Step

REG-99-Step

REG-100-Step

0" O.D. 4-5 LODE 5.3 STAGE		ADJUSTABLE		FEED					
Water Type: Regular									
Power Unit Type: Medium Speed - Performance									
		General Data							
		Maximum Length	15' 0" (4.57 m) (10' 0" (3.05 m)) (10' 0" (3.05 m)) 17' 0" (5.18 m) (10' 0" (3.05 m)) (10' 0" (3.05 m))						
		Weight (No. 1000)	300 lbs (136 kg) (136 kg) (136 kg) 300 lbs (136 kg) (136 kg) (136 kg)						
		Stand Range	0-10' (0-3.05 m) (0-10' (3.05 m)) 0-10' (0-3.05 m) (0-10' (3.05 m))						
		Drum Range	0-10' (0-3.05 m) (0-10' (3.05 m)) 0-10' (0-3.05 m) (0-10' (3.05 m))						
		Performance Data							
		Std. Flow Range	100-150 GPM (3.78-5.68 m³/hr) 100-150 GPM (3.78-5.68 m³/hr)						
		Std. Speed Range (No. 1000)	75-100 RPM 75-100 RPM						
		Max. Discharge (No. 1000)	150 GPM (5.68 m³/hr) 150 GPM (5.68 m³/hr)						
		Max. Discharge (No. 1000)	150 GPM (5.68 m³/hr) 150 GPM (5.68 m³/hr)						
		Maximum Loading (Allowing for over 100% of Water)							
		Flow Rate (No. 1000)	150 GPM (5.68 m³/hr) 150 GPM (5.68 m³/hr)						
		Max. Discharge (No. 1000)	150 GPM (5.68 m³/hr) 150 GPM (5.68 m³/hr)						
		Max. Discharge (No. 1000)	150 GPM (5.68 m³/hr) 150 GPM (5.68 m³/hr)						
		Max. Discharge (No. 1000)	150 GPM (5.68 m³/hr) 150 GPM (5.68 m³/hr)						
		Minimum Loading (No. 1000)							
		Flow Rate (No. 1000)	100 GPM (3.78 m³/hr) 100 GPM (3.78 m³/hr)						
		Max. Discharge (No. 1000)	100 GPM (3.78 m³/hr) 100 GPM (3.78 m³/hr)						
		Max. Discharge (No. 1000)	100 GPM (3.78 m³/hr) 100 GPM (3.78 m³/hr)						
		Max. Discharge (No. 1000)	100 GPM (3.78 m³/hr) 100 GPM (3.78 m³/hr)						

6-3/4" O.D. 6-7 LOBE 8.0 STAGE

Water Type: Regular

Power Unit Type: Low Speed - Performance

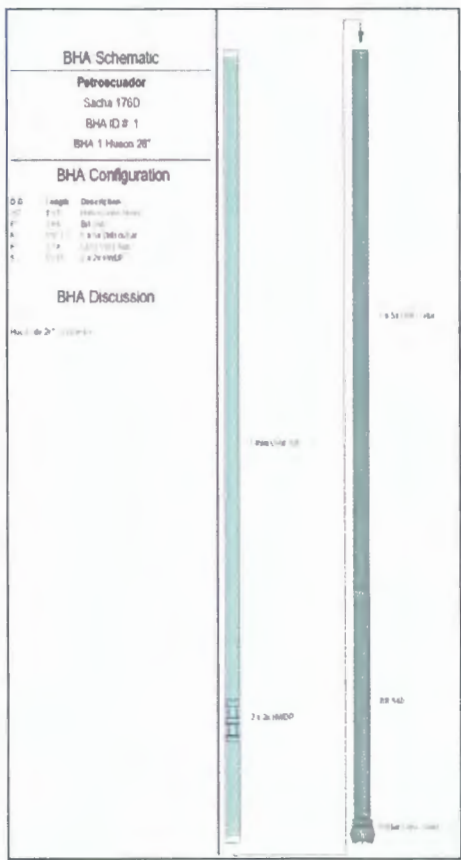




GENERAL DATA	
Standard Length	1/2" 3/8" 1/2" 5/8" 3/4" 1" 1 1/4" 1 1/2" 1 3/4" 2" 2 1/4" 2 1/2" 2 3/4" 3" 3 1/4" 3 1/2" 3 3/4" 4" 4 1/4" 4 1/2" 4 3/4" 5" 5 1/4" 5 1/2" 5 3/4" 6" 6 1/4" 6 1/2" 6 3/4" 7" 7 1/4" 7 1/2" 7 3/4" 8" 8 1/4" 8 1/2" 8 3/4" 9" 9 1/4" 9 1/2" 9 3/4" 10" 10 1/4" 10 1/2" 10 3/4" 11" 11 1/4" 11 1/2" 11 3/4" 12" 12 1/4" 12 1/2" 12 3/4" 13" 13 1/4" 13 1/2" 13 3/4" 14" 14 1/4" 14 1/2" 14 3/4" 15" 15 1/4" 15 1/2" 15 3/4" 16" 16 1/4" 16 1/2" 16 3/4" 17" 17 1/4" 17 1/2" 17 3/4" 18" 18 1/4" 18 1/2" 18 3/4" 19" 19 1/4" 19 1/2" 19 3/4" 20" 20 1/4" 20 1/2" 20 3/4" 21" 21 1/4" 21 1/2" 21 3/4" 22" 22 1/4" 22 1/2" 22 3/4" 23" 23 1/4" 23 1/2" 23 3/4" 24" 24 1/4" 24 1/2" 24 3/4" 25" 25 1/4" 25 1/2" 25 3/4" 26" 26 1/4" 26 1/2" 26 3/4" 27" 27 1/4" 27 1/2" 27 3/4" 28" 28 1/4" 28 1/2" 28 3/4" 29" 29 1/4" 29 1/2" 29 3/4" 30" 30 1/4" 30 1/2" 30 3/4" 31" 31 1/4" 31 1/2" 31 3/4" 32" 32 1/4" 32 1/2" 32 3/4" 33" 33 1/4" 33 1/2" 33 3/4" 34" 34 1/4" 34 1/2" 34 3/4" 35" 35 1/4" 35 1/2" 35 3/4" 36" 36 1/4" 36 1/2" 36 3/4" 37" 37 1/4" 37 1/2" 37 3/4" 38" 38 1/4" 38 1/2" 38 3/4" 39" 39 1/4" 39 1/2" 39 3/4" 40" 40 1/4" 40 1/2" 40 3/4" 41" 41 1/4" 41 1/2" 41 3/4" 42" 42 1/4" 42 1/2" 42 3/4" 43" 43 1/4" 43 1/2" 43 3/4" 44" 44 1/4" 44 1/2" 44 3/4" 45" 45 1/4" 45 1/2" 45 3/4" 46" 46 1/4" 46 1/2" 46 3/4" 47" 47 1/4" 47 1/2" 47 3/4" 48" 48 1/4" 48 1/2" 48 3/4" 49" 49 1/4" 49 1/2" 49 3/4" 50" 50 1/4" 50 1/2" 50 3/4" 51" 51 1/4" 51 1/2" 51 3/4" 52" 52 1/4" 52 1/2" 52 3/4" 53" 53 1/4" 53 1/2" 53 3/4" 54" 54 1/4" 54 1/2" 54 3/4" 55" 55 1/4" 55 1/2" 55 3/4" 56" 56 1/4" 56 1/2" 56 3/4" 57" 57 1/4" 57 1/2" 57 3/4" 58" 58 1/4" 58 1/2" 58 3/4" 59" 59 1/4" 59 1/2" 59 3/4" 60" 60 1/4" 60 1/2" 60 3/4" 61" 61 1/4" 61 1/2" 61 3/4" 62" 62 1/4" 62 1/2" 62 3/4" 63" 63 1/4" 63 1/2" 63 3/4" 64" 64 1/4" 64 1/2" 64 3/4" 65" 65 1/4" 65 1/2" 65 3/4" 66" 66 1/4" 66 1/2" 66 3/4" 67" 67 1/4" 67 1/2" 67 3/4" 68" 68 1/4" 68 1/2" 68 3/4" 69" 69 1/4" 69 1/2" 69 3/4" 70" 70 1/4" 70 1/2" 70 3/4" 71" 71 1/4" 71 1/2" 71 3/4" 72" 72 1/4" 72 1/2" 72 3/4" 73" 73 1/4" 73 1/2" 73 3/4" 74" 74 1/4" 74 1/2" 74 3/4" 75" 75 1/4" 75 1/2" 75 3/4" 76" 76 1/4" 76 1/2" 76 3/4" 77" 77 1/4" 77 1/2" 77 3/4" 78" 78 1/4" 78 1/2" 78 3/4" 79

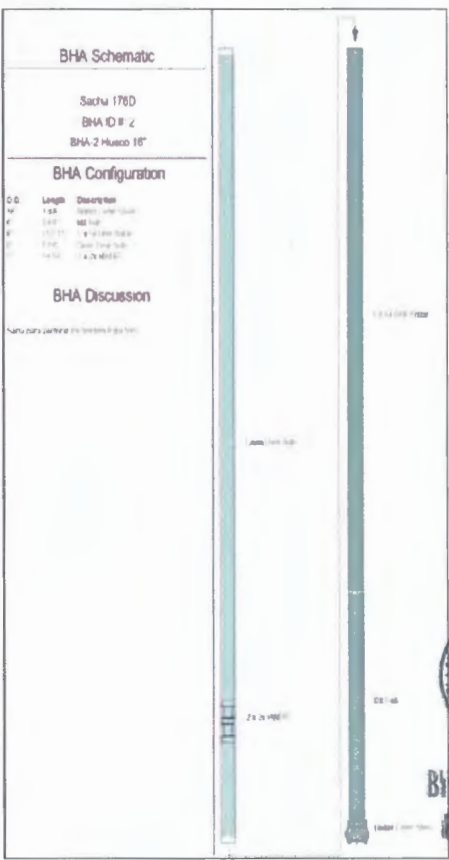
3.3.8. INFORMACIÓN DE BHA

Un factor importante en el diseño de todo programa de brocas es el ensamblaje de fondo. A continuación se detallan los distintos ensamblajes de fondo planificados en el Sacha 176D y el objetivo de cada uno de ellos durante la perforación.



BHA #1: Broca tricónica de dientes de 26" en un BHA simple para perforar el hueco conductor hasta los 180ft y asentar el revestimiento de 20"

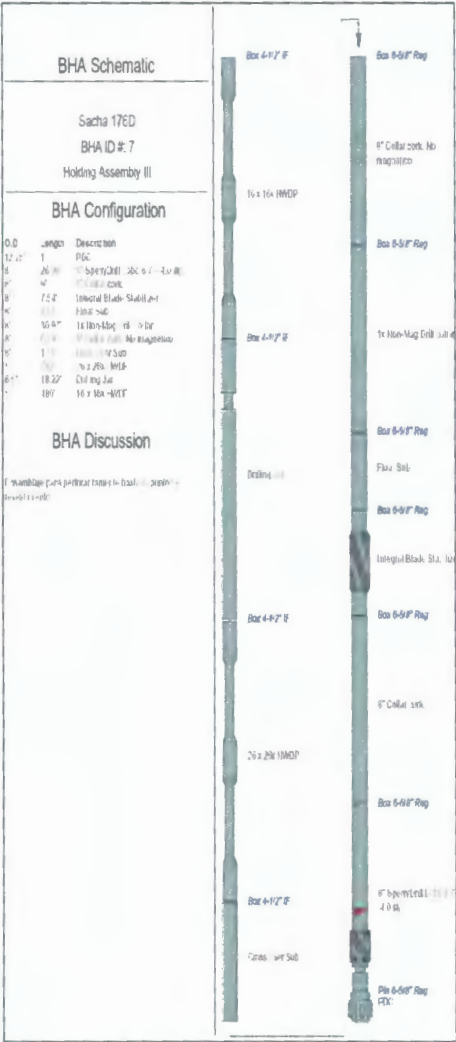
Fig. 3.12. Ensamblaje de Fondo # 1
Sacha 176D



BHA #2: Broca Tricónica de dientes de 16" en un BHA simple para perforar verticalmente 500 pies la zona de cantos rodados o Boulders.

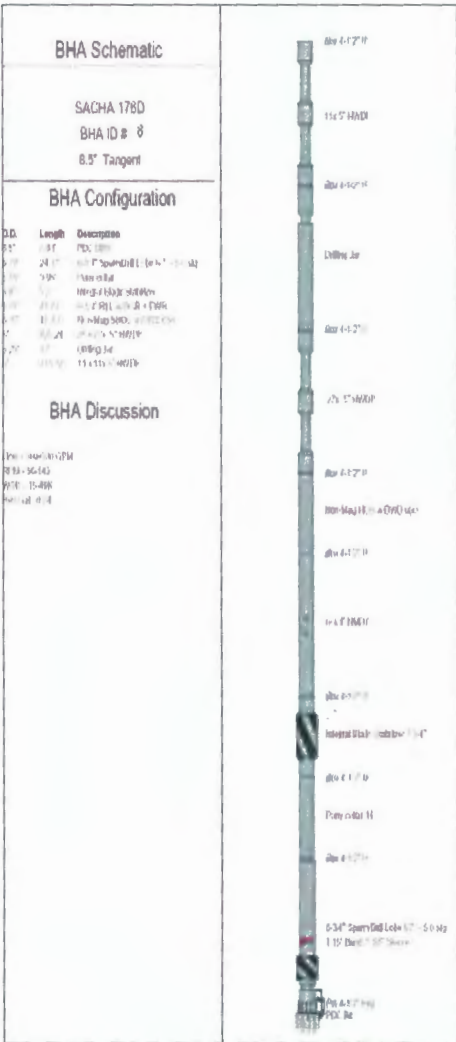
Fig. 3.13. Ensamblaje de Fondo # 2
Sacha 176D





BHA #7: Broca PDC de 12.25" - 5 Aletas en un **BHA Direccional** para mantener 26.2° de inclinación.
Modo Deslizando:
- BHA planeado para -7.0°/100' LS
- BHA planeado para 7.8°/100' HS
Modo Rotario @ 26.22°:
- BHA planeado para -0.13°/100'

Fig. 3.18. Ensamblaje de Fondo # 7
Sacha 176D



BHA #8: Broca PDC de 8.5" - 6 Aletas en un **BHA Direccional** para mantener 26.2° de inclinación y llegar a TD.
Modo Rotario @ 26.22°:
- BHA planeado para -0.22°/100'

Fig. 3.19. Ensamblaje de Fondo # 8
Sacha 176D



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

3.3.9. PARÁMETROS OPERATIVOS Y RENDIMIENTO

Los Parámetros Operativos en el diseño del programa de brocas se presentan como rangos de trabajo y proporcionan una idea clara de cómo manejar las operaciones a lo largo de la carrera de cada broca.

El WOB (Peso sobre la broca) y las RPMs Totales (Revoluciones Por Minuto de Motor y TopDrive) son obtenidos de la comparación de los parámetros usados en pozos vecinos; Las limitantes de flujo del motor proporcionan los rangos de galonaje de trabajo (GPM), así como también el flujo necesario para mantener una eficiente limpieza del hoyo; las limitantes de presión del equipo proporcionan datos para calcular la hidráulica junto con las propiedades del lodo. En ocasiones no se cuenta con información compatible con la del pozo del diseño por lo tanto los parámetros operativos se basan en la experiencia de campo.

Los Registros de Brocas o Bit Records son ingresados en una base de datos de la cual se puede agrupar los pozos vecinos y

bajo ciertos criterios de similitud efectuar comparaciones y estimar la ROP basándose en el mejor pozo perforado "Benchmark".

En el caso del Sacha 176D no existió información de pozos vecinos con la misma configuración por lo que la ROP y los parámetros operativos fueron estimados basándose en la experiencia de la compañía de brocas y utilizando como referencia los pozos de un campo vecino, ("Campo Paraíso") que habían sido perforados por la misma compañía direccional aunque con otro equipo de perforación, otra compañía de brocas y de lodos.

Adicionalmente con el estimativo de la ROP y las profundidades se puede calcular los tiempos de perforación estimados para cada broca y de ellos inferir el tiempo total de perforación.

A continuación se presenta la gráfica de estimación de la ROP así como también el estimado de Tiempo de Perforación del Sacha 176D.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

SACHA 176D DRILLING TIME

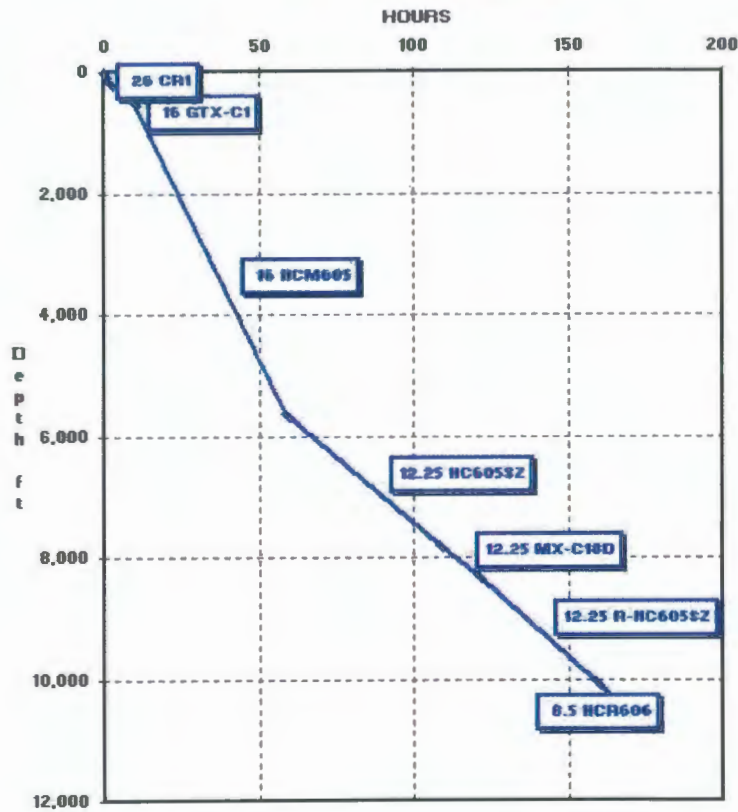


Fig. 3.20. Tiempo de Perforación de Sacha 176D

SACHA 176D ROP COMPARISON

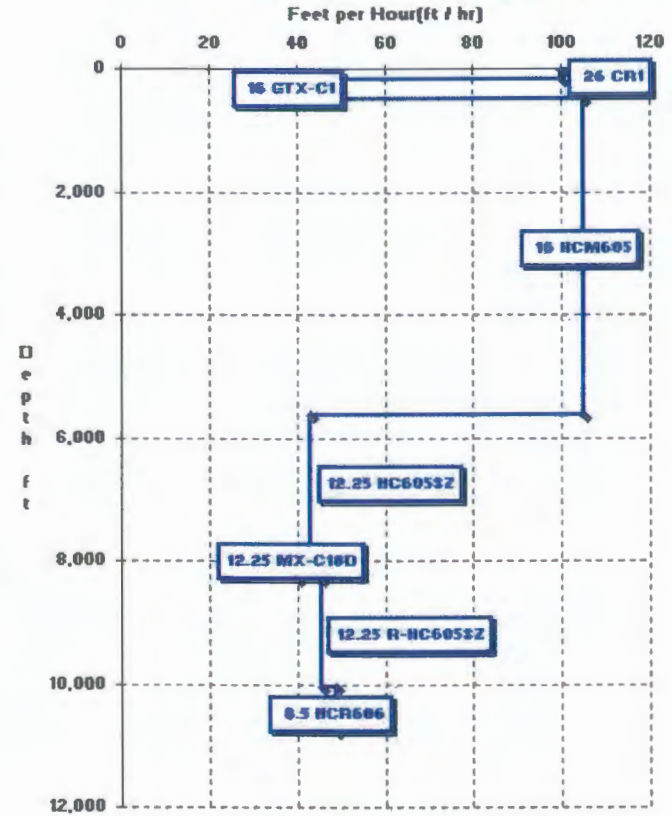


Fig. 3.21. Comparación de ROP

3.3.10. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN

El Equipo de Perforación o taladro juega un papel muy importante en las operaciones de perforación. El taladro del proyecto es el "Sinopec 188" de procedencia China que había culminado con éxito dos años de campaña de perforación de pozos verticales para Petroproducción. Importantes modificaciones fueron efectuadas al equipo para iniciar la campaña de los pozos direccionales como la colocación del topdrive y mejoras realizadas en las bombas. Las limitantes del equipo nos proporcionan datos necesarios para inferir una serie de lineamientos en cuanto al diseño del programa de brocas.

Las características del taladro son las siguientes:

TIPOS DE BOMBA / NUMERO	TRIPEX / TRES
FACTOR	0.52
CAMISA	12
EFICIENCIA	75%
MAXIMA PRESIÓN EN EL SISTEMA	3200 PSI
MAXIMO CAUDAL	1100 GPM
SISTEMA ROTATORIO / MARCA	TOPDRIVE / VARCO
MAXIMA CARGA DEL MALACATE	500 KLBS

3.4. SELECCIÓN DE BROCAS

Una vez obtenida la mayor cantidad de información concerniente al pozo, el criterio de selección es ofrecer brocas acordes en costo y rapidez a la operación. A continuación se detalla las razones de selección de los distintos tipos brocas para el programa de brocas del Sacha 176D clasificadas por secciones.

3.4.1. SECCIÓN DE 26" (CONDUCTOR SUPERFICIAL)

En la Sección del Conductor Superficial, es planificada una broca Tricónica de 26" de código IADC: 111, es decir para formaciones muy blandas.

Esta broca es usada para perforar 180 pies y luego asentar el revestidor (casing) de 20".



Fig. 3.22. Sección de 26" (Conductor Superficial)

Como se aprecia en el registro litológico y de la experiencia de la campaña de los pozos verticales se conoce que esta sección



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

esta conformada mayormente por arcillas blandas y arenas no consolidadas por lo que una broca tricónica de dientes largos es recomendada. Los parámetros operativos están dados por la experiencia de la campaña de los verticales y la de otros campos con la utilización de este tipo de broca

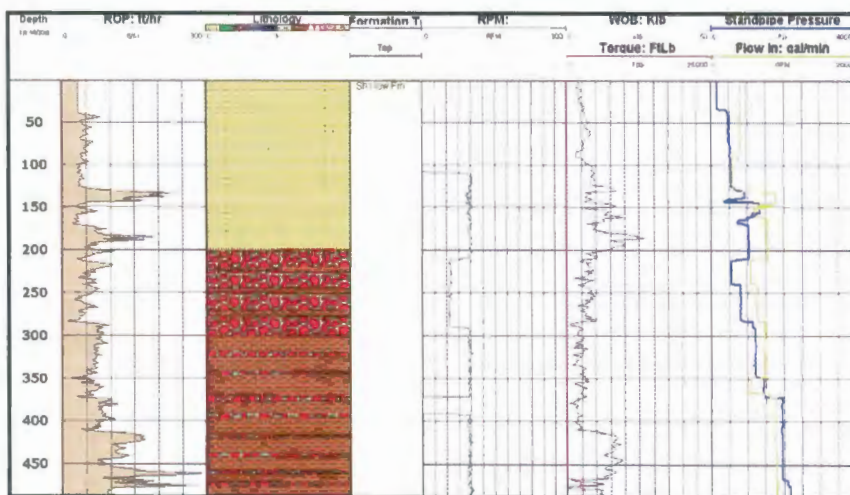


Fig. 3.23. Registro Litológico de una Broca de Sección de 26"

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TIPO DE BROCA	Tricónica de dientes de acero
NOMENCLATURA	CR1
CODIGO IADC	1-1-1
TIPO DE SELLO	Cojinetes y rodamientos no sellados
ESTRUCTURA DE CORTE	Dientes con crestas alargadas y recubrimiento duro para protegerlo de la erosión. Gran excentricidad
CONEXIÓN DEL PIN	7 5/8"

Tabla 3.4. Especificaciones Técnicas de una Broca Tricónica

La característica de esta broca es que posee dientes largos para palear mejor los recortes.

No posee cojinetes sellados por lo que se lubrican con el mismo lodo de perforación esto es debido a que generalmente este tipo de broca es usada para perforar pocos pies en donde se asienta el conductor superficial y una broca de cojinetes sellados resultaría costosa.

HIDRÁULICA

La hidráulica no es un problema en esta sección. Se busca tener mayor galonaje que proporcione un mejor acarreo y limpieza del hoyo que fuerza de impacto.

Esta broca posee 4 boquillas, tres boquillas en cada pata y una boquilla en el centro. La combinación de 4 boquillas de 20 (20/32") de diámetro proporciona un T.F.A. (Total Flow Area) = 1.227 in^2 con flujo de 400 GPM suficiente para no lavar la formación ni provocar problemas de exceso de flujo. El lodo es nativo.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

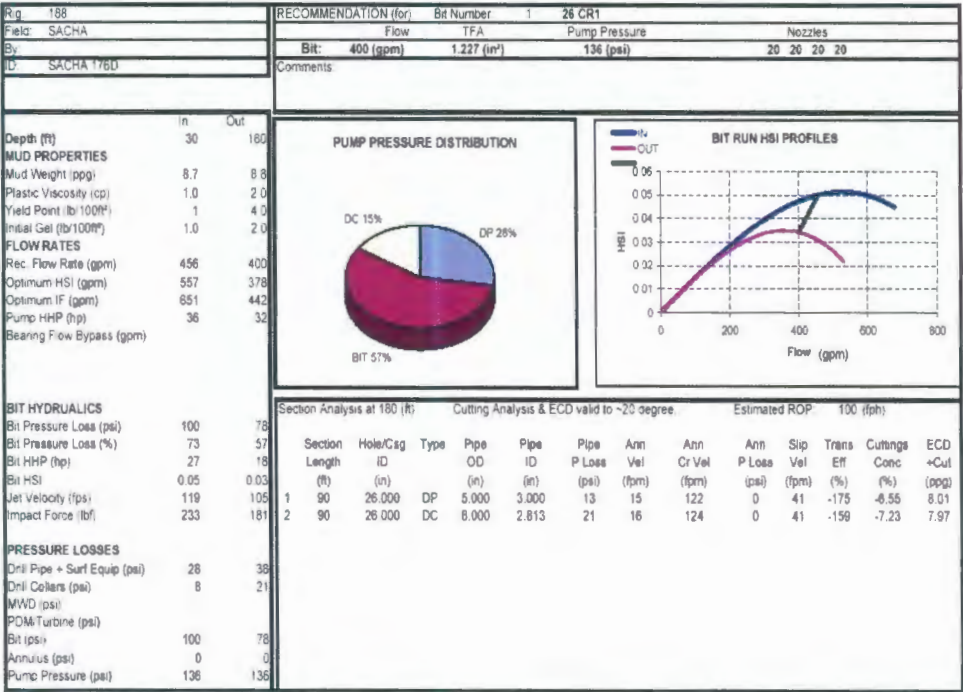


Fig. 3.24 Hidráulica de la Broca de Sección de 26"

RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST. PERF.	TIEMP. PERF.	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA. FLUJO	FORM.	Dev. Azim	MUD		Comentario
														WT	PV-YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
2	16.0	GTX-C1	4-18	500	320	8	40	5 - 15	120/ 160	1750	800	T. I.	N/ A	8.7	8/ 11	Para perforar zona de cantos rodados

Tabla 3.5. Rendimento Propuesto para una Broca de Sección de 26"

3.4.2. SECCIÓN DE 16" (REVESTIMIENTO INTERMEDIO)

La sección de 16" fue planifica en dos carreras de brocas:

PRIMERA CARRERA 16"

Para la primera carrera es planeada una broca tricónica de dientes de acero de 16" de código IADC: 114 para garantizar atravesar una zona de cantos rodados que se estima encontrar desde los 200 pies hasta 300 pies aproximadamente ya que una broca PDC podría resultar severamente dañada en esta litología.



Fig. 3.25. Broca Tricónica de Dientes de Acero. Primera Carrera de 16"

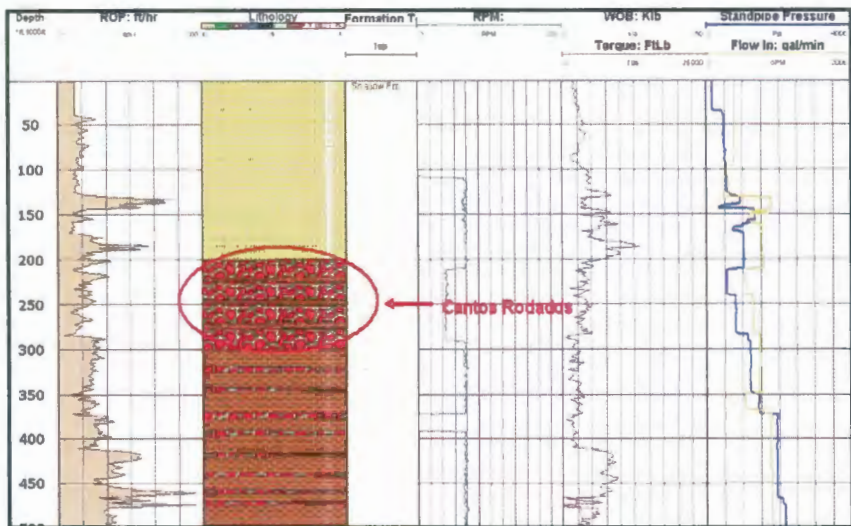


Fig. 3.26. Registro Litológico. Primera Carrera de 16"

Este tipo de broca posee sellos elastoméricos ya que perfora una cantidad significativa de formación y dientes alargados para pelear mejor los recortes, es utilizada comúnmente en

formaciones semi-blandas. También posee recubrimiento duro en los dientes y en calibre para protegerlos de la erosión; El jet central mejora la limpieza del fondo. El lodo usado sigue siendo nativo. El peso final del lodo al terminar la sección es de 8.7 lpg. Es prestada especial atención a la presencia de los cantos rodados ya que de no existir se podría ahorrar un viaje por cambio de broca para el siguiente pozo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

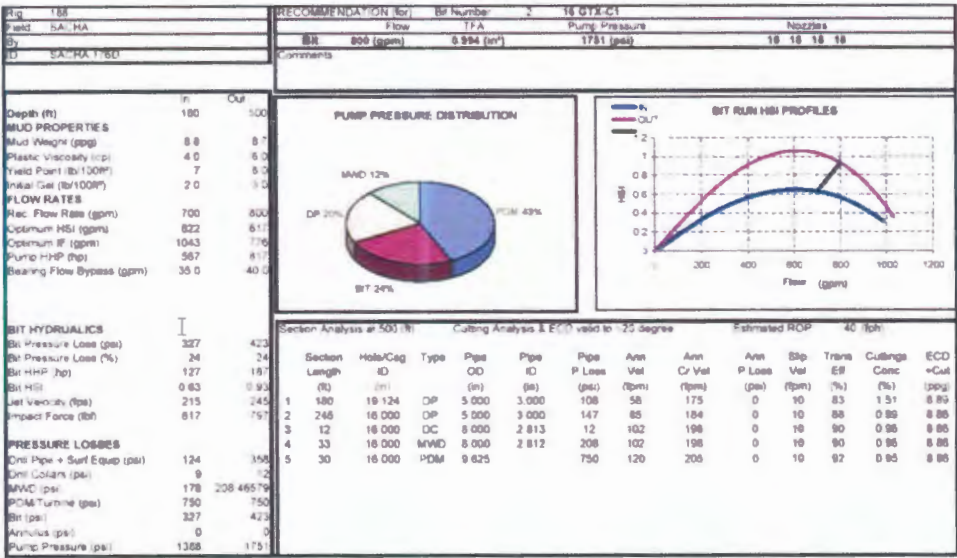
TIPO DE BROCA	Tricónica de dientes de acero
NOMENCLATURA	GTX-C1
CODIGO IADC	1-1-4 (para formaciones semi-blandas)
TIPO DE SELLO	Cojinetes y rodamientos sellados. Sellos elastoméricos
ESTRUCTURA DE CORTE	Dientes con cresta alargadas y recubrimiento duro tanto en el diente como en el calibre para protegerlos de la erosión.
CONEXIÓN DEL PIN	7 5/8" API REG

Tabla 3.6. Especificaciones Técnicas de una Broca de Primera Carrera 16"

HIDRÁULICA

Esta broca posee cuatro boquillas, tres en cada pata y una boquilla central. La combinación de cuatro boquillas de 18 (18/32 in²) proporciona un T.F.A. = 0.994 in2 con 800 GPM. Lo que garantiza buena limpieza. Nuevamente es este caso lo que se procura es tener mayor galonaje que fuerza de impacto para

el acarreo de los recortes del fondo. En esta carrera se controla la presión ya que se encuentra muy cercana a superficie y una excesiva presión podría colapsar el revestimiento de 20" o fracturar la formación superficial de allí que el T.F.A es amplio y la presión de trabajo es baja.



SEGUNDA CARRERA 16"

Para la segunda carrera de la sección de 16" es planeada una broca PDC de 5 Aletas con cuerpo de matriz para aplicación direccional con motor de fondo. Con esta broca se planea construir



ángulo a partir de los 2800 pies en

Fig. 3.28. Broca PCD de 5 Aletas
Segunda Carrera 16"

donde se encuentra el KOP a una rata de $2^{\circ}/100$ pies hasta llegar a 26.2° manteniéndolo tangente hasta el punto de revestimiento a 5647 pies (MD) al tope de Orteguaza.

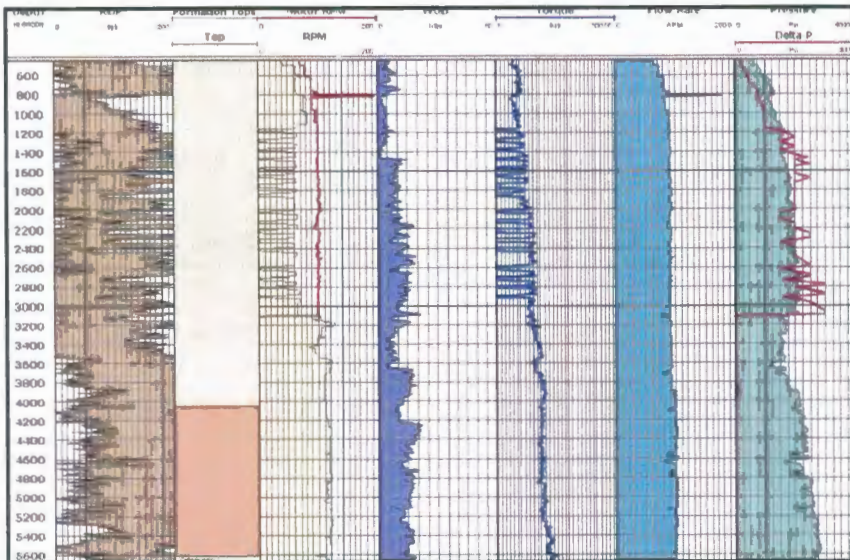


Fig. 3.29. Parámetros Operativos vs. Litología de la Segunda Carrera 16"



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Esta broca posee un área de desalojo = 68.89 in² que se espera sea suficiente para evitar problema de embolamiento ya que las formaciones Chalcana y Orteguaza poseen arcillas reactivas hidratables que tienden a embolar la broca. Agentes dispersantes se deben agregar al lodo para prevenir o reducir el embolamiento. La longitud del calibre es de 2.5 plg lo cual es favorable para levantar ángulo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TIPO DE BROCA	PDC 5 aletas para aplicación direccional
NOMENCLATURA	Hcm605
CODIGO IADC	M323
TAM. DE CORTADORES	19 mm. (0.75 in)
CANT. DE CORTADORES	58 en total, 45 en la cara
LONG. DEL CALIBRE	2.5 plg.
AREA DE DESALOJO	68.89 in2 (443.7 cm2)
CARACT. ADICIONALES	Protección adicional en el calibre
CONEXIÓN DEL PIN	7 5/8" API reg.

Tabla 3.8. Especificaciones Técnicas de una Broca. Segunda Carrera 16"

HIDRÁULICA

En esta carrera la hidráulica es de gran importancia. Se desea tener la mayor caída de presión en la broca asi como fuerza de Impacto (HSI). El galonaje (850 gpm) está en el rango permitido

por las herramientas direccionales y la presión final (3150 psi) no sobrepasa el límite del Equipo.

El HSI fue planeado fue mayor a 1 y el lodo utilizado siguió siendo nativo de 9.9 lpg al final de la sección. Se presta especial a caídas drásticas de la ROP ya que se podrían tratarse de problemas de embolamiento.

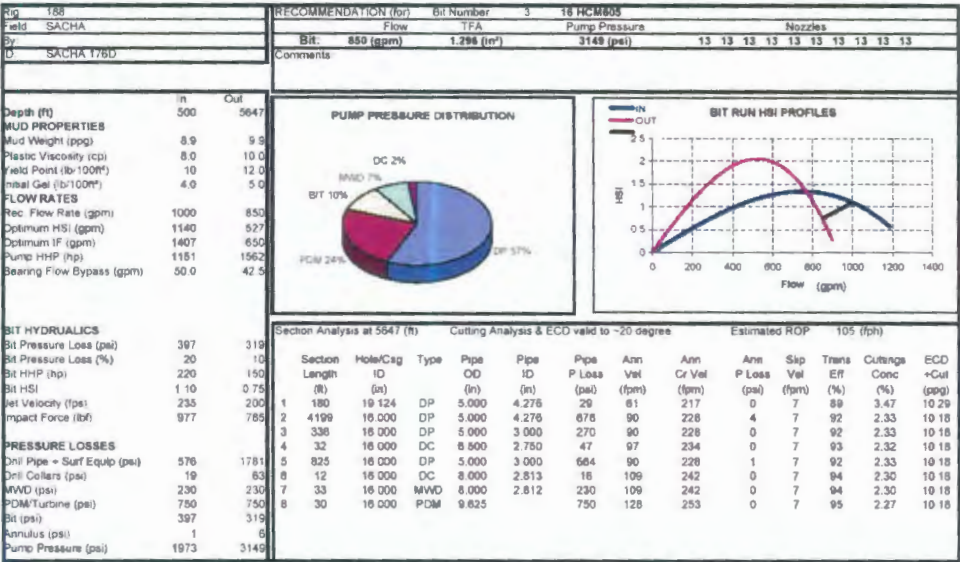


Fig. 3.30. Hidráulica de la Broca. Segunda Carrera 16"

RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF.	DIST.	TIEMP.	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev. Azim	MUD		Comentario
				SAL.	PERF	PERF.								WT	PV: YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(kdb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
3	16.0	HCM605	10-13	5647	5147	49	105	5 - 8	150/200	3148	850	T. I.	26.2 / 259.7	9.9	10/12	Para construir angulo a 26.2° y mantener la tangente

Tabla 3.9. Rendimiento Propuesto de una Broca. Segunda Carrera 16"



3.4.3. SECCIÓN 12 ¼" (REVESTIMIENTO DE PRODUCCIÓN)

Esta sección es planeada con tres carreras de brocas.

PRIMERA CARRERA 12 ¼"

Para la primera carrera de esta sección es planeada una broca PDC de 5 Aletas con cuerpo de acero para aplicación direccional con motor de fondo y cortadores de 19 mm especiales para la abrasión. Con esta broca se espera mantener la inclinación del pozo a 26.2° y la dirección a 259.7° hasta el tope de Conglomerado Masivo.



Fig. 3.31. Broca PDC 5 Aletas Cuerpo de Acero Primera Carrera 12 ¼"

Posteriormente se planea realizar un cambio de broca por una Tricónica de Insertos. Las formaciones a ser perforadas son Orteguaza y Tiyuyacu mayormente compuestas de arcillas, areniscas y limolitas; en esta litología existe buena respuesta



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

de la ROP a la optimización de parámetros, máximos galonaje (sin exceder la presión del sistema), máximas RPMs de TopDrive y WOB controlado es recomendado para perforar en esta carrera. Esta broca posee protección de diamante en el calibre para soportar mayor trabajo direccional. Recubrimiento duro característico de los cuerpos de acero es colocado sobre las aletas para proveerlas de mayor resistencia a la erosión.

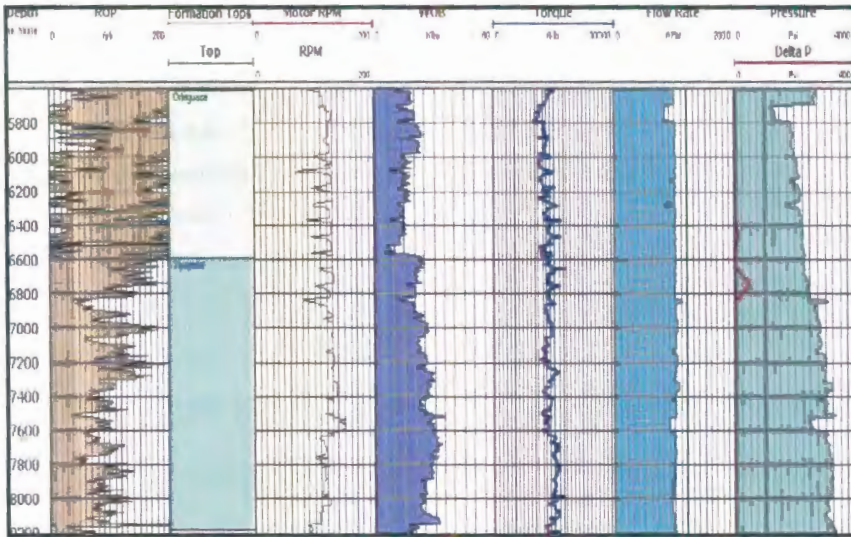


Fig. 3.32. Parámetros Operativos vs. Litología de la Primera Carrera 12 ¼

En la carrera de esta broca es preferible efectuar el cambio de broca antes de alcanzar el conglomerado masivo o a su vez reducir los parámetros especialmente RPMs y WOB unos 20 pies antes del tope estimado con el objeto de evitar daños en la broca ya que muy pocos pies con altas RPMs y alto peso



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

pueden dañar severamente a los cortadores e inclusive provocar anillamiento de la broca.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TIPO DE BROCA	PDC 5 aletas para aplicación direccional
NOMENCLATURA	Hc605sz (cuerpo de acero)
CODIGO IADC	M323
TAM. DE CORTADORES	19 mm. (0.75 in)
CANT. DE CORTADORES	58 en total, 45 en la cara
LONG. DEL CALIBRE	3 plg. (para mantener tangente)
AREA DE DESALOJO	48.5 in2 (312.8 cm2)
CARACT. ADICIONALES	Protección de diamante en el calibre
CONEXIÓN DEL PIN	6 5/8" API reg.

Tabla 3.10. Especificaciones Técnicas de una Broca. Primera Carrera 12 ¼

Broca cuerpo de acero es usada para mejorar el desalojo de los cortes y la limpieza del fondo del pozo reduciendo el riesgo de embolamiento ya que las cuerpo de acero proporciona mayores áreas de desalojo que las de matriz ya que el acero permite diseñar aletas más delgadas que soportan mayores esfuerzos.

HIDRÁULICA

Como en la carrera anterior la hidráulica de esta carrera de gran importancia ya que se perfora formaciones arcillosas con



tendencia al embolamiento. La combinación de siete boquillas de 14 (14/32 in), proporcionan un T.F.A. = 1.052 con 782 gpm con 3200 PSI de presión en el sistema si que exceda el límite de galonaje del motor ni el límite de presión del equipo y dentro del rango de limpieza del hoyo.

Un HSI de 1.45 a 1.91 proporciona una aceptable fuerza de impacto contra la formación y las condiciones del lodo deben ser de mayor fluidez para mejorar el acarreo de los recortes a superficie. El peso del lodo de 9.6 lpg al tope de conglomerado es planificado con un lodo polímero.

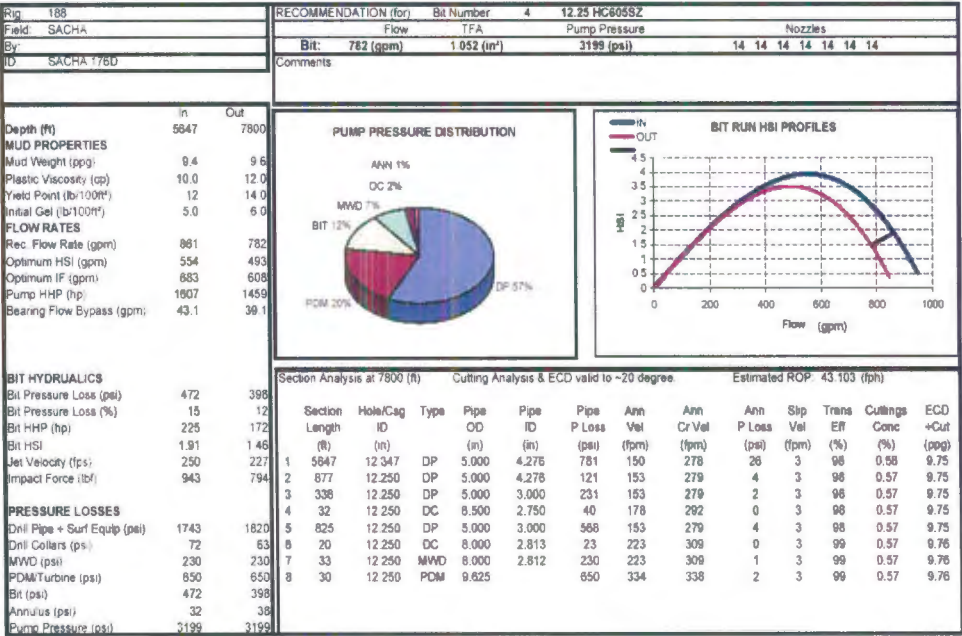


Fig. 3.33. Hidráulica de la Broca. Primera Carrera 12 ¼

RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOG.	PROF. SAL.	DIST. PERF.	TMP. PERF.	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJ.	FORM.	Dev. Azim.	MUD		Comentario
														WT	PV YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
4	12.25	HC605SZ	7-14	7800	2153	50	43.1	15-5	150/250	3200	782	ORT, TIY	26.2 / 259.7	9.6	12 / 14	Para mantener ángulo y azimut hasta antes del Conglomerado

Tabla 3.11. Rendimiento Propuesto de una Broca. Primera Carrera 12 ¼

SEGUNDA CARRERA 12 ¼" (PERFORACIÓN DEL MASIVO CONGLOMERADO)

Para la segunda carrera de la sección de 12 ¼" es planeada una broca tricónica de insertos para atravesar el conglomerado masivo ya que de la experiencia de los pozos verticales se conoce que esta formación provoca anillamiento a las brocas PDC debido a su abrasividad.

Con esta broca se planea mantener la inclinación del pozo a 26.2° y la dirección a 259.7° hasta la base del conglomerado y perforar unos pocos pies dentro de la formación Tiyuyacu hasta obtener 100% de muestras arcilla.



Fig. 3.34. Broca Tricónica de Insertos.
Segunda Carrera 12 ¼

Posteriormente se planea realizar un cambio de broca por la PDC usada en la primera carrera de 12 ¼" para terminar la sección. La broca posee protección adicional en el calibre debido al trabajo direccional que debe hacer y para proteger los sellos. La longitud de los insertos en mediana y es adecuada para formaciones duras. El sello metal – metal es recomendado ya que el ambiente es muy abrasivo. Los parámetros durante la perforación deben ser controlados reduciendo las RPMs de TopDrive y reduciendo el galonaje para reducir las RPMs del Motor. El peso sobre la broca es generalmente mayor usando tricónica, es conveniente mantener una ROP prom. de 40fph.

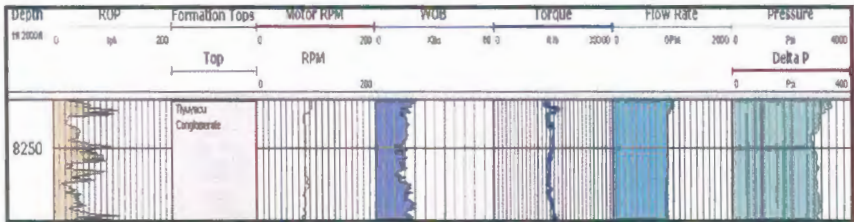


Fig. 3.35. Parámetros Operativos vs. Litología de la Segunda Carrera 12 ¼

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TIPO DE BROCA	Tricónica de insertos medianos para aplicación con motor
NOMENCLATURA	MX – C18D
CODIGO IADC	447 (para formaciones duras)
CHARACT. ADICIONALES	Protección de diamante en el calibre y recubrimiento duro
CONEXIÓN DEL PIN	6 5/8" API Reg.

Tabla 3.12. Especificaciones Técnicas de una Broca. Segunda Carrera 12 ¼



HIDRÁULICA

En hidráulica de esta broca se mantiene un T.F.A similar al usado con la PDC con el objeto de no alterar los regímenes de flujo ni sobrepasar los límites de presión del equipo. El galonaje es reducido al perforar esta sección para disminuir las revoluciones del motor. No existen problemas de embolamiento en formaciones duras.

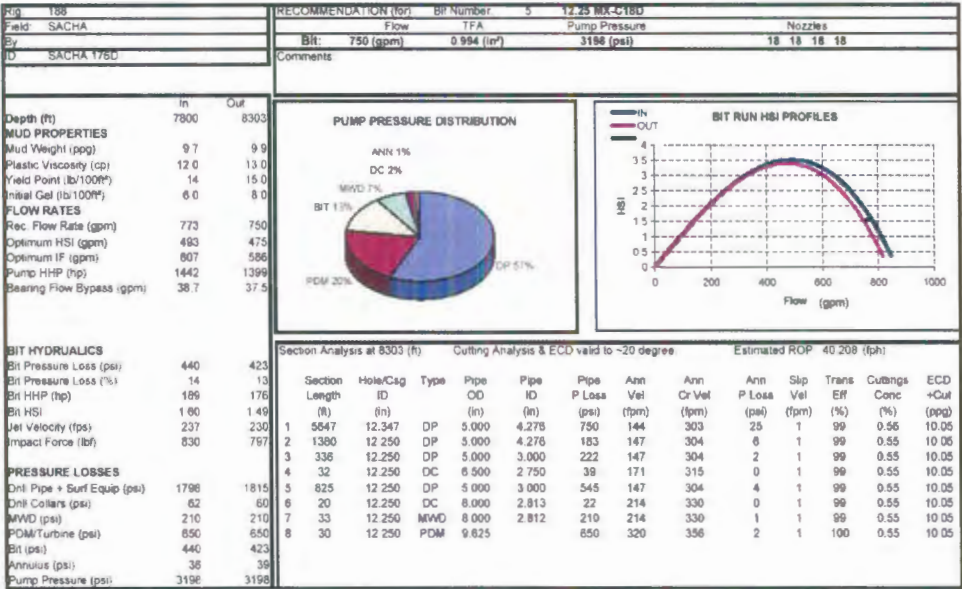


Fig. 3.36. Hidráulica de la Broca. Segunda Carrera 12 ¼

RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOG.	PROF. SAL.	DIST. PERF.	TMP. PERF.	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJ.	FORM.	Dev. Azim.	MUD		Comentario
														WT	PV/YP	
	(in)		(1-32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
5	12.25	MX-C18D	4-18	8303	503	12.5	40.1	25-35	150	3200	750	TIY. CGL	28.2 / 259.7	9.9	13 / 15	Para mantener ángulo y azimut y perforar el Conglomerado

Tabla 3.13. Rendimiento Propuesto de una Broca. Segunda Carrera 12 ¼

TERCERA CARRERA 12 ¼"

Se espera poder usar la misma broca de la primera carrera 12 ¼" para terminar esta sección. La PDC debe perforar las formaciones de Tena y Napo, mantener la inclinación a 26.2° y la dirección a 259.7° y llegar hasta el punto de casing de 9 5/8" @ 10041' MD/9386' TVD a la base de la Caliza A.



Fig. 3.37. Broca PDC de 5 Aletas. Tercera Carrera 12 ¼

Se espera un incremento de la ROP en Tena ya que esta formación es conformada de arcillas calcáreas en donde la broca PDC alcanza su mayor rendimiento por deberse de una formaciones semi – blandas. Los parámetros deben ser llevados al máximo en Tena, es decir máximo galonaje y máximas RPMs del topdrive.

Posteriormente un decrecimiento de la ROP se presentará en las lutitas de Napo debido a su compactación y a la laminación que presenta los cortes y será mayor en las calizas debido a su dureza. Los parámetros deberán se cambiados en las calizas



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

para evitar el daño en la broca por lo que se recomienda reducir el galonaje para reducir las RPMs del motor y reducir las revoluciones del TopDrive. El peso es un factor clave en las calizas y debe incrementarse según las necesidades de avance

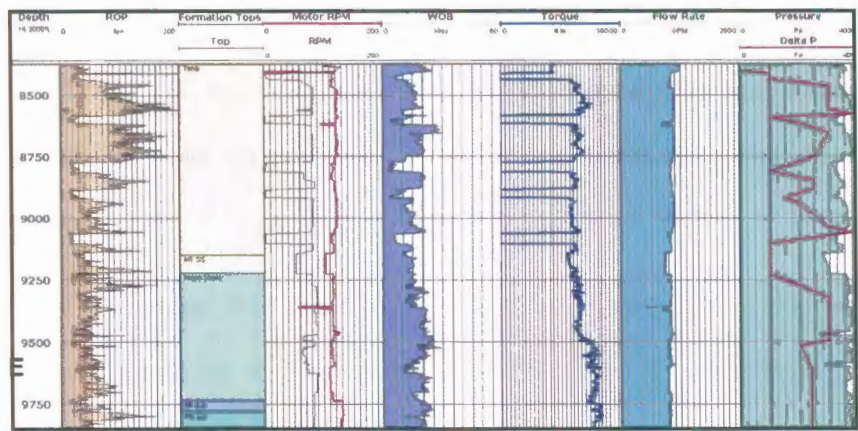


Fig. 3.38. Parámetros Operativos vs Litología de la Tercera Carrera 12 ¼

ESPCIFICACIONES TÉCNICAS

	PDC 5 aletas para aplicación direccional
NOMENCLATURA	Hc605sz (cuerpo de acero)
CODIGO IADC	S323
TAM. DE CORTADORES	19 mm. (0.75 in)
CANT. DE CORTADORES	58 en total, 45 en la cara
LONG. DEL CALIBRE	3 plg. (para mantener tangente)
AREA DE DESALOJO	48.5 in2 (312.8 cm2)
CARACT. ADICIONALES	Protección de diamante en el calibre
CONEXIÓN DEL PIN	6 5/8" API reg.

Tabla 3.14. Especificaciones Técnicas de una Broca. Tercera Carrera 12 ¼

HIDRÁULICA

La hidráulica en esta sección es de gran importancia ya que se debe perforar formaciones arcillosas como Tena y las Lutitas de Napo que poseen tendencia al embolamiento. La combinación de siete boquillas de 20 (14/32 in), proporcionan un T.F.A. = 2.148 con 756 gpm y 3240 PSI de presión en el sistema si que exceda el límite de galonaje del motor ni el límite de presión del equipo.

El TFA debe ser abierto ya que el peso del lodo es incrementado en Napo para evitar problemas de derrumbes de las lutitas característico de esta formación por lo que el HSI se reduce pero se puede trabajar con mayor galonaje, El peso del lodo al final de la sección es 10.4lpg a la base de la caliza A.

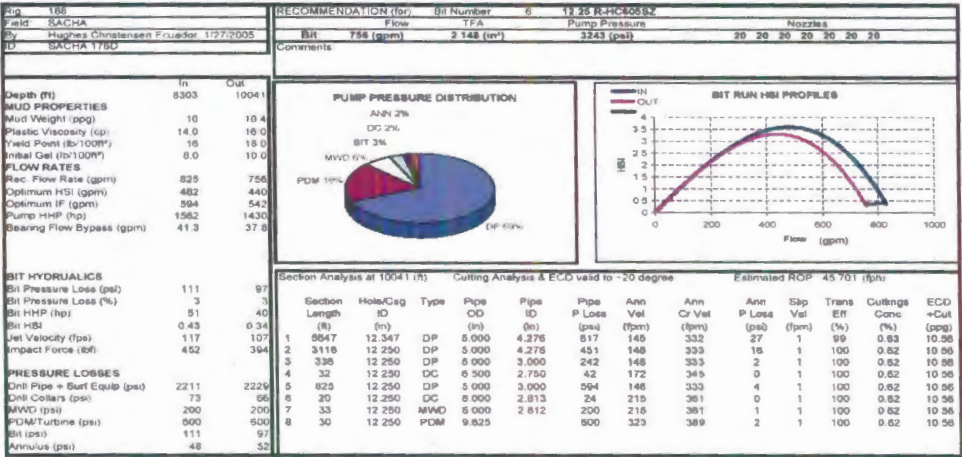


Fig. 3.39. Hidráulica de la Broca Tercera Carrera 12 ¼

RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST PERF	TMP PERF	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJ	FORM.	Dev Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hr/s)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
4R	12.25	HC605SZ	4-20	10041	1738	38.0	45.7	15-25	150-250	3243	756	TNA-NPO	26.2 / 259.7	10.4	16 / 18	Para mantener ángulo y azimut y perforar el Conglomerado

Tabla 3.15. Rendimiento Propuesto de una Broca. Tercera Carrera 12 ¼

3.4.4. SECCIÓN 8.5”

Es la sección final del Pozo, es diseñada en una sola carrera con una broca de 8.5” de 6 aletas de cuerpo de matriz para con protección adicional para altas rotaciones con cortadores de 19mm.



Fig. 3.40. Broca de 6 aletas de Cuerpo de Matriz. Sección 8.5 “

Con esta broca se espera perforar la zona de interés y llegar al TD. La PDC debe perforar las formaciones de Napo y la Hollín manteniendo la inclinación a 26.2° y la dirección a 259.7° y llegar hasta el TD @ 10776’ MD/10045’ TVD para posteriormente colgar el 7” liner.

Se espera un incremento de la ROP en los cuerpos de arena ya que son poco consolidados y una reducción en las calizas debido a su dureza. Las intercalaciones de lutitas se comportan distintamente y dependen del grado de compactación.

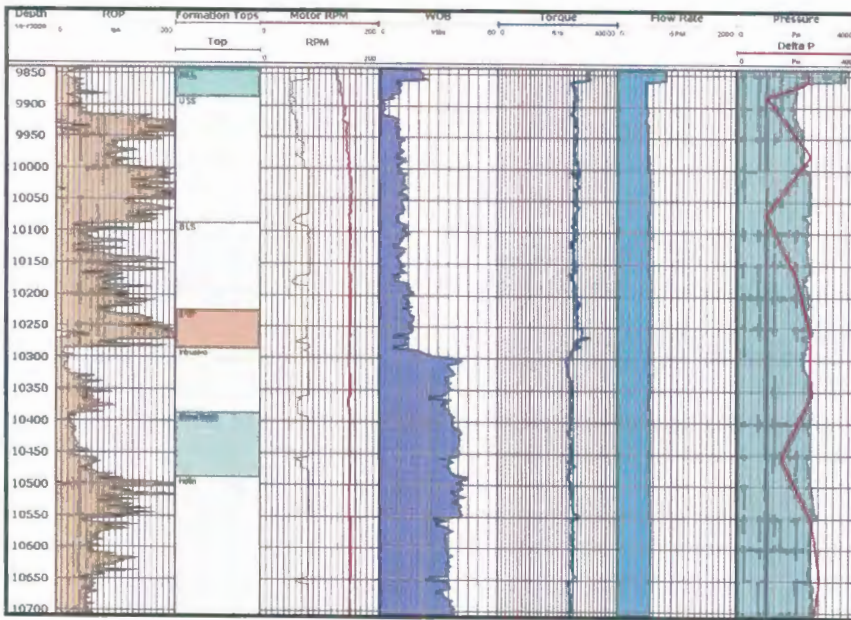


Fig. 3.41. Parámetros Operativos vs. Litología de la Sección 8.5 "

Los parámetros son medianamente controlados reduciendo el galonaje y rotación de TopDrive para disminuir el torque sobre la broca y se debe trabajar con mayor peso sobre en las calizas para poder fracturarlas y lograr mejor avance.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

TIPO DE BROCA	PDC 6 aletas para aplicación rotacional direccional
NOMENCLATURA	HCR606 (cuerpo de matriz)
CODIGO IADC	M323
TAM. DE CORTADORES	19 mm. (0.75 in)
CANT. DE CORTADORES	58 en total, 45 en la cara
LONG. DEL CALIBRE	3 plg. (para mantener tangente)
AREA DE DESALOJO	48.5 in2 (312.8 cm2)
CARACT. ADICIONALES	Protección de diamante en el calibre

Tabla 3.16. Especificaciones Técnicas de una Broca. Sección 8.5

La característica de esta broca es que posee mayor número de aletas para colocar más cortadores (densidad de cortadores) que una 5 aletas lo que la hace mas resistente y adecuada para formaciones duras y abrasivas.

El gauge de 3 plg ayuda a mantener la tangente y la protección de diamante en el calibre previene el daño de la broca en modo de sliding. Cortadores de 19 mm poseen una mayor profundidad de corte y generalmente mejoran la ROP que cortadores de 16 mm o 13 mm que podrían usarse con este tipo de broca.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

HIDRÁULICA

La hidráulica en esta sección se basa en mantener una rata de flujo que asegure la limpieza del hoyo más que conseguir altas fuerzas de impactos o caballajes hidráulicos ya que reducciones de galonajes son necesarias para reducir la rotación del motor y evitar el daño prematuro de la broca en la variada litología de Napo y Hollín que consiste de arenas, lutitas y calizas de diferente grado de compactación.

La combinación de boquillas 6x12 proporcionan un T.F.A. = 0.63 con 560 gpm y 3140 PSI de presión en el sistema que excede el límite de galonaje del motor ni el límite de presión del equipo. Con el casing de 10 3/4" asentado, se usa un nuevo tipo de lodo polímero en esta sección el cual trabaja con menores pesos para prevenir el daño a la formación ya que atraviesa la zona de interés.

El peso al final de la sección es 10.0 lpg y es prestada especial atención a no superar este peso para que la presión hidrostática no supere la presión de poro de la formación y no provocar un daño irreversible.

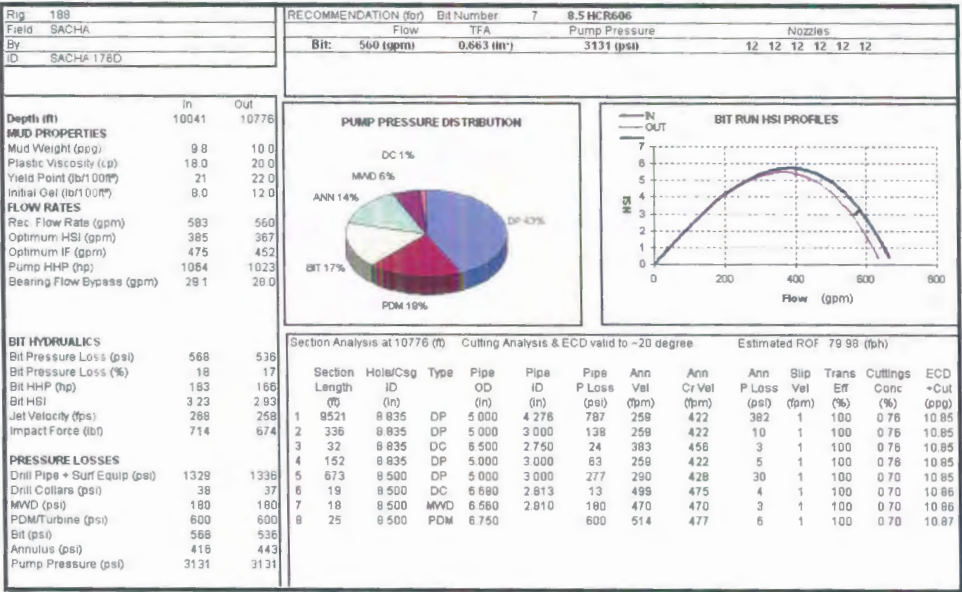


Fig. 3.42. Hidráulica de la Broca. Sección 8.5 "

RENDIMIENTO PROPUESTO

No	DIA	TIPO	BOQ.	PROF SAL.	DIST PERF	TMP PERF	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJ	FORM.	Dev. Azim	MUD		Comentario
														WT	PV: YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
7	8.5	HCR606	7-12	10776	735	15	49.0	18.40	120-150	3130	560	NPO-HLLN	26.2 / 259.7	10	20 / 22	BHA Para mantener ángulo y azimut

Tabla 3.17. Rendimiento Propuesto de una Broca Sección 8.5

3.4.5. PROGRAMA DE BROCA RECOMENDANDO

El Bit Record Recomendado es presentado y adjuntado a las características de cada una de las brocas u hoja técnica, las combinaciones de hidráulicas y los comparativos de tiempo y ROP de los pozos vecinos en lo que se denomina el “Programa de Brocas”.

GEOGRAPHIC LOCATION		OPERATOR		CONTRACTOR / RIG			
Sacha, Ordaz		PETROPRODUCCION		SINOPEC 100			
FIELD / AREA		LOCATION / WELL NUMBER		DATE		PREPARED FOR	
Sacha		SACHA 176D		February 17, 2009		DPTO. DE PERFORACION	

No.	SIZE	BIT TYPE	DEPTH (ft)	DEPTH (m)	DRILL TIME (hrs)	ROP (ft/hr)	ROP (m/hr)	WOB (lb)	RPM	MINI (sec)	DAYS	REMARKS
1	26"	CR1	180	150	3.0	58.0	3.0	8.8	80-80	8.8	.1	Conductor section Set 10-3/4 in casing 5 Days.
2	16"	GTX-C1	500	320	8.0	40.0	9.5	5-15	120-160	8.7	1.0	Shallow boulders Up to Chalana
3	16"	HCM605	5647	5147	49.0	105.0	58.5	5-8	150-200	9.9	3.5	Set 13.375 in casing 2 Days.
4	12-1/4"	HC605SZ	7800	2153	50.0	33.1	109	15-25	150-250	9.6	8.2	Ortega and Tiyuracu
5	12-1/4"	MX-C1RD	8303	503	12.5	40.2	121	25-35	150-250	9.9	8.8	Chert formation
6	12-1/4"	R-HCM605SZ	10041	1738	38.0	45.7	159	15-25	150-250	10.4	10.8	Tena and Napo
7	8-1/2"	HCR606	10776	735	15.0	49.0	174	18-40	120-150	9.9	13.4	Set 9.625 in casing 2 Days. Napo, Holin to TD

26" CR-1

16" GTX-C1

16" HCM605

12-1/4" MX-C1RD

12-1/4" HC605SZ

8-1/2" HCR606



Fig. 3.43. Programa de Broca Recomendado

3.4.6. SUMARIO DEL DISEÑO DEL POZO PROPUESTO

Sacha 176D es planeado como un pozo direccional tipo “J”
cuyas coordenadas de llegada y partida son las siguientes:

COORDENADAS		COORDENADAS UTM	
NORTE:		NORTE: 9954246.88	
ESTE:		ESTE: 289056.8	
E.M.R: 879			

Tabla 3.18. Sumario del Diseño del Pozo Propuesto

La sección del conductor es planeada con una broca tricónica de dientes de acero de 26” hasta 180 ft en el punto de casing



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

en donde se asienta el revestidor de 20". Lodo Nativo es usado en esta sección con un peso de 8.8 lpg.

El hoyo de 16" y revestimiento de 13 3/8" es planeado para la construcción del ángulo. Una broca tricónica de dientes de acero en un BHA sencillo es usado para perforar la zonas de cantos rodados hasta los 500'.

Posteriormente se cambia por una broca PDC con un BHA direccional para construir ángulo desde 2800 ft (MD) en el KOP manteniendo un ángulo tangente de 26.2° hasta el punto de revestimiento a 5647ft (MD) al tope de Orteguzaza. Lodo Nativo sigue siendo usado en esta sección la cual termina con un peso de 9.9 lpg.

Para el hoyo de 12 1/4" y revestimiento de 9 7/8" fueron planeadas tres carreras de brocas. La primera, una broca de cinco aletas con de cuerpo de acero la cual es planeada para atravesar Orteguzaza y Tiyuyacu hasta el tope del Conglomerado Masivo.

Posteriormente es planeada una broca tricónica de insertos para atravesar el conglomerado masivo debido a su abrasividad.

Al finalizar el conglomerado y una vez que se es obtenida 100% de muestras de arcilla se debe cambiar por la broca PDC de cinco aletas usada anteriormente.

El punto de casing para la sección de producción es a 10041' (MD) a la base de la Caliza A. El lodo usado es polímero desde la sección de 12.25" con un peso del lodo de 10.8 lpg. al terminar la sección y se mantiene la tangente de 26.2°.

El hoyo de 8.5" y colgador de 7" es planeado con una broca de seis aletas que debe atravesar Napo y Hollín y llegar al PT (Profundidad Total) a 10776' con un lodo polímero de 10 lpg de peso.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La manera en que se detallará los resultados de las Operaciones con Brocas en los Pozos direccionales de Sacha se basará en la comparación de Los Bit Records Propuestos vs. Los Bit Record Reales, en los cuales se analizarán los problemas concernientes en cada sección y se explicará por qué variaron con respecto al programa propuesto. Se inicia con el análisis del Sacha 176D y posteriormente se presentan las recomendaciones y la elaboración del Bit Record para el siguiente pozo: El Sacha 155D.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Se continuará con el análisis del Sacha 155D presentándose las recomendaciones y posterior elaboración del Bit Record para el último Sacha: El Sacha 154D. Finalmente se analizarán los resultados de todos los pozos en el capítulo de Conclusiones y Recomendaciones en donde se mostrarán las pautas generales de la perforación en el Campo Sacha.

4.1. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DEL SACHA 176

A continuación se presenta el Bit Record Final del Sacha 176D y se analiza cada una de las carreras Propuestas vs. La Real, así como las características de cada una de las brocas, los parámetros operativos utilizados y las razones del desgaste para efectuar las respectivas recomendaciones para los siguientes pozos.

GEOGRAPHIC LOCATION		OPERATOR		SPUD DATE		TO DATE		RPT-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110-111-112-113-114-115-116-117-118-119-120-121-122-123-124-125-126-127-128-129-130-131-132-133-134-135-136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156-157-158-159-160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170-171-172-173-174-175-176-177-178-179-180-181-182-183-184-185-186-187-188-189-190-191-192-193-194-195-196-197-198-199-200-201-202-203-204-205-206-207-208-209-210-211-212-213-214-215-216-217-218-219-220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250-251-252-253-254-255-256-257-258-259-260-261-262-263-264-265-266-267-268-269-270-271-272-273-274-275-276-277-278-279-280-281-282-283-284-285-286-287-288-289-290-291-292-293-294-295-296-297-298-299-300-301-302-303-304-305-306-307-308-309-310-311-312-313-314-315-316-317-318-319-320-321-322-323-324-325-326-327-328-329-330-331-332-333-334-335-336-337-338-339-340-341-342-343-344-345-346-347-348-349-350-351-352-353-354-355-356-357-358-359-360-361-362-363-364-365-366-367-368-369-370-371-372-373-374-375-376-377-378-379-380-381-382-383-384-385-386-387-388-389-390-391-392-393-394-395-396-397-398-399-400-401-402-403-404-405-406-407-408-409-410-411-412-413-414-415-416-417-418-419-420-421-422-423-424-425-426-427-428-429-430-431-432-433-434-435-436-437-438-439-440-441-442-443-444-445-446-447-448-449-450-451-452-453-454-455-456-457-458-459-460-461-462-463-464-465-466-467-468-469-470-471-472-473-474-475-476-477-478-479-480-481-482-483-484-485-486-487-488-489-490-491-492-493-494-495-496-497-498-499-500-501-502-503-504-505-506-507-508-509-510-511-512-513-514-515-516-517-518-519-520-521-522-523-524-525-526-527-528-529-530-531-532-533-534-535-536-537-538-539-540-541-542-543-544-545-546-547-548-549-550-551-552-553-554-555-556-557-558-559-560-561-562-563-564-565-566-567-568-569-570-571-572-573-574-575-576-577-578-579-580-581-582-583-584-585-586-587-588-589-590-591-592-593-594-595-596-597-598-599-600-601-602-603-604-605-606-607-608-609-610-611-612-613-614-615-616-617-618-619-620-621-622-623-624-625-626-627-628-629-630-631-632-633-634-635-636-637-638-639-640-641-642-643-644-645-646-647-648-649-650-651-652-653-654-655-656-657-658-659-660-661-662-663-664-665-666-667-668-669-670-671-672-673-674-675-676-677-678-679-680-681-682-683-684-685-686-687-688-689-690-691-692-693-694-695-696-697-698-699-700-701-702-703-704-705-706-707-708-709-710-711-712-713-714-715-716-717-718-719-720-721-722-723-724-725-726-727-728-729-730-731-732-733-734-735-736-737-738-739-740-741-742-743-744-745-746-747-748-749-750-751-752-753-754-755-756-757-758-759-760-761-762-763-764-765-766-767-768-769-770-771-772-773-774-775-776-777-778-779-780-781-782-783-784-785-786-787-788-789-790-791-792-793-794-795-796-797-798-799-800-801-802-803-804-805-806-807-808-809-810-811-812-813-814-815-816-817-818-819-820-821-822-823-824-825-826-827-828-829-830-831-832-833-834-835-836-837-838-839-840-841-842-843-844-845-846-847-848-849-850-851-852-853-854-855-856-857-858-859-860-861-862-863-864-865-866-867-868-869-870-871-872-873-874-875-876-877-878-879-880-881-882-883-884-885-886-887-888-889-890-891-892-893-894-895-896-897-898-899-900-901-902-903-904-905-906-907-908-909-910-911-912-913-914-915-916-917-918-919-920-921-922-923-924-925-926-927-928-929-930-931-932-933-934-935-936-937-938-939-940-941-942-943-944-945-946-947-948-949-950-951-952-953-954-955-956-957-958-959-960-961-962-963-964-965-966-967-968-969-970-971-972-973-974-975-976-977-978-979-980-981-982-983-984-985-986-987-988-989-990-991-992-993-994-995-996-997-998-999-1000-1001-1002-1003-1004-1005-1006-1007-1008-1009-1010-1011-1012-1013-1014-1015-1016-1017-1018-1019-1020-1021-1022-1023-1024-1025-1026-1027									
---------------------	--	----------	--	-----------	--	---------	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabla. 4.1. Bit Record Real del Pozo Sacha 176D

4.2. SECCIÓN DE 26"

4.2.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

NO	DA	TPO	SOG.	PROP CAL	DET PEP	TEMP PEP	POP	VOS	POT	PFC SOMI	PATR FUND	PCRE	Dir ACB	BUD		COMENTARIO	
														WT	PLUP		
	OD		(M2/D)	(G)	(G)	(G/H)	(M2)	(G/S)	(G/H)	(G/S)	(G/H)		(G/H)	(G/H)			
1	DLR	CR-1	A-29	M2	100	1	M2	6-10	60	300	100	T-1	N/A	6.6	10	12	PARA PERFORAR EL CONDUCTOR SUPERFICIAL

Tabla. 4.2. Rendimiento Propuesto. Sección de 26"



Fig. 4.2. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #2

4.3.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #2

- Tricónica es usada perforar hasta los 500 pies según programa para atravesar zona de boulders o cantos rodados. Se encuentra zonas con presencia de grava.
- La ROP es 79.73 fph, 52% mayor que la estimada.
- Se controlaron parámetros para evitar taponamiento de la línea de flujo (flow line).
- Broca no presenta mayor desgaste y puede ser reutilizada para en el siguiente pozo.
- No se utiliza BHA direccional aún por lo tanto no hay motor de fondo.
- TFA según lo programado. No hubieron problemas de alta presión en el sistema
- El lodo utilizado es bentonita de 8.9 al final de esta carrera.

4.4. SECCIÓN DE 16" 2DA CARRERA PROPUESTA

4.4.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No	DIA	TIPO	BOQ	PRF SAL	DIST PERF	TIEMP PERF.	ROP	WOB	ROT	PRES BOMB	RATA FLUJO	FORM	Dev/ Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
3	16.0	HCM605	10-13	5647	5147	49	105	5-8	150-200	3149	850	T. I.	26.2 / 259.7	9.9	10 / 12	Para construir ángulo a 26.2° y mantener la tangente

Tabla. 4.8. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Segunda Carrera Propuesta

4.4.2. RENDIMIENTO ALCANZADO

No	DIA	TIPO	BOQ	PRF SAL	DIST PERF	TMP PRF	ROP	WOB	ROT	PRES BOM	RATA FLUJ	FOR M	Dev/ Azim	MUD		DESGASTE										
														WT	PV/Y	I	O	D	L	B	G	O	RP			
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)												
3	16.0	HCM605	10-13	4175	3675	49.04	74.94	5-40	80 + 207	2800	942	T. I.	26.2/261.1	9.4	9/12	0	0	NO	A	X	I	NO	PP			
3R	16.0	HCM605	10-14	5161	986	25.66	38.43	10-40	80 + 207	3350	942	T. I.	26.0/259.2	9.6	12/18	1	1	WT	A	X	I	NO	BHA			
3RR	16.0	HCM605	5-12 5-13	5685	524	7.74	67.7	15-30	80 + 204	3700	929	TWOR T	24.8/258.7	9.6	18/8	1	1	WT	A	X	I	NO	TD			

Tabla. 4.9. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Segunda Carrera Propuesta

CARRERA #3

No	DIA	TIPO	BOQ	PRF SAL	DIST PERF	TMP PRF	ROP	WOB	ROT	PRES BOM	RATA FLUJ	FOR M	Dev Azim	MUD		DESGASTE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
														WT	PV/Y	I	O	D	L	B	G	O	RP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)		(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															</

Tabla. 4.10. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #3



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Formación	TERCIARIO												TOTALS		
	Fig	Area	Total	Fig	Area	Total	Fig	Area	Total	Fig	Area	Total	Fig	Area	Total
Footage	2914	781	3675										2914	781	3675
Hours	36.80	12.24	49.04										36.80	12.24	49.04
ROP	78.15	62.17	74.94										79.18	62.17	74.94
WOB	2-20	5-15											10-40	5-15	
SR Bore	80+204	210											80+207	210	
GPM	928	953											942	953	
Drill	1-4	-											2-5	-	

Tabla. 4.11. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #3



Fig. 4.3. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #3

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #3

- PDC perfora con buen control direccional (Tool Face) y buena ROP (75fph) tanto en modo rotación como sliding, construye ángulo desde 0 a 26.2° según el programa.
- TFA según lo programado. Problemas en las bombas por alta presión obliga a ampliar el TFA. Aprovecha viaje de control para sacar a superficie y cambiar jets de la broca
- PDC no presenta desgaste, correcta aplicación del tipo de broca y cortadores.
- ROP rotando 36.8fph, ROP sliding 12.24fph. % sliding 33%.
- El HSI de la broca fue 1.46 y el HHP 293.96 hp antes de ampliar el TFA



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

CARRERA #3R

No	DIA	TIPO	BOO	PRF	D	TMP	ROP	WOB	ROT	PRES	RATA	FORM	Dev	MUD		DESGASTE										
				SAL	PERF	PRF				BOM	FLUJ			WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	RP			
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	ppg												
3R	16.0	HCM605	10-14	5161	986	25.66	38.43	10-40	80+207	3350	942	T I	26.0/259.2	9.6	12/18	1	1	WT	A	X	I	NO	BHA			

Tabla. 4.12. Rendimiento Alcanzado. Carrera #3R

Formas	TERCIARIO									TOTALS								
	Per	Stab	Total	Per	Stab	Total	Per	Stab	Total	Per	Stab	Total	Per	Stab	Total	Per	Stab	Total
Formas	986		986							986						986		
Hora	25.66		25.66							25.66						25.66		
ROP	38.43		38.43							38.43						38.43		
WOB	10 - 40									10 - 40								
Dr Suelo	80 + 207									80+207								
SPM	942									942								
Torque	2 - 5									2 - 5								

Tabla. 4.13. Parámetros Operativos. Carrera # 3R

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #3R

- Bajo rendimiento debido al excesivo TFA seleccionado ya que no se cuenta con suficiente hidráulica en la broca y el fondo para mejorar la limpieza y la ROP.
- La ROP decrece de 74.94fph a 38.4 fph, una reducción de 51%. 100% Rotación.
- Nuevamente es sacada a superficie para cambiar los jets. PDC muestra ligero desgaste de la estructura de corte.
- El HSI de la broca fue 1.28 y el HHP 258.88 hp antes de cambiar el TFA.
- La broca presenta ligero desgaste por erosión del filo del cortador (chamfer) pero puede utilizarse si problemas para la siguiente carrera



- El lodo utilizado es bentonita de 9.6 lpg de peso. Se bombean píldoras de alta y baja viscosidad para mejorar la limpieza del pozo.

CARRERA #3RR

No	DIA	TIPO	BOO	PRF	DIST	TMP	ROP	WOB	ROT	PRES	RATA	FORM	Dev Azim	MUD		DESGASTE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				SAL	PERF	PRF				BOM	FLUJ			WT	PV P	I	O	D	L	B	G	O	RP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	(in)		(132 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(lb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	ppg																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

Tabla. 4.14. Rendimiento Alcanzado. Carrera # 3RR

Parametro	TERCIARIO				ORTEGUAZA				TOTALS			
	Seg	Segs	Yds	Seg	Segs	Yds	Seg	Segs	Seg	Segs	Yds	Seg
Pozos	488		35			35						524
Metros	7.30		0.44			0.44						7.74
ROP	96.55		56.36			86.36						67.70
WOB	15 - 30		20 - 25									15 - 30
Rotación	80 + 204		90 + 205									80+204
Pres	925		932									929
Yardas	5 - 9											5 - 9

Tabla. 4.15. Parámetros Operativos. Carrera # 3RR



Fig. 4.4. Broca Utilizada en la Carrera #3RR

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #3RR

- Se consigue mejorar la ROP a 68 fph 56.72% mayor que la anterior carrera. La reducción del TFA mejoró la hidráulica en el fondo y mejoró notablemente la ROP de la broca. 100% Rotación en formación Chalcana
- Se recomienda mantener este TFA o reducirlo a 1.10. HSI de 1.56 y el HHP 310.95 hp antes de alcanzar el TD.
- Broca no presenta mayor desgaste y puede ser reutilizada
- El desgaste es el mismo que en la carrera anterior (3R)
- El lodo usado en toda esta sección es Agua/Bentonita/PAC de 9.2 a 9.6 lpg de peso. Se utilizó como base el fluido de la sección anterior. Para prevenir la formación de camas de cortes, se bombearon píldoras de alta y baja viscosidad.
- Limitantes del taladro impidieron lograr mejor rendimiento

4.5. SECCIÓN DE 12.25" PRIMERA CARRERA PROPUESTA

4.5.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No	DIA	TIPO	BOQ	PROF SAL	DIST FERF	TMP PERF	ROP	WOB	ROT	PRES BOMB	RATA FLUJ	FORM	Devf Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
4	12.25	HC606SZ	7-14	7800	2153	50	43.1	15 - 5	150- 250	3200	782	ORT, TIY	26.2- 259.7	9.6	12 /14	Mantener ángulo y azimut hasta antes del Conglomerado

Tabla. 4.16. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Primera Carrera Propuesta



4.5.2. RENDIMIENTO ALCANZADO - CARRERA #4 & 5

No	DIA	TIPO	BOQ	PRF	DIST	TEMP	ROP	WOB	ROT	PRES BOMB	RATA FLUJO	FORM	Dev Azim	MUD		DESGASTE										
				SAL	PRF	PERF								WT	PV/Y	I	O	D	L	B	G	O	RP			
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	ppg												
4	12.25	R1	3-20	5695	10	0.25	40	5-8	80	1100	614	ORT	24.8 / 258.7	9.3	9/11	1	1	WT	A	1	I	NO	BHA			
5	12.25	HC605SZ	7-14	7910	2215	74.10	29.89	1-30	74+110	3350	736	ORT/TIY	28.8 / 260.7	9.9	19/15	1	0	WT	N	X	I	CT	FM			

Tabla. 4.17. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Primera Carrera Propuesta

Formación	ORTEGUAZA			TIYUYACU									TOTALS		
	Rel.	Slide	Total	Rel.	Slide	Total	Rel.	Slide	Total	Rel.	Slide	Total	Rel.	Slide	Total
Plata	452	217	669	1493	53	1546							1945	270	2215
Hueso	6.00	12.40	18.40	49.47	6.23	55.70							55.47	18.63	74.10
RCP	75.33	17.50	92.83	30.18	8.51	37.70							35.06	14.49	29.89
WOB	5-15	15		1-25	30								1-25	18-30	
Sl. Speed	76+111	112		70+110	112								74+110	112	
QPR	746	750		733	750								736	750	
WOB	5-7	-		5-11	-								5-11	-	

Tabla. 4.18. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4 & 5



Fig. 4.5. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #4

Previo a la carrera #5 se decide utilizar ST (Steel Tooth) debido a que los cálculos volumétricos mostraron la presencia de cemento de alrededor de 800' por arriba del collar flotar, lo cual podría dañar a la PDC severamente.

La ST perforó cemento, equipo de flotación y 10' de formación en donde se realizó el cambio de lodo de Nativo a Polímero. La ST salió con ligero desgaste y en condiciones reutilizables para el siguiente pozo.



Fig. 4.6 Broca utilizadas en la Carrera # 5

4.5.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #5

- Broca es POOH por cambio por una tricónica de insertos (TCI) según lo programado para perforar el Conglomerado
- ROP menor que la esperada (43fph vs. 30fph) ya que deslizando la ROP se redujo drásticamente (14.5fph) afectando la ROP general. La broca pudo no mostrar control direccional o ser muy agresiva produciendo "Motor stalling"
- Se podría recomendar para el siguiente pozo reducir la agresividad de la broca o la utilización de brocas para aplicación direccional tales como las HCM o las HCR.

- El TFA según lo programado y el galonaje dentro del rango esperado (782 gpm).
- Se perforaron las siguientes formaciones: Orteguzza a 36fph y Tiyuyacu a 28fph. ROP sliding 14fph, ROP rotando 35 fph, % sliding 12.19%
- La estructura de corte presentó ligero desgaste y un par de cortadores astillados sin que comprometa su utilización después de la tricónica.
- El lodo es un sistema de polímeros Alplex/Claytrol con otros inhibidores como Maxplex/Penetrex/PHPA de 9.9 lpg.

4.6. SECCIÓN DE 12.25” SEGUNDA CARRERA PROPUESTA

4.6.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOQ	PROF SAL	DIST PERF	TMP PERF	ROP	WOB	ROT	PRES BOMB	RATA FLUJ	FORM	Dev/ Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
5	12.25	MX-C18D	4-18	8303	503	12.5	40.1	25- 35	150	3200	750	TIY. CGL	26.2 / 259.7	9.9	13 / 15	Mantener ángulo y azimut y perforar el Conglomerado

Tabla. 4.19. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25”. Segunda Carrera Propuesta

4.6.2. RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #6

No.	DIA	TIPO	BOQ	PROF SAL	DIST PERF	TIEMP PERF	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJ	FORM	Dev/ Azim	MUD		DESGASTE										
														WT	PVY	I	O	D	L	B	G	O	RP			
	(in)		1/32 in	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)												
8	12.25	MX-C18D	4-18	8390	480	25.70	18.68	10 – 30	62 + 109	3250	730	TIY/ TENA	26.1 / 262.8	9.9	19 / 15	1	2	BT	G	E	I	WT	FM			

Tabla. 4.20. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25”. Carrera #6

Description	TIYUYACU			TENA						TOTALS		
	Rate	Time	Total	Rate	Time	Total	Rate	Time	Total	Rate	Time	Total
Drilling	426	36	462	18		18				444	36	480
Rig on	20.40	2.20	22.60	3.10		3.10				23.50	2.20	25.70
WOB	20.88	16.36	30.44	5.81		5.81				18.89	16.36	18.68
ROP	10 - 30	30		30						10 - 30	30	
Rig down	62 + 109	112		90 + 109						62+109	112	
SWH	730	750		738						730	750	
Turnover	5 - 10	-		9						5 - 10	-	

Tabla. 4.21. Parámetros Operativos. Sección de 12.25". Carrera #6



Fig. 4.7 Broca utilizada en la Sección de 12.25" Carrera #6

4.6.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA # 6

- TCI perfora 462 pies del Cgl Masivo y 18 pies de la formación Tena. Debido a que la muestra en fondo demora cierto tiempo en ascender los 18 pies perforados fueron para asegurarse tener 100% de arcilla de Tena y así prevenir el daño de la posterior PDC.
- La ROP fue menor que la esperada (40.1 fph vs. 18.68 fph) debido a la dureza y compactación del Chert. Otra razón fueron las intercalaciones de arcillas en donde la TCI perfora más lento ya que la proyección de los insertos en corta (para formaciones duras).

- 2EI TFA según lo programado y el galonaje dentro del rango esperado (730 gpm).
- La estructura de corte presentó ligero desgaste y algunos insertos partidos de la hilera del calibre producto del impacto con el Chert y sellos efectivos.
- La TCI obtuvo 260 Krev, quedando en condiciones de realizar trabajos de limpieza ya que los sellos y rodamientos han utilizado un 57% de su vida útil y exceder ese límite compromete la vida del sello y podrían los conos caerse dentro del pozo
- Perforó las formaciones con la siguiente ROP: Cgl. Masivo 20.44fph y Tena a 5.81fph (La ROP en Tena fue bastante baja ya que la aplicación de la TCI no es para arcilla).

4.7. SECCIÓN DE 12.25" TERCERA CARRERA PROPUESTA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4.7.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOQ.	PROF SAL.	DIST PERF	TMP PERF	ROP	WOB	ROT	PRES BOMB	RATA FLUJ	FORM	Dev Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
4R	12.25	HC605RZ	7-14	10041	1738	38.0	45.7	15-25	150-250	3243	756	TNA - NPO	26.2 259.7	10.4	16-18	Mantener ángulo y azimut y perforar Congl.

Tabla. 4.22. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta

4.7.2. RENDIMIENTO ALCANZADO

No.	DIA	TIPO	BOO	PROF SAL	DIST PERF	TIEMP PERF	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM	Dev Azim	MUD		DESGASTE									
														WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	RP		
	(in)		1/32 in	(ft)	(ft)	(hrs)	ft/hr	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)											
5R	12.25	HC605SZ	7-14	8890	500	17.90	27.93	14-35	80 + 107	3500	715	TENA	27.5 / 265.5	10.0	20 / 16	1	2	CT	C/G	X	I	WT/BU	PR		
7	12.25	HC605SZ	7-14	10006	1118	53.10	21.02	25-40	53 + 111	3800	742	TNA / NAP	18.8 / 270	10.2	19 / 16	2	8	RO	S/G	X	I	NO	TD		

Tabla. 4.23. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta

CARRERA #5R

No.	DIA	TIPO	BOO	PROF/DIS		TIEMP/PERF	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM	Dev Azim	MUD		DESGASTE									
				SAL	PERF									WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	RP		
(in)		1/32 in		(ft)	(ft)	(hrs)	ft/hr	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)	(deg)		(ppg)											
5R	12.25	HC605SZ	7-14	8890	500	17.90	27.93	14-35	80 + 107	3500	715	TENA	27.5 / 265.5	10.0	20 / 16	1	2	CT	C/G	X	I	WT/BU	PR		

Tabla. 4.24. Rendimiento Alcanzado. Carrera #5R

Parámetro	TENA												TOTALS		
	Prof	Dist	Time	ROP	WOB	Rot	Pres	Rata	Form	Dev	Side	Turn	Prof	Dist	Time
Profundidad	500			500									500		500
Horizonte	17.90			17.90									17.90		17.90
WOB	27.93			27.93									27.93		27.93
WOB	14-35												14-35		
Rotación	80 + 107												80+107		
Presión	715												715		
Forma	10-12												10-12		

Tabla. 4.25. Parámetros Operativos. Carrera #5R

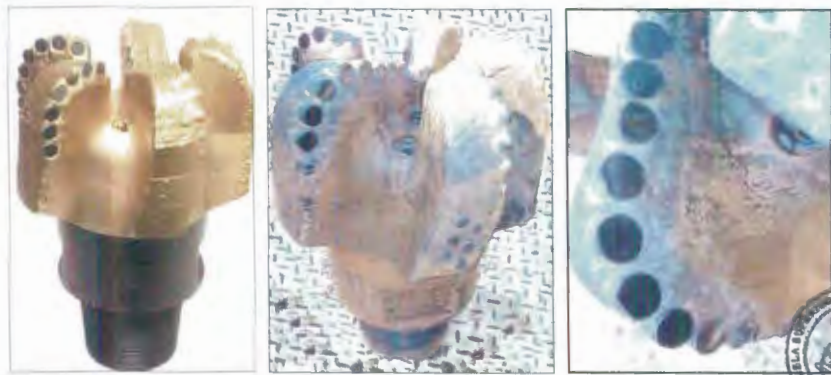


Fig 4.8 Brocas Utilizadas en la Carrera #5R



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA # 5R

- Broca perfora Tena con regular ROP (28fph) hasta que sufre una caída de la ROP posiblemente por embolamiento ya que por problemas en las bombas se redujo el galonaje. Se bombearon píldoras y se maniobró la broca sin éxito.
- ROP menor que la esperada (45.7fph vs. 24.9fph) debido al pobre caudal de trabajo.
- En superficie la broca presenta embolamiento de una aleta y a estructura de corte desgastada con cortadores astillados en el cono y en el calibre debido al trabajo de repaso al bajar aunque finalmente la broca sale en calibre.
- Se decide bajar con broca nueva para terminar la sección.

CARRERA #7

No.	DIA	TIPO	BOO	PROF		DIST		TIEMP		ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM	Dev Azim	MUO		DESGASTE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
				SAL	PERF	PERF	PERF	(hrs)	(ft/hr)								(ft/min)	(ft/min)	WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	RP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	(in)		1/32 in	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(ft/min)	(ft/min)		(lbf)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

Tabla. 4.26. Rendimiento Alcanzado. Carrera #7

Intervalo	TENA				NAPO				TOTALS			
	ROP	WOB	ROT	Form	ROP	WOB	ROT	Form	ROP	WOB	ROT	Form
450					450	843	23	886	1093	23	1116	
13.00					13.00	34.80	4.40	36.20	48.70	4.40	53.10	
32.37					32.37	18.48	5.23	18.26	22.44	5.23	21.02	
25-35					25-35	40			25-35	40		
83 + 114					83 + 114	105			53+111	195		
785					732	700			742	700		
10-13					12-14	-			10-14	-		

Tabla. 4.27. Parámetros Operativos. Carrera #7

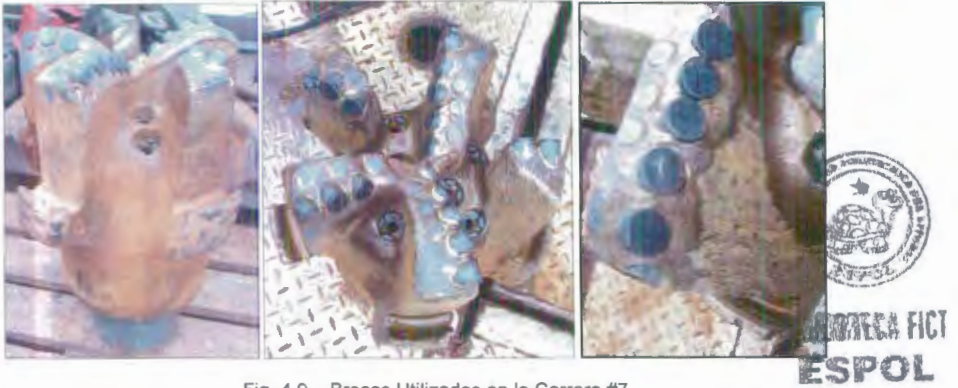


Fig. 4.9 Brocas Utilizadas en la Carrera #7

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA # 7

- Broca perfora Tena y Napo y llega hasta el punto de casing con regular ROP 21fph en una carrera adicional a la programada.
- ROP menor que la esperada (45.7fph vs. 21fph) debido al pobre caudal de trabajo y al daño sufrido por la broca.
- En superficie la broca presenta un pronunciado anillamiento en el hombro y calibre producido probablemente en las arenas y calizas de Napo posterior a un cortador partido en el hombro que se desgastó o quebró y que atacó luego al cuerpo, pese a ello la broca mantuvo el gaugepad pudiendo dejar el pozo en calibre.
- Perforó las formaciones con la siguiente ROP: Tena 32fph y Napo 17 (La ROP en Napo fue bastante baja ya que el daño se produjo en esta formación).
- ROP rotando 22.4fph, ROP deslizando 5.23fph, % Slide 2%

4.8. SECCIÓN DE 8.5"

4.8.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No	DIA	TIPO	BOQ.	PROF	DIST	TMP	ROP	WOB	ROT	PRES	RATA	FORM	Dev/	MUD		Comentario
				SAL	PERF	PERF								WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
7	8.5	HCR606	6-12	10776	735	15	49.0	18 - 40	120 - 150	3130	580	NPO HLLM	26.2 - 259.7	10	20 - 22	BHA Para mantener ángulo y azimuth

Tabla. 4.28. Rendimiento Propuesto. Sección de 8.5".

4.8.2. RENDIMIENTO ALCANZADO - CARRERA #8

No	DIA	TIPO	BOQ	PRO F SAL	DIS PERF	TIEM PERF	ROP	WOB	ROT	PRES. BOMB.	RAT FLUJ	FORM	Dev Azim	MUD		DESGASTE										
														WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	R	P		
	(in)		1/32	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)			(deg)	(ppg)												
8	8.5	HCR606	6-12	10720	714	20.30	35.17	10 – 25	53 + 143	2860	495	NPO/ HLL	15.5 / 265.5	10.0	19 / 17	1	1	WT	N/S	X	I	CT	TD			

Tabla. 4.29. Rendimiento Alcanzado. Sección de 8.5".

Formación	NAPO				HOLLIN				TOTALS			
	Prof	Time	Rate	Temp	Prof	Time	Rate	Temp	Prof	Time	Rate	Temp
Formación	402	103	506	209		209			611	103	714	
Formación	9.80	2.80	12.50	7.80		7.80			17.70	2.60	20.30	
Formación	40.61	39.62	40.40	29.79		29.79			34.52	39.62	35.17	
Formación	12 - 20	10 - 20		10 - 25					10 - 25	10 - 20		
Formación	55 + 142	136		50 + 145					53+143	138		
Formación	460	477		500					495	477		
Formación	12 - 15	-		12 - 15					12 - 15	-		

Tabla. 4.30. Parámetros Operativos Sección de 8.5". Carrera #8



Fig. 4.10. Broca utilizadas en la Sección 8.5". Carrera #8

4.8.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA # 8

- Broca perfora Napo y Hollín y llega a TD, según lo programado en una sola carrera.
- La ROP menor que la esperada (49fph vs. 35fph) ya que se controló parámetros en las arenas de Hollín debido a su abrasividad.
- El TFA según lo programado y el galonaje dentro del rango esperado (500 gpm).
- ROP rotando 34.52fph, ROP deslizándose 39.62ph, % Sliding 14%
- Desgaste normal de trabajo de la estructura de corte y en calibre.

4.9. RECOMENDACIONES PARA EL PROGRAMA DE BROCAS DEL SACHA 155D

En esta sección del Capítulo 7 se presenta el Bit Record Propuesto para el Sacha 155D basado en el análisis anteriormente descrito en la perforación del Sacha 176D, posteriormente se analiza cada una de las carreras a fin de observar si los cambios efectuados en el programa de brocas fueron exitosos y en cuanto benefició a la perforación así como también aquellas situaciones de la operación que pudieron o no afectar el rendimiento de las Brocas.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

A diferencia del primer diseño que se elaboró basado en toda la información requerida y disponible, el segundo diseño se enfoca esencialmente en el análisis técnico de los resultados obtenidos en el Sacha 176D ya que el resto de la información tal como las herramientas direccionales, los sistemas de lodos, el equipo de perforación, las Compañías de Servicios, etc. se mantiene iguales o semejante y es más práctico observar y modificar aquello en cuanto a brocas se refiere.

El ingeniero de Brocas analiza principalmente el desgaste o daños presentados en las brocas y efectúa cambios en el diseño para proveerlas de mayor durabilidad y rapidez. El Objetivo es lograr carreras más largas en el menor tiempo posible. Finalmente el programa propuesto se presenta de la siguiente manera:

GEOGRAPHIC LOCATION				OPERATOR				CONTRACTOR / RIG									
Sacha, Orellana				PETROPRODUCCION				SINOPEC 188									
FIELD / AREA				LOCATION / WELL NUMBER				DATE				PREPARED FOR					
Sacha				SACHA 155D				Abril, 2005				DPTO. DE PERFORACIÓN					
No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev. Azim	MUD			Comentario
														WT	PV	YP	
	(in)		(1-32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)			
1	26.0	CR-1	4-20	150	150	4.5	33.0	5-25	80/90	300	613	T.I	N/A	8.8	10/12	Para Perforar El conductor superficial	
2	18.0	GTX-C1	4-18	500	320	4.0	80.0	10-15	100/120	1750	800	T.I	N/A	9.0	8/11	Para perforar zona de cantos rodados	
3	16.0	HCM605	10-13	5840	5340	80.0	66.75	5-30	70/100	3149	850	T.I	16.83/237	9.9	10/12	Para construir ángulo hasta 16.83° y Empezar a tumbar	
4	12.25	HCR605	7-14	7860	2020	65.0	31.1	10-25	70+175	3200	750	ORT, TIY	0.82/237	9.9	13/14	Perforar hasta el tope del CGL Masivo. Angulo vertical	
5	12.25	MX-CS090	4-18	8300	440	20.0	22.0	10-30	70+175	3200	750	TIY, CGL	1.82/237	9.9	13/15	Para atravesar el Conglomerado Masivo	
4R	12.25	HCR605	7-14	9000	700	20.0	35.0	10-30	70+175	3200	750	TNA-NPO	1.83/237	10.4	16/18	Para terminar la sección 12.25" con la broca #4	
6	8.5	HCR606	7-12	10450	1450	40.0	36.25	5-15	80+132	3100	560	NPO-HLLN	0.7/237	10	20/22	Para terminar la sección 8.5" en una sola carrera	

Tabla. 4.31. Bit Record Propuesto para el Sacha 155D



4.10. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DEL SACHA 155D

A continuación se presenta el Bit Record Final del Sacha 155D y se analizan cada una de las carreras Propuestas vs. La Real, así como las características de las brocas, los parámetros operativos y el del desgaste para efectuar las respectivas recomendaciones para el 154D.

GEOGRAPHIC LOCATION		OPERATOR	START DATE	TD DATE	DULL CHARACTERISTICS										REASONS FOR DULL										
ECUADOR		PETROPRODUCCION	11/04/06	9/06/06	SC - Stuck On Core	SP - Stuck On Bit	ST - Stuck On Tool	SC - Stuck On Core	SP - Stuck On Bit	ST - Stuck On Tool	SC - Stuck On Core	SP - Stuck On Bit	ST - Stuck On Tool	SC - Stuck On Core	SP - Stuck On Bit	ST - Stuck On Tool	SC - Stuck On Core	SP - Stuck On Bit	ST - Stuck On Tool	SC - Stuck On Core	SP - Stuck On Bit	ST - Stuck On Tool	SC - Stuck On Core	SP - Stuck On Bit	ST - Stuck On Tool
FIELD/AREA		LOCATION/ WELL NUMBER	DULL LOCATION		REASONS FOR DULL										REASONS FOR DULL										
SACHA		SACHA 1RD	2-From Core		1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core
LATITUDE/LONGITUDE		CONTRACTOR/ RIG	1-From Core		1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core
		SINOPEC 188	1-From Core		1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core	1-From Core

No.	SIZE	MFC	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT (102m)	DIST DRILL (ft)	DRLG TIME (hrs)	ROP (ft/hr)	WOB (kN)	ROTARY (rpm)	PUMP PRESS (psi)	FLOW RATE (gpm)	FORMAT	Dev/ Azim	MUD		DULL GRADE									
															WT	PV/YP	I	O	D	L	E	C	O	R	P	
1	26.0	HCC	CR-1	4x20	130	130	7.75	19.4	5-8	90	230	430	T.I	N/A	8.8	7/12	4	4	WT	A	I	I	NO	TD		
2	160	HCC	GIX-C1	4x18	515	365	6.50	56.2	10-15	100	1200	954	T.I.	0.19/205	9.2	10/14	2	2	WT	A	I	I	NO	FM		
3	160	HCC	HCM606	10x13	5842	5327	97.30	54.6	5-30	68+206	2483	940	T.I	16.83/207	10.0	12/15	1	1	WT	A	X	I	NO	TD		
4	12.25	HCC	HCR605	5x18	7308	1466	75.75	19.4	2-50	54+176	2796	793	ORTG/TIY	0.99/238	9.7	13/15	3	6	BO	A	X	I	BT	PR		
5	12.25	HCC	HCR605	2x16 3x18	7862	554	15.50	35.7	5-20	68+174	3103	793	ORTG/TIY	0.82/239	9.9	13/15	1	1	BT	H	X	I	NO	FM		
6	12.25	HCC	MX-CS99D	4x18	8301	439	24.0	18.3	10-30	48+138	3155	817	TIY/TENA	1.82/236	9.9	14/16	1	1	WT	A	I	I	NO	FM		
5R	12.25	HCC	HCR605	5x18	9000	699	24.8	28.2	10-30	64+168	3168	764	TENA	1.83/238	10.0	20/16	1	2	BT	N/S	X	I	LI	TD		
7	8.5	HCC	HCR606	6x12	10450	1450	47.25	30.7	5-15	80+132	2866	550	NAP/HOLL	0.7/235	10.4	15/16	1	1	WT	C/N	X	I	NO	TD		

Tabla. 4.32. Bit Record Real del Pozo Sacha 155D

4.11. SECCIÓN DE 26"

4.11.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev/ Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
1	26.0	CR-1	4-20	150	150	4.5	33.0	5-25	80/80	300	613	T.I	N/A	8.8	10-12	Para Perforar El conductor superficial

Tabla. 4.33. Rendimiento Propuesto. Sección de 26"

4.11.2.RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #1

No.	SIZE	MFC	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRILL	DRILL TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT	Dev/ Azim.	MUD		DULL GRADE												
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	C	O	R	P				
	(in)			(1/2 in)	(ft)	(ft)	(sec)	(ft/hr)	(lb-ft)	(gpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)														
1	260	HCC	CR-1	4 x 20	150	150	7.75	19.4	5-8	90	230	450	T 1	N/A	88	7/12	4	4	WT	A	I	I	NO	TD					

Tabla. 4.34. Rendimiento Alcanzado. Sección de 26" Carrera #1

Formation	CHALCANA			Frac.	Side	Total	Frac.	Side	Total	Frac.	Side	Total	TOTAL		
	Foot	Side	Total										Foot	Side	Total
Drilled	150		150										150		150
Flow	7.75		7.75										7.75		7.75
ROP	19.35		19.35										19.35		19.35
WOB	5-8												5-8		
Rot Speed	90												90		
QPM	450												450		
Pressure	250												250		
Torque	1												1		

Tabla. 4.35. Parámetros Operativos Carrera #1

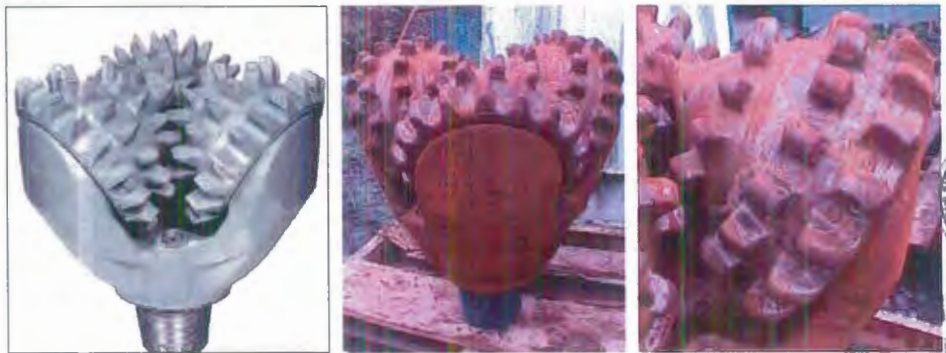


Fig. 4 11 Broca utilizada en la Sección de 26" Carrera #1

4.11.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #1

- Se perfora 150 ft según lo planeado y se mantiene el TFA igual que el 176D para mejorar la limpieza. La ROP fue afectada por el desgaste de la broca 4 - 4 – WT.
- Se controlan parámetros y caudal al inicio de la perforación y se incremento progresivamente para no fracturar el contra pozo. Presencia de conglomerado y grava.

- Conexiones aún lentas (25min) debido a que el personal sigue familiarizándose con el nuevo sistema (TopDrive).
- Desgaste corresponde a condiciones iniciales de la tricónica aunque podría utilizarse para un pozo más.
- El lodo usado es bentonita prehidratada de alta reología de 8.8 lpg de peso

4.12. SECCIÓN DE 16" PRIMERA CARRERA PROPUESTA

4.12.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev. Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(lpg)		
2	16.0	GTK-C1	4-18	500	320	4.0	80.0	10-15	100/120	1750	800	T.I	N/A	9.0	8/11	Para perforar zona de cantos rodados

Tabla. 4.36. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Primera Carrera Propuesta

4.12.2. RENDIMIENTO ALCANZADO - CARRERA #2

No.	SIZE	MFC	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRLD	DRLC TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/ Azim	MUD		DULL GRADE										
															WT	PV/PP	I	O	D	L	B	G	O	R	P		
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hr)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(gph)												
2	16.0	HCC	GTK-C1	4x18	515	365	6.50	56.2	10-15	100	1200	954	T I	0.19/265	9.2	10/14	2	2	WT	A	E	I	NO	PM			

Tabla. 4.37. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #2

Formation	CHALCANA									TOTALS								
	Rot.	Slide	Total	Rot.	Slide	Total	Rot.	Slide	Total	Rot.	Slide	Total	Rot.	Slide	Total	Rot.	Slide	Total
Drilled	365		365							365			365					
Losses	6.50		6.50							6.50			6.50					
ROP	56.15		56.15							56.15			56.15					
WOB	10-20									10-20								
RW Speed	100									100								
RPM	954									954								
Press	1200									1200								
Tools	2-3									2-3								

Tabla. 4.38. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #2



Fig. 4.12. Broca utilizada en la Sección de 16". Carrera #2

4.12.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #2

- Tricónica es usada perforar hasta los 500 pies según programa para atravesar zona de cantos rodados. Se encuentra presencia de grava.
- La ROP es 56.2 fph, ligeramente menor que la estimada debido posiblemente a que los parámetros fueron controlados por la presencia de conglomerado y grava.
- Broca no presenta mayor desgaste y puede ser reutilizada para en el siguiente pozo.
- No se utiliza BHA direccional aún por lo tanto no hay motor de fondo.
- TFA según lo programado. No hubieron problemas de alta presión en el sistema
- El lodo utilizado es bentonita de 8.9 al final de esta carrera.

4.13. SECCIÓN DE 16" 2DA CARRERA PROPUESTA

4.13.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev. Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
3	16.0	HCM605	10-13	5840	5340	80.0	66.75	5-30	70 / 100	3149	850	T. I.	16.83 / 237	9.9	10 / 12	Para construir ángulo hasta 16.83° y Empezar a tumbiar

Tabla. 4.39. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Segunda Carrera Propuesta

4.13.2. RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #3

No.	SIZE	MFG	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRLLD	DRLLG TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/ Azim	MUD		DULL GRADE										
															WT	FV/YP	I	O	D	L	B	C	O	RP			
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(min)	(ft/hr)	(lb)	(gpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(gpm)												
3	160	RCC	HCM605	10x13	5842	5327	97.30	54.6	5-30	68 + 206	2483	940	T I	16.83/207	10.0	12/15	1	1	WT	A	X	I	NO	TD			

Tabla. 4.40. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #3

Formation	CHALCANA			Totl	Totl	Totl	Totl	Totl	Totl	TOTALS		
	Feet	Size								Feet	Size	
Drilled	3885	1442		5327						3885	1442	5327
Flow	61.00	36.5		97.50						61.00	36.5	97.50
ROP	63.69	39.51		54.64						63.69	39.51	54.64
WOB	5-30	15-50								5-30	15-50	
HPM	68+206	206								68+206	206	
OPM	939	939								939	939	
Press	2843	2843								2843	2843	
Temp	2-10	-								2-10	-	

Tabla. 4.41. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #3



Fig. 4.13. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #3

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #3

- PDC perfora con buen control direccional (Tool Face) y buena ROP (55fph) tanto en modo rotación como sliding, construye ángulo desde 0 a 16.8° según el programa.
- TFA con nozzles 10x13 según programa, no se presentaron problemas en las bombas por alta presión. No fue necesario ampliar el TFA evitándose un viaje no programando.
- PDC presenta ligero desgaste. Correcta aplicación del tipo de broca y cortadores. Se recomienda este tipo de broca para el siguiente Pozo.
- ROP rotando 63.7fph, ROP sliding 39.5fph. % sliding 27%.
- El HSI de la broca fue 1.28 y el HHP 258.88 hp antes de cambiar el TFA.
- La broca presenta ligero desgaste por erosión del filo del cortador (chamfer) pero puede utilizarse si problemas para la siguiente carrera
- El lodo usado en toda esta sección es Agua/Bentonita/PAC de 9.2 a 9.6 lpg de peso. Se utilizó como base el fluido de la sección anterior. Para prevenir la formación de camas de cortes, se bombearon píldoras de alta y baja viscosidad.
- Limitantes del taladro impidieron lograr mejor rendimiento

4.14. SECCIÓN DE 12.25" PRIMERA CARRERA PROPUESTA

4.14.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF.	DIST.	HRS.	ROP	WOB	ROT.	PRES.	RATA	FORM.	Dev.	MUD		Comentario
				SAL.	PERF	PERF			+MTR	BOMB.	FLUJO			WT	PV/YP	
	(in)		(1.32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
4	12.25	HCR605	7-14	7860	2020	65.0	31.1	10-25	70 + 175	3200	750	ORT, TIY	0.82/237	9.9	13/14	Perforar hasta el tope del CGL Masivo. Angulo vertical

Tabla. 4.42. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Primera Carrera Propuesta

4.14.2. RENDIMIENTO ALCANZADO - CARRERA #4 & 5

No.	SIZE	MFG	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DEILD	DELG TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/ Azim	MUD		DULL GRADE										
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	R	P		
	(in)			(1.92 in)	(ft)	(ft)	(min)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)												
4	12.25	HCC	HCB605	5x18	7308	1466	75.75	19.4	2-50	54+176	2796	793	ORTG/TTY	0.99/238	9.7	13/15	3	6	RD	A	X	I	BT	PR			
5	12.25	HCC	HCB605	2x16 3x18	7862	554	15.50	35.7	5-20	68+174	3105	793	ORTG/TTY	0.82/239	9.9	13/15	1	1	BT	N	X	I	NO	PR			

Tabla. 4.43. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carreras #4 & 5

CARRERA # 4

Formation	ORTEGUAZA				TIYUYACU										TOTAL		
	Feet	Strokes	Feet	Strokes	Feet	Strokes	Feet	Strokes	Feet	Strokes	Feet	Feet	Strokes	Feet	Feet	Strokes	Feet
Unifed	366	292	668		483	325	808								849	617	1466
Interm	6.34	14.7	21.00		35.00	19.8	54.75								41.34	34.41	75.75
HOP	57.73	19.92	31.32		13.80	16.46	14.76								20.54	17.93	19.35
WOB	8-12	10-20			2-60	5-30									2-60	5-30	
FORM	80+178	178			54+170	170									54+176	176	
FORM	812	812			775	775									793	793	
Form	2652	2652			2941	2941									2796	2796	
Form	7-10	-			9-13	-									7-13	-	

Tabla. 4.44. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4



Fig. 4.14. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #4

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #5

- Distinto tipo de Broca que en el 176D (HCR605S vs. HCR605). Igualmente 5 aletas pero con aplicación menos agresiva, especial para altas revoluciones, mayor estabilidad, control direccional y cortadores para impacto.
- La Broca sufre anillado de la matriz (RO) producido en el conglomerado superior debido a la falta de control geológico lo que ocasionó que no se determinara el tope para la reducción de parámetros y se produjo una carrera adicional.
- Desgaste de la broca: 3 - 6 – RO y es POOH por baja ROP.
- ROP menor que la esperada (31fph vs. 19.4fph) debido al daño sufrido por la broca
- El TFA según lo programado y el galonaje dentro del rango esperado (793 gpm).
- Se perforaron las siguientes formaciones: Orteguaza a 31.3fph y Tiyuyacu a 28fph. ROP sliding 18fph, ROP rotando 20.5 fph, % sliding 42%
- El lodo es un sistema de polímeros Alplex/Claytrol con otros inhibidores como Maxplex/Penetrex/PHPA de 9.9 lpg.
- Se recomienda tener en locación los registros eléctricos de los pozos vecinos y la cabina de Mud logging para determinar correctamente los topes litológicos.

CARRERA # 5

Fenomeno	TIYUYACU									TOTALS		
	Var.	Clase	Total	Var.	Clase	Total	Var.	Clase	Total	Var.	Clase	Total
Arbol	498	56	554							498	56	554
Manga	12.75	2.75	15.50							12.75	2.75	15.50
POH	39.06	20.36	35.74							39.06	20.36	35.74
WOB	5-20	10-12								5-20	10-12	
RPM	68-174	174								68-174	174	
SPM	793	793								793	793	
Press	3105	3105								3105	3105	
Tiempo	9-16	-								9-16	9-16	

Tabla. 4.45. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4



Fig. 4.15. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #5



COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #5

- Se baja otra HCR605 nueva para perforar hasta el tope del conglomerado masivo en donde se va a realizar el cambio por una tricónica según lo programado.
- La Broca presenta algunos cortadores rotos en la nariz producto de impacto posiblemente en alguna intercalación de conglomerado
- Desgaste de la broca: 1 - 1 – BT y es POOH por FM.

- ROP dentro de lo esperado (35fph vs. 31fph). El TFA se mantiene según lo programado y el galonaje dentro del rango esperado (793 gpm).
- Se perforaron únicamente Tiyuyacu a 35fph. ROP sliding 20.36 fph, ROP rotando 49 fph, % sliding 10%
- El lodo posee las mismas características de la carrera anterior.

4.15. SECCIÓN DE 12.25” SEGUNDA CARRERA PROPUESTA

4.15.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev/ Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(132 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
5	12 25	MX-CS090	4-18	8300	440	20 0	22.0	10-30	70 + 175	3200	750	TIY. COL	1.82 / 237	9 9	13 /15	Para atravesar el Conglomerado Masivo

Tabla. 4.46. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25”. Segunda Carrera Propuesta

4.15.2. RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #6

No.	SIZE	MFC	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRILL	DRILL TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/ Azim	MUD		DULL GRADE							
															WT	PV/TP	I	O	D	L	B	C	O	RP
	(in)			(102 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)									
6	12 25	HCC	MX-CS090	4 x 18	8301	439	24 0	18.3	10 - 30	48 + 138	3155	817	TIY / TENA	1.82 / 236	9.9	14 / 16	1	1	WT	A	E	I	NO	FM

Tabla. 4.47. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25”. Carrera #6

Formation	TIYUYACU			Rot	Slide	Total	Rot	Slide	Total	Rot	Slide	Total	TOTAL		
	Rot	Slide	Total										Rot	Slide	Total
Dilled	308	131	439										308	131	439
Hours	17.75	6.25	24.00										17.75	6.25	24.00
ROP	17.35	20.96	18.29										17.35	20.96	18.29
WOB	10-30	10-15											10-30	10-15	
RPM	48-138	138											48-138	138	
GPM	817	817											817	817	
Press	3155	3155											3155	3155	
Torque	12	-											12	-	

Tabla. 4.48. Parámetros Operativos. Sección de 12.25”. Carrera #6





Fig. 4.16. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #6

4.15.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA # 6

- Se cambia el tipo de TCI para este pozo. Se selecciona broca con Insertos de mayor proyección y protección de diamante en la pata o Shirttail.
- La TCI perfora 439 pies del conglomerado masivo con una ROP dentro del rango esperado 22 fph vs. 18.3 fph.
- El TFA según lo programado y el galonaje dentro del rango
- La estructura de corte presentó ligero desgaste y algunos insertos partidos de la hilera media producto del impacto con el Chert. El desgaste final es 1 - 1 - WT - A - E - I – NO - FM.
- La TCI obtuvo 267 Krev con sellos efectivos utilizado un 58% de su vida útil, quedando en condiciones de realizar trabajos de limpieza ya que exceder ese límite en un trabajo exigente como la perforación del Chert compromete la vida del sello y podrían caerse algún conos dentro del pozo.

4.16. SECCIÓN DE 12.25" TERCERA CARRERA PROPUESTA

4.16.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev/ Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
4R	12.25	HCR605	7-14	9000	700	20.0	35.0	10-30	70 + 175	3200	750	TNA- NPO	1.83 / 237	10.4	16 / 18	Para terminar la sección 12.25" con la broca #4

Tabla. 4.49. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta

4.16.2. RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #5R

No.	SIZE	MFG	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRILD	DRILL TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAL	Dev/ Azim	MUD		DULL GRADE										
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	RP			
	(in)			(1.32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(klb)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)												
5R	12.25	HCC	HCR605	5 x 18	9000	699	24.8	28.2	10-30	64+168	3168	764	TENA	1.83/238	10.0	20/16	1	2	CT	SC	X	I	BT	TD			

Tabla. 4.50. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carrera #5R

Formation	TENA												TOTAL		
	Feet	Side	Total	Feet	Side	Total	Feet	Side	Total	Feet	Side	Total	Feet	Side	Total
Dilled	699		699							699			699		
Hours	24.75		24.75							24.75			24.75		
ROP	28.24		28.24							28.24			28.24		
WOB	10-30									10-30					
RPM	64-168									64-168					
GPM	764									764					
Press	3168									3168					
Time	12-15									12-15					

Tabla. 4.51. Parámetros Operativos. Carrera #5R



Fig. 4.17. Brocas Utilizadas en la Carrera #5R

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA # 5R

- Broca perfora Tena con regular ROP (28fph) similar a la carrera del 176D después del Conglomerado y menor que el propuesto (35 fph). Condiciones de alto peso del Lodo en Tena influyen en la baja ROP al igual que el bajo caudal de trabajo.
- En superficie la broca presenta ligero desgaste de la estructura de corte con cortadores astillados en el hombro y el calibre posiblemente debidos al trabajo de rimado para llegar a fondo aunque la broca sale en calibre.
- El desgaste presentado es: 1 - 2 - CT - S/G - X - I - BT –TD.
- El lodo continúa como un sistema de polímeros Alplex/ Claytrol con inhibidores de arcillas como Maxplex/ Penetrex/PHPA con un peso 10 lpg para evitar problemas especialmente por derrumbamiento e inestabilidad de Tena.

4.17. SECCIÓN DE 8.5”

4.17.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOQ.	PROF SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev: Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/ YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
6	8.5	HCR606	7-12	10450	1450	40.0	36.25	5-15	80 + 132	3100	560	NPO- HLLN	0.7/ 237	10	20 / 22	Para terminar la sección 8.5" en una sola carrera

Tabla. 4.52. Rendimiento Propuesto. Sección de 8.5".

4.17.2. RENDIMIENTO ALCANZADO - CARRERA #7

No.	SIZE	MFC	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRLD	DRLG TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAL	Dev/ Actm	MUD		DULL GRADE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	RP																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	(in)			(1.02 in)	(ft)	(ft)	(min)	(ft/hr)	(lb)	(gpm)	(gpm)	(gpm)		(in/g)	(lb/g)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

Tabla. 4.53. Rendimiento Alcanzado. Sección de 8.5".

Formation	TENA			NAPO & HOLLIN						TOTAL		
	Rel.	Sides	Total	Rel.	Sides	Total	Rel.	Sides	Total	Rel.	Sides	Total
Drilled	92		92	1358		1358				1450		1450
Hours	2.75		2.75	44.50		44.50				47.25		47.25
ROP	33.45		33.45	30.52		30.52				30.69		30.69
WOB	5-15			10-30						5-30		
RPm	80-132			63+132						71+132		
QPM	550			548						549		
Press	2866			3103						2948		
Turns	15-17			15-18						15-18		

Tabla. 4.54. Parámetros Operativos. Carrera #7



Fig. 4.18 Broca utilizadas en la Sección 8.5" Carrera #7

4.17.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #7

- Broca perfora 92 pies de Tena, y 1350 pies Napo y Hollín y llega al TD, según lo programado en una sola carrera.
- Es el mismo tipo de broca usada en el 176D, reafirma ser la aplicación correcta en rendimiento y direccionabilidad.

- La ROP dentro de lo esperado 30 fph vs. 36 fph (esperado) ya que se continuó controlando parámetros en las arenas de Hollín debido a su abrasividad.
- El TFA según lo programado y el galonaje dentro del rango esperado (550 gpm).
- No hubo trabajo direccional ya que el pozo se encontraba vertical 0.70° al TD del pozo.
- Desgaste normal de trabajo de la estructura de corte y broca en calibre. Desgaste: 1 - 1 - WT - C/N - X - I - NO - TD.
- Broca en condiciones de ser corrida nuevamente.
- El tipo de lodo es un polímero carbonatado que reemplaza la bentonita como agente de peso ya que el carbonato es de fácil remoción al contrario que la bentonita que puede taponar los poros de las zonas productivas. Este tipo de lodo se usa especialmente en las zonas de interés.

4.18. RECOMENDACIONES PARA EL PROGRAMA DE BROCAS DEL SACHA 154D



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

En esta sección se muestra el Bit Record Propuesto para el Sacha 154D basado en el análisis de los dos pozos anteriormente detallados, posteriormente se analiza cada una de las carreras a fin de observar si los cambios efectuados en el programa de brocas fueron exitosos y en

cuanto benefició a la perforación así como también aquellas situaciones de la operación que pudieron o no afectar el rendimiento de las Brocas.

La metodología para desarrollar el análisis será la misma que la mostrada en el Sacha 155D analizando principalmente el desgaste o daños presentados en las brocas y los cambios efectuados en los diseños. Finalmente el programa propuesto del Sacha 154D se presenta de la siguiente manera:

GEOGRAPHIC LOCATION				OPERATOR				CONTRACTOR / RIG								
Sacha, Orellana				PETROPRODUCCION				SINOPEC 188								
FIELD / AREA				LOCATION / WELL NUMBER				DATE				PREPARED FOR				
Sacha				SACHA 154D				Mayo, 2005				DPTO. DE PERFORACIÓN				
No.	DIA	TIPO	BOG.	PROF. SAL.	DIST. PERF.	HRS. PERF.	ROP	WOB	ROT. + MTR.	PRES. BOMB.	RATA. FLUJO	FORM.	Dev. / Azm	MUD		Comentario
														WT	PW / Y P	
	(in)		(182 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(lb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
1	26.0	CR-1	4-20	180	150	4.5	33.3	5-25	80/90	300	613	T. I.	N / A	8.8	10 / 12	Para Perforar El conductor superficial
2	16.0	GTX-C1	4-18	500	320	5.3	60.0	10-15	100/120	1750	800	T. I.	0.19 / 300	9.0	8 / 11	Para perforar zona de cemento rodado
3	16.0	HCM605	10-13	5800	5300	75.7	70.0	10-30	70 / 100	3149	850	T. I.	0.6 / 300	9.9	10 / 12	Para construir ángulo hasta 19° y tumbar 6°
4	12.25	HCM605	7-14	7800	2000	66.6	30.0	10-25	70 + 175	3200	750	ORT. TRY	0.6 / 300	9.9	13 / 14	Perforar hasta el tope del CGL Masivo. Ángulo vertical
5	12.25	MX-C303D	4-18	8250	450	22.5	20.0	10-30	70 + 175	3200	750	TRY. CGL	0.6 / 300	9.9	13 / 15	Para atravesar el Conglomerado Masivo
6	12.25	HCM605	7-14	9000	700	20.0	35.0	10-25	70 + 175	3200	750	TNA-NPO	0.7 / 300	10.4	16 / 18	Para terminar la sección 12.25" con broca nueva
7	6.5	HCM606	7-12	10370	1370	40.0	34.24	5-15	80 + 132	3100	550	NPO-HLLN	0.7 / 300	10	20 / 22	Para terminar la sección 6.5" en una sola carrera

Tabla. 4.55. Bit Record Propuesto para el Sacha 154D

4.19. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DEL SACHA 154D

A continuación se presenta el Bit Record Final del Sacha 154D y se analizan cada una de las carreras Propuestas vs. La Real, así como las

características de las brocas, los parámetros operativos y el del desgaste. Las recomendaciones y conclusiones finales serán expuestas en el Capítulo respectivo.

GEOGRAPHIC LOCATION		OPERATOR	STUD DATE		TD DATE		BULL CHARACTERISTICS						REASONS PULLED					
ECUADOR		PETROPRODUCCION	16/06/06		28/06/06		HC - Broken Case BP - Broken Tip CI - Case Lubricated	BP - Bent Bit CC - Cracked Case CI - Clipped Tool & Case	BI - Broken Tool Bit CD - Case Damaged CI - Cracked	CM - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CF - CORROSION DT - DRILL PIPE STUCK	CP - CORROSION DP - DRILL PIPE STUCK	CD - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CM - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CF - CORROSION DT - DRILL PIPE STUCK	CP - CORROSION DP - DRILL PIPE STUCK		
WELL / AREA		LOCATION / WELL NUMBER		BULL LOCATION						REASONS PULLED								
SACHA		SACHA 154D		16/06/06	28/06/06	HC - Broken Case BP - Broken Tip CI - Case Lubricated	BP - Bent Bit CC - Cracked Case CI - Clipped Tool & Case	BI - Broken Tool Bit CD - Case Damaged CI - Cracked	CM - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CF - CORROSION DT - DRILL PIPE STUCK	CP - CORROSION DP - DRILL PIPE STUCK	CD - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CM - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CF - CORROSION DT - DRILL PIPE STUCK	CP - CORROSION DP - DRILL PIPE STUCK			
LATITUDE / LONGITUDE		CONTRACTOR / SIG		BULL LOCATION						REASONS PULLED								
		SINOPEC INC		16/06/06	28/06/06	HC - Broken Case BP - Broken Tip CI - Case Lubricated	BP - Bent Bit CC - Cracked Case CI - Clipped Tool & Case	BI - Broken Tool Bit CD - Case Damaged CI - Cracked	CM - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CF - CORROSION DT - DRILL PIPE STUCK	CP - CORROSION DP - DRILL PIPE STUCK	CD - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CM - CORROSION DM - DOWNHOLE MOTOR FAILURE	CF - CORROSION DT - DRILL PIPE STUCK	CP - CORROSION DP - DRILL PIPE STUCK			

No.	SIZE	MFG	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRLD	DRLD TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/ Azim	MUD WT	PV/YP	DULL GRADE									
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(kib)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		I	O	D	L	B	C	O	R	P	
1	26.0	HCC	CR-1	4 x 20	192	192	8.50	22.6	5-10	100	230	450	T.I	N/A	8.8	8/12	4	4	WT	A	2	I	NO	TD		
2	16.0	HCC	GTX-C1	4 x 18	545	333	6.50	54.3	10-20	90/100	1200	950	T.I	0.10/320	9.3	10/14	2	2	WT	A	E	I	NO	FM		
3	16.0	HCC	HCMB06	10 x 13	1638	1093	14.0	78.1	5-10	60+206	1230	900	T.I	16.90/320	9.3	14/15	1	1	WT	A	X	I	NO	HC		
3R	16.0	HCC	HCMB06	10 x 13	5795	4157	97.30	54.6	5-30	68+206	2483	940	T.I	16.93/320	10.2	12/15	1	1	WT	A	X	I	NO	TD		
4	12.25	HCC	HCMB06	5 x 18	7552	1757	69.05	25.4	2-30	77+209	2878	831	ORTG/TIY	0.06/320	9.8	13/15	1	2	CT	NBS	X	2	BT	FR		
5	12.25	HCC	HCMB06	7 x 15	7754	202	17.10	11.8	2-30	55+192	3060	741	ORTG/TIY	0.31/320	9.9	13/15	0	0	NO	A	X	I	NO	FM		
6	12.25	HCC	MX-C909D	4 x 18	8247	493	24.25	29.3	5-40	40+118	3102	742	TIY/TENA	0.46/320	10.0	14/15	1	1	WT	A	E	I	NO	FM		
5R	12.25	HCC	HCMB06	7 x 15	9020	773	42.0	18.4	10-30	87+116	3293	730	TENA	1.02/320	10.1	14/16	0	1	WT	NBS	X	I	NO	TD		
7	8.5	HCC	HCMB06	6 x 12	10370	1330	39.75	34.0	5-15	85+147	2572	510	NAP/HOLL	0.73/320	10.4	14/16	1	2	WT	NBS	X	I	NO	TD		

Tabla. 4.56. Bit Record Real del Pozo Sacha 154D

4.20. SECCIÓN DE 26"

4.20.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev. Azim	MUD		Comentario							
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(kib)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	WT	PV/YP								
1	26.0	CR-1	4-20	180	150	4.5	33.3	5-25	80/90	300	613	T.I.	N/A	8.8	10/12	Para Perforar El conductor superficial							

Tabla. 4.57. Rendimiento Propuesto. Sección de 26"

4.20.2. RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #1

No.	SIZE	MFG	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRLD	DRLD TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/ Azim	MUD WT	PV/YP	DULL GRADE									
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(kib)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		I	O	D	L	B	C	O	R	P	
1	26.0	HCC	CR-1	4 x 20	192	192	8.50	22.6	5-10	100	230	450	T.I	N/A	8.8	8/12	4	4	WT	A	2	I	NO	TD		

Tabla. 4.58. Rendimiento Alcanzado. Sección de 26" Carrera #1



Categorías	CHALCANA			Tot.	Gasto	Total	Tot.	Gasto	Total	Tot.	Gasto	Total	TOTAL		
	Perf.	Gasto	Total										Perf.	Gasto	Total
Orilla	192		192										192		192
Horas	8.50		8.50										8.50		8.50
ROP	22.59		22.59										22.59		22.59
WOB	5-10												5-10		
RPM	100												100		
RPM	450												450		
Peso	250												250		
Torque	1												1		

Tabla. 4.59. Parámetros Operativos Carrera #1



Fig. 4.19 Broca utilizada en la Sección de 26" Carrera #1

4.20.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #1

- Se perfora 192 ft, 12 pies más que lo planeado sin que afecte el rendimiento de la broca. Se mantiene el mismo TFA y la ROP fue similar a la del 155D ya que el desgaste fue el mismo 4 - 4 - WT.
- Desgaste corresponde a condiciones iniciales de la tricónica aunque podría utilizarse para un pozo más.
- Igual que en 155D se controlaron parámetros y caudal al inicio de la perforación para no fracturar el contra pozo. Presencia de conglomerado y grava.
- El lodo usado es bentonita prehidratada de alta reología de 8.8 lpg de peso

4.21. SECCIÓN DE 16" PRIMERA CARRERA PROPUESTA

4.21.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST. PERF.	HRS. PERF.	ROP	WOB	ROT. +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev. Azim.	MUD		Comentario
														WT	PV/YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
2	16.0	GTK-C1	4-18	500	320	5.3	60.0	10-15	100/120	1750	800	T.I	0.19/320	9.0	8/11	Para perforar zona de cantos rodados

Tabla. 4.60. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Primera Carrera Propuesta

4.21.2. RENDIMIENTO ALCANZADO - CARRERA #2

No.	SIZE	MFC	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRLD	DRLLG TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/Azim	MUD		DULL GRADE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	R	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						</

Tabla. 4.61. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #2

Formation	CHALCANA												TOTAL		
	Feet	Slkts	Total	Feet	Slkts	Total	Feet	Slkts	Total	Feet	Slkts	Total	Feet	Slkts	Total
Gravel	353		353										353		353
Hours	6.50		6.50										6.50		6.50
ROP*	54.31		54.31										54.31		54.31
WOB	10-20												10-20		
RPM	90												90		
GPM	950												950		
Press	1200												1200		
Turns	1-2												1-2		

Tabla. 4.62. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #2



Fig. 4.20. Broca utilizada en la Sección de 16". Carrera #2



4.21.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #2

- Tricónica perforar hasta los 545 pies, 45 pies más que lo programado sin que afecte su rendimiento. Atraviesa zona de cantos rodados y grava.
- La ROP es 54.31 fph, muy similar a la del 155D (56.2 fph), ligeramente menor que la estimada debido al desgaste inicial que presentó la broca y al control de parámetros por la presencia de conglomerado y grava.
- TFA según lo programado. El lodo utilizado es bentonita de 8.9 al final de la carrera.

4.22. SECCIÓN DE 16" 2DA CARRERA PROPUESTA



4.22.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST PERF	HRS PERF	ROP	WOB	ROT +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev/ Azim	MUD		Comentarios
														WT	PV/YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
3	16.0	HCM605	10-13	5800	5300	75.7	70.0	10-30	70 / 100	3149	850	T.I.	0.6 / 320	8.9	10 / 12	Para construir ángulo hasta 19° y tumbiar 0°

Tabla. 4.63. Rendimiento Propuesto. Sección de 16". Segunda Carrera Propuesta

4.22.2. RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #3 & 3R

No.	SIZE	MFG	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRILL	DRILL TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/Azim	MUD		DULL GRADE										
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	R	P		
	(in)			(1/32in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)												
3	16.0	HCC	HCM605	10x13	1638	1093	14.0	78.1	5-10	60 + 206	1230	900	T.I	18.90 / 320	9.3	14 / 15	1	1	WT	A	X	I	NO	ENG			
3R	16.0	HCC	HCM605	10x13	5795	4157	97.30	54.6	5-30	68 + 206	2483	940	T.I	16.83 / 320	10.2	12 / 15	1	1	WT	A	X	I	NO	TD			

Tabla. 4.64. Rendimiento Alcanzado. Sección de 16". Carrera #3 & 3R

CARRERA #3

Formación	CHALCANA			Prof.	Cuerpo	C. Cond.	Prof.	Alm.	C. Alm.	Prof.	Cuerpo	C. Alm.	TOTAL		
	Prof.	Slide	Total										Prof.	Slide	Total
Unión	669	424	1093										669	424	1093
Hoyo	6.00	8.0	14.00										6.00	8.0	14.00
ROP	111.50	53.00	78.07										111.50	53.00	78.07
ROP	5-10	5-15											5-10	5-15	
ROP	68-207	207											68-207	207	
ROP	901	901											901	901	
ROP	1229	1229											1229	1229	
ROP	1-2	-											1-2	-	

Tabla. 4.65. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #3

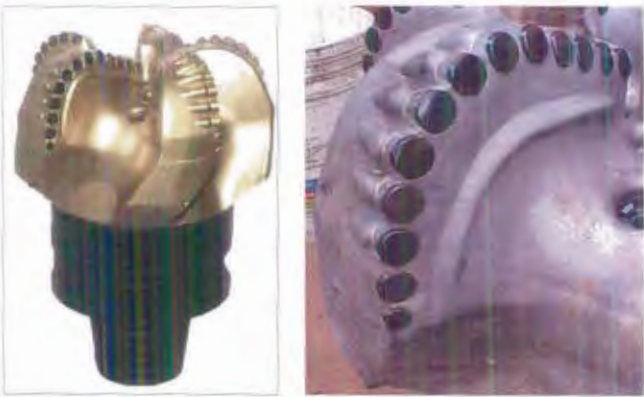


Fig. 4.21. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #3

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #3

- PDC perfora con buen control direccional (Tool Face) y excelente ROP (78fph) tanto en modo rotación como sliding, construye ángulo desde 0 a 19° según programa.
- Es POOH por reparación en el Taladro (Daño en los generadores). La reparación demoró 11 días aproximadamente.
- ROP rotando 111.5 fph, ROP sliding 53 fph. % sliding 39%.
- El TFA se mantiene con boquillas de 10x13 según programa
- PDC presenta ligero desgaste en superficie y puede usarse para terminar la sección. Es desgaste fue: 1 – 1 – WT.

- El lodo usado en toda esta sección es Agua/Bentonita/PAC de 9.3 lpg de peso. Se utilizó como base el fluido de la sección anterior.

CARRERA #3R

Parametros	CHALCANA									TOTAL		
	Rot.	Slide	Total	Rot.	Slide	Total	Rot.	Slide	Total	Rot.	Slide	Total
Enchufe	3191	966	4157							3191	966	4157
Flujo	58.51	62.0	120.51							58.51	62.0	120.51
HTP	54.54	15.58	34.50							54.54	15.58	34.50
WOB	5-25	5-30								5-10	5-30	
RPM Speed	78-210	210								78-210	210	
OPR	912	912								912	912	
Pres	2912	2912								2912	2912	
Torque	6-8	-								6-8	-	

Tabla. 4.66. Parámetros Operativos Sección de 16". Carrera #3R



Fig. 4.22. Broca Utilizada en la Sección de 16". Carrera #3R

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #3R

- Trabajo direccional para tumbar a 0°. PDC muestra buen control direccional y buena ROP (35fph) tanto en modo rotación como sliding.
- Llega al punto de revestimiento con la siguiente ROP: Rotando 55 fph, sliding 16 fph. % sliding 23%.

- El TFA se mantiene con boquillas de 10x13 según programa
- PDC no presenta desgaste en superficie y puede usarse para terminar la sección.
- El lodo usado en toda esta sección es Agua/Bentonita/PAC de 10.2 lpg de peso al final de la sección.

4.23. SECCIÓN DE 12.25" PRIMERA CARRERA PROPUESTA

4.23.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST. PERF.	HRS. PERF.	ROP	WOB	ROT. +MTR	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev. Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
4	12 25	HCR605	7-14	7803	2000	66.6	30.0	10-25	70 + 175	3200	750	ORT, TIY	0.6 / 320	9.8	13 / 14	Perforar hasta el tope del CGL Masivo. Angulo vertical

Tabla. 4.67. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Primera Carrera Propuesta

4.23.2. RENDIMIENTO ALCANZADO - CARRERA #4

No.	SIZE	MFG	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DRLD	DELTC TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev Azim	MUD		DULL GRADE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	C	O	R	P																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

Tabla. 4.68. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carreras #4

CARRERA # 4

Formation	CHALCANA			TIYUYACU			Pac.	Slide	Total	Pac.	Slide	Total	TOTAL		
	Est.	Slide	Total	Est.	Slide	Total							Est.	Slide	Total
Oriskany	381	260	641	783	333	1116							1164	593	1757
Mazon	8.25	9.25	17.50	28.30	23.25	51.55							36.55	32.5	69.05
PDP	46.18	26.11	36.63	27.67	14.32	21.65							31.85	16.25	25.45
WOB	8-25	8-25		2-30	2-30								2-30	2-30	
OPR	80-221	221		74-198	198								77-203	210	
QPR	851	851		811	811								831	835	
Pump	2936	2936		3021	3021								2978	3000	
Total	5-7	-		5-11	-								5-11	-	

Tabla. 4.69. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4



Fig. 4.23. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #4

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #4

- Se mantiene la utilización del tipo HCR605 de 5 aletas con aplicación menos agresiva, para altas revoluciones, con mayor control direccional y cortadores para impacto.
- Debido al anillamiento producido en el 155D en la misma carrera se controlaron parámetros en el conglomerado superior atravesándolo con éxito.
- Se produce una caída de la ROP en las arcilla de Tiyuyacu debido al embolamiento de la broca. Constantes averías de las bombas influyeron en los regímenes de flujos.
- ROP menor que la esperada (30 fph vs. 25 fph) debido al embolamiento. Al final de la carrera la ROP cae a 5 fph.
- Se perforaron las siguientes formaciones: Orteguaza a 31.3fph y Tiyuyacu a 28fph. ROP sliding 18fph, ROP rotando 20.5 fph, % sliding 42%

- El lodo es un sistema de polímeros Alplex/Claytrol con otros inhibidores como Maxplex/Penetrex/PHPA de 9.8 lpg. El TFA según lo programado y el galonaje dentro del esperado.
- Se trabajar con mayor tiempo la broca en caso de que se embole antes de sacar y reducir los problemas por reparación de bombas ya que alteran los flujos.
- El desgaste presentado corresponde al impacto de los cortadores en el Conglomerado superior, pero en estas condiciones si no se hubiera embolado la broca, esta hubiese alcanzado la profundidad programada.

CARRERA # 5

Formación	TIYUYACU									TOTAL		
	Prof.	Slote	Total	Prof.	Slote	Total	Prof.	Slote	Total	Prof.	Slote	Total
Plata	202		202							202		202
Hueso	17.10		17.10							17.10		17.10
HP	11.81		11.81							11.81		11.81
VH	2-30									2-30		
HP	55-192									55-192		
HP	741									741		
HP	3060									3060		
Tercer	10-12									10-12		

Tabla. 4.70. Parámetros Operativos Sección de 12.25". Carrera #4



Fig. 4.24. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #5

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #5

- Se baja una HCM605 nueva para perforar hasta el tope de conglomerado masivo según lo programado. Esta broca se iba a probar posterior a la tricónica.
- La Broca no presenta desgaste ya que perforó Tiyuyacu arcillas y fue sacada antes del tope conglomerado
- ROP por debajo de los esperado 11.8 fph ya que se desconocía el tope del conglomerado y se controlaron parámetros.
- El TFA se mantiene según lo programado y el galonaje dentro del rango esperado (741 gpm).

4.24. SECCIÓN DE 12.25" SEGUNDA CARRERA PROPUESTA

4.24.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST. PERF.	HRS. PERF.	ROP	WOB	ROT. +MTR.	PRES. BOMB.	RATA. FLUJO	FORM.	Dev. Azim	MUD		Comentario
														WT	PV/YP	
	(in)		(11/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
5	12.25	MX-CS09D	4-18	8250	450	22.5	20.0	10-30	70 + 175	3200	750	TTY CGL	0.6 / 320	9.9	13/15	Para atravesar el Conglomerado Masivo

Tabla. 4.71. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Segunda Carrera Propuesta

4.24.2. RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #6

No.	SIZE	MFC	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST. DRILL	DRILL TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/Azim	MUD		DULL GRADE										
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	C	O	R	P		
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)												
6	12.25	HCC	MX-CB9D	4x18	8247	493	24.25	20.3	5-40	40 + 118	3102	742	TTY / TENA	0.46 / 320	10.0	14 / 15	1	1	WT	A	X	I	NO	PM			

Tabla. 4.72 Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carrera #6

Formation	TIYUYACU									TOTAL		
	Feet	Miles	Total	Feet	Miles	Total	Feet	Miles	Total	Feet	Miles	Total
Drilled	493		493							493		493
Hours	24.25		24.25							24.25		24.25
ROP	20.33		20.33							20.33		20.33
WOB	5-40									5-40		
RPM	40-118									40-118		
GPM	742									742		
Pressure	3102									3102		
Torque	11									11		

Tabla. 4.73. Parámetros Operativos. Sección de 12.25". Carrera #6



Fig. 4.25. Broca utilizada en la Sección de 12.25". Carrera #6

4.24.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA # 6

- Se continúa usando el mismo tipo de TCI usada en el 155D la MX-CS09D ya que posee mayor proyección de los insertos lo que ayuda a la ROP y el desgaste fue ligero.
- La estructura de corte presentó ligero desgaste y algunos insertos partidos producto del impacto con el Chert. El desgaste final es 1 - 1 - WT - A - E - I – NO - FM.
- La TCI perfora 493 pies del conglomerado masivo con una ROP dentro del rango esperado (22 fph vs. 18.3 fph).
- El TFA según lo programado y el galonaje dentro del rango.

- La TCI obtuvo 230 Krev con sellos efectivos utilizando un 51% de su vida útil, quedando en condiciones de realizar trabajos de limpieza.
- Se recomienda continuar usando este tipo de TCI, aunque en un futuro podría intentarse atravesar en Chert con broca PDC con cortadores para impacto.

4.25. SECCIÓN DE 12.25" TERCERA CARRERA PROPUESTA

4.25.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOO.	PROF. SAL.	DIST. PERF.	HRS. PERF.	ROP	WOB	ROT. +MTR.	PRES. BOMB.	RATA FLUJO	FORM.	Dev. Azim.	MUD		Comentario
														WT	PV-YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
6	12.25	HCM605	7-14	9000	700	20.0	35.0	10-25	70 + 175	3200	750	TNA - NPO	0.7 / 320	10.4	18 / 18	Para terminar la sección 12.25" con broca nueva

Tabla. 4.74. Rendimiento Propuesto. Sección de 12.25". Tercera Carrera Propuesta

4.25.2. RENDIMIENTO ALCANZADO – CARRERA #5R

No.	SIZE	MFG.	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST. DRILLD	DRILL TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev. Azim.	MUD		DULL GRADE									
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	I	G	O	R	P
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)											
5R	12.25	HCC	HCM605	7 x 15	9020	773	42.0	18.4	10 - 30	87 + 116	3293	730	TENA	1.02 / 320	10.1	14 / 16										

Tabla. 4.75. Rendimiento Alcanzado. Sección de 12.25". Carrera #5R

Formation	TENA												TOTAL		
	Rot.	Size	Total	Rot.	Size	Total	Rot.	Size	Total	Rot.	Size	Total	Rot.	Size	Total
Drilled	773		773										773		773
Flow	42		17.10										42.00		42.00
ROP	18.40		18.40										18.40		18.40
WOB	10-30												10-30		
RPM	87+116												87+116		
GPM	730												730		
Press	3293												3293		
Torque	13-16												13-16		

Tabla. 4.76. Parámetros Operativos. Carrera #5R



Fig. 4 26 Brocas Utilizadas en la Carrera #5R

COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA # 5R

- PDC perfora Tena con pobre rendimiento ROP (18fph), la carrera más lenta de los tres pozos. Es probable que este tipo de broca no sea la aplicación correcta.
- Posee un JSA menor que los tipos de brocas usadas en esta carrera. Es posible que presentara embolamiento o alta tendencia al embolamiento ya que la carrera #5 si la sufrió.
- Condiciones de alto peso del Lodo en Tena influyen en la baja ROP al igual que el bajo caudal de trabajo.
- En superficie la broca presenta ligero desgaste de la estructura de corte con cortadores desgastado en el hombro y la nariz. El desgaste es: 0 - 1 - WT - N/S - X - I - NO - TD.
- El lodo es un sistema de polímeros Alplex/ Claytrol con inhibidores de arcillas como Maxplex/ Penetrex/PHPA con un peso 10.1 lpg



BIBLIOTECA FIC
ESPOL



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

4.26. SECCIÓN DE 8.5"

4.26.1. RENDIMIENTO PROPUESTO

No.	DIA	TIPO	BOQ.	PROF	DIST	HRS	ROP	WOB	ROT	PRES.	RATA	FORM.	Dev	MUD		Comentario
				SAL	PERF	PERF			+MTR	BOMB.	FLUJO		Azim	WT	PV/YP	
	(in)		(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)		
7	8.5	HCR606	7-12	10370	1370	40.0	34.24	5-15	80 + 132	3100	560	NPO-HLLN	0.7/320	10	20/22	Para terminar la sección 8.5" en una sola carrera

Tabla. 4.77. Rendimiento Propuesto. Sección de 8.5".

4.26.2. RENDIMIENTO ALCANZADO - CARRERA #7

No.	SIZE	MFG	BIT TYPE	NOZZLES	DEPTH OUT	DIST DELD	DELCD TIME	ROP	WOB	ROTARY	PUMP PRESS	FLOW RATE	FORMAT.	Dev/Azim	MUD		DULL GRADE									
															WT	PV/YP	I	O	D	L	B	G	O	RP		
	(in)			(1/32 in)	(ft)	(ft)	(hrs)	(ft/hr)	(klb)	(rpm)	(psi)	(gpm)		(deg)	(ppg)											
7	8.5	HCC	HC606	6 x 12	10370	1330	39.75	34.0	5-15	85+147	2572	510	NAP/HOLL	0.73/330	10.4	14/16	1	2	WT	NS	X	I	NO	TD		

Tabla. 4.78. Rendimiento Alcanzado. Sección de 8.5".

Formation	NAPOL SHALE			CALIZA "M2" - "A"			"U" SUP - "T" INF			HOLLIN SUP-INF			TOTAL		
	Rev	Shds	Total	Rev	Shds	Total	Rev	Shds	Total	Rev	Shds	Total	Rev	Shds	Total
Drydrd	443		443	278		278	404		404	225		225	1350		1350
Hours	10		10	6.25		6.25	12		13	10.5		10.5	39.75		39.75
ROP	44.30		44.30	44.48		44.48	31.08		31.08	21.43		21.43	33.96		33.96
WOB	5-12		10-12				10-15			10-25			5-25		
RPM	86+147		90+147				85+147			75+148			86+147		
SPM	510		508				508			513			510		
Press	2572		2600				2633			2700			2650		
Torque	15-16		16				16-17			17			15-17		

Tabla. 4.79. Parámetros Operativos. Carrera #7

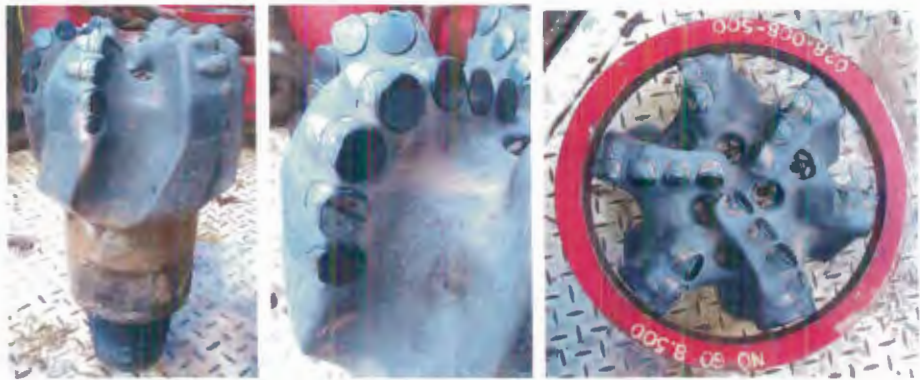


Fig. 4.27. Broca utilizadas en la Sección 8.5". Carrera #7

4.26.3. COMENTARIOS DEL RENDIMIENTO DE LA CARRERA #7

- Se prueba otro tipo de Broca, esta vez una broca más sencilla del tipo HC606, 6 aletas sin protección adicional en el gauge como la HCR606 usada en los dos pozos previos.
- Broca perfora Napo y Hollín con buen performance y la ROP dentro del rango esperado (34 fph)
- Ligeramente más rápida que la HCR606 (34 fph vs. 30 fph), debido a que los cortadores de protección del gauge de la HCR606 actúan contra de las paredes del pozo, mientras que la HC606 posee una protección con láminas de carburo tungsteno sin que actué contra las paredes.
- El TFA según lo programado y el galonaje dentro del rango esperado (550 gpm).
- No hubo trabajo direccional ya que el pozo se encontraba vertical 0.70° al TD del pozo.
- Mayor desgaste externo aunque no severo de la estructura de corte y broca en calibre: 1 - 2 - WT - N/S - X - I - NO - TD.
- Broca en condiciones de enviar a reparación.
- Se continúa con el lodo polímero carbonatado usado en las zonas de interés.

CAPITULO 5

FACTORES ECONÓMICOS EN LOS QUE INTERVIENEN LAS BROCAS DE PERFORACIÓN

5.1. GENERALIDADES

La economía es un factor clave para la aceptación de una broca desde el punto de vista de un cliente. Como parte de los criterios de selección, se debe entender el perfil económico del pozo y la intervención de la broca en el ahorro ó pérdida de tiempo y dinero.

El más simple indicador del perfil económico del pozo es el costo operativo ya que proyectos con altos costos operativos (i.e. \$ 100,000 por día o \$4,267 por hora) hace fácil justificar la selección de productos y servicios de la más alta calidad debido a que la habilidad de salvar aún pocas horas puede rápidamente justificar el costo de los servicios.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Ambientes de baja economía como (i.e. \$18,000 por día o \$750 por hora) hace más difícil diferenciar el rendimiento. Sin embargo los costos operativos proveen un punto de partida ya que detallan los requerimientos económicos del cliente.

5.2. HERRAMIENTAS ECONÓMICAS APLICADAS A LAS BROCAS

Hay varios métodos disponibles para determinar la economía de un pozo. La comparación utiliza el rendimiento de brocas de pozos vecinos y basa la comparación económica en los costos operativos del nuevo programa del pozo.

La razón inicial por la que un cliente usa un producto más costoso es que este le dará una ventaja económica. Hay algunos métodos de calcular la economía de la perforación:

- Costo Por Pie
- Balance (Breakeven)
- Pague después (Payback)
- Retorno sobre el total de la inversión de la perforación
- Retorno sobre el incremento de inversión de la perforación

Es importante utilizar la mejor herramienta económica, sin embargo en el País se usan especialmente los métodos de Costo por Pie y la curva de Balance.

En ésta tesis se trabajará esencialmente con el método del Costo por Pie para las comparaciones económicas de los tres pozos de Sacha. Otro método igual de importante como el de la Curva de Balance (Breakeven) será también detallado.

5.2.1. COSTO POR PIE

La fórmula básica para el cálculo del costo por pie es descrita a continuación:

$$CPF = \frac{C_b + C_{op}(T_t + T_d)}{D}$$

Donde:

CPF = Costo por pie (\$ / pie o \$ / m) – “Cost Per Foot”

C_b = Costo de la broca (\$) – “Bit Cost”

C_{op} = Costo Operativo (\$ / hora) – “Operating Cost”

T_t = Tiempo de viaje (hrs) – “Trip Time”

T_d = Tiempo de perforación (hrs) – “Drilling Time”

D = Distancia perforada – “Distance”



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

Los Costos Operativos (Cop) deben considerar todo los costos en función del tiempo que se manejan en las operaciones de perforación. A continuación algunos ejemplos:

- Costo del Taladro
- Combustibles
- Lodos de Perforación
- Consultores
- Renta de Equipos
- Herramientas Direccionales

Los costos descritos como ejemplos están en función del tiempo y son afectados por cuan rápido perfore la broca o cuan larga sea la carrera. Se recomienda hacer un análisis económico para definir tan precisamente como sea posible los costos operativos antes de elegir una broca para ser usada en una zona perforada.

Como se mencionó anteriormente las herramientas más conocidas para demostrar el rendimiento de una broca son: la Curva de Balance y la fórmula de Costo por Pie que proveen un análisis económico elemental.

El análisis puede ir desde una simple comparación de costo de la broca por pie hasta una complicada y detallada investigación que involucre los fluidos de perforación, condiciones requeridas de perforación y otras variables.

Dado que el objetivo final de la perforación es producir beneficios, cualquier comparación debería estar relacionada al costo total de la perforación o al CPF.

Ocasionalmente equipo especial como un motor de fondo incrementa el costo del equipo de perforación mientras la perforación está en curso. Cuando esto es cierto la ecuación se convierte en:

$$CPF = \frac{C_b + C_{dt} + C_{op}(T_t + T_d)}{D}$$

Donde:

CPF = Costo por pie (\$ / pie o \$ / m) – “Cost Per Foot”

C_b = Costo de la broca (\$) – “Bit Cost”

C_{dt} = Costo de las Herramientas de Fondo (\$) – “Downhole Tools Cost”

C_{op} = Costo Operativo (\$ / hora) – “Operating Cost”

T_t = Tiempo de viaje (hrs) – “Trip Time”

T_d = Tiempo de perforación (hrs) – “Drilling Time”

D = Distancia perforada – “Distance”

Estas fórmulas nos permiten variaciones misceláneas en los costos de operación encontrados cuando se comparan carreras de muy diferente longitud. Estas variaciones van desde factores de seguridad (los peligros de trabajo son mayores durante los viajes), tiempo para el mantenimiento del equipo de perforación, necesidad de tratamiento adicional para los lodos durante los viajes, severidad de las condiciones de operación (mayor peso requiere más portamechas), y condiciones del pozo que pueden agravarse durante los viajes.

Todas éstas fórmulas son la mejor aproximación que tenemos para una comparación generalizada y aparecen como una buena solución para un análisis previo a determinar cuándo conviene correr una broca de cortadores fijos de mayor precio o para evaluar rendimientos entre pozos de un mismo proyecto. Otros factores no incluidos en la fórmula invariablemente favorecen el uso de la broca que haga el mejor pozo.

Normalmente el tiempo de viaje se calcula multiplicando la profundidad de salida de la broca (Depth Out) por la



velocidad de un viaje redondo, generalmente 1 hrs x cada 1000 pies. Esta es una práctica comúnmente usada. Sin embargo, está igualmente aceptado, y un poco más exacto calcular el tiempo de viaje demandando la profundidad de entrada de la broca. En esta tesis se usará el primero ya que es la práctica usada en el País.

El tiempo de perforación es aquel que se refiere a la perforación e incluye el tiempo de rotación y tiempo de conexión. En el caso de los pozos de Sacha se considera únicamente el tiempo de rotación.

5.2.2. CURVA DE BALANCE

Los gráficos de balance usan la fórmula de Costo por Pie para determinar exactamente por cuánto tiempo una broca de alto precio puede usarse y cuán rápido puede perforar para proveer un costo de perforación igual al de las brocas más económicas. Su uso puede ser un valorable acierto al planear los programas de perforación. El primer paso para hacer un análisis de balance es determinar el costo de pozos previos.

Usando la fórmula standard del CPF y considerando la broca o la serie de brocas usadas para perforar la zona en consideración, se determina un costo por pie ideal. Para ilustrar el concepto se utilizará a continuación un ejemplo:

Ej.: 8 brocas de dientes de acero de 3/4", perforan 3000 pies en 100 hrs. El costo total de las brocas es \$ 15680, el costo por hora del equipo de perforación es \$1000 y el tiempo del viaje es de 56 hrs. Se calcula inicialmente el costo por pie (CPF).

$$\text{CPF} = (\$ 1000 (100 \text{ hrs} + 56 \text{ hrs}) + \$ 15680) / 3000 \text{ pies}$$

$$\text{CPF} = (\$ 156000 + \$ 15680) / 3000 \text{ pies}$$

$$\text{CPF} = 57.22 \$ / \text{pie}$$

El valor calculado 57.22 \$/pie. El objetivo es igualar o mejorar el CPF para obtener una carrera económica y determinar en que rangos la nueva carrera será mejor. Para ello se utiliza la curva de Balance.

Continuando con el ejemplo. Una broca PDC cuyo valor es \$21700 va a reemplazar las ocho brocas, el tiempo de viaje es de 10 hrs.



Primero, el valor de la broca es expresado en horas del equipo perforación es decir que la broca es aproximadamente 22 hrs del equipo (\$1000/hr) y el valor de la broca más el viaje (10 hrs) combinado: 32 hrs.

En el gráfico del Balance colocamos como Punto A 32 hrs a la izquierda del cero. El punto A está localizado en la escala horizontal a la izquierda del cero, a una distancia igual a la combinación del costo de la broca (expresado en horas de equipo de perforación) más el tiempo del viaje.

(1) horas de viaje + costo del PDC/velocidad del equipo = horas*

$$10 + (21700 / 1000) = 32 \text{ horas}$$

graficar a la izquierda del cero sobre el eje X (horizontal)

Luego, el costo de la broca y el viaje se convierte a pies del pozo al costo preestablecido y se grafica verticalmente como punto B, es decir el costo combinado de \$ 21700 para la broca y \$ 10000 para el viaje (10 x \$ 1000) es \$31700 dividido por 57.22\$ da 554 pies que es el punto B.

(2) costo del PDC + costo del viaje / costo offset por pie = pies**

$$21700\$ + 10000\$ / 57.22\$ = 554$$

**graficar los pies en el eje Y (vertical)

Se dibuja una línea entre los puntos A y B y se proyecta al resto del gráfico. Esta línea representa el desempeño que dará un balance en el costo de perforación. Cualquier combinación de pies y horas que esté sobre la línea iguala el costo preestablecido, una combinación bajo la línea es más cara y sobre ella es más barata.

En el gráfico, la línea de balance representa 57.22 \$/pie. Una combinación de por ejemplo 1500 pies en 80 hrs excedería este costo; 2000 pies en 50 hrs con una broca PDC será más barato a 37.35 \$/pie.

(3) Se dibuja una línea recta que atraviese los puntos A y B. ***

***Cualquier combinación de horas y pies sobre esta línea es un punto de balance; por encima es una combinación más económica y por debajo es más cara.

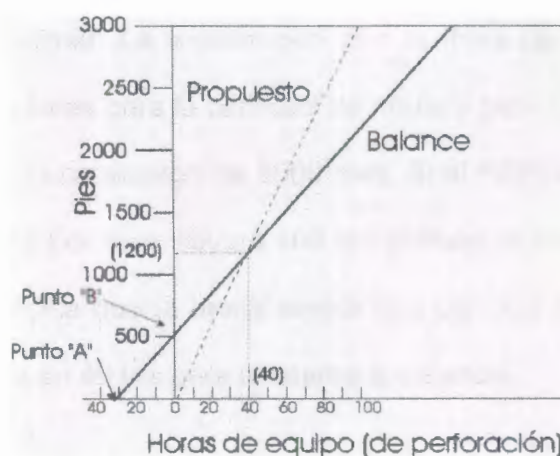


Fig. 5.1. Curva de Balance del Ejemplo

Basadas en las condiciones locales de perforación y en el conocimiento de las brocas, es posible, estimar con exactitud razonable tanto las horas que pueden esperarse o la ROP.

Si se estiman las horas probables, este valor debe encontrarse a lo largo de la línea de balance y una lectura horizontal en la escala de pies indica los pies requeridos para alcanzar el balance. Si justo se conoce la cantidad de pies a perforarse en la zona, una lectura horizontal a partir de la intersección de este valor con la línea de balance nos indicará las horas requeridas.

Si la mejor aproximación que puede hacerse es la ROP, puede construirse una línea desde el punto cero hacia esta velocidad. La intersección con la línea de balance brinda lecturas para la cantidad de horas y pies. (En el Ej. se asume una sección de 3000 pies. Si el ROP esperado es 30 pies por hora, llevará 100 hrs perforar la sección. El gráfico indica que la broca tendrá que perforar al menos 1200 pies en 40 hrs para ajustarse al balance).



Los gráficos se usan para comparar carreras tentativas de brocas de cualquier precio y es realmente útil en la evaluación del uso de brocas PDC contra brocas más económicas como las brocas de Dientes de Acero. La aplicación adecuada del análisis puede ser una excelente guía en el planeamiento e implementación de sus aplicaciones de brocas.

Como se indicó en el capítulo 6 en el diseño del Programa de Brocas, no existieron pozos con la misma geometría perforados por el mismo equipo, por lo tanto la asignación de los Costos de las Brocas y el Rendimiento se basó mayormente en un acuerdo de precios y tipo de contrato que se detallarán a continuación.

5.3. TIPOS DE NEGOCIOS DE BROCAS

El mercado Ecuatoriano ha dado cabida para dos tipos de negocios de brocas de Perforación para pozos petroleros los cuales son: Renta de PDCs y Venta de tricónicas tanto TCI y ST.



5.3.1. RENTA DE PDCs

EL negocio de Renta encuentra su fundamento en los altos costos de fabricación de las Brocas PDCs que son absorbidos por las compañías de Brocas mientras que una porción del costo total de las mismas es cargada a la Compañía Operadora a manera de una renta ya sea por intervalo perforado, por sección o por pozo para cualquier proyecto de perforación que sea requerido.

Hoy en día para una Compañía Operadora mantener en inventario Brocas PDCs de su propiedad resulta altamente costos y hasta obsoleto, partiendo desde el punto de vista de los costos que puede este tipo de brocas demandar, tales como: costos de reparación, daños irreparables, imposibilidad de cambio tecnológico, gastos de transporte, entrenamiento de personal técnico, consultorías, accesorios, etc.

Por otra parte, para las Compañías de Brocas el negocio de Renta de PDCs resulta muy conveniente ya que puede disminuir ciertos costos tales como: amortización del costo



de la broca cuando está en condiciones reutilizables en varios pozos, reparación en las plantas de la compañía, utilización de las brocas reparadas en el mismo o en otros proyectos, implementación de nuevas tecnologías, personal técnico capacitado, transportación masiva de productos ahorrando costos, disponibilidad de brocas a nivel mundial y accesorios, etc.

El negocio PDC en Ecuador es altamente competitivo y la Compañía Operadora puede elegir entre una gama de productos servicios que ofrecen las distintas Compañías de Brocas que compiten en tecnología, rapidez y precios.

5.3.2. VENTA DE TRICÓNICAS

Este negocio encuentra su fundamento en la imposibilidad de reparación de las brocas tricónicas tanto TCI como ST y por sus relativamente bajos costos de adquisición.

Pese al elevado número de componentes mecánicos de las Tricónicas y Patentes que poseen las Compañías Operadoras pueden disponer en el mercado de una



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

variedad de tipos de brocas Tricónicas a un precio menor que una PDC.

Este tipo de negocio se enfoca básicamente en aplicaciones especiales en que las PDCs resultan severamente dañadas o simplemente no puede realizarlas con la tecnología actual, tal es el caso de algunas formaciones Conglomeráticas, intrusivos volcánicos, aplicaciones direccionales altamente exigente, etc.

Generalmente las Compañías Operadoras adquieren este tipo de brocas una vez que han tratado con PDCs y han notado que una tricónica puede resultar más conveniente tanto en costos, ROP, direccionabilidad y disminución de viajes por cambio de broca. Algunas Tricónicas que han cumplido con su ciclo de trabajo pueden usarse para efectuar trabajos de limpieza del hoyo o para perforar cemento.

Ciertas tricónicas también pueden ofrecerse como renta pero esto va a depender del tipo de contrato que se tenga

con la Compañía de Brocas. Los contratos de servicios serán descritos a continuación.

5.4. CONTRATOS DE SERVICIOS DE BROCAS

Hoy en día en el mundo de los negocios petroleros, cualquier contrato debe tener alguna ventaja para cada una de las partes, compartiendo tanto los beneficios como los riesgos.

El tipo de contrato del Servicio de Brocas va a depender de los requerimientos del cliente que pueden basarse en una apertura comercial con distintos fabricantes de brocas en búsqueda de aquellas brocas que ofrezcan mejor rendimiento aunque los costos totales de las Brocas sean más elevados o por el contrario una apertura comercial con una única compañía de Broca que le ofrezca menor costo total de las Brocas a cambio de una campaña de varios pozos o finalmente una combinación de ambos que otorga un contrato para las distintas secciones a las compañías que tengan el mejor rendimiento.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Básicamente se resumen tres tipos de Contratos de Servicios: rendimiento por Carrera, Lump Sum por Pozo y Lump Sum por secciones.

5.4.1. CONTRATO POR RENDIMIENTO DE LA CARRERA

En muchos casos la mejoría del rendimiento de carrera es el resultado de la implementación de nuevas tecnologías que incrementa la vida útil de la broca y reduce el tiempo de viaje. Cuando los costos del equipo de perforación son altos, si se pueden ahorrar unas pocas horas o un viaje, la broca se paga a sí misma y se puede ahorrar dinero en todo el programa de perforación.

Un acuerdo de rendimiento es un método usado para correr brocas costosas bajo la modalidad de renta cuando los beneficios no son evidentes. Es esencialmente un contrato cuyo fin es una disminución del CPF de una carrera. Este tipo de contrato, da apertura a que varias Compañías de Brocas compitan por el mejor rendimiento, más que por los precios proporcionando las últimas tecnologías de cortadores, diseños más agresivos.

Puede requerirse cláusulas de ROP y Pies Perforados mínimos comparados con carreras anteriores. En caso de no cumplir con las expectativas se podría recibir una negativa del Cliente para perforar el siguiente pozo.

En ocasiones se efectúa una proposición de riesgo compartido especialmente en zonas de alto riesgo de daño de la broca. La compañía proveedora de Brocas arriesga una porción sustancial del precio normal de lista como garantía de que la broca se comportará como se programó. El operador comparte el riesgo de pagar una porción del costo de la broca cuando por la utilización.

Un buen acuerdo de performance requiere al menos un 50% del precio de lista cuando se coloca en el pozo. El resto de precio de la lista está mayormente basado en un costo por pie perforado.

Una vez que se aceptó un acuerdo de performance es muy importante monitorear la carrera. La broca deberá correrse en el intervalo para el cual fue propuesto y bajo las condiciones recomendadas.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

5.4.2. CONTRATO LUMP SUM POR POZO - ÚNICO VALOR POR POZO

Cuando una Operadora ha venido trabajando con varias compañías de Brocas y conoce sus tecnologías y rendimientos, en ocasiones decide otorgar un contrato por todo el Pozo a una única Compañía de Brocas para un proyecto determinado. Este tipo de contrato se lo conoce como Lump Sum por Pozo y se está convirtiendo en la tendencia a seguir en el País.

La Compañía Operadora recibe un sustancial descuento en todas brocas y un valor único a pagar por pozo que sería imposible si trabajara con varios competidores en un mismo pozo a más de recibir el servicio técnico en locación.

La compañía de Brocas proporciona un precio por debajo del mercado por rendimiento ya que puede amortizar sus costos reutilizando las brocas del proyecto. De igual manera puede ofrecer alta tecnología y mejora el rendimiento pozo a pozo basado en la disminución de las carreras que es beneficiosa para ambas compañías.



**BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL**

Este tipo de contrato es el que se efectuó para los pozos de Sacha y en general para la Campaña con el Taladro de Sinopec 188. El establecimiento del costo de todo el paquete Lump Sum fue basado en un análisis de cuantos pozos se iban a perforar en la campaña 2005, una planeación de los posibles costos por reparación de las brocas, costos de exportaciones e importaciones hacia y desde las plantas, pagos de personal, transportación y un análisis de mercado que finalmente concluyo con un valor total de \$ 88,000.00 sin impuestos por pozo.

Este contrato es muy beneficioso para la Operadora en aquellos casos de campañas largas en distintos campos ya que en casos de brocas irreparables por desconocimiento del área los costos son asumidos por la Compañía de Brocas. De esta forma la Compañía de Brocas requiere de personal técnico 100% para monitorear todas las carreras en locación sumándose otro beneficio para la Operadora.

Generalmente en este tipo de Contratos se establece un programa de Brocas, el cual es una guía; pero que no recibe sanciones económicas en caso de alejarse de la

propuesta ya que las decisiones técnicas se realizan día a día en conjunto con todo el personal de campo y oficina.

5.4.3. CONTRATO LUMP SUM POR SECCIÓN

Este tipo de contrato podría decirse que es una combinación de los dos previamente descritos. La Operadora da apertura a varias compañías de Brocas a perforar un mismo pozo y dependiendo del rendimiento de cada una de ellas otorga un contrato único por sección recibiendo aún el beneficio del descuento.

El descuento recibido es menor del que tuviese si fuese Lump Sum por Pozo. Las Compañías de Brocas usualmente siguen compitiendo por lograr las otras secciones del Cliente y generalmente este tipo de contratos termina en un Lump Sum por Pozo.

La tecnología ofrecida es de alta calidad y nivel de competencia es mayor ya que usualmente se conoce a cabalidad el rendimiento y las características de las brocas de la competencia.



**BIBLIOTECA FIC
ESPOL**

En este tipo de contrato comúnmente se oferta con dos tipos de precios el uno bajo la modalidad de Lump Sum por todo el Pozo y Lump Sum por cada sección.

Este contrato es beneficioso para la Operadora ya que recibe un descuento por sección y mantiene un nivel altamente técnico y competitivo. En ocasiones y dependiendo de la aplicación en ciertas secciones o carreras problemáticas se puede manejar costos elevados de las brocas.

5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO FINAL DE LOS POZOS DE SACHA

En esta sección de Capítulo 5, se hará uso de la formula del Costo por Pie para determinar los costos por carreras de los pozo del proyecto de Sacha. Una tabla de Excel es utilizada para hacer el análisis comparativo la cual es adjuntada a la información digital de la presente tesis.

Tal como lo descrito en la sección del Costo por Pie, la tabla hace uso de información obtenida del Bit Record como son: número de carreras, diámetros y tipos de brocas, profundidad de salida,

intervalos perforados, ROP alcanzada y basado en los conceptos teóricos, calcula los costos de los viajes, costos operativos, costos del motor, costos totales para finalmente calcular el costo por pie de cada carrera.

Una sección de costos acumulativos es incluida al final de cada tabla que permiten calcular el costo por pie de todo el pozo para hacer el respectivo análisis. El cual es efectuado simultáneamente comparando los tres pozos de la campaña con el propósito de determinar variaciones en costos entre un pozo y otro; y, para encontrar una respuesta en la parte operativa que permita plantear posibles soluciones.

5.5.1. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS POZOS SACHA

Una serie de gráficos comparativos al final de la sección permiten ver desde otra perspectiva los costos de las carreras comparándolas entre todos los pozos a fin de obtener otras respuestas y soluciones.



Como se mencionó en la sección de contratos el costo Lump Sum por cada pozo es de \$ 88000. Otros datos

BIBLIOTECA FIC
ESPOL

necesarios es el del costo del taladro por Día. En el desarrollo de la tesis se encontró una tabla de Costos y con ello se estableció un valor aproximado del Costo Operativo del Taladro por Día que asciende a \$ 25266; sin incluir impuestos ni gastos administrativos lo que significa un costo de \$ 1052.76 por hora. La Tabla es incluida a continuación.

TABLA DE COSTOS				
	UNIDAD	PRECIO UNITARIO \$	IVA 12 %	ADM 7 %
3 TARIFA FIJA PARA TRANSPORTE ENTRE LOCACIONES				
0 - 60 Kms	U	71,808.21	NO	NO
50.1 - 75 Kms	U	99,855.98	NO	NO
75.1 - 100 Km	U	115,879.78	NO	NO
DESDE 100.1 KM EN ADELANTE POR Km ADICIONAL	US\$/Km	820.10	NO	NO
4 TARIFA DIARIA				
4a Tarifa diaria de operación con tubería de perforación.	US\$/Day	20,828.92	SI	NO
4b Tarifa diaria de operación sin tubería de perforación.	US\$/Day	18,170.09	SI	NO
4c Tiempo de espera (Stand by) con personal	US\$/Day	16,818.64	SI	NO
4d Tiempo de espera (Stand by) sin personal	US\$/Day	13,863.20	SI	NO
5 CAMIONES PLATAFORMAS	US\$/Hour	58.21	SI	NO
Tarifa fija de desmovilización del equipo y campamento desde el último pozo hasta campo base o puerto equatorial escogido por el contratista.	U	55,889.00	NO	NO
7 Tarifa diaria por equipos adicionales en operación	US\$/Day	13,870.00	SI	SI
8 Tarifa diaria por equipos adicionales en stand by	US\$/Day	12,303.00	SI	SI
9 Costo total (Lump Sum) por pozo por todos de perforación	US\$/pozo 35 dias	137,284.29	SI	SI
10 Costo total (Lump Sum) por pozo por brocas de perforación	US\$/pozo 35 dias	89,000.00	SI	SI
11 Sistema de control de sólidos 3 en 1		esta incluida en la tarifa diaria por equipos adio.		
12 Tarifa diaria mientras se acondiciona el equipo para perforación direccional	US\$/Day	16,818.64	SI	NO
VOLQUETA	US\$/Day	320		
RETROEXCAVADORA	US\$/Day	200		
CAMION	US\$/Day	195		



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Tabla 5.1. Tabla de Costos del Proyecto Sacha

Otro valor igual de necesario es el costo de las Herramientas adicionales tal como motores de fondo, MWD, servicios profesionales, alquiler de otras herramientas, etc., que también fue obtenido de la tabla de Costos y que asciende \$ 569.68 por hora. Una vez encontrada toda la información necesaria se procedió al cálculo del costo por pie de cada pozo mostrado en las siguientes tablas.

RESULTADO DEL ANALISIS DE COSTOS POR PIE DEL POZO SACHA 176D

COSTO RIG x DIA (€):25266.2

COSTO RIG POR HR (€):1052.76

TASA DE VIAJES (€):1000

COST MOTOR X HORA (€):569.58

POZO		SACIA 1702		COSTO POR BROCA														COSTO ACUMULATIVO		
Nº	DIA M	TIPO	PROF. SAL	INTERF. PERF	HRS PERF	HRS ACUM	ROP	HRS VIAJE	COSTO BROCA	COSTO VIAJE	COSTO OPERATIVO	COSTO MOTOR	COSTO TOTAL	CPF	COSTO TOTAL	INTERF. TOTAL	CPF ACUM			
1	26	CR1	200	200	4.60	4.60	43.48	0.20	12,571.00	210.05	4,842.70	R	N/A	17,624.25	86.12	17,624.25	200	88.12		
2	16	GTX-C1	500	300	3.91	8.51	76.73	0.50	12,571.00	526.38	4,116.28	R	N/A	17,213.67	57.38	34,837.92	500	89.68		
3	16	HCM605	4175	3675	49.04	57.55	74.94	4.18	12,571.00	6,773.27	51,627.35	D	27,932.20	98,903.82	26.91	133,741.74	4175	32.03		
3R	16	HCM605	5161	396	25.66	83.21	38.43	5.16	-	8,372.90	27,013.82	D	14,615.42	50,002.14	59.71	183,743.88	5161	35.60		
3RR	16	HCM605	5685	524	7.74	90.95	67.70	5.69	-	9,223.00	8,148.36	D	4,408.55	21,779.91	41.56	205,523.80	5685	36.15		
4	12.3	R1	5695	10	6.25	97.20	40.00	5.70	-	5,299.23	263.19	R	N/A	9,502.42	858.24	215,026.21	5695	37.78		
5	12.3	HC605S2	7910	2215	74.10	165.30	29.69	7.91	12,571.00	12,832.71	78,909.52	D	340.86	103,754.09	46.84	318,780.30	7910	40.30		
6	12.3	MX-C190	8390	490	25.70	191.00	18.68	8.39	12,571.00	13,611.43	27,055.95	D	14,638.21	67,576.57	141.46	398,656.87	8390	46.09		
5R	12.3	HC605S2	8990	500	17.90	208.90	27.93	8.89	-	14,422.60	18,844.40	D	10,195.48	43,462.48	96.92	439,119.36	8990	46.38		
7	12.3	HCM605S	10006	1116	53.10	262.00	21.02	10.01	12,571.00	16,233.13	55,901.58	D	30,244.70	114,950.39	103.00	545,069.75	10006	54.47		
8	8.5	HCR606	10720	714	20.30	282.30	35.17	10.72	12,571.00	17,391.48	21,371.03	D	11,562.47	62,895.99	68.09	607,965.73	10720	56.71		
TOTAL									37.97	67.33	87,997.02	108,936.69	297,194.15		113,937.90			56.71		

Tabla 5.2. Análisis del CPF del Sacha 176D

RESULTADO DEL ANALISIS DE COSTOS POR PIE DEL POZO SACHA 155D

COSTO RIG x DIA (€):25266.2

COSTO RIG POR HR (€):1052.76

TASA DE VIAJES (€):1000

COST MOTOR X HORA (€):569.58

POZO		COSTO POR BROCA														COSTO ACUMULATIVO			
Nº	DIA M	TIPO	PROF. SAL	INTERF. PERF	HRS PERF	HRS ACUM	ROP	HRS VIAJE	COSTO BROCA	COSTO VIAJE	COSTO OPERATIVO	COSTO MOTOR	COSTO TOTAL	CPF	COSTO TOTAL	INTERF. TOTAL	CPF ACUM		
1	26	CR1	150	150	7.75	7.75	19.35	0.15	12,571.00	157.91	8,158.89	R	N/A	20,887.80	139.25	20,887.80	150	139.25	
2	16	GTX-C1	515	365	6.50	14.25	56.15	0.52	12,571.00	542.17	6,842.94	R	N/A	19,956.11	54.67	40,843.92	515	78.31	
3	16	HCM605	5842	5327	87.50	111.75	54.64	5.84	12,571.00	9,477.71	102,844.10	D	55,534.05	180,226.66	33.83	221,070.78	5842	37.84	
4	12.3	HCR605	7368	1466	76.75	187.50	19.35	7.31	12,571.00	11,856.06	79,746.57	D	43,146.69	147,319.32	100.46	368,390.09	7368	50.41	
5	12.3	HCR605	7962	554	15.50	203.00	35.74	7.86	12,571.00	12,754.84	16,317.78	D	9,828.49	50,472.11	91.10	418,862.20	7962	53.28	
6	12.3	MX-C5090	8301	439	24.00	227.00	18.29	8.30	12,571.00	13,467.04	25,264.24	D	13,689.92	64,374.20	148.01	483,836.40	8301	58.29	
5R	12.3	HCR605	9000	699	24.80	251.80	28.19	9.00	-	14,601.06	26,109.45	D	14,125.58	54,835.09	78.46	538,671.49	9000	59.85	
8	8.5	HCR606	10450	1450	47.25	299.05	30.69	10.45	12,571.00	16,953.45	49,742.91	D	26,912.66	106,180.02	73.23	644,851.51	10450	61.71	
TOTAL									84.94	49.43	87,997.00	79,810.25	314,827.88		162,216.38	804,807.88			61.71

Tabla 5.3. Análisis del CPF del Sacha 155D

RESULTADO DEL ANALISIS DE COSTOS POR PIE DEL POZO SACHA 154D

COSTO RIG x DÍA (\$): 25266.2
COSTO RIG POR HR (\$): 1052.76
TASA DE VIAJES (\$): 1000
COST MOTOR X HORA (\$): 588.58

POZO		SACIA 1540		COSTO POR BROCA											COSTO ACUMULATIVO			
N°	DIA M	TIPO	PROF. SAL	INTERO PERF	HRS PERF	HRS ACUM	ROP	HRS VIAJE	COSTO BROCA	COSTO VIAJE	COSTO OPERATIVO	PROF	COSTO MOTOR	COSTO TOTAL	CPF	COSTO TOTAL	INTERO PERF	CPF ACUM
1	26	CR1	182	182	8.50	8.50	22.59	0.19	12,571.00	202.13	8,500.00	R	N/A	21,273.13	110.80	21,273.13	182	110.80
2	16	GTX-C1	546	353	6.50	15.00	54.31	0.55	12,571.00	573.75	6,500.00	R	N/A	19,644.75	55.65	40,917.88	546	75.08
3	16	HCM605	1838	1093	14.00	29.00	78.67	1.64	12,571.00	2,857.39	14,000.00	D	7,974.12	37,202.51	54.94	78,120.40	1638	47.69
3R	16	HCM605	5795	4157	120.51	148.51	34.50	5.80	-	9,401.46	120,510.00	D	68,840.09	198,551.55	47.76	276,571.94	5795	47.74
4	12.3	HCR605	7552	1757	89.05	218.58	25.45	7.55	12,571.00	12,251.91	69,050.00	D	39,329.50	133,202.41	75.91	409,874.35	7552	54.27
5	12.3	HCM605	7754	202	17.10	235.68	11.81	7.75	12,571.00	12,579.62	17,100.00	D	145.35	42,395.37	209.88	452,270.33	7754	58.33
6	12.3	MX-C110	8247	483	24.25	259.91	20.33	8.25	12,571.00	13,379.44	24,250.00	D	13,812.32	84,012.75	129.94	516,289.08	8247	62.60
1P	12.3	HCM605	9020	773	42.00	301.91	18.40	9.02	-	14,833.51	42,000.00	D	23,922.36	80,555.87	104.21	596,838.95	9020	66.17
8	8.5	HCM606	18370	1350	39.75	341.66	39.96	10.37	12,571.00	16,823.67	39,750.00	D	22,640.81	81,785.47	67.98	688,624.42	18370	66.41
		TOTAL		30.35	51.11	87,987.00	82,502.88	541,680.00			176,464.53	688,624.42			86.41			

Tabla 5.4. Análisis del CPF del Sacha 154D

5.5.2. ANALISIS DE COSTOS DE LOS POZOS DE SACHA

El análisis de costos arrojó que los pozos 155D y 154D fueron más costosos que el primero de la Campaña el 176D. Problemas operaciones descritos en el capítulo 4 fueron las razones de dicho incremento. Los Cuadros que se presentan a continuación describen interesantes datos a cerca de los costos de los tres pozos de Sacha.

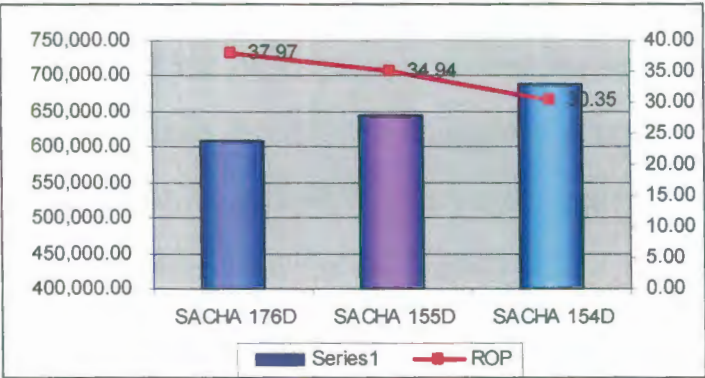


Fig. 5.2. POZOS DE SACHA ROP VS. COSTOS



El cuadro anterior muestra la relación de la ROP vs. los costos de cada pozo. Se puede apreciar que ha medida que la ROP decrece los costos se incrementan como resultado del incremento de todos los costos ya que se encuentran en función de cuan rápido perfora la broca.

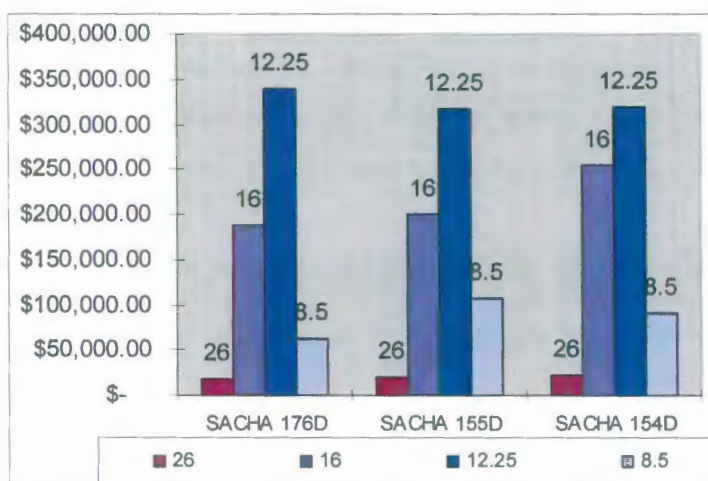


Fig. 5.3. POZOS DE SACHA COSTOS POR SECCIONES

El cuadro arriba muestra los costos de cada sección de los tres pozos de Sacha; En el puede notar que la sección de 12.25" es la más costosa. Sin embargo en el 176D teniendo la sección de 12.25" más costosa resultó el pozo más económico de la campaña. Problemas operativos en el resto de las secciones de los pozos 155D y 154D elevaron los costos de estos dos pozos.

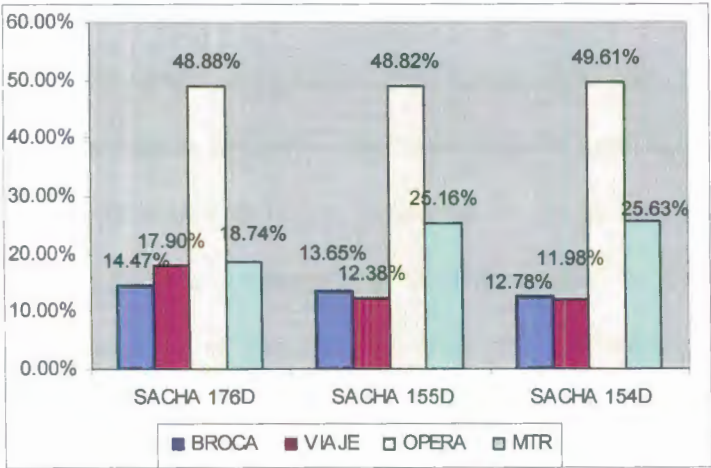


Fig. 5.4. POZOS DE SACHA PORCENTAJE DEL COSTO TOTAL

El cuadro arriba presenta los porcentajes de cada uno de los costos que intervienen en el cálculo del CPF y su afectación al costo total. Se puede apreciar que el mayor porcentaje de los costos totales se da en los costos operativos o los del taladro. Es decir que un ahorro en días podría disminuir el costo total del pozo.

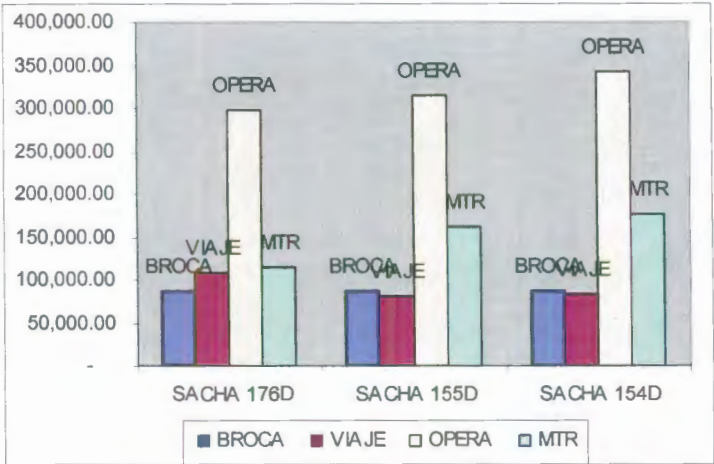


Fig.5.5.POZOS DE SACHA PORCENTAJE DEL COSTO TOTAL



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

El último cuadro presenta todos costos que intervienen el cálculo del Costo por Pie y su afectación al Costo Total del Pozo. Al igual que los porcentajes el mayor costo se da en la operación del taladro, razón por la cual al mejorar la ROP y disminuir el número de días de perforación se puede reducir considerablemente el costo total del Pozo.

En el capítulo de conclusiones y recomendaciones se harán las respectivas anotaciones y sugerencias encaminadas a la reducción de costos en proyectos futuros.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. GENERALIDADES

Durante la perforación de los Pozos direccionales del Campo Sacha (176D, 155D, 154D) la premisa del equipo de trabajo fue lograr el mejor rendimiento en el menor tiempo posible. Un detallado análisis del progreso alcanzado en cada uno de los pozos condujo a cumplir dicho objetivo.

En esta tesis se demuestra que la selección de brocas conlleva a un amplio análisis de toda la información disponible para perforar un pozo que se resume finalmente en un Programa de Broca que es propuesto a la Operadora en este caso Petroproducción. La información requerida para elaborar el Programa de brocas es detallada a continuación:

- Registros de Brocas de pozos vecinos “Bit Record”
- Plan direccional
- Programa de lodos
- Estado mecánico del pozo
- Información de los Motores de Fondo
- Información de los ensamblajes de fondo (BHA)
- Registros eléctricos
- Registros litológicos
- Limitantes del taladro
- Economía del pozo
- Información del Campo

Es necesario adaptar al Equipo de Perforación “Sinopec 188” al sistema rotatorio “Top Drive”, ya que este sistema es indispensable para perforar eficientemente pozos direccionales como los descritos en esta tesis. El taladro viene perforando pozos verticales con el sistema de Vástago y Nelly; y, durante la campaña 2004 perforó algunos pozos verticales en el Campo Sacha que sirven de referencia para el desarrollo de esta tesis.

El programa de Brocas del primer pozo, el Sacha 176D se ayuda de la comparación de los pozos vecinos, como lo fueron el Sacha



BIBLIOTECA FIL
ESPO'

198 y el Sacha 146 ambos verticales. Los registros eléctricos y litológicos de estos pozos ayudan a correlacionar y determinar los topes y bases de las formaciones del 176D a más de proporcionar valiosa información a cerca de la litología.

Un análisis exhaustivo del los "Bit Records" de pozos perforados en este Campo y de otros con similares características ayudaron a definir el Programa de Brocas del Sacha 176D. El Bit Record proporcionó valiosa información de las brocas tal como: tipo, tamaño, serie, fabricante, parámetros operativos, información del lodo, inclinación, azimut, características de desgaste IADC, etc.

El plan direccional ayuda a definir la aplicación direccional requerida y el tipo de broca a ser diseñada, así como los grados de inclinación y las tasas de construcción que deberían realizar las brocas del programa para que éstas fueran lo más "steerables" posibles (Direccionales) sin que sacrificaran la rata de penetración.

Las especificaciones de los Motores de Fondo proporcionan los rangos de trabajo en que fueron aplicados los parámetros operativos tales como: rangos de galonajes mínimos y máximos,

velocidades de rotación, máximos torques, máximo WOB, máxima presión diferencial, máxima caída de presión en la broca, etc. El conocimiento del Ensamblaje de Fondo también contribuyó a la selección de los tipos de brocas que se ajustaran a dichos ensamblajes.

El estado mecánico de los pozos define las profundidades de asentamiento de los revestidores y permiten definir el número de carreras por revestimiento y los diámetros de brocas a usarse.

Finalmente con el análisis de la información disponible se seleccionaron las brocas considerando tanto el tipo, la aplicación requerida, diseño mecánico, diseño hidráulico, litología a ser perforada y el rendimiento esperado para cada carrera. Las especificaciones técnicas de cada una de las brocas también fueron presentadas con el propósito de ilustrar las razones de su selección. El programa de Brocas del 176D pasa a ser el punto de partida del análisis de esta tesis y en el transcurso de la perforación de los pozos surgieron las Conclusiones y Recomendaciones en cuanto rendimiento de las brocas se refiere.

El programa de brocas del 176D es presentado a continuación:



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

GEOGRAPHIC LOCATION Sacha, Orillana		OPERATOR PETROPRODUCCION		CONTRACTOR/RIG SINOPEC 100			
FIELD / AREA Sacha		LOCATION / WELL NUMBER SACHA 176D		DATE February 12, 2008		PREPARED FOR DPTO. DE PERFORACION	

NO.	SIZE (in)	BIT TYPE	DEPTH FEET	DEPTH METERS	DRILL TIME (hrs)	RDP (ft/hr)	RDC TIME (hrs)	RQD (ft)	RPM	WOB TON	DAYS	REMARKS
1	26	CR1	160	150	3.0	54.0	3.0	0 0	80 80	8.8	1	Conductor section
2	16	GTX-C1	500	320	8.0	30.0	9.5	5 15	120 160	8.7	1.0	Set 10.34 in casing 5 Days
3	16	HCM605	5847	5147	49.0	105.0	58.5	5 8	150 200	9.9	3.5	Shallow boulders Up to Chakana
4	12-1/4	HC005SZ	7800	2153	50.0	43.1	109	15 25	150 250	9.6	8.2	Set 13.375 in casing 2 Days
5	12-1/4	MX-C18D	8303	503	12.5	30.2	121	25 35	150 250	9.9	8.8	Ortegaaza and Tanyacu Chert formation
6	12-1/4	R-HC005SZ	10041	1738	38.0	35.7	159	15 25	150 250	10.4	10.8	Tena and Napo
7	8-1/2	HCR006	10776	735	15.0	49.0	174	18 40	120 150	9.6	13.4	Set 9.625 in casing 2 Days Napo, Holan to TD

26" CR-1

16" GTX-C1

16" HCM605

12-1/4" MX-C18D

12-1/4" HC005SZ

8-1/2" HCR006



Tabla 6.1. Programa de Brocas de 176D

La manera de presentar las Conclusiones y Recomendaciones en ésta tesis, será detalla en cada una de las secciones perforadas a fin de facilitar el análisis respectivo y la comparación entre cada una de las carreras de los tres pozos perforados en la campaña.

6.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SECCION 26"

En los tres pozos se planificó para la Sección del conductor superficial, una broca Tricónica de dientes de acero de 26" Tipo CR1 de código IADC: 111, para formaciones muy blandas, con cojinetes y rodamientos no sellados,



Fig. 6.1. Sección de 26" (Conductor Superficial)

con dientes de larga proyección y jet central para perforar 180 pies de zona de cantos rodados para luego asentar el conductor de 20". De esta carrera se puede concluir:

CONCLUSIONES

- La 26" CR1 tarda alrededor de 4.5 horas en perforar 180 pies de zona cantos rodados, pero el mayor tiempo en esta sección se produce al acondicionar el hoyo, asentar el revestidor, la cementación del mismo y la colocación del BOP (Blow Out Preventor).
- La carrera de 26" tuvo un alto costo por pie (112.72 \$/pie en promedio de los tres pozos) con lo cual el costo de perforar los 180 pies es aproximadamente \$ 20,290 por pozo. La broca 26" según la lista de precios de Junio del 2005 de la compañía de brocas Hughes Christensen que provee las brocas para este proyecto publicada en Internet el costo de esta broca es de \$ 32,650 con lo que se deduce que cualquier alternativa para eliminar esta carrera es justificable en costo y tiempo.

- Las características de la broca CR1 son apropiadas para la formación a perforarse y ciertamente, todas las compañías de brocas ofrecen un tipo de broca similar a la usada para la sección superficial con un código IADC de 111. El desgaste fue ligero y de la experiencia en otros pozos se tiene que esta broca puede llegar a usarse hasta en 8 carreras en distintos pozos.

RECOMENDACIONES

- De la experiencia observada en otras operadoras se tiene que el conductor superficial de 20" es piloteado con el mismo taladro hasta la profundidad de 35 o 40 pies sin requerir la utilización de una broca de 26" para perforar los 180 pies del conductor ahorrando tiempo y dinero. Con ello se lograría eliminar la carrera de 26" y se empezando a perforar con broca tricónica de dientes de 16" para asentar un revestidor de 13 5/8" en vez de el de 20" hasta la profundidad de 500 pies en donde se encuentra la zona de cantos rodados. Posteriormente se iniciaría la construcción con una broca PDC de 12 1/4" que perforaría hasta el mismo punto de revestimiento, es decir se eliminaría una carrera del programa.



BIBLIOTECA FIC
de
ESPOL

6.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SECCIÓN DE 16"

PRIMERA CARRERA 16"

Para la primera carrera de 16" fue planeada con una broca tricónica de dientes de acero de 16" de código IADC: 114 del tipo GTX-C1 para atravesar la zona de cantos rodados ubicada entre los 200 y 300 pies ya que la PDC podría resultar severamente dañada en esta litología.



Fig. 6.2. Broca Tricónica de Dientes de Acero. Primera Carrera de 16"

Posee sellos elastoméricos y dientes alargados para palear mejor los cortes, también posee recubrimiento duro en los dientes y en calibre para protegerlos de la erosión y posee jet central para mejora la limpieza del fondo. De esta carrera se puede concluir:

CONCLUSIONES

- La GTX-C1 perforó eficientemente los 500 pies de zona de cantos y grava y el desgaste presentado es ligero y las brocas pueden reutilizarse hasta en 4 pozos.

- La GTX-C1 es usada con un BHA liso y no realiza ningún trabajo direccional por lo que es necesario un viaje para cambiar la ST por una PDC que baje con ensamblaje direccional.
- El costo por pie de esta carrera es de 55.9 \$/pie en promedio de los tres pozos por lo que el costo de perforar los 500 pies es de \$ 27,950. Según la lista de precios del 1 de Julio del 2005 de la compañía proveedora de brocas publicada en Internet el costo de la misma es de \$14,100 por lo que esta carrera supera en un 50% el costo de la broca, es decir la broca justifica la carrera además de prevenir el daño de la PDC que resulta muy costosa.



RECOMENDACIONES

BIBLIOTECA FIC
ESPOL

- La 16" GTX-C1 cumple con las expectativas de la perforación pero añade una carrera adicional a la sección de 16", ya que una PDC podría sufrir daño prematuro de su estructura de corte en los cantos rodados. Se debería analizar en este campo la ubicación de las zonas de cantos rodados para reducir el punto de cambio de broca para perforar únicamente

hasta la profundidad en donde se pueda armar el BHA direccional que es de alrededor de 200 pies. Esto permite ahorrar tiempo y dinero en esta sección.

SEGUNDA CARRERA 16"

Es planeada una broca PDC del tipo HCM605 de 5 Aletas con cuerpo de matriz para aplicación direccional con motor de fondo cuyo código IADC es M323 con cortadores de 19 mm. y protección adicional en el Gauge.



Fig. 6.3. Broca PCD de 5 Aletas
Segunda Carrera 16"

Esta broca es la primera direccional utilizada en el pozo y construye hasta un ángulo máximo de 27° en los tres pozos generalmente llega al punto de revestimiento al tope de Orteguzaza. Posee un área de desalojo = 68.89 in^2 para evitar problema de embolamiento en las formaciones Chalcana y Orteguzaza las cuales están conformadas por arcillas reactivas hidratables que tienden a embolar la broca. De esta manera podemos concluir:



**BIBLIOTECA FIC
ESPOL**

CONCLUSIONES

- La HCM605 presentó buen control direccional y buena ROP (61.5 fph en promedio de los tres pozos) tanto en modo de rotación como de sliding, construye ángulo desde 0 a 26.2° según el requerimiento direccional del pozo.
- Problemas en las bombas por alta presión obligaron a ampliar el TFA de 10 x 13 (1.296in²) a 10 x 14 (1.50 in²) cuando la presión llegó al límite de trabajo del equipo (3200 PSI). Se aprovechó el viaje de control para sacar a superficie y cambiar las boquillas de la broca.
- La 16" HCM605 no presenta significativo desgaste y generalmente la terminó la sección con un desgaste de 1-1-WT-A-X-I-NO-TD y en algunos casos pudo reutilizarse para el siguiente pozo. Esto demuestra la correcta selección del tipo de broca y cortadores.
- El costo por pie en promedio de los tres pozos de esta carrera fue de 39.14 \$/pie lo que nos indica que para terminar la sección es costo total asciende a \$ 202,940 mientras que el

costo según la US Price Book de HCC de Junio de 2005 el costo de la broca corresponde a \$ 142,550 con lo cual la carrera justifica el costos de la broca.

- El motor usado en esta sección es un 9 5/8" 3:4 - 6Stg con un factor de 0.22 rev/gal. Motores de fondo de mayor torque podrían mejorar el rendimiento de la HCM605 ya que el motor usado soportaba un WOB máximo de 25 Klbs. En el mercado Ecuatoriano existen motores de mayor torque como el 9 5/8" 5:6 - 3Stg con un factor de 0.11 rev/gal.



RECOMENDACIONES

BIBLIOTECA FIC
ESPOL

- Un motor que proporciona menos revoluciones por galón gira más lento pero puede soportar mayor carga axial, es decir mayor WOB y torque sin que el motor se detenga. Está demostrado que en las secciones superficiales la ROP está dada por la hidráulica en el fondo, el flujo y el WOB más que las revoluciones totales. Por lo que es recomendable usar un motor de mayor torque con un factor de 0.11 rev/gal.

- La introducción de nueva tecnología como los nuevos sistemas rotatorios direccionales que están entrando en el mercado como el PowerDrive de Schlumberger, Geopilot de Halliburton o Autotrack de Baker Hughes están demostrando lograr Ratas de Penetración muy elevadas con brocas steerable (Por arriba de 250 fph con broca de 16").

- Se observó que los constantes viajes por cambios de boquillas y BHA elevan el costo por pie de esta carrera por lo que es recomendable reducir el numero de viajes hasta superficie o realizar únicamente un viaje cuando la presión llegue al limite de trabajo 3200 PSI punto, en el cual se aprovecha para cambiar de boquillas de 3X13 a 3X14 la combinación hidráulica que mostró mejores resultados durante la campaña. Una sola carrera con el TFA inicial obliga a reducir el galonaje al final de la carrera, con lo cual se reduce la ROP.

- La HCM605 demostró buen control direccional y buena ROP (61.5 fph en promedio de los tres pozos), por lo tanto es recomendable seguir con su utilización. Un nuevo diseño que contemple una broca con un mayor JSA como una broca

cuerpo de acero podría tener mejor rendimiento al poseer mayor área de desalojo de los cortes.

- El desgaste es ligero pero presenta un común denominador y es el redondeo del borde activo del cortador, esto es común con cortadores para impacto. Es recomendable probar cortadores especiales para abrasión, los cuales al desgastarse no se redondean y por el contrario mantiene un borde activo del cortador, con lo cual la broca recomendada según la nomenclatura de Hughes Christensen sería una HCM605SZ.

6.4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SECCIÓN 12 ¼"

PRIMERA CARRERA 12 ¼"

En esta sección se usó inicialmente una broca del tipo HC605SZ la cual poseía cuerpo de acero y cortadores especiales para impacto "Z" pero un estudio efectuado después del primer pozo demostró que este tipo de broca era muy



Fig. 6.4. Broca PDC 5
Aletas Cuerpo de Acero
Primera Carrera 12 ¼"

agresiva para esta aplicación por lo que se optó por la HCR605 y la HCM605 ambas de matriz. También se usó una HCM605S de cuerpo de acero pero que resultó anillada al rimar en el primer pozo por lo que dejó de usarse. Todas estas brocas fueron de 5 Aletas de aplicación direccional con motor de fondo que poseían cortadores de 19 mm. Con esta broca se debía mantener la inclinación del pozo a 26.2° hasta el tope de Conglomerado Masivo en donde se efectuaba el cambio de broca. Pese a que las brocas de cuerpo de acero poseen algunas ventajas con respecto a las de cuerpo de matriz ya que mejoran el desalojo de los cortes gracias a sus mayores áreas de desalojo y diseños de aletas más delgadas se dejaron de usar quedando como recomendaciones la HCR605 y la HCM605 de cuerpo de matriz. Del análisis de esta carrera en los tres pozos podemos concluir:

CONCLUSIONES

- La ROP de esta carrera es relativamente baja en modo deslizado "Sliding" que podría deberse a la pobre galonaje de trabajo y a la imposibilidad de aumentar el WOB sin producir elevado torque reactivo o stalling del motor



**BIBLIOTECA FIC7
ESPOL**

- El motor usado en esta sección es un 8" 4:5 - 5.3 Stg. con un factor de 0.26 rev/gal. Motores de fondo de mayor torque podrían mejorar el rendimiento de la HC605SZ sin que se produzca stalling del motor ya que soportan mayor WOB. En el mercado Ecuatoriano existen motores de mayor torque como el 8" 7:8 - 4Stg con un factor de 0.16 rev/gal.
- El costo por pie en promedio de los tres pozos de esta carrera es de 104.82 \$/pie, lo que nos indica que para hacer el cambio de broca el costo total asciende a \$ 202,19 mientras que el costo según la US Price Book de HCC de Junio del 2005 el costo de la broca corresponde a \$ 100,300 en la versión estándar. Esta carrera es la más costosa del todo el pozo y a esta profundidad los cambios de brocas elevan el costo operativo por lo que la meta es realizar una sola carrera rápida.
- La estructura de corte presentó ligero desgaste y algunos cortadores astillados sin que comprometieran su utilización después de la tricónica excepto en los casos de rimado con brocas cuerpo de acero en donde se obtuvo una broca anillada en el Sacha 176D.



**BIBLIOTECA FIC1
ESPOL**

RECOMENDACIONES

- La HC605SZ en algunos casos resultó agresiva por la inclinación que poseían sus cortadores, razón por la cual se probó con brocas mas direccionales como HCM605 y las HCR605 que poseen los cortadores del cono más retraídos y cuya matriz en el área del cono entra en contacto con la formación provocando un efecto de roce denominado "Rubbing" que les proporciona de estabilidad.
- La introducción de nueva tecnología como los nuevos sistemas rotatorios direccionales que están entrando en el mercado como el PowerDrive de Schlumberger, Geopilot de Halliburton o Autotrack de Baker Hughes están demostrando lograr altas Ratas de Penetración con brocas steerables y no steerables.
- Motores de mayor torque como el 8" 7:8 - 4Stg con un factor de 0.16 rev/gal generan menor "stalling" o para del motor y pueden trabajar con mayor WOB y torque mejorando la ROP de esta carrera ya que las formaciones de Ortegua y



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Tiyuyacu perforadas por esta broca son mayormente arcillosas.

- En el Sacha 154D se obtuvo una broca anillada del tipo HCR605 al perforar el primer cuerpo conglomerado por lo que es recomendable el control de parámetros tanto en el primer cuerpo como en el cuerpo masivo.
- Esta carrera fue sumamente susceptible al embolamiento y se obtuvieron bajas ROPs e inclusive cambios de brocas por esta razón. Es recomendado el bombeo de píldoras lubricantes cada tres stands para prevenir el embolamiento y trabajar con mayores galonajes por arriba de los 850 GPM.

SEGUNDA CARRERA 12¼" (MASIVO CONGLOMERADO)

Esta sección se planeó con una tricónica TCI. Durante el proyecto se usaron dos tipos: la MX-C18D y la MX-C09D de IADC 447 y 347 respectivamente para atravesar el conglomerado masivo. Luego de la



Fig. 6.5. Broca Tricónica de Insertos.
Segunda Carrera 12 ¼

evaluación efectuada a la MX-C18D se determinó que una TCI con insertos de mayor proyección podrían mejorar la ROP y fue entonces que se decidió por la MX-C09D. Estos tipos de brocas se planearon para perforar el conglomerado masivo para posteriormente utilizar la PDC de la primera carrera y terminar la sección. Ambas brocas poseían protección adicional en el calibre debido al trabajo direccional que deberían realizar y para proteger los sellos y cojinetes. El sello metal – metal es recomendado ya que el ambiente es muy abrasivo. De la utilización de esta broca se puede concluir:

CONCLUSIONES

- La TCI perforó alrededor de 460 pies del Conglomerado Masivo en los tres pozos y se adentró algunos pies dentro de Tena hasta obtener muestra de fondo de arcilla. La Selección de la TCI es correcta debido a la abrasividad y dureza del Conglomerado.
- La ROP fue de alrededor de 19 fph dentro del masivo debido a la dureza y compactación del mismo y a las intercalaciones de arcillas en donde la TCI perfora más lento.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- La estructura de corte presentó ligero desgaste y algunos insertos partidos de la hilera del calibre producto del impacto con el Chert y sellos efectivos. El desgaste presentado fue generalmente de 1 - 1 - WT - A - E - I – NO - FM.
- Las TCIs bordearon las 260 Krev, todas, con sellos efectivos demostrando que la selección del sello y la protección de gauge fue la correcta.
- El costo por pie en promedio de los tres pozos de esta carrera fue de 104.82 \$/pie lo que nos indica que para hacer el cambio de broca el costo total asciende a \$ 202,19 mientras que el costo según la US Price Book de HCC de Junio de la broca corresponde a \$ 20,650 en la versión estándar. Esta carrera resultó muy costosa y los cambios de brocas elevaron el costo operativo por lo que la meta es utilizar en un futuro una broca PDC para atravesar el conglomerado y eliminar esta carrera.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

RECOMENDACIONES

- La MX-C09D obtuvo el mismo desgaste que la MX-C18D, pero fue un poco más rápida por lo que es recomendable para atravesar el masivo conglomerado con esta broca. Ambas resultaron con sellos efectivos lo que indica que la selección del sello metal – metal es apropiada para esta aplicación.
- La estructura de corte presentó ligero desgaste y algunos insertos partidos producto del impacto con el Chert. El desgaste final es 1 - 1 - WT - A - E - I – NO - FM.
- Si bien es cierto una tricónica de TCI es lo ideal para atravesar el masivo conglomerado, el actual desarrollo de los cortadores PDCs las están proveyendo de mas resistencia al impacto y a la abrasión por lo podría probarse una PDC de 5 aletas con cortadores especiales para impacto en primera instancia o una broca con mayor numero de aletas como una 6 aletas o 7 aletas según sea el caso. Hay que tener en cuenta que a mayor número de aletas el área de desalojo se reduce notablemente y la tendencia a embolamiento aumenta, aunque

un mayor número de aletas permite colocar más cortadores haciendo de la broca más resistente.

- El costo de la utilización de una TCI incurre en el costo de la misma broca, el viaje para ingresarla, el viaje de sacarla y la baja ROP que se tiene con la TCI por lo que es justificable en costo y tiempo cualquier alternativa que permita a una PDC lograr atravesar el masivo del Campo Sacha lo que reduce el numero de carreras a dos y reduce los días de perforación aproximadamente en 36 horas (24 hrs. perforando + 6 hrs. de viaje de ingreso + 6 hrs. de viaje de salida).
- La actual tecnología de PDC también están incluyendo nuevos diseños de brocas como una que aún no se lanza al mercado y que consiste de una broca con cortadores de back up, es decir en una misma aleta detrás del cortador principal existen cortadores secundarios que actúan cuando los principales se desgastan. Para ilustrarlo de otra forma poseen dos hileras de cortadores por aleta. La ventaja de este nuevo diseño es que permiten colocar mayor número de cortadores sin requerir a una aleta adicional y podría en casos como éste sustituir a la TCI para perforar el conglomerado masivo mientras que haría



las veces de la HCM605 que perfora por arriba del Masivo. La implementación de este tipo de broca aún esta en estudio.

TERCERA CARRERA 12 1/4"

En los tres pozos se planificó usar la misma broca de la primera carrera 12 1/4" para terminar esta sección, pero problemas operativos y daños prematuros de las brocas en el conglomerado superior impidieron alcanzar este objetivo. Ésta PDC perforó las formaciones de Tena y Napo llegó hasta el punto de casing de 9 5/8 a la base de la Caliza A. De esta última carrera de 12 1/4" se puede concluir:



Fig. 6.6 Broca PDC de 5 Aletas. Tercera Carrera

CONCLUSIONES:

- Posterior al conglomerado las formaciones de Tiyuyacu y Tena presentaron tendencia a embolamiento que provocaron una baja ROP como lo ocurrido en el Sacha 176D, aunque no fue tan crítico como las formaciones por arriba del conglomerado

en Orteguaza y Tiyuyacu, se debe prevenir este tipo de situaciones agregando píldoras lubricantes en el sistema de lodos.

- Se presentaron daños prematuros en las brocas de esta carrera al rimar especialmente en el área del conglomerado masivo resultado de una broca anillada en el 154D. En todos los pozos para perforar el conglomerado se utilizó una TCI la cual no realizó exigente trabajo direccional por lo que la PDC que con otro perfil generalmente encontró el hoyo ligeramente fuera de calibre requiriendo el rimado de esta zona.
- La ROP de esta carrera es relativamente baja comparada con la esperada (21fph) debido al pobre caudal de trabajo y a la variada litología de Napo como lo son las calizas de un grado de dureza considerable en donde la broca tiende a reducir la ROP y requerir de mayor WOB para continuar perforando.
- Altos pesos del lodo en esta carrera afectaron negativamente a la ROP pero en ocasiones fue necesario para evitar la inestabilidad en las zonas de lutitas de basal Tena.



**BIBLIOTECA FIC1
ESPOL**

- En superficie la broca de esta carrera generalmente presentó ligero desgaste de la estructura de corte con cortadores desgastado en el hombro y la nariz. El desgaste frecuentemente fue: 0 - 1 - WT - N/S - X - I - NO -TD.
- El costo por pie en promedio de los tres pozos de esta carrera es de 84 \$/pie lo que nos indica que para terminar la sección se requiere de \$ 65,100 mientras que el costo según la US Price Book de HCC de Junio del 2005 el costo de la broca corresponde a \$ 100,300 en la versión estándar. Esta carrera es la segunda más costosa en CPF y reducirla es la premisa en los futuros pozos de esta campaña, por lo que, la implementación de nuevas tecnologías tanto en brocas que consigan hacer una sola carrera y herramientas de fondo que incrementen el rendimiento de las brocas se justifican en costo y tiempo.

RECOMENDACIONES

- La HCR605 demostró un rendimiento constante en esta sección y por arriba del conglomerado por lo que es la más recomendada para 12 ¼". Con el desarrollo de la tecnología de las brocas cuerpo de acero con cortadores mas resistentes a



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

la abrasión podría usarse en un futuro una HCR605SZ que inclusive pueda atravesar la zona de los conglomerados y realizar toda la sección en una sola carrera ahorrando alrededor de 3 días a la perforación.

- La introducción de nuevos diseños en brocas PDCs también es una alternativa tentadora a futuro ya que como se mencionó poseen un número mayor de estructura de corte en un mismo número de aletas u otra opción en este tipo de brocas es la utilización de cortadores de 16mm ya que permiten colocar mayor número de cortadores que los de 19 mm usados en este proyecto. Esta ultima recomendación también es válida para el modelo de brocas HCR con lo cual, según la nomenclatura de la compañía proveedora de brocas Hughes Christensen las broca podría denominarse HCR505SZ.
- La introducción de nueva tecnología como los nuevos sistemas rotatorios direccionales que están entrando en el mercado como el PowerDrive de Schlumberger, Geopilot de Halliburton o Autotrack de Baker Hughes están demostrando lograr Ratas de Penetración muy elevadas con brocas steerables y no steerables (Por arriba de 200 fph con broca de 12 ¼").



- Motores de mayor torque como el 8" 7:8 - 4Stg con un factor de 0.16 rev/gal generan menor stalling y pueden trabajar con mayor WOB y torque mejorando la ROP de esta carrera ya que las formaciones Tena y Napo poseen una variada litología.

6.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES SECCIÓN 8.5"

Esta broca realizó la sección final del Pozo, fue una broca de 8.5" de 6 aletas del tipo HCR606 con cuerpo de matriz protección adicional en el gauge para altas revoluciones, con cortadores de 19mm de código IADC M323. Con esta broca se perforó las formaciones de Napo y Hollín se llegar al TD. De esta carrera se puede concluir:



Fig. 6.7. Broca de 6 aletas de Cuerpo de Matriz. Sección 8.5"



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CONCLUSIONES

- La Broca perforó Napo y Hollín con buen rendimiento con la ROP esperado (34 fph). En estas formaciones no existió tendencia a embolamiento ya que la litología la comprendía mayormente arenas, calizas, lutitas y limonitas por lo que la 6 aletas es adecuada.
- El desgaste presentado por esta broca es moderado y generalmente correspondió a: 1 - 2 - WT - N/S - X - I - NO – TD y no se presentaron daños prematuros de la broca
- Altos pesos sobre la broca WOB son requeridos para atravesar algunas calizas debido a su dureza y la reducción de la rotación de topdrive es necesaria para evitar daños prematuros de las brocas especialmente en la caliza A.
- El costo por pie en promedio de los tres pozos de esta carrera es de 76.43 \$/pie lo que nos indica que para terminar la sección se requiere de \$ 103,180 mientras que el costo según la US Price Book de HCC de Junio del 2005 el costo de la broca corresponde a \$ 63,000 en la versión estándar.

- Si bien es cierto esta carrera es adecuada en costos y tiempo una mejora en el sistema direccional que ayude a tener ROPs mas elevadas puede reducir considerablemente los costos y tiempo de perforación de esta carrera en aproximadamente 1 día de operaciones.

RECOMENDACIONES

- La HCR606 y la HC606 usada en el último pozo demostraron un rendimiento constante y cumplieron las expectativas de rendimiento en esta sección por lo que es recomendable continuar con su uso.
- La introducción de nuevos diseños en brocas PDCs es una opción favorable que debería ser analizada como por ejemplo los nuevos diseños con cortadores de back up que reducen el numero de aletas por lo que en un futuro podría perforarse la sección de 8 ½" con una broca 5 aletas con cortadores de back up que posean la densidad de corte de una 6 aletas.
- Otra opción en este tipo de brocas es utilizar cortadores de 16mm especiales para abrasión ya que permiten colocar



mayor número de cortadores que los de 19 mm. usados en este proyecto. Esta ultima recomendación también es válida para el modelo de brocas HCR con lo cual según la nomenclatura de la compañía proveedora de brocas Hughes Christensen las broca podría denominarse HCR506Z. Cortadores de 13 mm. También es una opción con lo que la broca podría denominarse HCR406Z o HCM406Z.

- La introducción de nueva tecnología como los nuevos sistemas rotatorios direccionales que están entrando en el mercado como el PowerDrive de Schlumberger, Geopilot de Halliburton o Autotrack de Baker Hughes están demostrando lograr Ratas de Penetración muy elevadas con brocas steerable

- Motores de mayor torque como el 6 ¾" 7:8 - 5Stg con un factor de 0.28 rev/gal generan menor "stalling" o paras del motor y pueden trabajar con mayor WOB y torque mejorando la ROP de esta carrera ya que las formaciones Tena y Napo poseen una variada litología de arcillas, lutitas, calizas y arenas que requieren de motores de mayor torque. El motor usado es un 6 ¾" 6:7 5Stg con un factor de 0.29 rev/gal.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

BIBLIOGRAFÍA

1. BAKER HUGHES CHRISTENSEN, Diamond Tech Manual — 2003
2. BAKER HUGHES CHRISTENSEN, Tricone Tech Manual — 2003
3. BAKER HUGHES, Evaluación de Formación — 2003
4. SCHLUMBERGER ANADRILL, Directional Drilling Training Manual – January, 1997
5. BAKER HUGHES INTEQ, Manual de Ingeniería — Agosto, 1998
6. HALLIBURTON SPERRY DRILL, Technical Information Handbook – August, 1999
7. JESSE L. HOLSTER, SPE, EXXON PRODUCTIONS RESEARCH CO. ROBERT J. KIPP, EXXON RESEARCH CO. Effect of Bit Hydraulic Horsepower on the Drilling Rate of a Polycrystalline Diamond Compact Bit, SPE 11949.
8. CARLOS RASSO ZAMORA, SALVADOR NAJERA ROMERO / PEMEX EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN, Determination of the Drilling Cost and Well Maintenance System in Drilling, SPE40045
9. RON BLAND, BAKER HUGHES INTEQ Drilling Fluids, ROLF PESSIER AND MATT ISBELL, Hughes Christensen, Balling in Water – Based Mud, AADE 01-NC-HO-56
10. D. A. Clark Conoco Inc.; R.B. Coolidge, Hughes Diamond Products, Application of the New IADC Dull Grading System for Fixed Cutter Bits, SPE/IADC 16145.