

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LAS BROCAS USADAS EN LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN EN LA FORMACIÓN TIYUYACU, EN POZOS DEL CAMPO SACHA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIEROS EN PETRÓLEOS

CÉSAR ALEJANDRO BRIONES LUNA

cesar.briones.luna@outlook.com

RUDDY KATHERINE LEÓN HIDALGO

ruddy.leon@outlook.com

DIRECTOR: ING. RICHARD ROBERTO ALDAZ JÁCOME

richard.aldaz@sdt.ec

Quito, Julio 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, César Alejandro Briones Luna y Ruddy Katherine León Hidalgo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

CÉSAR BRIONES LUNA

RUDDY LEÓN HIDALGO

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente proyecto de titulación fue desarrollado por César Alejandro Briones Luna y Ruddy Katherine León Hidalgo, bajo mi supervisión.

ING. RICHARD ALDAZ
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mis padres y familia, a mi novia y compañera de este proyecto, Ruddy León, a la Escuela Politécnica Nacional por permitirnos ingresar a sus aulas, a los profesores por las sabias enseñanzas que nos han brindado así como también a todo el personal administrativo.

Al Ing. Richard Aldaz Director, al Ing. Vinicio Melo Codirector, quienes dieron la apertura para dirigirnos en la elaboración de este proyecto; a la ARCH por proporcionarnos la información requerida, como a sus ingenieros Einstein Barrera y Marcelo Rosero por la valiosa guía y colaboración para la ejecución del mismo.

A los ingenieros miembros del tribunal.

César Briones

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Politécnica Nacional, Universidad en la que he tenido el honor de ser parte de tan noble institución, en cuyas aulas encontré profesores con verdadera pasión por su trabajo, lo que hizo aún más fascinante y desafiante este camino, que al final ha valido la pena.

A la Facultad de Geología y Petróleos, a los ingenieros que nos impartieron sus conocimientos sin ningún egoísmo y con gran paciencia, en especial al Ingeniero Gerardo Barros e Ing. Vinicio Melo, así como también a todo el personal administrativo.

Al Director de este proyecto, Ing. Richard Aldaz, y al Codirector Ing. Vinicio Melo, quienes nos han brindado además de valiosos conocimientos, enseñanzas, y experiencia en las aulas de clase, su total y desinteresada disposición para la realización del presente proyecto.

A la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH) por brindarnos la información requerida para el desarrollo de este estudio, en las personas de los ingenieros Einstein Barrera y Marcelo Rosero.

A César, mi compañero de proyecto, gracias por las arduas horas y empeño total dedicados a la realización del presente.

Ruddy León

DEDICATORIA

A mis padres, Carmen y César

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por sus consejos, sus valores, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan, y por motivarme constantemente, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mis familiares

A mis hermanas Marisol y Valeria, por ser un ejemplo como hermanas mayores y de las cuales aprendí aciertos, a mis sobrinos Emiliano y Mateo quienes me han dado la oportunidad de observar la infinita paciencia y amor de sus abuelos, a mi Chester.

A mis abuelitas Marianita y Matilde, mis tíos y primos, agradecerles por su apoyo, su comprensión y consejos. A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, espontáneo e incondicional.

A mi novia

Ruddy, quien es una hermosa persona, compañera, amiga y la niña de mis ojos, tú me haces desear ser mejor día tras día. Le doy gracias a la vida por permitirme compartir este proyecto a tu lado, ha sido maravilloso y será uno de muchos proyectos más juntos.

A mis amigos

Con quienes nos apoyamos mutuamente a lo largo de nuestra formación profesional y sobre todo humana, ustedes saben lo mucho que los estimo: Hernán (Chichico), Jorge (Latiguito), Punk (Wilson), Alina, Álex (Mal hombre), Carlos (Muchacho), María Belén (Mabe).

César Alejandro Briones Luna

DEDICATORIA

A Dios, gracias por haberme permitido el regalo de la vida, que mientras hay vida hay esperanza, mi fuerza interna personal con el que siempre he contado y siempre me cuida.

A mis padres, por sus siempre palabras de aliento, apoyo incondicional durante todos estos años, por su amor y ternura constantes, por ser la luz en mi camino y siempre estar ahí. Mis ejemplos de vida, inspiración y valentía.

A César, el amor bonito, además de compañero de camino en casi toda la Universidad, mi empuje, mi total comprensión, gracias por estar siempre ahí pendiente de mí.

A los padres de César, siempre prestos, por su gran disponibilidad, ejemplo de amor, sus puertas siempre abiertas, haciéndome sentir una más en su familia.

A todos quienes formaron parte de mi día a día dentro de la EPN, por las experiencias vividas, alegrías compartidas, oportunidades brindadas, por el camino recorrido, que aunque un trayecto culmina quedan muchos más por descubrir.

Ruddy Katherine León Hidalgo

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	VI
CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ABREVIATURAS	XIX
RESUMEN	XXI
PRESENTACIÓN.....	XXII
Capítulo 1	1
DESCRIPCIÓN DE LA FORMACIÓN TIYUYACU	1
1.1. GENERALIDADES DEL CAMPO SACHA.....	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Reseña Histórica	2
1.1.3. Geología Estimada del Campo Sacha	2
1.1.4. Problemas Específicos de Perforación en la Formación Tiyuyacu.	29
1.1.5. Parámetros de Perforación.	30
1.1.6. Factores de Perforación Asociados a la Broca.	33
Capítulo 2	38
DESCRIPCIÓN Y ESTUDIO DE LA SECCIÓN 12 ¼" DE LOS REPORTES DE PERFORACIÓN EN POZOS PERFORADOS EN EL CAMPO SACHA	38
2.1. TEORÍA DE BROCAS.....	38
2.1.1. Reseña Histórica.	38
2.1.2. Descripción de las Brocas Usadas en el Campo.	41

2.1.3.	Aplicación.	51
2.1.4.	Sistema de Graduación de Estructura de Corte.....	52
2.1.5.	Clasificación IADC de las Brocas.....	58
2.2.	CARACTERIZACIÓN DE BROCAS, PARÁMETROS Y FACTORES DE PERFORACIÓN ASOCIADOS, EMPLEADAS EN LA SECCIÓN 12 ¼” Y FORMACIÓN TIYUYACU EN EL CAMPO SACHA.....	62
2.2.1.	Cantidad y Clasificación IADC de las Brocas Empleadas.	63
2.2.2.	Calificación IADC.....	69
2.2.3.	Parámetros de Perforación.	71
2.2.4.	Factores de Perforación Asociados a la Broca.	76
2.2.5.	Espesor Perforado.....	80
2.2.6.	Tiempo Neto de Perforación.	83
2.2.7.	Tasas de Penetración Efectivas (ROP).....	85
2.2.8.	Energía Mecánica Específica (E_s).....	87
2.2.9.	Costo por Pie. (Bourgoyne A., 1992)	90
CAPÍTULO 3.....		97
ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS DEL DESEMPEÑO DE LAS BROCAS EN LA SECCIÓN 12 ¼” EN EL CAMPO SACHA.....		97
3.1.	Análisis Técnico de Brocas, Parámetros y Factores de Perforación Asociados, Empleadas en la Sección 12 ¼” y Formación Tiyuyacu en el Campo Sacha.	97
3.1.1.	Análisis según Calificación IADC.	97
3.1.2.	Análisis según Cantidad de Brocas.	118
3.1.3.	Análisis según Clasificación IADC.	124
3.1.4.	Análisis según Parámetros de Perforación.	143
3.1.5.	Análisis de los Factores de Perforación Asociados a la Broca.	163
3.1.6.	Análisis según Espesores Perforados.	167
3.1.7.	Análisis de los Tiempos Netos de Perforación.	181

3.1.8. Análisis de las Tasas de Penetración Efectivas (ROP).....	194
3.1.9. Análisis de la Energía Mecánica Específica (E_s).	204
3.2. Análisis Económico.	205
3.2.1. Análisis por Broca.....	206
3.2.2. Análisis por Pozo.	207
3.2.3. Resultados del Análisis Económico.	212
3.3. Discusión de Resultados.	213
Capítulo 4	217
PROPUESTA DEL PROGRAMA DE BROCAS PARA LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼" DEL CAMPO SACHA.....	217
4.1. PROGRAMA DE BROCAS PROPUESTO.	217
Capítulo 5	221
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	221
5.1. CONCLUSIONES	221
5.2. RECOMENDACIONES	223
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	225
ANEXOS.....	227

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 UBICACIÓN DEL CAMPO SACHA.	1
Figura 1.2 MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO SACHA.....	3
Figura 1.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CUENCA ORIENTE.....	4
Figura 1.4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO SACHA.....	5
Figura 2.1 BROCA PATENTADA POR HOWARD HUGHES EN 1909.	39
Figura 2.2 BREVE CLASIFICACIÓN DE LAS BROCAS DE PERFORACIÓN ROTATIVA.....	40
Figura 2.3 PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA BROCA TRICÓNICA.	43
Figura 2.4 FRACTURA EN LA TRITURACIÓN DE LA ROCA.....	44
Figura 2.5 PARTES DE UNA BROCA DE DIENTES DE ACERO.	45
Figura 2.6 PARTES DE UNA BROCA DE INSERTOS.....	45
Figura 2.7 TIPOS DE COJINETES.	46
Figura 2.8 PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA BROCA PDC.	48
Figura 2.9 FRACTURA DE LA ROCA POR CORTE.	49
Figura 2.10 CORTADOR PDC.	50
Figura 2.11 SISTEMA IADC DE GRADUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CORTE.....	52
Figura 2.12 DESGASTE DE LOS CORTADORES EN BROCAS CON CALIFICACIÓN.....	53
Figura 2.13 CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE DE LA ESTRUCTURA DE CORTE.....	54
Figura 2.14 CÓDIGOS PARA OTRAS CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE DE LA BROCA.....	57
Figura 2.15 CÓDIGO PARA LA COLUMNA 8 CALIFICACIÓN IADC.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 UBICACIÓN DE POZOS CON REPORTES GEOLÓGICOS.....	6
Tabla 1.2 LITOLOGÍA POR INTERVALOS FM. ORTEGÜAZA, POZOS DEL CAMPO SACHA.	9
Tabla 1.3 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, FM. TIYUYACU, POZOS DEL CAMPO SACHA.	9
Tabla 1.4 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CONGLOMERADO TIYUYACU SUPERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.....	10
Tabla 1.5 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CONGLOMERADO TIYUYACU INFERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.	11
Tabla 1.6 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, FM. TENA, POZOS DEL CAMPO SACHA.	12
Tabla 1.7 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, BASAL TENA, POZOS DEL CAMPO SACHA.	12
Tabla 1.8 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, FM. NAPO, POZOS DEL CAMPO SACHA.	13
Tabla 1.9 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CALIZA M-1, POZOS DEL CAMPO SACHA.	14
Tabla 1.10 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CALIZA M-2, POZOS DEL CAMPO SACHA.	15
Tabla 1.11 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CALIZA “A”, POZOS DEL CAMPO SACHA.	16
Tabla 1.12 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA “U” SUPERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.....	16
Tabla 1.13 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA “U” INFERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.....	17
Tabla 1.14 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CALIZA “B”, POZOS DEL CAMPO SACHA.	18
Tabla 1.15 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA “T” SUPERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.....	19

Tabla 1.16 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA “T” INFERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.....	19
Tabla 1.17 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CALIZA “C”, POZOS DEL CAMPO SACHA.	20
Tabla 1.18 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA HOLLÍN SUPERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.	21
Tabla 1.19 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, HOLLÍN INFERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.	21
Tabla 1.20 RESUMEN DE ESPESORES DE LAS FORMACIONES DEL CAMPO SACHA.	23
Tabla 1.21 RESUMEN DE PROFUNDIDADES (TVD), POZOS DE SACHA.	25
Tabla 2.1 UBICACIÓN DE LOS POZOS DE ESTUDIO DEL CAMPO SACHA.....	41
Tabla 2.2 USO DE BROCAS PDC O TRICÓNICA EN LOS POZOS DE ESTUDIO DEL CAMPO SACHA.....	42
Tabla 2.3 CLASIFICACIÓN IADC PARA BROCAS DE CONOS.	59
Tabla 2.4 CLASIFICACIÓN IADC PARA BROCAS PDC.	61
Tabla 2.5 CANTIDAD DE BROCAS EMPLEADAS PARA LA SECCIÓN 12 ¼” Y FM. TIYUYACU, SEGÚN CLASIFICACIÓN IADC.....	63
Tabla 2.6 DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO IADC DE LAS BROCAS TRICÓNICAS EMPLEADAS EN EL CAMPO SACHA.....	67
Tabla 2.7 DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO IADC DE LAS BROCAS PDC EMPLEADAS EN EL CAMPO SACHA.....	68
Tabla 2.8 CALIFICACIÓN IADC DE LAS BROCAS ESTUDIADAS.....	69
Tabla 2.9 PARÁMETROS DE PERFORACIÓN EN CADA BROCA.	71
Tabla 2.10 REOLOGÍA BÁSICA DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN PARA LA SECCIÓN 12 ¼” DE LOS POZOS DEL CAMPO SACHA.	76
Tabla 2.11 HIDRÁULICA PARA LAS BROCAS DE LA SECCIÓN 12 1/4".	79
Tabla 2.12 ESPESOR PERFORADO POR FORMACIÓN, SECCIÓN 12 ¼”.	81
Tabla 2.13 TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN POR BROCA, SECCIÓN 12 ¼".	83

Tabla 2.14 TASA DE PENETRACIÓN EFECTIVA POR BROCA EN LA SECCIÓN 12 1/4".	85
Tabla 2.15 ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (E_s), SECCIÓN 12 1/4".	89
Tabla 2.16 COSTO POR PIE DE LAS BROCAS QUE INTERVIENEN EN LA SECCIÓN 12 1/4".	94
Tabla 3.1 PORCENTAJE DE DESGASTE DE LA HILERA INTERIOR Y EXTERIOR BASADO EN ESCALA DE 0 A 8, SECCIÓN 12 1/4".	98
Tabla 3.2 CANTIDAD DE BROCAS POR CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DE DESGASTE, SECCIÓN 12 1/4".	101
Tabla 3.3 CANTIDAD DE BROCAS POR UBICACIÓN DE LOS CORTADORES DESGASTADOS, SECCIÓN 12 1/4".	102
Tabla 3.4 CANTIDAD DE BROCAS POR EFICACIA DE COJINETES Y SELLOS, SECCIÓN 12 1/4".	103
Tabla 3.5 CANTIDAD DE BROCAS "IN/OUT GAUGE", SECCIÓN 12 1/4".	103
Tabla 3.6 CANTIDAD DE BROCAS CON CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE SECUNDARIAS, SECCIÓN 12 1/4".	104
Tabla 3.7 CANTIDAD DE BROCAS POR RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA, SECCIÓN 12 1/4".	105
Tabla 3.8 PORCENTAJE DE DESGASTE DE LA HILERA INTERIOR Y EXTERIOR BASADO EN ESCALA DE 0 A 8, FM. TIYUYACU.	107
Tabla 3.9 CANTIDAD DE BROCAS POR CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DE DESGASTE, FM. TIYUYACU.	109
Tabla 3.10 CANTIDAD DE BROCAS POR UBICACIÓN DE LOS CORTADORES DESGASTADOS, FM. TIYUYACU.	110
Tabla 3.11 CANTIDAD DE BROCAS POR EFICACIA DE COJINETES Y SELLOS, FM. TIYUYACU.	111
Tabla 3.12 CANTIDAD DE BROCAS DENTRO/FUERA DE CALIBRE, EN LA FORMACIÓN TIYUYACU.	112
Tabla 3.13 CANTIDAD DE BROCAS CON CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE SECUNDARIAS, FM. TIYUYACU.	113

Tabla 3.14 CANTIDAD DE BROCAS POR RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA, FM. TIYUYACU.....	115
Tabla 3.15 RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA CALIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.....	116
Tabla 3.16 RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA CALIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.....	117
Tabla 3.17 CALIFICACIÓN IADC DE BROCAS PDC QUE SALEN POR PRESENTAR BAJO ROP EN LA SECCIÓN 12 ¼” Y FM. TIYUYACU.....	118
Tabla 3.18 CANTIDAD DE BROCAS PDC/TRICÓNICAS, SECCIÓN 12 ¼” Y TIYUYACU.....	120
Tabla 3.19 BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN LA CANTIDAD USADAS POR POZO, SECCIÓN 12 ¼”.....	121
Tabla 3.20 BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN LA CANTIDAD USADAS POR POZO, FM. TIYUYACU.....	123
Tabla 3.21 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON ALTA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.....	126
Tabla 3.22 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.....	128
Tabla 3.23 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.....	130
Tabla 3.24 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.....	133
Tabla 3.25 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON ALTA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.....	135
Tabla 3.26 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.....	137
Tabla 3.27 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.....	138
Tabla 3.28 CLASIFICACIÓN IADC DE BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD EN FRACCIÓN, SECCIÓN 12 ¼”.....	140
Tabla 3.29 CLASIFICACIÓN IADC DE BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD EN PORCENTAJE, SECCIÓN 12 ¼”.....	140

Tabla 3.30 CLASIFICACIÓN IADC DE BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD EN FRACCIÓN, FM. TIYUYACU.	141
Tabla 3.31 CLASIFICACIÓN IADC DE BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD EN PORCENTAJE, FM. TIYUYACU.	142
Tabla 3.32 VALORES ESTADÍSTICOS DE TORQUES SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, SECCIÓN 12 ¼”.....	145
Tabla 3.33 VALORES ESTADÍSTICOS DE TASAS DE FLUJO SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, SECCIÓN 12 ¼”.	148
Tabla 3.34 VALORES ESTADÍSTICOS DE PESO SOBRE LA BROCA SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, SECCIÓN 12 ¼”.	149
Tabla 3.35 VALORES ESTADÍSTICOS DE VELOCIDAD SOBRE LA BROCA SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, SECCIÓN 12 ¼”.....	153
Tabla 3.36 VALORES ESTADÍSTICOS DE TORQUES SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.	155
Tabla 3.37 VALORES ESTADÍSTICOS DE TASAS DE FLUJO SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.	157
Tabla 3.38 VALORES ESTADÍSTICOS DEL PESO SOBRE LA BROCA SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.	158
Tabla 3.39 VALORES ESTADÍSTICOS DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.	160
Tabla 3.40 RESUMEN DE VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS PARÁMETROS EN BROCAS DE ALTA EFICIENCIA, SECCIÓN 12 ¼”.	162
Tabla 3.41 RESUMEN DE VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS PARÁMETROS EN BROCAS DE ALTA EFICIENCIA, FM. TIYUYACU.	163
Tabla 3.42 FLUIDOS DE PERFORACIÓN CLASIFICADOS SEGÚN LA EFICIENCIA DE LA BROCA, SECCIÓN 12 ¼”.....	164
Tabla 3.43 FLUIDOS DE PERFORACIÓN CLASIFICADOS SEGÚN LA EFICIENCIA DE LA BROCA, FM. TIYUYACU.	165
Tabla 3.44 HIDRÁULICA EMPLEADA SEGÚN LA EFICIENCIA DE LA BROCA, SECCIÓN 12 ¼”.	166
Tabla 3.45 HIDRÁULICA EMPLEADA SEGÚN LA EFICIENCIA DE LA BROCA, FM. TIYUYACU.....	166

Tabla 3.46 BROCAS DE ALTA EFICIENCIA SEGÚN ESPESOR PERFORADO.	168
Tabla 3.47 BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA SEGÚN ESPESOR PERFORADO.	170
Tabla 3.48 BROCAS DE BAJA EFICIENCIA SEGÚN ESPESOR PERFORADO.	170
Tabla 3.49 BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN ESPESOR PERFORADO.	173
Tabla 3.50 CLASIFICACIÓN IADC DE LAS BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN EL ESPESOR PERFORADO.	174
Tabla 3.51 RESULTADOS POR EFICIENCIAS SEGÚN EL ESPESOR PERFORADO POR LAS BROCAS, SECCIÓN 12 ¼".	180
Tabla 3.52 TIEMPOS NETOS DE PERFORACIÓN PARA LA SECCIÓN 12 ¼" SEGÚN LA EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS.	182
Tabla 3.53 POZOS DE ALTA EFICIENCIA SEGÚN TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN, SECCIÓN 12 ¼".	185
Tabla 3.54 POZOS DE EFICIENCIA MEDIA SEGÚN TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN, SECCIÓN 12 ¼".	186
Tabla 3.55 POZOS DE BAJA EFICIENCIA SEGÚN TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN, SECCIÓN 12 ¼".	187
Tabla 3.56 POZOS DE MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN, SECCIÓN 12 ¼".	188
Tabla 3.57 BROCAS MÁS IMPORTANTES SEGÚN EL TIEMPO NETO PERFORADO PARA LA FM. TIYUYACU.	193
Tabla 3.58 CANTIDAD DE BROCAS AGRUPADAS SEGÚN LA ROP EFECTIVA PARA LA SECCIÓN 12 ¼".	194
Tabla 3.59 BROCAS CON ALTA ROP PARA LA SECCIÓN 12 ¼".	195
Tabla 3.60 BROCAS CON MEDIANA ROP PARA LA SECCIÓN 12 ¼".	197
Tabla 3.61 BROCAS CON BAJA ROP PARA LA SECCIÓN 12 ¼".	197
Tabla 3.62 BROCAS CON MUY BAJA ROP PARA LA SECCIÓN 12 ¼".	198
Tabla 3.63 RESUMEN POR GRUPO ROP, SECCIÓN 12 ¼".	199
Tabla 3.64 BROCAS MÁS IMPORTANTES SEGÚN LA TASA DE PENETRACIÓN EFECTIVA, FM. TIYUYACU.	203

Tabla 3.65 MEJORES BROCAS SEGÚN LA ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA, SECCIÓN 12 ¼".	204
Tabla 3.66 CORRESPONDENCIA DE COSTO POR PIE MUY FAVORABLE ENTRE BROCAS Y SECCIÓN 12 ¼" POR POZO.	212
Tabla 3.67 MUESTRA DE LA TABLA DEL ANEXO 9 CON SU ENCABEZADO	214
Tabla 3.68 BROCAS CON MAYOR PUNTAJE.	215
Tabla 3.69 BROCAS COINCIDENTES ENTRE E _s Y PUNTAJE ALCANZADO.	216
Tabla 4.1 PROPUESTA DEL PROGRAMA DE BROCAS SECCIÓN 12 ¼" DEL CAMPO SACHA, OPCIÓN 1.	218
Tabla 4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS BROCAS, OPCIÓN 1.	218
Tabla 4.3 PROPUESTA DEL PROGRAMA DE BROCAS SECCIÓN 12 ¼" DEL CAMPO SACHA, OPCIÓN 2.	219
Tabla 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS BROCAS, OPCIÓN 2.	220
Tabla 4.5 COSTO POR PIE DE LAS OPCIONES PROPUESTAS POR BROCAS Y POZOS, SECCIÓN 12 ¼".	220

ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute.	Instituto Americano del Petróleo.
bpd	barril de petróleo por día.	
BSW	Bassament Sediment and Water.	Porcentaje de Agua y Sedimento.
BHHP	Bit Hydraulic Horse Power.	Caballaje de Fuerza Hidráulica en la Broca.
Cant.	Cantidad.	
Congl.	Conglomerado.	
D	Pozo Direccional. (Acompaña a un número)	
Fm.	Formación.	
ft.	Feet. pies.	
H	Pozo Horizontal. (Acompaña a un número)	
HSI	Horsepower per square inch.	Índice de limpieza de los recortes en el anular.
IADC	Asociación Internacional de Contratistas de Perforación.	
ITGE	Instituto Tecnológico GeoMinero de España.	
MDC	Mauro Dávalos Cordero.	
MRNNR	Ministerio de Recursos Naturales No Renovables.	
N/A	No Aplica.	
PDC	Broca de Compacto de Diamante Policristalino.	
Prof.	Profundidad.	
POOH	Pull out of hole.	Profundidad de salida de la broca a superficie.

ROP	Tasa de Penetración.	
S/D	Sin Dato.	
SHE	Secretaría de Hidrocarburos Ecuador.	
ST	Steel Tooth.	Dientes de Acero.
TFA	Total Flow Area.	Área Total de Flujo.
TCI	Tungsten Carbide Inserts.	Dientes de Insertos de Carburos de Tungsteno.
T.I.	Terciario Indiferenciado.	
t	Tiempo.	
TRIC	Broca Tricónica.	
TSP	Broca de Diamante Policristalino Térmicamente Estable.	
V	Pozo vertical. (Acompaña a un número)	

RESUMEN

El presente trabajo está estructurado en cinco capítulos, los cuales se detallan a continuación:

En el primer capítulo se describe la ubicación, reseña histórica y geología estimada del Campo Sacha. Contiene también las características específicas de la Formación Tiyuyacu, entre ellas antecedentes, edad, sedimentología, litología y problemas específicos de perforación. Además se encuentran conceptos teóricos acerca de los parámetros y factores de perforación asociados a la broca.

El segundo capítulo inicia con las bases teóricas acerca de las brocas, previo realizar la descripción y estudio de los reportes de perforación de la Sección 12 1/4" en pozos perforados del Campo Sacha, seguido de la caracterización de brocas, parámetros y factores asociados a la perforación. Se efectúa también la aplicación de la ecuación de energía mecánica específica y costo por pie perforado con la información antes recopilada.

En el tercer capítulo se analiza de forma técnico-económica los resultados del desempeño de las brocas en la sección intermedia, empleando métodos: estadísticos, de energía mecánica específica y costo por pie perforado.

El cuarto capítulo incluye la propuesta del programa de brocas junto con los parámetros óptimos para la perforación de la sección, resultado de los análisis establecidos en el capítulo anterior.

Finalmente, en el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo, orientado a implementar los programas de brocas propuestos.

PRESENTACIÓN

En las operaciones de perforación del Campo Sacha, que cuenta con reservas de crudo para más de 30 años, intervienen varias formaciones, una de ellas es la Formación Tiyuyacu, la cual presenta características complejas al momento de realizar las operaciones. Para ello se requiere un estudio de las mismas, y posterior determinación de parámetros adecuados de perforación, principalmente la selección de la broca con mayor eficiencia; a la par de un estudio económico.

La perforación del conglomerado chert de la Formación Tiyuyacu comúnmente se hace con brocas Tricónicas, aunque algunas compañías operadoras han optado por usar brocas PDC en ciertos pozos, obteniendo buenos resultados. Por lo cual este estudio haciendo uso del método de energía mecánica, apoyado por análisis estadístico y económico determina la efectividad de las diversas prácticas operativas presentadas en 28 pozos, abarcando el estudio de 66 brocas en base a sus reportes.

Finalmente se emiten dos propuestas de brocas junto a parámetros óptimos que tanto técnica como económicamente obtienen los mejores resultados en las operaciones de perforación para la Formación Tiyuyacu en la Sección de 12 ¼", encaminadas a la eficiencia de las operaciones de perforación en el Campo Sacha.

CAPÍTULO 1

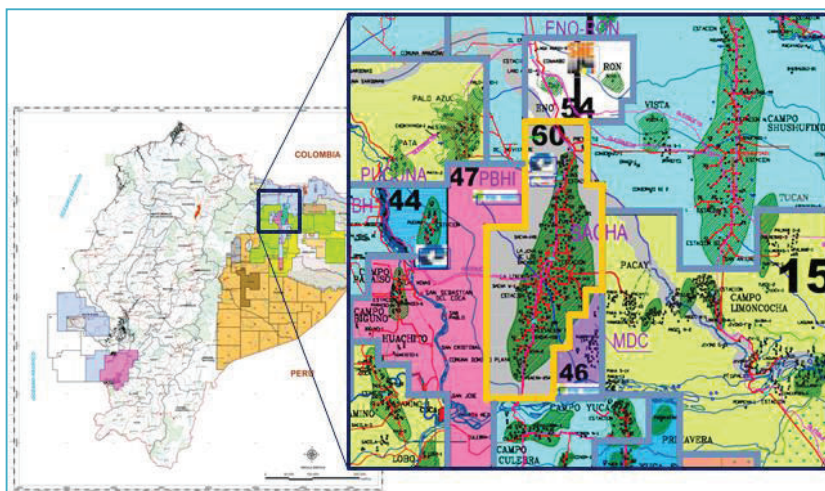
DESCRIPCIÓN DE LA FORMACIÓN TIYUYACU

1.1. GENERALIDADES DEL CAMPO SACHA

1.1.1. UBICACIÓN

El Campo Sacha se localiza en la provincia de Orellana, en el cantón la Joya de los Sachas (Figura 1.1), bloque 60. Al Norte limita con el Bloque 54 -Campo Eno Ron-, al Sur con el Bloque 61- Campo Culebra-, al Este con el Bloque 46 -Campo MDC- y con el Bloque 57 -Campo Shushufindi y Campo Vista-, al Oeste con el Bloque 47 -Campos Paraíso y Huachito-; con una superficie aproximada de 120 km².

Figura 1.1 UBICACIÓN DEL CAMPO SACHA.



Fuente: MRNR y SHE.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

El Campo Sacha, cartográficamente se ubica en las siguientes coordenadas:

- Coordenadas angulares: latitud 0°18'27.48"S, longitud 76°51'44.96"O.
- Grados Decimales: -0.30763225, -76.862488.
- UTM: 18M 292717.932 m E 9965979.296 m S.

1.1.2. RESEÑA HISTÓRICA

El 21 de enero de 1969 el consorcio Texaco-Gulf descubrió el Campo Sacha con la perforación del pozo exploratorio SAC-01, empleando una torre helitransportable, el cual alcanzó una profundidad de 10160 [ft] con una producción inicial de 1328 bpd con 29,9° API y un BSW de 0,1%; petróleo proveniente de la arena Hollín Inferior.

El 06 de julio de 1972 el campo entró en producción con un promedio de 29269 bpd en este mes, en noviembre de ese mismo año alcanzó su máxima producción histórica con 117591 bpd.

Actualmente Sacha, considerado campo maduro, es uno de los más importantes campos petroleros del Ecuador, una producción promedio de 75000 bpd de crudo liviano de 26,0° API, según información tomada del informe de producción de mayo del 2015 de la Empresa Río Napo.

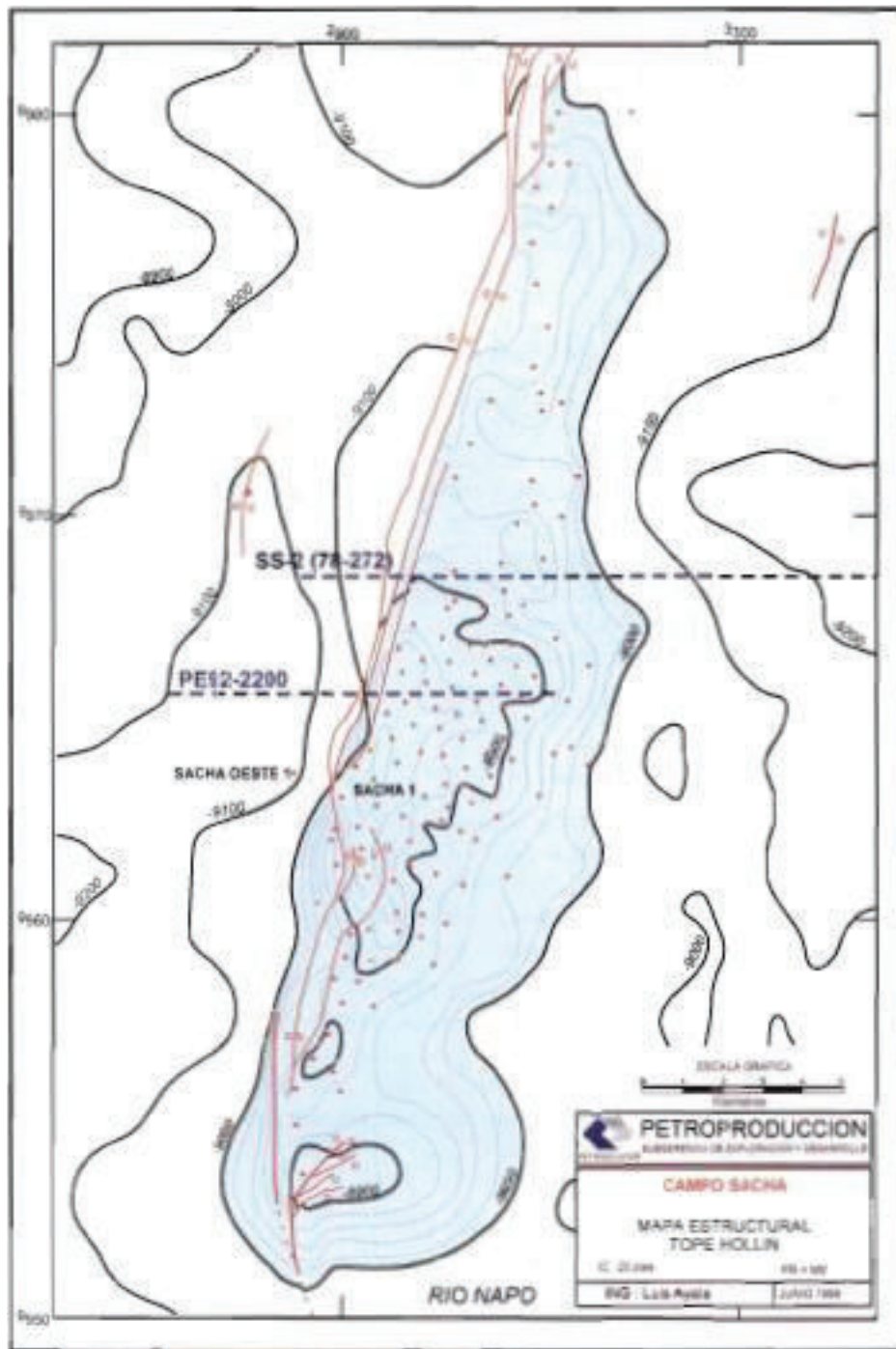
1.1.3. GEOLOGÍA ESTIMADA DEL CAMPO SACHA

1.1.3.1. Estructura Geológica.

La estructura Sacha se encuentra localizada al occidente del "play central" (corredor Sacha-Shushufindi). Se presenta como un anticlinal de dirección NNE-SSO (Figura 1.2) limitado al oeste por una falla transpresional dextral. Sus dimensiones son: 4 km de ancho al norte, ensanchándose al centro y sur con

cerca de 7 km; y de largo aproximadamente 33 km, comprendiendo un área de 32167 acres (13018 ha). Posee un cierre estructural de 200 ft. (Baby *et al*, 2004).

Figura 1.2 MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO SACHA.

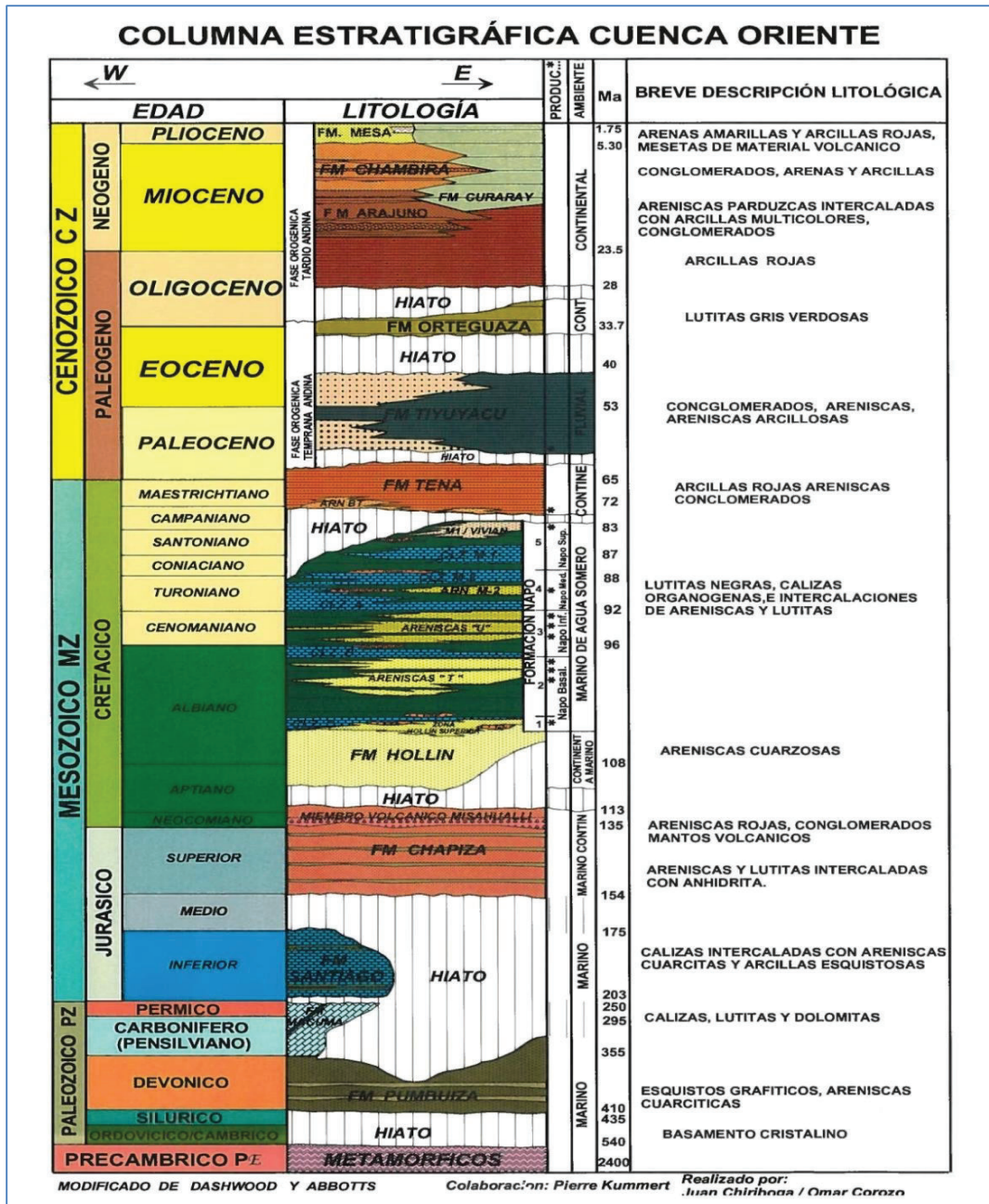


Fuente: "LA CUENCA ORIENTE: Geología y Petróleo", BABY *et al*, 2004.

1.1.3.2. Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriente.

La columna estratigráfica de la Cuenca Oriente se presenta en la Figura 1.3.

Figura 1.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CUENCA ORIENTE.





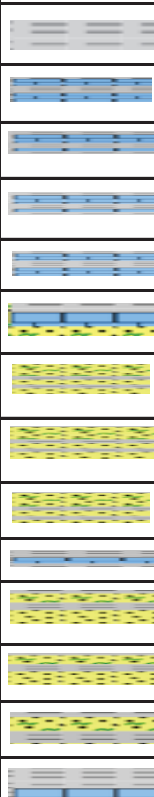



Fuente: Archivos ARCH.

1.1.3.3. Columna Estratigráfica del Campo Sacha.

La columna estratigráfica del Campo Sacha se visualiza en la Figura 1.4.

Figura 1.4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CAMPO SACHA.

EDAD	LITOLOGÍA	FORMACIÓN	MIEMBRO	TOPE Cortes MD (pies)
Cuaternario		INDIFERENCIADO		
Oligoceno		ORTEGUAZA		5.495
Eoceno		TIYUYACU		6.345
			Basal Conglomerado	7.576
Paleoceno		TENA	Tena	8.044
			Basal Tena	8.925
Cretaceo Superior		Formación Napo	Napo	8.934
			Zona Caliza "M-1"	9.161
			Caliza "M-2"	9.357
			Base Caliza "M-2"	9.408
			Caliza "A"	9.491
			Base Caliza "A"	9.592
			Arenisca "U" Superior	9.619
			Arenisca "U" Inferior	9.660
			Base Arenisca "U" Inferior	9.686
			Caliza "B"	9.778
			Arenisca "T" Superior	9.796
			Arenisca "T" Inferior	9.865
			Base Arenisca "T" Inferior	9.936
			Caliza "C"	10.046
Cretaceo Inferior		Formación Hollín	Hollín Superior	10.052
			Hollín Inferior	10.087

Fuente: Archivos ARCH.

1.1.3.4. Yacimientos Productores.

Los principales reservorios identificados en el campo Sacha son: Hollín Inferior, Hollín Superior, Arenisca “T” Inferior, Arenisca “T” Superior, Arenisca “U”, Basal Tena.

1.1.3.5. Estratigrafía y Litología.

La geología descrita en este capítulo es elaborada en base a reportes geológicos de los pozos SAC-340D, 352D, 355D, 373H, 380V, 382D, 383H, 384D, 420D, cuya ubicación se muestra en la tabla 1.1:

Tabla 1.1 UBICACIÓN DE POZOS CON REPORTES GEOLÓGICOS.

Pozo	Coordenadas UTM de Superficie	
	Y [mts]	X [mts]
340D	9'954,925.12 N	288,749.21 E
352D	9'958,065.99 N	292,820.00 E
355D	9'958,064.51 N	292,850.00 E
373H	9,953,835.20 N	292,273.53 E
380V	9'953,465.94 N	290,797.41 E
382D	9'951,802.56 N	291,045.01 E
383H	9'952,284.30 N	291,209.30 E
384D	9'951,802.56 N	291,010.01 E
420D	9'956,714.00 N	294,583.01 E

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

En las tablas de la 1.2 a la 1.19 se detalla la litología reportada para cada uno de estos pozos, acorde a la formación descrita, a partir de la Formación Ortegüaza hasta la Formación Hollín Inferior.

1.1.3.5.1. Formación Mesa.

Edad: Plioceno (Neógeno).

De ambiente deposicional continental, conformada por una serie de terrazas producto de la erosión de la Sierra, posee arenas (amarillas) y arcillas (rojas), se presentan como mesetas de material volcánico.

1.1.3.5.2. Formación Chambira.

Edad: Plioceno (Neógeno).

Compuesta por conglomerados cherts y cuarzo lechoso, se diferencian a su vez areniscas tobáceas y conglomerados con intercalaciones de arcillas bentoníticas con presencia de carbón y ciertas intercalaciones de lutitas (verde-azul), su ambiente de depositación corresponde a continental, depositados por erosión de la cordillera. (Baby et al., 1997).

1.1.3.5.3. Formación Arajuno.

Edad: Mioceno Superior (Neógeno).

Se distinguen tres unidades depositadas en un ambiente continental: la unidad superior compuesta de areniscas con lignitos; la unidad intermedia posee arcillas rojizas con yeso en la base y tobas al tope; y la unidad inferior compuesta por conglomerados con intercalaciones de arcillas bentoníticas.

1.1.3.5.4. Formación Chalcana.

Edad: Mioceno Medio – Oligoceno Superior (Neógeno- Paleógeno).

Compuesta por una capa roja de arcillolitas y lutitas abigarradas cuyo tope se intercala con areniscas cuarzosas de grano medio y fino. De ambiente deposicional continental reductor.

1.1.3.5.5. Formación Ortegüaza.

Edad: Oligoceno Inferior - Eoceno Superior (Paleógeno).

Depositado en una mezcla de ambientes, que abarca una plataforma abierta, zonas bajo influencia de mareas y una llanura aluvial. La Formación Ortegüaza está constituida exclusivamente de lutita con intercalaciones de arenisca, limolita y arcillolita. En la tabla 1.2 se diferencian tres intervalos, siendo estos:

- Intervalo Superior: la parte superior de la formación está constituida principalmente por una lutita (gris verdosa, gris clara).
- Intervalo Medio: la parte media presenta limolita (gris clara, gris verdosa), arcillolita (café rojizo, crema, amarillenta), lutita (gris verdosa, gris clara) y en ocasiones arenisca (amarillenta, subtransparente).
- Intervalo Inferior: el intervalo inferior está conformado por arenisca (amarillenta, clara), limolita (gris clara, gris verdosa) y lutita (gris verdosa, gris clara).

1.1.3.5.6. Descripción de la Formación Tiyuyacu.

Edad: Eoceno Inferior – Paleoceno Superior (Paleógeno).

Previo a los conglomerados, y como se aprecia en la tabla 1.3, la Formación Tiyuyacu está constituida básicamente por arcillolita (crema, café-amarillenta, café-rojiza) con intercalaciones de arenisca (clara, blanca, amarillenta), y en ciertas partes intercalaciones de limolita (gris clara, gris verdosa). Se depositó en un ambiente tipo fluvial y corresponde a ríos proximales intermitentes o con larga estación seca (Marocco et al., 1996).

Tabla 1.2 LITOLOGÍA POR INTERVALOS FM. ORTEGÜAZA, POZOS DEL CAMPO SACHA.

		Pozo								
Formación	Intervalo	340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Ortegüaza	Intervalo Superior	Lutita	Lutita	Lutita	Lutita	Lutita	Lutita	Lutita	Lutita	Lutita
	Intervalo Medio	Arenisca, Limolita, Arcillolita, Lutita	Limolita, Arcillolita, Lutita.	Limolita, Arcillolita, Lutita.	Limolita, Arcillolita, Arenisca, Lutita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita, Lutita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita, Lutita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita, Lutita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita, Lutita.	Limolita, Arcillolita, Lutita, Arenisca.
	Intervalo Inferior	Arenisca, Limolita, Lutita.	Arenisca, Limolita, Lutita.	Arenisca, Limolita, Lutita.	Limolita, Lutita.	-	-	-	-	Lutita, Limolita, Arenisca.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Tabla 1.3 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, FM. TIYUYACU, POZOS DEL CAMPO SACHA.

		Pozo								
Formación	Intervalo	340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Tiyuyacu	Único	Arenisca, Arcillolita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita.	Arcillolita, Arenisca, Limolita	Arenisca, Limolita, Arcillolita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita.	Arenisca, Arcillolita.	Arenisca, Arcillolita.	Arcillolita, Limolita, Arenisca.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.6.1. Conglomerado Superior Tiyuyacu.

Edad: Eoceno Inferior (Paleógeno).

Conformado principalmente por conglomerado cuarzoso con lentes de chert. En la tabla 1.4 se observan tres intervalos diferentes, siendo estos:

- Intervalo Superior: Presencia de conglomerado cuarzoso (blanco amarillento), conglomerado chert (negro, gris claro, gris oscuro y mostaza), arenisca (blanca lechosa, blanca amarillenta y gris clara), arcillolita (café

rojiza, café amarillenta, amarilla) y raras ocasiones limolita (gris clara, gris verdosa, gris oscuro).

- Intervalo Medio: Preferencialmente arcillolita (café amarillenta, café rojiza, crema), con intercalaciones de limolita (gris clara, gris verdosa, gris oscuro), arenisca cuarzosa (blanca y amarillenta) y conglomerado cuarzoso (amarillento, blanco lechoso).
- Intervalo Inferior: Conglomerado chert (amarillo, mostaza, ámbar, gris claro, negro) y arcillolita (café rojiza, gris clara, crema, amarillenta).

Tabla 1.4 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CONGLOMERADO TIYUYACU SUPERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Conglomerado Tiyuyacu Superior	Intervalo Superior	Congl., Arenisca, Arcillolita.	Congl., Arenisca, Arcillolita.	Congl., Arenisca, Arcillolita.	Congl., Arenisca, Arcillolita.	Congl. cuarzoso, Congl. Chert.	Congl. cuarzoso, Congl. Chert.	Congl. cuarzoso, Congl. Chert.	Congl. cuarzoso, Congl. Chert.	Congl., Arenisca, Limolita, Arcillolita.
	Intervalo Medio	Limolita, Arcillolita	Arcillolita.	Arenisca, Arcillolita.	Arcillolita Limolita	Congl. cuarzoso, Arcillolita.	Arcillolita.	Arcillolita.	Arcillolita.	Arcillolita Arenisca.
	Intervalo Inferior	Congl., Arcillolita.	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.6.2. Conglomerado Inferior Tiyuyacu.

Edad: Paleoceno Superior (Paleógeno).

Este nivel está constituido principalmente por conglomerado chert con algunas intercalaciones hacia el tope con arcillolita, mientras que hacia la base por arcillolita y conglomerado cuarzoso.

En la tabla 1.5 se observan tres intervalos diferentes, siendo éstos:

- Intervalo Superior: Compuesto por conglomerado chert (mostaza, negro, gris claro), con intercalaciones de arcillolita (café amarillenta, café rojiza, crema) a nivel superior, medio e inferior.
- Intervalo Medio: Predominantemente conglomerado chert (mostaza, negro, gris oscuro), con leves intercalaciones de arenisca cuarzosa (gris clara, negra y blanca) y arcillolita (café rojiza, crema) hacia su parte inferior.
- Intervalo Inferior: Presencia de conglomerado chert (negro, mostaza, gris oscuro) y conglomerado cuarzoso (blanco, amarillento, amarillo), con intercalaciones a nivel superior e inferior de arcillolita (café rojiza, crema, café amarillenta).

Tabla 1.5 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CONGLOMERADO TIYUYACU INFERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Conglomerado Tiyuyacu Inferior	Intervalo Superior	Conglomerado Chert.	Conglomerado, Arenisca, Arcillolita.	Conglomerado Chert, Arcillolita.	Arcillolita, Conglomerado Chert.	Conglomerado Chert, Arcillolita.	Conglomerado Chert, Arcillolita.	Conglomerado Chert, Arcillolita.	Conglomerado Chert, arcillolita	Conglomerado Chert, Arcillolita.
	Intervalo Medio	Conglomerado, Arenisca, Arcillolita	Conglomerado, Arenisca, Arcillolita.	-	Conglomerado Chert, Arenisca, Arcillolita, Conglomerado.	Conglomerado Chert.	Conglomerado Chert.	Conglomerado Chert.	Conglomerado Chert	Conglomerado Chert.
	Intervalo Inferior	-	-	-	-	Congl. Chert, Congl. cuarzoso, Arcillolita.	Congl. Chert, Congl. cuarzoso, Arcillolita.	Conglomerado cuarzoso, Arcillolita.	Conglomerado cuarzoso, Arcillolita	Arcillolita, Congl. Chert, Arenisca, Congl. cuarzoso.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.7. Formación Tena.

Edad: Paleoceno Inferior (Paleogeno) – Maeestrichtiano (Cretácio Superior).

Esta formación está compuesta principalmente por arcillolita (chocolate, café rojiza, café amarillenta) con intercalaciones de limolita (gris verdosa, gris clara) y caliza (crema). Ver tabla 1.6.

Tabla 1.6 LITOLÓGÍA POR INTERVALOS, FM. TENA, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Tena	Único	Limolita, Arcillolita, Caliza.	Arenisca, Limolita, Arcillolita, Caliza.	Limolita, Arcillolita, Caliza.	Arcillolita, Limolita, Caliza.	Limolita, Arcillolita, Caliza.	Limolita, Arcillolita, Caliza.	Limolita, Arcillolita, Caliza.	Limolita, Arcillolita, Caliza.	Arcillolita, Limolita, Caliza.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Tabla 1.7 LITOLÓGÍA POR INTERVALOS, BASAL TENA, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Basal Tena	Único	Arenisca, Arcillolita, Lutita.	Arenisca, Arcillolita, Lutita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita, Caliza.	Arenisca, Limolita.	Arenisca, Limolita.	Arenisca, Limolita.	Arenisca, Limolita.	Arenisca, Limolita, Arcillolita, Caliza.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.7.1. Basal Tena.

Edad: Maeestrichtiano (Cretácico Superior)

Este nivel está compuesto principalmente por un cuerpo de arenisca cuarzosa (gris clara, café clara, blanca) con intercalaciones de limolita (gris clara, gris

verdosa), arcillolita (chocolate, café amarillenta, café rojiza y crema), caliza (crema), y raras ocasiones lutita (gris oscura, negra). Depositado en un ambiente fluvial, evolucionando a marginal marino. Ver tabla 1.7.

1.1.3.5.8. Formación Napo.

Edad: La edad del grupo Napo está comprendida entre el Cretácico Superior y el Cretácico Inferior. El estrato superior de la formación corresponde al Campaniano y Santoniano Superior.

La Formación Napo está constituida por una secuencia intercalada de lutitas (gris clara-oscura, negra), areniscas cuarzosas (gris oscura, gris claro) y calizas (crema, gris clara, negra). En general, se cree que se depositó en una plataforma marina estable, en la cual se presentaron períodos tanto transgresivos como regresivos. Ver tabla 1.8.

Tabla 1.8 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, FM. NAPO, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Napo	Único	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.1. Caliza "M-1".

Edad: Santoniano Inferior. (Cretácico Superior)

Este nivel estratigráfico está compuesto por caliza intercalada con lutita. Posee dos secciones, como se observa en la tabla 1.9.

- Intervalo Superior: Intercalaciones entre lutita (gris oscura, gris, negra) y caliza (blanca, gris clara, crema, negra).
- Intervalo Inferior: Constituido principalmente por lutita (gris oscura, gris claro, negra) con lentes de caliza (negra, crema) hacia la parte media e inferior.

Tabla 1.9 LITOLÓGÍA POR INTERVALOS, CALIZA M-1, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Caliza "M-1"	Intervalo Superior	Lutita, Caliza.	Caliza crema, Caliza negra, Lutita.	Caliza, Lutita.	Caliza, Lutita.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Caliza, Lutita.
	Intervalo Inferior	-	-	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.2. Caliza "M-2".

Edad: Turoniano Superior (Cretácico Superior).

Este miembro está compuesto principalmente por caliza, con intercalaciones de lutita. Se diferencian hasta tres secciones, como se observa en la tabla 1.10.

- Intervalo Superior: Intercalaciones entre lutita (negra, gris claro, gris oscura) y caliza (crema, blanca, negra, gris oscura).
- Intervalo Medio: Lutita (negra, gris claro, gris oscura) intercalada con caliza (crema, gris oscuro, café oscuro, café clara) en la parte superior e inferior y arenisca cuarzosa glauconítica (gris clara) en la parte inferior.
- Intervalo Inferior: Intercalaciones entre lutita (negra, gris oscura, gris claro) y caliza (crema, gris claro).

Tabla 1.10 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CALIZA M-2, POZOS DEL CAMPO SACHA.

		Pozo								
Formación	Intervalo	340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Caliza "M-2"	Intervalo Superior	Lutita, Caliza.	Caliza, Lutita.	Caliza, Lutita.	Caliza, Lutita.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Caliza, Lutita.
	Intervalo Medio	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	-	Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.
	Intervalo Inferior	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.3. Caliza "A".

Edad: Turoniano Medio – Turoniano Inferior (Cretácico Superior)

Este miembro está constituido principalmente por un cuerpo masivo de caliza. Podemos identificar hasta tres intervalos de intercalaciones entre lutitas (negra) y calizas (crema, gris clara), diferenciándose en su intervalo medio por la presencia de calizas de color gris clara, negra. Ver tabla 1.11.

1.1.3.5.8.4. Arenisca "U".

Nivel estratigráfico comprendido por areniscas con intercalaciones de lutita y caolín o caliza.

1.1.3.5.8.4.1. Arenisca "U" Superior.

Edad: Cenomaniano Medio (Cretácico Superior).

Compuesto por arenisca cuarzosa glauconítica (café clara, blanca, gris clara) con intercalaciones de lutita (negra) y lentes de caliza (crema, gris clara) en la parte superior. Ver tabla 1.12.

Tabla 1.11 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CALIZA “A”, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Caliza “A”	Intervalo Superior	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Caliza, Lutita.	Caliza, Lutita.	Lutita, Caliza.	Caliza.	Caliza.	Caliza.	Caliza, Lutita.
	Intervalo Medio	-	-	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.
	Intervalo Inferior	-	-	-	-	-	-	Lutita, Caliza.	-	-

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Tabla 1.12 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA “U” SUPERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Arenisca “U” Superior	Único	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita, Caliza.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.4.2. Arenisca “U” Inferior.

Edad: Cenomaniano Medio (Cretácico Superior)

Compuesta por un cuerpo principal de arenisca cuarzosa con lentes de lutita. Se distinguen tres intervalos, como se observa en la tabla 1.13.

- Intervalo Superior: Se presenta arenisca cuarzosa (café clara, gris clara, blanca), lutita (negra, gris oscuro) y ocasionalmente caolín (crema) y caliza (blanca, negra, crema); rara vez carbón (negro, café oscuro).
- Intervalo Medio: Compuesto uniformemente por lutita (negra, gris oscura) y caliza (crema, gris oscura).
- Intervalo Inferior: Presencia de lutita (negra), arenisca cuarzosa (blanca, café clara) con caliza (crema, gris clara).

Tabla 1.13 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA “U” INFERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Arenisca “U” Inferior	Intervalo Superior	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caliza, Caolín, Carbón.
	Intervalo Medio	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Arenisca, Caolín.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.
	Intervalo Inferior	-	-	-	Arenisca, Lutita.	-	-	Lutita, Caliza.	-	-

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.5. Caliza “B”.

Edad: Cenomaniano Medio a Albiano Superior (Cretácico Inferior).

Este miembro está compuesto por caliza (crema, gris clara, gris oscura) con lentes de lutita (gris oscura, gris clara, negra). Ver tabla 1.14.

Tabla 1.14 LITOLÓGÍA POR INTERVALOS, CALIZA “B”, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Caliza “B”	Único	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	-	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	-	Lutita, Caliza.	Caliza, Lutita.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.6. Arenisca “T” Superior.

Edad: Albiano Superior (Cretácico Inferior).

Compuesto por areniscas glauconíticas, intercaladas con lutitas y capas de calizas. Presenta dos intervalos, donde el intervalo inferior aparece ocasionalmente, ver en tabla 1.15.

- Intervalo Superior: Compuesto por arenisca cuarzosa glauconítica (gris verdosa, gris clara, café), lutita (negra, gris oscura, gris clara) y caliza (gris clara, crema, gris oscura).
- Intervalo Inferior: Arenisca cuarzosa (blanca) y lutita (gris clara, gris oscura, negra).

1.1.3.5.8.7. Arenisca “T” Inferior.

Edad: Albiano Superior (Cretácico Inferior).

Compuesto por areniscas intercaladas con capas de lutita y caolín. Se diferencian dos intervalos; ver tabla 1.16.

- Intervalo Superior: Arenisca cuarzosa (café clara, blanca amarillenta, gris clara), lutita (gris oscura, gris clara, negra), y caolín (crema y café claro).

- Intervalo Inferior: Se caracteriza por presentar caliza (blanca, gris clara, crema) en la parte superior y lutita (gris clara, gris oscura y negra) en la parte inferior.

Tabla 1.15 LITOLÓGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA “T” SUPERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Arenisca "T" Superior	Intervalo Superior	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita, Caliza.	-	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	-	Arenisca, Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.
	Intervalo Inferior	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita.	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Tabla 1.16 LITOLÓGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA “T” INFERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Arenisca "T" Inferior	Intervalo Superior	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caolín, Caliza.	-	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caolín.	-	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caolín.
	Intervalo Inferior	Lutita, Caliza.	Arenisca, Lutita, Caliza.	Lutita.	-	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	-	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.8. Caliza “C”.

Edad: Albiano Superior (Cretácico Inferior).

Principalmente compuesto por una caliza (crema, gris clara, gris oscuro, negra) suave intercalado con lutita (gris oscura, gris clara y negra). Ver tabla 1.17.

Tabla 1.17 LITOLOGÍA POR INTERVALOS, CALIZA “C”, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Caliza "C"	Único	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	-	Lutita, Caliza.	Lutita, Caliza.	-	Lutita, Caliza.	Caliza, Lutita.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.9. Formación Hollín.

Edad: Albiano Inferior – Aptiano Superior (Cretácico Inferior).

La formación Hollín está conformada por areniscas intercaladas con niveles de lutitas. Su ambiente sedimentario corresponde a fluvial evolucionando a un ambiente platafórmico, posiblemente estuarino, con influencia mareal. Litológicamente se diferencian dos cuerpos:

1.1.3.5.8.9.1. Arenisca Hollín Superior.

Edad: Albiano Inferior (Cretácico Inferior).

Formado por arenisca cuarzosa (café clara, gris clara, café oscura, gris verdosa) intercalada con lutita (gris oscura, negra) y suele presentar una capa de caolín (crema) o caliza (gris oscura, crema). Ver tabla 1.18.

Tabla 1.18 LITOLÓGÍA POR INTERVALOS, ARENISCA HOLLÍN SUPERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Hollín Superior	Único	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita, Caolín.	-	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caolín.	-	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caliza.

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Tabla 1.19 LITOLÓGÍA POR INTERVALOS, HOLLÍN INFERIOR, POZOS DEL CAMPO SACHA.

Formación	Intervalo	Pozo								
		340D	352D	355D	373H	380V	382D	383H	384D	420D
Arenisca Hollín Inferior	Intervalo Superior	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Caolín.	Arenisca, Caolín.	-	Arenisca, Lutita, Caolín.	Arenisca, Lutita, Caolín.	-	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Lutita, Carbón, Caolín.
	Intervalo Medio	Arenisca, Lutita.	Arenisca, Caolín.	Arenisca.	-	Arenisca, Caolín.	Arenisca.	-	Arenisca.	-
	Intervalo Inferior	Arenisca, Lutita.	Arenisca.	-	-	-	-	-	Arenisca, Caolín.	-

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.5.8.9.2. Arenisca Hollín Inferior.

Edad: Aptiano Superior (Cretácico Inferior).

Nivel comprendido por un cuerpo principal de arenisca intercalada con delgadas capas de carbón y caolín en la parte superior. Se diferencian tres intervalos, como se observa en la tabla 1.19.

- Intervalo Superior: Comprende arenisca cuarzosa (café clara, blanca, gris clara) con presencia de intercalaciones entre lutita (gris oscura, gris clara, negra), caolín (café oscuro, crema) y carbón (negra).
- Intervalo Medio: Presenta principalmente arenisca cuarzosa (blanca) con intercalaciones de lutita (negra, gris oscura) o caolín (café y crema).
- Intervalo Inferior: Compuesto por arenisca cuarzosa (blanca), y ocasionalmente lutita (negra, gris oscura) o caolín (café, crema).

1.1.3.6. Resumen de Espesores y Profundidades.

Es necesario definir los espesores y profundidades específicos de cada formación identificados en el Campo Sacha. Esto se realiza en base a la data obtenida de los reportes de los pozos previamente descritos en lo que a geología se refiere.

Esta información será útil en los distintos análisis planteados más adelante en este trabajo, para el cálculo del costo por pie y el análisis estadístico.

1.1.3.6.1. Espesores.

Se considera como valores importantes el espesor mínimo, máximo y promedio para cada formación; ver tabla 1.29. Para una mejor visualización de los espesores en Sacha, esta información se presenta en el gráfico 1.1, donde se observa claramente lo que físicamente representan los espesores de cada formación, destacando los topes y bases de las mismas. Los pozos están ordenados de Norte a Sur (de izquierda a derecha) según su ubicación dentro del campo.

Como se visualiza en este muestreo, no siempre existe la información completa para todos los pozos.

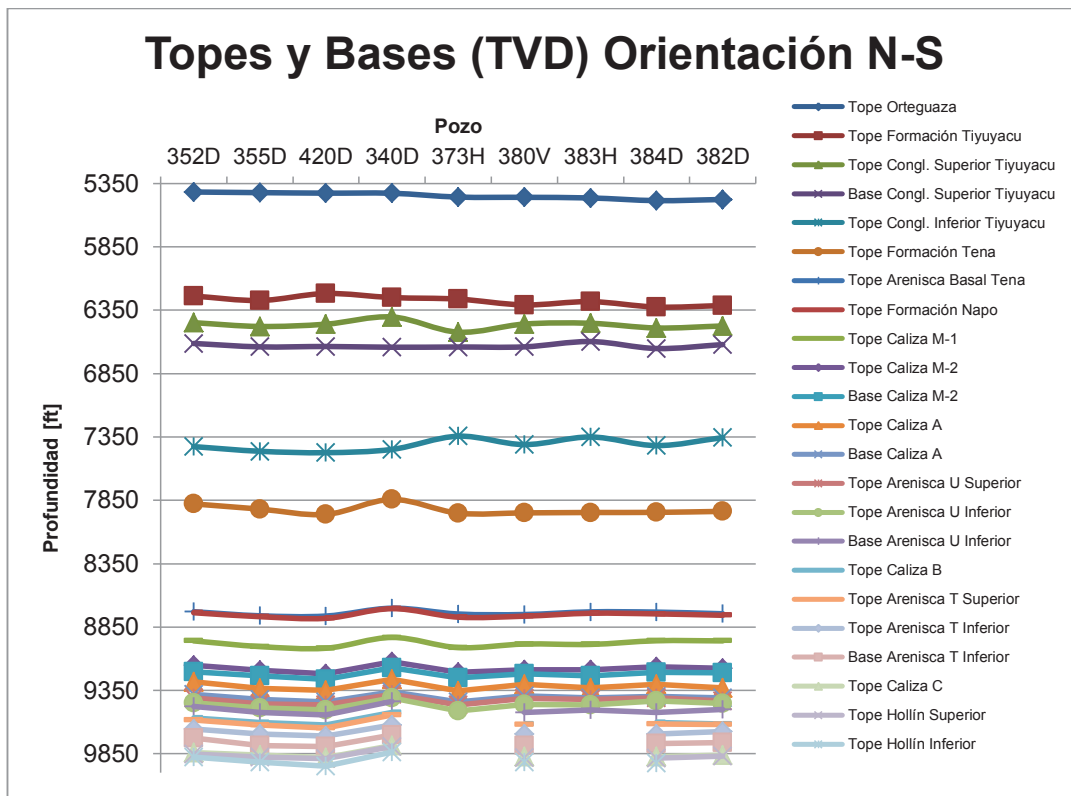
Tabla 1.20 RESUMEN DE ESPESORES DE LAS FORMACIONES DEL CAMPO SACHA.

FORMACIÓN	ESPESOR		
	Mínimo	Promedio	Máximo
Formación Ortegüaza	792	826,22	851
Formación Tiyuyacu	151	191,00	261
Conglomerado Superior Tiyuyacu	117	165,56	239
Conglomerado Inferior Tiyuyacu	395	515,67	607
Formación Tena	784	814,44	858
Arenisca Basal Tena	4	12,44	25
Formación Napo	202	226,78	246
Caliza M-1	188	199,89	217
Caliza M-2	30	42,78	50
Caliza A	78	89,56	100
Arenisca U Superior	22	35,56	47
Arenisca U Inferior	26	41,11	90
Caliza B	7	11,56	24
Arenisca T Superior	54	54,33	79
Arenisca T Inferior	71	65,11	93
Caliza C	7	7,33	14
Hollín Superior	24	27,11	60
Hollín Inferior	-	-	-

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Gráfico 1.1 TOPES Y BASES A LA PROFUNDIDAD TVD DE LAS FORMACIONES DEL CAMPO SACHA.



Fuente: Archivos ARCH.
Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

1.1.3.6.2. Profundidades.

Con la finalidad de representar la profundidad desde superficie, en el Campo Sacha, ésta se reporta en [ft], para la muestra de pozos seleccionados. Los datos se resumen en la tabla 1.21; en la última columna se ha calculado el promedio. En el gráfico 1.2., a diferencia del gráfico 1.1, se observa la profundidad promedio de cada formación para cada pozo del muestreo.

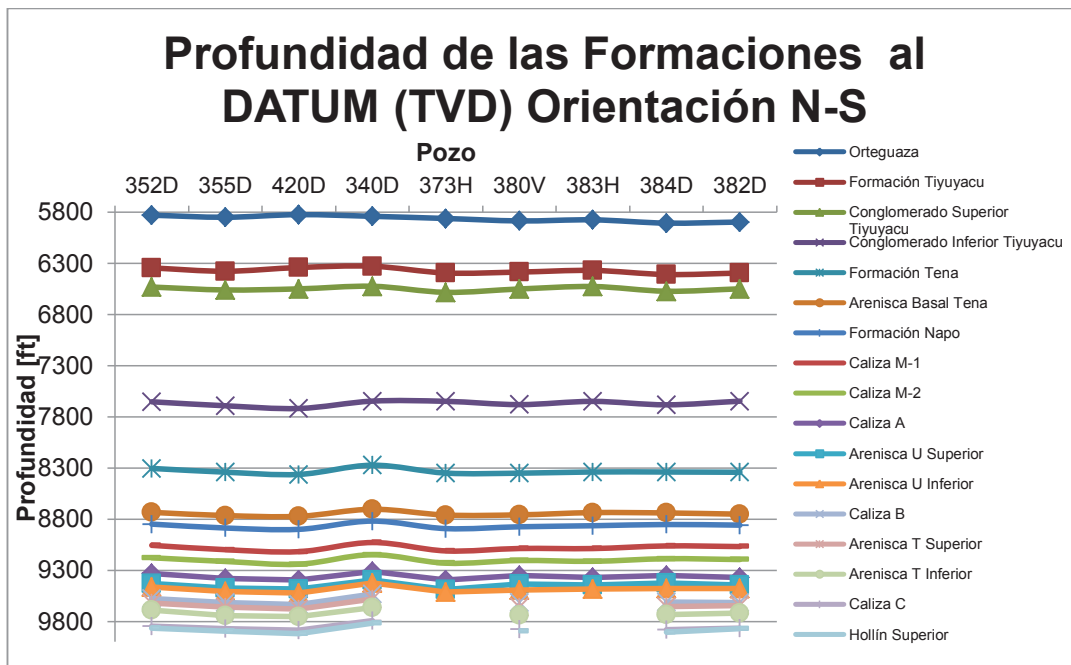
Tabla 1.21 RESUMEN DE PROFUNDIDADES (TVD), POZOS DE SACHA.

Pozo	Formación	Profundidad TVD al DATUM [ft]									
		352D	355D	420D	340D	373H	380V	383H	384D	382D	Promedio
Ortegüaza		5827,5	5847,5	5822,0	5838,5	5859,5	5883,5	5873,0	5905,0	5894,5	5861,22
Formación Tiyuyacu		6343,0	6375,5	6339,0	6326,5	6392,5	6383,5	6367,5	6407,5	6393,5	6369,83
Congl. Superior Tiyuyacu		6530,0	6558,5	6548,0	6522,5	6581,5	6549,0	6525,0	6571,0	6547,5	6548,11
Congl. Inferior Tiyuyacu		7652,0	7691,0	7717,5	7645,5	7647,5	7679,5	7648,0	7681,5	7646,0	7667,61
Formación Tena		8303,5	8340,0	8362,0	8272,0	8349,0	8350,0	8338,0	8338,5	8341,0	8332,67
Arenisca Basal Tena		8733,0	8764,5	8772,0	8703,0	8759,5	8757,5	8735,5	8739,0	8751,0	8746,11
Formación Napo		8848,0	8886,0	8899,0	8818,5	8892,0	8874,0	8864,0	8852,0	8858,0	8865,72
Caliza M-1		9055,5	9098,0	9117,5	9028,0	9110,0	9086,5	9087,0	9061,5	9067,5	9079,06
Caliza M-2		9177,0	9213,0	9240,0	9147,0	9230,0	9204,0	9211,5	9186,5	9194,5	9200,39
Caliza A		9333,0	9378,0	9394,5	9311,5	9396,0	9349,0	9370,0	9349,5	9368,5	9361,11
Arenisca U Superior		9430,0	9471,5	9485,0	9394,5	9488,5	9436,0	9443,0	9421,5	9442,0	9445,78
Arenisca U Inferior		9463,0	9505,5	9524,0	9422,0	9512,0	9491,5	9484,0	9478,0	9477,0	9484,11
Caliza B		9576,0	9613,0	9633,0	9534,0	-	9616,5	-	9610,0	9616,5	9599,86
Arenisca T Superior		9619,5	9658,0	9676,5	9582,5	-	9657,0	-	9655,0	9647,0	9642,21
Arenisca T Inferior		9689,5	9740,5	9751,0	9662,0	-	9739,0	-	9732,5	9718,5	9719,00
Caliza C		9846,0	9868,0	9885,5	9789,5	-	9875,0	-	9878,0	9865,0	9858,14
Hollín Superior		9863,0	9896,0	9919,0	9816,0	-	9896,5	-	9902,5	9869,0	9880,29

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Gráfico 1.2 PROFUNDIDAD PROMEDIO DE LAS FORMACIONES DEL CAMPO SACHA.



1.1.3.7. CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LA FORMACIÓN TIYUYACU.

1.1.3.7.1. Antecedentes.

La formación fue bautizada en honor a la comunidad kichwa Tiyuyacu localizada en la provincia de Napo, cantón Tena. Los geólogos de la Shell fueron quienes reconocieron por primera vez esta formación en 1938 en su exploración a la Cuenca Oriental del Ecuador, ya en 1939 fue descrita por P. Hess (citado por Tschopp en 1948) en informes no publicados de geólogos de la Texaco y la Shell. Más tarde, en 1948, se realizó la primera publicación con el nombre de Tiyuyacu bajo la autoría de Tschopp.

En 1953, Tschopp estima el espesor de Tiyuyacu empleando datos de pozo y estudios foto-geológicos. En 1990, Dashwood y Abbot generan el primer mapa

isópaco de esta formación. Posteriormente, en el 2002, en colaboración entre Petroproducción y el IRD (Institut Français de Recherche pour le Développement), mediante la compilación de datos de aproximadamente 200 pozos, se realizan los mapas isópacos de la formación.

1.1.3.7.2. Edad.

Evidencia faunística y palinológica sitúan a la Formación Tiyuyacu como máximo en un Eoceno Temprano (G. Ruiz, 2002). Sin embargo, otros estudios usando termocronología con $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ sitúan al Conglomerado Superior Tiyuyacu en el Eoceno Medio.

1.1.3.7.3. Sedimentología.

La Formación Tiyuyacu aflora principalmente en el hundimiento sur del Levantamiento Napo, así mismo en el norte de la zona subandina: en el campo Bermejo; y al sur en la Cordillera de Shaime (este de la Cordillera Cutucú). Su base, así como la del miembro inferior corresponde a una superficie de erosión, “tal que en ciertos puntos de la cuenca (cordillera de Shaime), el miembro inferior está completamente erosionado, por lo que el Miembro Tiyuyacu Superior sobreyace directamente a la Fm. Tena.” (Baby et. Al, 2004)

Tiyuyacu Superior

La mejor sección de afloramiento conocida en la cuenca Oriente, es al norte, en el campo Bermejo. Esta sección se conforma en su mayoría por conglomerados, y en una menor cantidad por areniscas y lutitas. Las litofacies identificadas en Tiyuyacu Superior son parecidas a las de Tiyuyacu Inferior. Posee en un 90% clastos de cuarzo lechoso. (Baby et. Al, 2004)

Tiyuyacu Inferior

Aflora en la quebrada Tiyuyacu, en las márgenes del río Misahuallí, y en la carretera Tena-Puyo, a pocos kilómetros de Puerto Napo en dirección al Puyo. Está constituido principalmente de conglomerados, y en menor proporción de areniscas gruesas y lutitas. Los conglomerados contienen un 90% de cherts rojizos y angulosos y 10% de cuarzos lechosos y rocas metamórficas. (Baby et. Al, 2004).

1.1.3.7.4. Litología

La Formación Tiyuyacu está constituida por arcillolita con lentes de arenisca y limolita. Además se encuentra constituida por dos cuerpos de conglomerado: el Superior caracterizado por ser predominantemente cuarzoso, mientras que el Inferior está constituido principalmente por chert con algunas intercalaciones arcillosas y un paquete de conglomerado cuarzoso en su base.

En un inicio hacia la parte superior se distingue arcillolita con lentes de arenisca en la parte inferior, las características de estos materiales son:

Arenisca: Cuarzosa, clara, blanca, amarillenta, sub-transparente a translúcida, suelta, media, sub-redondeada a sub-angular, buena selección, matriz y cemento no visible, buena porosidad inferida.

Arcillolita: Crema, café amarillenta, café rojiza, suave a moderadamente dura, irregular a sub-bloque, terrosa, soluble a plástica, no calcárea.

El Conglomerado Superior Tiyuyacu se halla compuesto por cuarzo con lentes de conglomerado de chert, cuyas características son:

Conglomerado Cuarzoso: Blanco, blanco amarillento, amarillo, translúcido a sub-transparente, muy grueso, fragmentos angulares rotos, suelto, asociado con matriz arenosa.

Conglomerado de Chert: Negro, gris claro, gris, mostaza, fragmentos angulares rotos, fractura concoidal, suelto, asociado con matriz arenosa.

Y en el cuerpo inferior de Tiyuyacu, identificado como Conglomerado Inferior Tiyuyacu se halla constituido por un cuerpo masivo de conglomerado de chert, el cual se halla intercalado hacia el tope con arcillolita, mientras que hacia la base por arcillolita y conglomerado cuarzoso. Las características de sus materiales se describen a continuación:

Conglomerado Chert: Mostaza, negro, gris claro, blanco lechoso, rojo, fragmentos angulares rotos, fractura concoidal, suelto, asociado con matriz arenosa.

Arcillolita: Café amarillenta, café rojiza, crema, suave a moderadamente dura, irregular a sub-bloque, cerosa, soluble a plástica, no calcárea. En la parte inferior de sub-bloque a bloque, terrosa.

Conglomerado Cuarzoso: Blanco, blanco amarillento, amarillo, translúcido a sub-transparente, muy grueso, fragmentos angulares rotos, suelto, asociado con matriz arenosa.

1.1.4. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE PERFORACIÓN EN LA FORMACIÓN TIYUYACU.

El Conglomerado Inferior, y en menor medida el Conglomerado Superior, de Tiyuyacu presentan características de abrasividad y dureza producto de la constitución litológica, con predominancia de: conglomerado con bloques redondeados y angulares de cuarzo y sílice, además de areniscas cuarzosas y feldespáticas.

Estas características son adversas a la integridad de la broca y a su adecuado desempeño, por ende se producen varios problemas al atravesar estos conglomerados. Entre los más comunes se encuentran:

- Desgaste prematuro de la estructura de corte.
- Rotura de la estructura de corte.
- Pérdida de calibre.
- Bajas tasas de penetración en la sección arcillosa, una vez superado el conglomerado, luego de descartar embolamiento.
- Torque errático.
- Control de parámetros al perforar los conglomerados de Tiyuyacu.
- Daño en la parte interna de la broca.
- Anillamiento tipo "core".

Estos problemas, al no ser debidamente controlados en ciertos casos conllevan a tiempos de perforación innecesarios, producto de la baja tasa de penetración, y en ocasiones a la pérdida total de la broca afectada.

1.1.5. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN.

En la presente sección se da una descripción de los parámetros que inciden directamente sobre el rendimiento de las brocas, para su posterior detalle en función de las brocas usadas en la perforación de los pozos objeto de este estudio.

Entre los principales objetivos en toda operación de perforación están el obtener el menor desgaste de la broca a la par de una máxima velocidad de penetración, conocida también como ROP (Rate of Penetration), que es la medida de la velocidad con que la broca atraviesa las formaciones en las operaciones de perforación, que viene expresada en pies por hora [ft/hr].

1.1.5.1.Torque (torsión) y Arrastre.

Es la medida de la resistencia que pone la sarta de perforación a rotar durante la perforación por su contacto con las paredes del pozo, a esto se agrega la resistencia de la formación a ser removida por la broca; se expresa en libras fuerza por pie [lbf/ft]. En pozos de trayectoria direccional el torque se incrementa.

Es importante monitorear los valores de torque para determinar el comportamiento de las herramientas y la configuración del pozo, lo que disminuye potenciales daños en la broca.

En la práctica, el torque se mide fuera de fondo y en el fondo. Es decir:

- En la medición fuera de fondo se obtiene como parámetro el torque de la sarta.
- En la medición en fondo se obtiene el torque de la broca, y el torque con el que la sarta y la broca perforan la formación.

El arrastre viene a ser la fricción que sufre la tubería con las paredes del pozo. En pozos direccionales el arrastre se incrementa, y a mayor inclinación mayor arrastre. En pozos verticales o en secciones verticales el arrastre es mínimo. El aumento en el arrastre puede provocar desgaste y pérdida de calibre en la broca.

1.1.5.2.Gasto Óptimo de Operación (GPM).

Conocido también como tasa de flujo, galonaje o simplemente caudal. Es la cantidad de fluido de perforación medido en GPM (galones por minuto) que se emplea en la operación. Se relaciona directamente con la limpieza del agujero y de la broca, de manera que con elevadas tasas de flujo se favorece la limpieza, ya que ofrecen una velocidad anular capaz de transportar mejor los cortes a superficie además de aumentar la energía hidráulica en la broca.

1.1.5.3.Peso sobre la Broca (WOB).

El peso sobre la broca (Weight Over Bit) es la fuerza aplicada a ésta, para incrementar la tasa de penetración, estabilizarla y optimizar la vida de la broca. Su unidad de medida es kilo-libras [klbs] ([kip] en inglés), equivalente a 1000 libras-fuerza, o 4448,2216 [Newtons]. Dicho peso es ejercido por los Drill Collar y los Heavy Weight.

1.1.5.4.Velocidad de Rotación (RPM).

La velocidad de rotación viene expresada en RPM (Revoluciones por Minuto). Una revolución es el movimiento de rotación de la broca en operación sobre su propio eje. La velocidad de rotación total de la broca se considera a la suma de velocidad de rotación en superficie - dada por la velocidad a la cual la mesa rotatoria hace girar la sarta de perforación (BHA) - y la velocidad de rotación del motor en profundidad.

1.1.5.5.Limpieza en la Eficiencia Hidráulica.

La eficiencia hidráulica por sí sola se basa en la limpieza y la refrigeración de la broca. Al referirse únicamente a la limpieza de ésta, se habla de la máxima penetración que una broca podría tener sin que la misma se embole. Respecto de la limpieza existen tres niveles:

- Muy eficiente: se considera muy eficiente a aquella broca que al incrementar el peso sobre la misma, las ROP aumentan, manteniendo una limpieza eficiente sin embolamiento alguno.
- Medianamente eficiente: se incrementa el peso sobre la broca y por lo tanto las ROP, hasta que se produce embolamiento, y la ROP y la

agresividad bajan. Pero en cierto momento la ROP se recupera y se estabiliza. Aún se puede continuar con la perforación pese a la ROP baja.

- Nada eficiente: al producirse embolamiento en la broca, bajan la ROP y la agresividad.

1.1.6. FACTORES DE PERFORACIÓN ASOCIADOS A LA BROCA.

Los fluidos de perforación y la hidráulica de brocas participan activamente en las operaciones de perforación. El manejo adecuado de éstos permite, entre otras cosas: obtener un ROP alto y extender el tiempo de vida de la broca.

Si bien estos factores no son el objeto de estudio de este trabajo, es necesario determinar los valores que toman acorde a cada broca seleccionada, producto del análisis de los diversos reportes.

1.1.6.1. Fluidos de Perforación.

El fluido de perforación o comúnmente denominado “lodo”, es aquel fluido que se usa en las operaciones de perforación. Puede ser de agua, petróleo, gas y aire; además, posee características físico-químicas adecuadas para las diferentes funciones que debe cumplir, que son:

- Mantener la estabilidad del hueco.
- Controlar las presiones sub-superficiales.
- Enfriar y lubricar la broca y la sarta de perforación.
- Remover y transportar los recortes desde el fondo del hueco a superficie.
- Reducir la torsión, fricción y tendencias a pegaduras de las tuberías.
- Mantener e incrementar la velocidad de perforación.
- Transmitir potencia hidráulica a la barrena.

Las propiedades más importantes al momento de describir un lodo, son: densidad del fluido de perforación, viscosidad de embudo, viscosidad plástica, punto cedente, geles, sólidos y pH.

A continuación se define cada una de estas propiedades, que posteriormente, se han caracterizado para cada uno de los pozos y son consideradas al momento de describir los parámetros de perforación de los mejores desempeños dentro del análisis.

1.1.6.1.1. Densidad (ρ).

Es el peso por unidad de volumen y se expresa en libras por galón [ppg], además, el peso del lodo se puede expresar como gradiente de presión hidrostática en [lb/in²].

1.1.6.1.2. Viscosidad de Embudo de Marsh.

No es una viscosidad verdadera, es el tiempo para que un cuarto de galón de lodo fluya a través de un embudo de Marsh, usado de manera cualitativa para identificar que tan espeso es el fluido de perforación.

1.1.6.1.3. Viscosidad Plástica (PV).

Es la resistencia del fluido a fluir ocasionada por la fricción mecánica, es afectada por la concentración, el tamaño y forma de los sólidos La viscosidad plástica se expresa en centipoise [cP].

1.1.6.1.4. Punto Cedente (YP).

Punto cedente o Yield Point. Es la resistencia al flujo originada por fuerzas de atracción entre partículas sólidas del lodo de perforación. Es consecuencia de las cargas eléctricas sobre la superficie de las partículas dispersas en la fase fluida. Viene dada en [lbs/1000ft²].

1.1.6.1.5. Resistencia o Fuerza de Gel.

Es la medida de las fuerzas de atracción bajo condiciones estáticas o de no flujo. Las mediciones de resistencia de Gel denotan la propiedad tixotrópica que tienen algunos fluidos para formar una estructura de gel en estado estático y que al aplicárseles un esfuerzo de corte fluyen nuevamente. Se expresa en [lb/100ft²].

1.1.6.1.6. Sólidos.

Toda partícula contenida en los fluidos de perforación, la forma de controlarlos depende de la naturaleza física y química de las mismas. Sus unidades son (lb/bls).

1.1.6.1.7. Potencial de Hidrogeno (pH).

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del lodo. La mayoría de los fluidos base acuosa son alcalinos y trabajan con un rango de pH entre 7,5 a 11,5.

Se considera bajo pH cuando va de 7,5 a 9,5; mientras que se considera alto pH si entra en el rango de 9,5 a 11,5.

1.1.6.2.Hidráulica de Brocas.

Hidráulica se refiere a la operación en la cual se utiliza un fluido, en este caso un fluido de perforación (lodo), con el que desde la superficie se transmite energía a partir del equipo de bombeo hasta la broca, y de ésta hacia la formación a través de las boquillas.

La hidráulica de brocas enfocada correctamente colabora a tener una eficiente velocidad de penetración acorde a la limpieza sobre la cara de la broca y el fondo del pozo. También ayuda a prolongar la vida de la broca al mantener un óptimo enfriamiento y lubricación.

1.1.6.2.1. TFA (Total Flow Area).

El TFA de la broca o área total de flujo es la sumatoria del área circular de las boquillas a través de las cuales atraviesa el fluido de perforación, sus unidades son las pulgadas cuadradas. El área de una boquilla se calcula con:

$$\text{Área de Flujo} = \frac{N^2}{1303.8} [\text{in}^2] \quad (1.1)$$

Donde:

- N = Diámetro nominal de cada nozzle (área del nozzle/32”), [in²].
- Área de flujo, [in²].

1.1.6.2.2. Caballaje Hidráulico por Pulgada Cuadrada del Área de la Broca (HSI).

Se basa en el BHHP (Caballaje de Fuerza Hidráulica en la Broca). El BHHP se calcula con:

$$BHHP = \frac{P*Q}{1714} [hp] \quad (1.2)$$

Donde:

- P = Presión de Circulación, que representa la energía para impulsar la masa del lodo hacia el fondo del hueco, [Psi].
- Q = Tasa de Circulación, [gpm].

Calcula en su totalidad los caballos de fuerza hidráulica disponibles a lo largo de la cara de la broca. Su unidad de medida es el [hp]. Los caballos de fuerza hidráulica son una medida del trabajo que se efectúa al moverse el fluido.

En cambio, el HSI es la relación de este BHHP por pulgada cuadrada de la broca. Se lo toma como un índice de la limpieza del pozo. El HSI en sí facilita medir la fuerza hidráulica que desgasta a la broca por pulgada cuadrada en función del caudal de la bomba, la caída de presión en la broca y diámetro de la misma. Se calcula aplicando la fórmula:

$$HSI = \frac{BHHP}{0.78*D^2} \left[\frac{hp}{in^2} \right] \quad (1.3)$$

Donde:

- BHHP = Caballos de Fuerza Hidráulicos, [hp].
- D= Diámetro de la broca, [in].

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN Y ESTUDIO DE LA SECCIÓN 12 ¼” DE LOS REPORTES DE PERFORACIÓN EN POZOS PERFORADOS EN EL CAMPO SACHA

2.1. TEORÍA DE BROCAS.

La broca de perforación constituye la herramienta de corte ubicada en la parte inferior de la sarta de perforación, que al entrar en contacto directo con la formación se encarga de triturarla y/o cortarla.

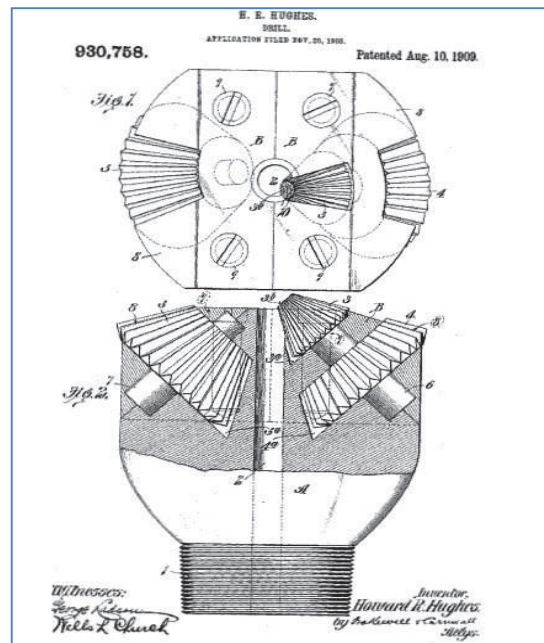
Forma parte del equipo de perforación, el cual está integrado por muchas partes; cada una de ellas ejecuta una función enfocada a una misma finalidad, poner la broca en el fondo de un agujero y girarla.

2.1.1. RESEÑA HISTÓRICA.

En 1909, Howard Hughes patentó la primera broca de conos giratorios que fue de doble cono (figura 2.1). Previamente, las únicas brocas disponibles eran las brocas de arrastre, las cuales pueden poseer dos, tres o hasta cuatro cuchillos de acero adheridos a un vástago (denominadas broca de cola de pescado por su apariencia). Para 1916-1917 C.E. Reed desarrolló las brocas con discos gemelos reemplazables y cuatro cortadores giratorios, lo que permitió ampliar los límites de profundidad y durabilidad, alcanzados con brocas con cuchillas de acero. Las brocas Tricónicas aparecieron en 1930-1931, poseían cojinetes lubricados por el fluido de perforación y diferentes tipos de dientes acorde a la formación. Exteriormente estas brocas eran muy similares a las actuales. Hoy en día, se

encuentran disponibles dos tipos de brocas de conos de rodillo: de dientes de acero y las de insertos de carburo de tungsteno.

Figura 2.1 BROCA PATENTADA POR HOWARD HUGHES EN 1909.



Fuente: American Oil & Gas Historical Society.¹

Las brocas de diamante se emplean por ser el mineral más duro en la tierra, que para entonces ya era utilizado por muchas industrias para cortar, o pulir con precisión.

Las brocas de perforación con cortadores de diamante natural datan de los años cuarenta. Las brocas de diamante sintético se usan después de que en el año de 1954 científicos de General Electric sintetizan diamantes a partir del carbón; en los años 70 son implementados a las brocas PDC (Polycrystalline Diamond Compact), y a finales de esta misma década en las brocas TSP (Thermally Stable Polycrystalline).

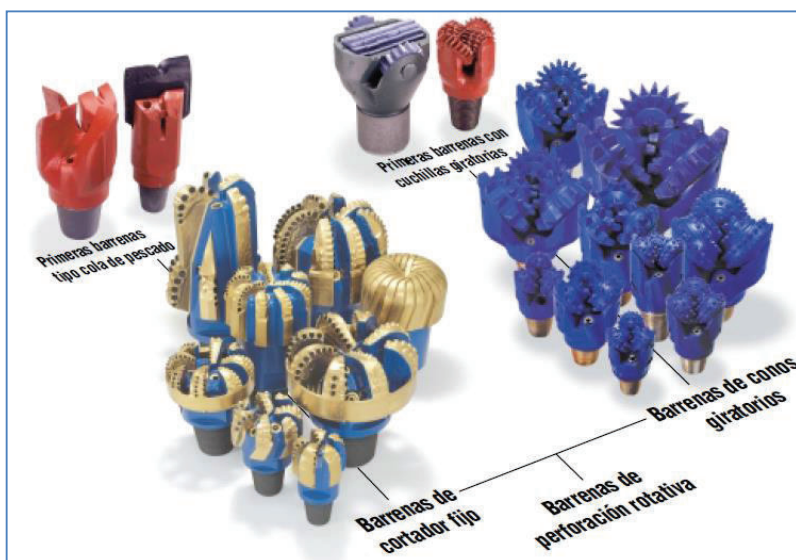
Actualmente se fabrican cortadores de brocas con: diamantes naturales, PDC, TSP, o combinaciones de éstas.

¹ <http://aoghs.org/technology/oil-well-drilling-technology/>

Para el diseño de brocas, a más de pruebas (ensayos) en tamaño natural y el asistido por computadora respecto al flujo del fluido y su relación con la limpieza de la broca y la eliminación de recortes para mejorar su rendimiento, se realizan simulaciones acerca de la dinámica de los fluidos para optimizar la hidráulica de los conos giratorios y de los cortadores fijos para una mejor ROP. También se ha elaborado software para diseño avanzado que establece una correlación entre diferentes tipos de brocas con la litología y la resistencia de la roca; lo que permite elegir una broca apropiada.

Según la investigación y el desarrollo avanzan, se mejora el diseño y la fabricación de las brocas, pero los límites tradicionales entre brocas de conos giratorios y las brocas de cortadores fijos se tornan menos claros (ver figura 2.2), obteniéndose una mejor confiabilidad, diseños de compuestos avanzados, hidráulica mejorada y una mayor estabilidad para todos los tipos de brocas, facilitando la tarea a los perforadores pero complicando la selección de brocas.

Figura 2.2 BREVE CLASIFICACIÓN DE LAS BROCAS DE PERFORACIÓN ROTATIVA.



Fuente: Oilfield Review de Schlumberger, Invierno de 2001.

2.1.2. DESCRIPCIÓN DE LAS BROCAS USADAS EN EL CAMPO.

De los reportes de perforación estudiados en 28 pozos, se determina que las brocas empleadas en la perforación de la Sección 12 ¼" fueron brocas PDC y Tricónicas. A continuación se detalla, a breves rasgos, estos dos tipos de brocas. En la tabla 2.1 se incluye la ubicación de los 28 pozos estudiados. En la tabla 2.2 los pozos estudiados con el tipo de brocas usadas, pero no la cantidad de ellas.

Tabla 2.1 UBICACIÓN DE LOS POZOS DE ESTUDIO DEL CAMPO SACHA.

POZO	UBICACIÓN	
	Latitud	Longitud
SACHA 208D	0° 22' 12.04" S	76° 51' 27.98" W
SACHA 239D	0° 14' 12.80" S	76° 50' 36.02" W
SACHA 261D	0° 11' 48.19" S	76° 50' 39.76" W
SACHA 263D	0° 11' 48.19" S	76° 50' 37.30" W
SACHA 265D	0° 11' 48.19" S	76° 50' 39.147" W
SACHA 267D	0° 24' 42.805" S	76° 53' 09.581" W
SACHA 280D	0° 9' 35.743" S	76° 50' 22.051" W
SACHA 281D	0° 9' 36.125" S	76° 50' 22.448" W
SACHA 282D	0° 09' 36.507" S	76° 50' 22.846" W
SACHA 283D	0° 09' 36.88" S	76° 50' 23.24" W
SACHA 302D	0° 25' 14.792" S	76° 52' 46.873 W
SACHA 303D	0° 25' 15.28" S	76° 52' 46.88 W
SACHA 314D	0° 24' 04.13" S	76° 52' 15.16" W
SACHA 317H	0° 24' 04.07" S	76° 52' 15.64" W
SACHA 340D	0° 24' 27.25" S	76° 53' 53.25" W
SACHA 341D	0° 24' 4.033" S	76° 52' 15.96" W
SACHA 352D	0° 22' 45.07" S	76° 51' 41.28" W
SACHA 355D	0° 22' 45.10" S	76° 51' 40.80" W
SACHA 360V	0° 22' 01.86" S	76° 53' 52.489" W
SACHA 362D	0° 22' 38.86" S	76° 53' 52.77" W
SACHA 363D	0° 22' 2.838" S	76° 53' 52.526" W
SACHA 365D	0° 22' 02.02" S	76° 53' 52.49" W
SACHA 366D	0° 22' 02.18" S	76° 53' 52.50" W
SACHA 373H	0° 25' 02.80" S	76° 51' 59.10" W
SACHA 380V	0° 26' 09.94" S	76° 52' 40.176" W
SACHA 382D	0° 26' 08.94" S	76° 52' 38.883 W
SACHA 383H	0° 26' 08.94" S	76° 52' 39.04" W
SACHA 384D	0° 26' 08.94" S	76° 52' 40.01" W

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Tabla 2.2 USO DE BROCAS PDC O TRICÓNICA EN LOS POZOS DE ESTUDIO DEL CAMPO SACHA.

POZO	PDC	TRICÓNICA
208D	X	
239D	X	X
261D	X	
263D	X	
265D	X	X
267D	X	X
280D	X	X
281D	X	
282D	X	X
283D	X	X
302D	X	
303D	X	X
314D	X	
317H	X	X
340D	X	
341D	X	X
352D	X	X
355D	X	
360V	X	X
362D	X	
363D	X	X
365D	X	X
366D	X	
373H	X	X
380V	X	
382D	X	
383H	X	X
384D	X	

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

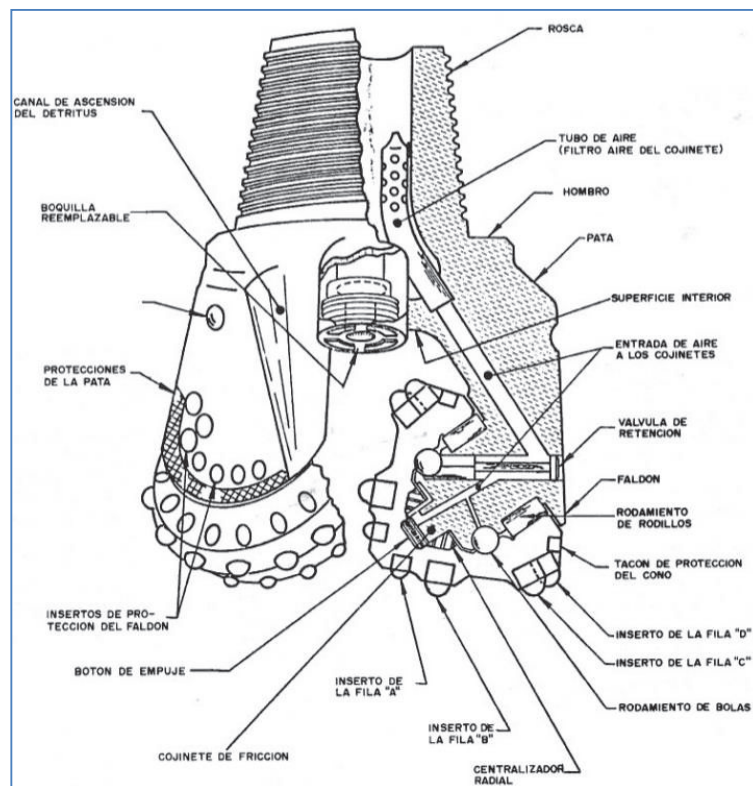
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

A su vez, estas brocas (PDC y Tricónica) representan la clasificación existente según su mecanismo de corte, siendo el principio fundamental de una broca que ésta venza los esfuerzos de corte y de compresión de la roca.

2.1.2.1. Brocas Tricónicas.

Formadas por tres conos cortadores que giran en su propio eje. Capaces de perforar formaciones blandas, medianas y hasta muy duras, muy abrasivas, plásticas, pegajosas y cualquier combinación de éstas, aplicando distintos parámetros operativos; el diseño hidráulico se realiza con sistema de toberas para lodo. Sus partes se observan en la figura 2.3.

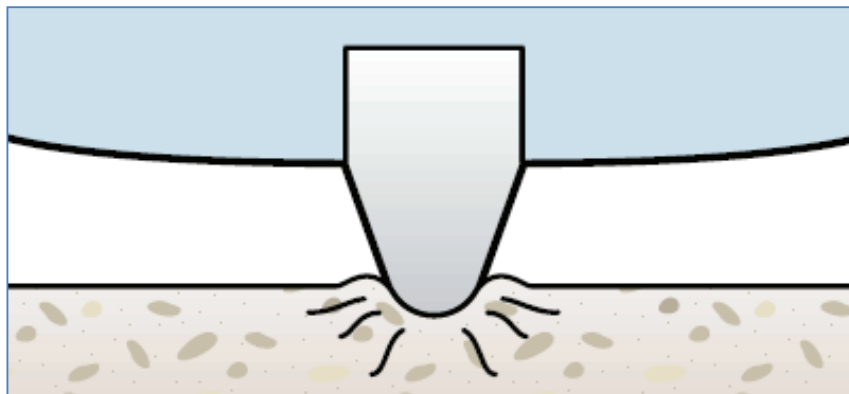
Figura 2.3 PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA BROCA TRICÓNICA.



Fuente: Manual de Perforación y Voladura de Rocas, ITGE.

El mecanismo de corte de las brocas Tricónicas consiste en perforar la roca por compresión (trituration), como se ve en la figura 2.4. Al triturar la formación, se ejerce una carga perpendicular a la roca, dando lugar a una serie de fracturas que se propagan radialmente desde el punto de contacto.

Figura 2.4 FRACTURA EN LA TRITURACIÓN DE LA ROCA.



Fuente: Oilfield Review SLB, Bordes cortantes.

Sus componentes son:

- I. La estructura de corte o conos.
- II. Cojinetes.
- III. Cuerpo de la broca.

I. La Estructura de Corte o Conos.

Las brocas Tricónicas varían según su estructura de corte, pudiendo ser de dos tipos:

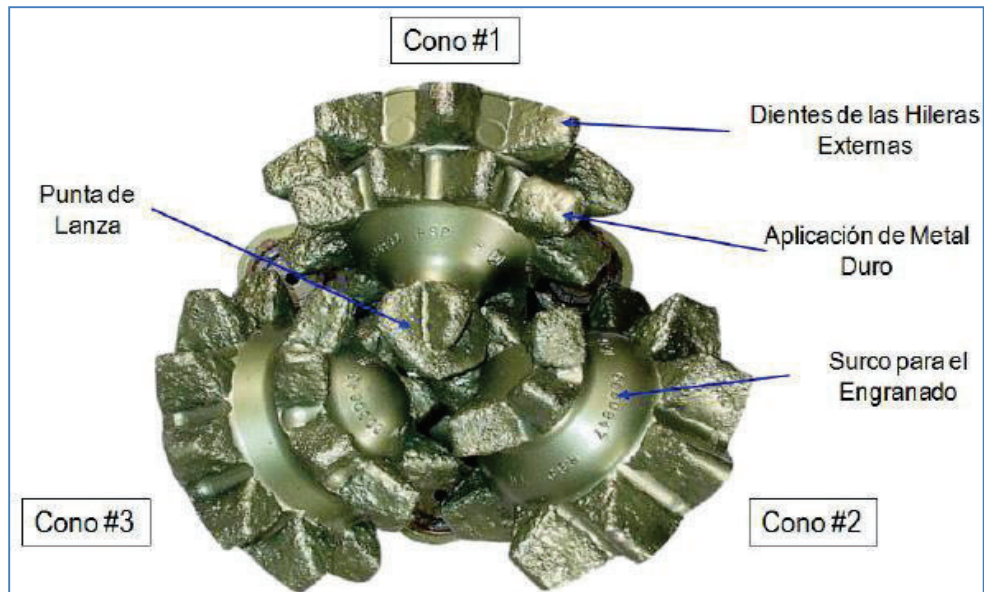
a. Dientes de Acero (ST)

Fabricadas en base a piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo. Diseñadas para trabajar en formaciones blandas, medias y duras. Son las brocas más económicas, al usarse correctamente perforarían por varias horas. Sus partes se visualizan en la figura 2.5.

b. Dientes con Insertos de Carburo de Tungsteno (TCI)

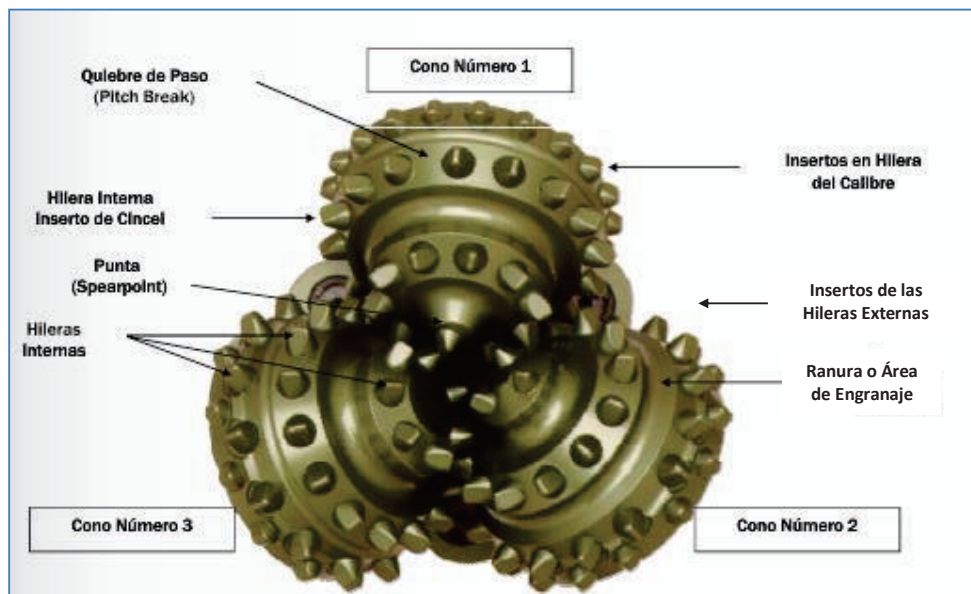
Brocas con incrustaciones de insertos duros de carburo de tungsteno. Fabricadas a partir de piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo.

Figura 2.5 PARTES DE UNA BROCA DE DIENTES DE ACERO.



Fuente: Brocas de Conos, Diseño y Terminología – Smith Bits.

Figura 2.6 PARTES DE UNA BROCA DE INSERTOS.



Fuente: Brocas de Conos, Diseño y Terminología – Smith Bits.

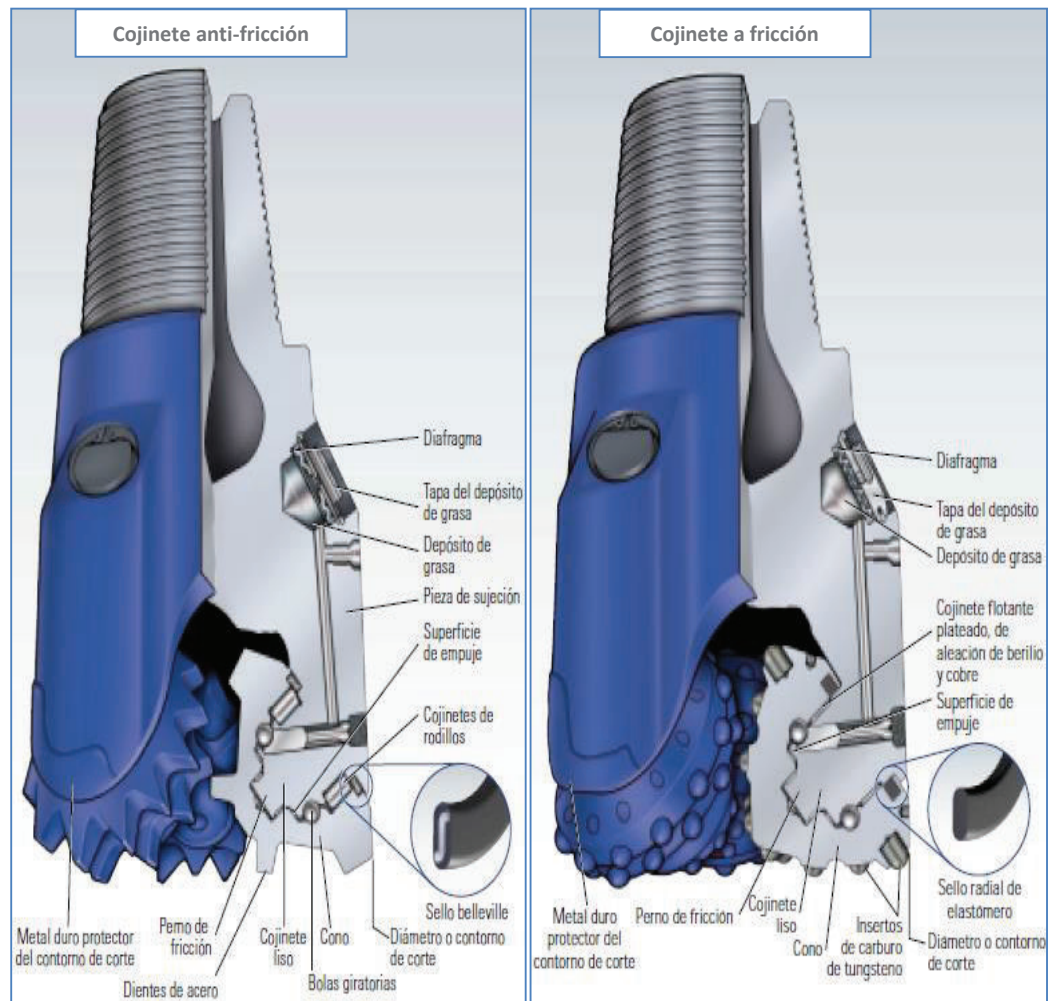
El tiempo de vida útil es mayor ya que el carburo de tungsteno resiste más que el acero al desgaste durante la perforación; sus dientes son sometidos a un proceso térmico para incrementar la resistencia y la fuerza de los mismos. (Ver figura 2.6).

La colocación de los insertos es a presión en los orificios perforados en las superficies de los conos. Los cojinetes que rotan sobre pernos y sobre los que está montada la estructura de corte, constituyen una parte fundamental del cuerpo de la broca.

II. Cojinetes

Parte de la broca que permite que los conos giren sobre sus respectivos ejes. Se clasifican en dos tipos principales.

Figura 2.7 TIPOS DE COJINETES.



Fuente: Oilfield Review SLB, Bordes cortantes.

- **Cojinete anti-fricción (a rodillos):** ubicados de manera que soporten la carga radial.
- **Cojinete a fricción (journal):** es un perno sólido que soporta la carga radial, unido a la superficie interna del cono que se convierte en el elemento principal del cojinete.

Los dos tipos de cojinetes se aprecian en la figura 2.7.

III. Cuerpo de una Broca

La broca se encarga de dirigir el fluido de perforación para lograr una limpieza más efectiva en el fondo del pozo. Anteriormente, los orificios estaban dirigidos para que el fluido de perforación limpiara los conos de la misma broca; en la actualidad la mayoría de brocas son del tipo a chorro, donde el fluido apunta hacia el fondo del pozo.

El cuerpo de una broca Tricónica está integrada por:

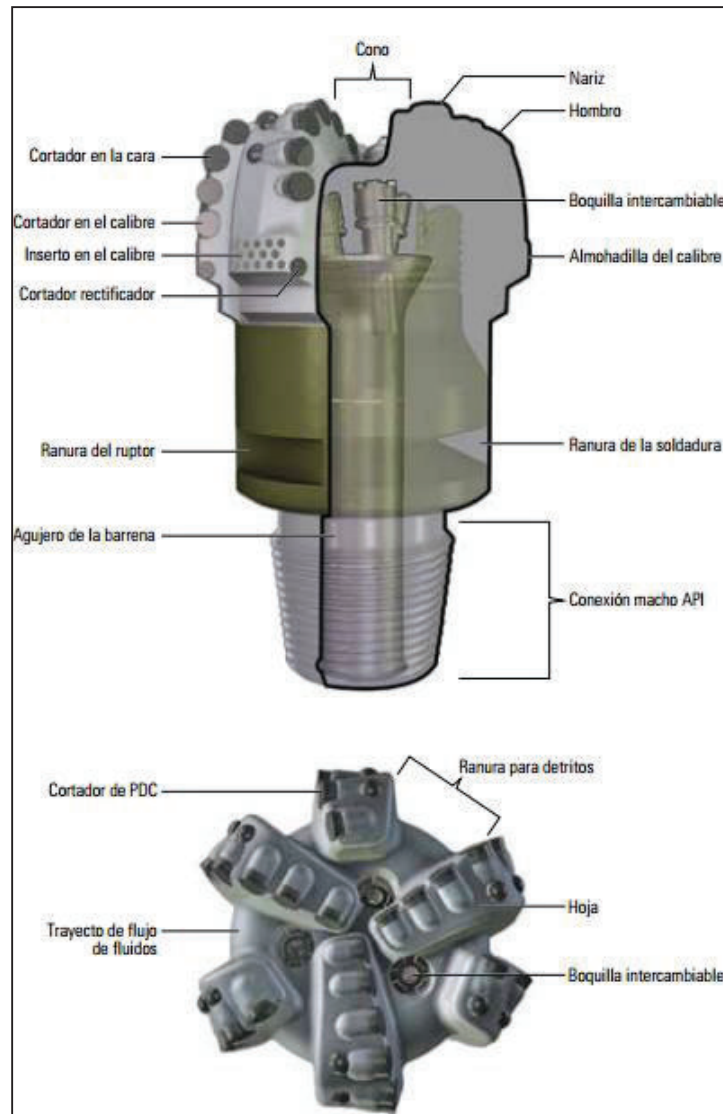
- Una conexión roscada que une la broca con la tubería de perforación (sarta de perforación).
- Tres ejes para los cojinetes en donde se montan los conos.
- Depósitos donde se encuentra contenido el lubricante para los cojinetes.
- Orificios por medio de los que el fluido de perforación limpia y transporta del fondo los recortes.

2.1.2.2. Brocas PDC.

Cuyas siglas significan brocas de “Compacto de Diamante Policristalino”, son brocas de diamante con cuerpo sólido y cortadores fijos de materiales sintéticos;

estos cortadores presentan formas de pastillas compactas (de diamante). Al igual que las brocas Tricónicas, el diseño hidráulico se realiza con sistema de toberas para lodo. La figura 2.8 muestra una broca PDC.

Figura 2.8 PARTES CONSTITUTIVAS DE UNA BROCA PDC.



Fuente: Oilfield Review, SLB. Tecnología de barrenas de PDC para el siglo XXI.

Se las puede utilizar en todo tipo de formaciones, desde muy suaves hasta muy duras. En la actualidad este tipo de broca es la más empleada debido a sus

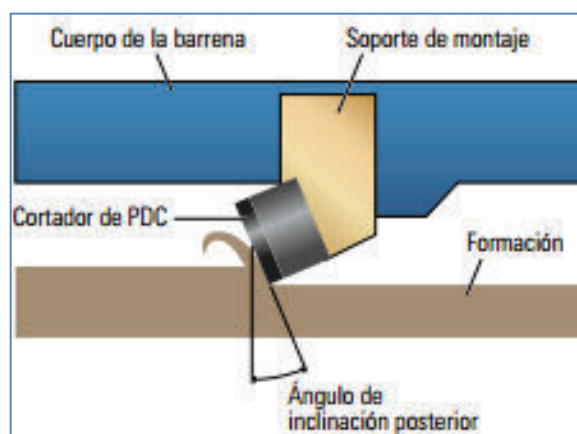
distintos diseños y características. Pueden ser reutilizadas, lo que se traduce en una ventaja económica.

Entre sus desventajas, se evidencian problemas de atascamiento en formaciones poco consolidadas y en pozos donde se debe repasar el agujero a causa de derrumbes de la formación; lo que contribuye a que se queden atrapadas más fácilmente a diferencia de una broca Tricónica.

La dureza extrema y la alta conductividad térmica dan al diamante alta resistencia para perforar en formaciones duras a semiduras, y en algunos casos formaciones suaves.

Su mecanismo de corte, como muestra la figura 2.9, se basa en fracturar la roca por medio del cortador PDC. A medida que el cortador penetra en la formación, la punta de este corta y remueve el material en forma de capas. Es decir, el principio de las brocas PDC es el cizallamiento generado por los cortadores de la broca que vencen la resistencia de la formación.

Figura 2.9 FRACTURA DE LA ROCA POR CORTE.



Fuente: Oilfield Review, SLB. Tecnología de barrenas de PDC para el siglo XXI.

Los componentes de la broca con cortadores PDC, en general, suelen ser los mismos, aunque pueda tener distintos elementos de corte y sistemas hidráulicos; siendo estos:

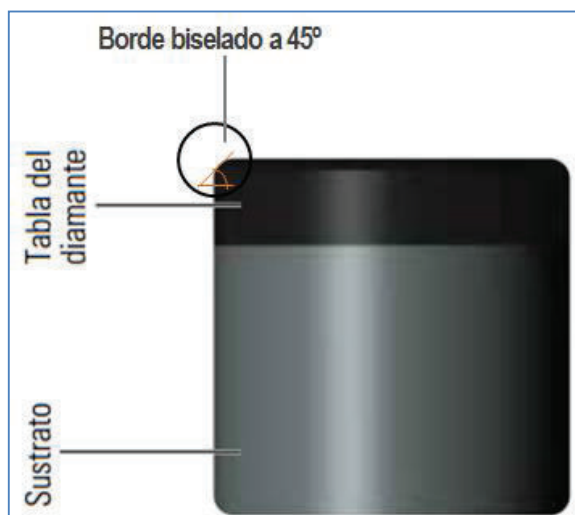
- I. La estructura de corte.
- II. El cuerpo o corona.
- III. Espiga (shank).

I. Estructura de Corte.

Está vinculada a la Corona (o Cuerpo) pero es considerada un componente separado debido a la importancia que representan los elementos de corte en las aplicaciones de la broca; está constituida por diamantes sintéticos. El tipo de elemento de corte depende de la formación en la que se trabajará.

- a. **Cortadores PDC:** un cortador PDC se fundamenta en una serie de diamantes sintéticos de borde biselado en 45° , unidos a un soporte de carburo de tungsteno cementado. Son soldados en la broca después de haberse unido al cuerpo; ver figura 2.10. La vida útil de un cortador dependerá de la resistencia al impacto y la resistencia a la abrasión.

Figura 2.10 CORTADOR PDC.



Fuente: Oilfield Review, SLB. Tecnología de barrenas de PDC para el siglo XXI.
Modificado por: Briones César/León Ruddy.

II. Cuerpo o Corona.

El cuerpo de la broca puede estar fabricado de dos materiales:

- a. **Cuerpo de Acero:** para garantizar una buena resistencia y elasticidad, el material utilizado debe ser un acero de alta aleación. Por su menor resistencia a la abrasión y a la erosión frente a la matriz de carburo de tungsteno, se debe proteger el acero con material duro (hardfacing) para prolongar su vida útil. Finalizado el proceso de fabricación, se suelda la corona a la espiga y al mismo tiempo los cortadores se adhieren con soldadura a la broca.
- b. **Cuerpo de Carburo de Tungsteno:** material fabricado a partir de carburo de tungsteno en polvo, con una aleación de níquel-cobre que actúa como aglutinante. Altamente resistente a la abrasión y erosión. El cuerpo define la dirección en que circulan los fluidos (incluyendo los conductos interiores) y las áreas de los canales de limpieza, además que brinda soporte y protección a los cortadores.

III. Espiga (shank)

Une la broca con la sarta de perforación. Cuando las brocas son de cuerpo de acero la espiga se suelda al cuerpo de la broca, o en las de cuerpo de carburo de tungsteno se suelda a la estructura de sostén.

2.1.3. APLICACIÓN.

Brocas Tricónicas

Las brocas Tricónicas pueden cumplir con varias aplicaciones debido a su diseño. Son empleadas en perforaciones de formaciones muy duras, muy abrasivas, blandas, pegajosas, plásticas y cualquier combinación de éstas modificando los parámetros operativos para cada caso.

Brocas PDC

El diamante da a esta broca las propiedades de alta conductividad térmica y dureza extrema, pueden ser empleadas en perforaciones desde formaciones semiduras a duras y en algunas ocasiones formaciones suaves.

2.1.4. SISTEMA DE GRADUACIÓN DE ESTRUCTURA DE CORTE²

Graduar la estructura de corte de una broca significa estimar cuánto y dónde se ha desgastado; es una especie de “prueba permanente” que se realiza en campo. Una adecuada graduación ayuda al operador y contratista a corregir prácticas de perforación deficientes, seleccionar la broca más idónea bajo condiciones específicas, y poder tomar mejores decisiones acerca de costos en futuras perforaciones.

Para llevar a cabo esta prueba en brocas de cono de rodillo como de dientes fijos (diamante), se usa un sistema de graduación de estructura de corte de la IADC que contiene ocho categorías (ver figura 2.11):

Figura 2.11 SISTEMA IADC DE GRADUACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CORTE.

CUTTING STRUCTURE				B	G	REMARKS	
1 = I	2 = O	3 = D	4 = L	5 = B	6 = G	7 = O	8 = R
Inner Rows	Outer Rows	Dull Char.	Location	Bearing /Seals	Gauge 1/16"	Other Dull.	Reason Pulled

Fuente: THE BIT, Fourth Edition, Unit I, LESSON 2. By Kate Van Dyke. 1995.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

² THE BIT, Fourth Edition, Unit I, LESSON 2. By Kate Van Dyke. 1995.

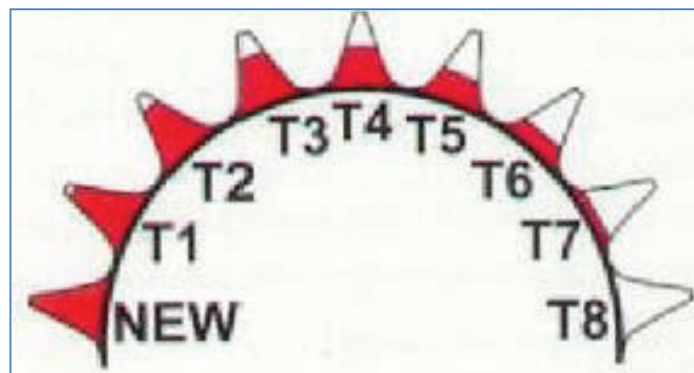
La lista de códigos para el desgaste del cortador incluye algunos que sólo se aplican a brocas de diamante y algunos que sólo se aplican a brocas de cono de rodillos, pero en general el sistema de calificación se emplea tanto para brocas de diamante como para brocas de conos. Esta clasificación se hace en torno a la base de desgaste del cortador, desgaste de los cojinetes (no para las brocas de diamante), y el desgaste de calibre.

Las cuatro primeras columnas se refieren a la condición de los cortadores:

1. **Columna 1: (I) = Filas Internas.** Se refiere a los dos tercios interiores de los cortadores, los que no tocan el lado del agujero.
2. **Columna 2: (O) = Filas Externas.** Se refiere al tercio exterior de los cortadores (los cortadores de calibre).

Cada una de estas columnas (1 y 2) pueden graduarse en la escala de 0 a 8, que indica el número de cortadores que quedan en la broca y cuánto se han desgastado, donde 0 es ningún desgaste y 8 significa que no quedan cortadores utilizables. Una calificación de 4 significa que el 50% de los cortadores siguen siendo utilizables. En la figura 2.12 se observa la representación de cómo se debería calificar al desgaste, donde el color rojo representa el estado del cortador.

Figura 2.12 DESGASTE DE LOS CORTADORES EN BROCAS CON CALIFICACIÓN.



Fuente: Manual Grado de Desgaste de Smith Tool.

3. **La columna 3: (D) = Características de Desgaste.** Usa un código de dos letras para indicar la mayor característica de desgaste de la estructura de corte. Muestra información específica sobre cómo se usan los cortadores. Existe varios códigos, entre ellos los de la figura 2.13 y se agregan **NR = Not Rerunnable** y **RR = Rerunnable**.

Figura 2.13 CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE DE LA ESTRUCTURA DE CORTE.

CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE	
*BC - Cono Roto	LT - Inserto Perdido
BF - Falla de adherencia	OC - Fuera de Centro
BT - Diente o Inserto Roto	PB - Acuñado
BU - Embolado	PN - Boquilla Tapada
*CC - Cono Fisurado	RG - Calibre Redondeado
*CD - Cono Arrastrado	RO - Desgaste Anular
CI - Interferencia de Conos	SD - Daño en Patas
CR - Coroneado	SS - Autoafilado
CT - Diente o Cortador roto	TR - Huella
ER - Erosionado	WO - Lavado
FC - Diente Remachado	WT - Dientes Gastados
HC - Temperatura	NO - Ninguna
Daño por Cuerpo	
JD - Extraño	
*LC - Cono Perdido	
LN - Boquilla Perdida	

* Indicar el número de cono en el casillero 4.

Fuente: Manual Grado de Desgaste de Smith Tool.

Notas: el desprendimiento de la carcasa del cono se considera como Cono roto (BC). Se considera Diente o Inserto roto si más de un tercio se ha perdido, sin tomar en cuenta su causa. Se considera Cono fisurado (CC) si la broca presenta uno o más conos fisurados, pero los conos están completamente intactos y no separados. Se llama Diente astillado (CT) si menos de 1/3 de dientes están gastados sin importar la causa. La Temperatura (HC) se nota por un patrón rayado en superficie formando ángulos que tienden a ser rectos.

El Calibre redondeado (RG) es una condición donde la punta más exterior del elemento de corte del calibre se ha redondeado tal que este no es el calibre de corte nominal. Los códigos LN, SD, PN, WO no se usan en esta columna. El código (SS) exclusivo de brocas de dientes, el desgaste se da a manera de cresta filosa. El Perfil sobre huella (TR) sucede cuando los elementos de corte de una fila dada impactan en el mismo sitio del fondo del pozo con cada revolución del cono sucesivamente. (NO) es usado para indicar que el desgaste observado no se ajusta a ninguna de las condiciones de desgaste descritas, así mismo al tener un desgaste de 0 se debe ingresar (NO) en esta columna. En el Anexo No 1 se pueden observar fotografías de algunos códigos empleados para graduar las brocas.

- 4. La columna 4: (L) = Ubicación.** Muestra la ubicación exacta de los cortadores desgastados dentro de la broca. Usa un código de letra:

C – Cono	S – Hombro	M – Fila Intermedia
N – Fila de la Nariz	G – Fila de calibre	H – Fila del talón
T – Conicidad	A – Todas las Filas	

Las brocas Tricónicas se restringen a los códigos (N, M, G, A) especificando el número de cono.

- 5. La columna 5: (B) = Cojinetes/Sellos.** Se refiere al desgaste de los cojinetes sello. De los más difíciles al ser un valor estimado; a diferencia de los cortadores donde se puede medir la altura restante y comparar a la altura conocida cuando nuevo, no existe un sistema para medir el desgaste de los cojinetes. Sólo un perforador con experiencia que sabe cuántas horas perforó la broca y las condiciones de operación puede hacer dicha estimación.

Cojinetes no sellados. Reciben un código de 0 a 8, donde 0 indica un nuevo cojinete, y 8 indica que el cojinete ya no sirve (bloqueado o ausente). Un código de 6 significa que han transcurrido 6/8 de la vida estimada del cojinete.

Cojinetes sellados. Reciben una letra:

E – El sello es eficaz.

F – El sello ha fallado.

N – Imposible clasificar el sello o el estado de los cojinetes.

X – Broca de cortadores fijos.

Dado que las brocas de cabeza fija no tienen cojinetes, esta columna lleva la X al graduar brocas de diamante.

6. La columna 6: (G) = Calibre. Muestra que la broca todavía puede perforar el tamaño de hueco (el calibre) que debería, siendo que reporta los elementos de corte que tocan la pared del hueco. La letra "I" significa que la broca está aún en calibre. En caso que la broca esté bajo calibre, se registra la cantidad en dieciseisavos de pulgada (o en milímetros). En una broca Tricónica, se usa un anillo calibrador y la regla de los dos tercios. Se coloca el anillo calibrador sobre la broca tratando de que dos de los conos toquen el anillo en sus puntos extremos. Si la broca está bajo calibre, el anillo calibrador no tocará el tercer cono. Se mide la distancia entre el tercer cono y el anillo calibrador y se multiplica por 2/3, se redondea con una precisión de 1/16 de pulgada (milímetro) para obtener el código para el desgaste en esta columna.

7. La columna 7: (O) = Otras Características de Desgaste. Contiene un código de dos letras para cualquier desgaste secundario para cualquiera de los cortadores o la broca en sí como un todo, este código se presenta en la figura 2.14. También usa algunos códigos mostrados en la figura 2.13 empleados para la columna 3 de esta calificación.

Notas: el código (JD) indica daño causado por basura de la misma broca. El código (SD) se refiere a daño debido al desgaste, erosión o basura que se da en el área de la pata de la broca. Un lavado (WO) se da cuando el fluido de perforación ha erosionado un pasaje desde un área de flujo interna hasta el exterior de la broca.

Figura 2.14 CÓDIGOS PARA OTRAS CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE DE LA BROCA.³

BC - Cono Roto	LT - Inserto Perdido
BT - Diente o Inserto Roto	OC - Fuera de Centro
CC - Cono Fisurado	*PB - Acuñaado
CD - Cono Arrastrado	*PN - Boquilla Tapada
CI -	
Interferencia de Conos	RG - Calibre Redondeado
CO - Coroneado	*SD - Daño en Patas
CT - Diente o Cortador roto	SS - Autoafilado
ER - Erosionado	TR - Perforación Sobre Huella
FC - Diente Remachado	*WO - Lavado
HC - Temperatura	WT - Dientes Gastados
JD - Daño por Cuerpo Extraño	NO - Ninguna
LC - Cono Perdido	
*LN - Boquilla Perdida	

Fuente: Manual Grado de Desgaste de Smith Tool.

8. La columna 8: (R) = Razón de Salida. La columna 8 es un código de dos o tres letras que indican la razón por la que el perforador sacó la broca del hueco. Los códigos para esta columna se presentan en la figura 2.15.

Figura 2.15 CÓDIGO PARA LA COLUMNA 8 CALIFICACIÓN IADC.

BHA - Cambio de Ensamblaje de Fondo
CM - Condiciones del Lodo
CP - Punto de Corona
DMF - Falla en el Motor de Fondo
DP - Sarta Taponada
DSF - Falla en Sarta de Perforación
DST - Prueba de Sarta
DTF - Falla en la Herramienta de Fondo
FM - Cambio de Formación
HP - Problemas en el Hueco
HR - Horas sobre la Broca
LIH - Abandonar el Hueco
LOG - Corrida de registros
MWD - Falla en MWD
PP - Presión de la Bomba
PR - Rata de Penetración
RIG - Reparación del Equipo
RS - Recuperar la Dirección
TD - Profundidad Total / Profundidad de Casings
TQ - Torque
TW - Giro
WC - Condiciones Climáticas
WO - Lavado en la Sarta de Perforación

Fuente: Manual Grado de Desgaste de Smith Tool.

³ *: Usado sólo en la columna de "Otras Características de Desgaste".

2.1.5. CLASIFICACIÓN IADC DE LAS BROCAS.

La IADC (Asociación Internacional de Contratistas de Perforación) ha desarrollado un sistema estándar para clasificar brocas, mediante un código. Leyendo este código, el perforador puede evaluar las brocas de diferentes fabricantes y seleccionar la broca adecuada para cierto trabajo.

El sistema de clasificación IADC sólo da información aproximada sobre la broca; es un punto de partida sencillo y funcional para comparar brocas de diferentes fabricantes.

2.1.5.1. Brocas de Conos.

Este código está conformado por cuatro caracteres (tabla 2.3), donde las brocas de conos han sido clasificadas según el tipo de dientes (acero o insertos de carburo de tungsteno), la aplicación de este código se hace de la siguiente manera:

- I. **Series de la estructura cortante:** el primer carácter es un número (denominado series) que describe el tipo de broca y la formación que puede perforar, va de 1 a 8. Las series de 1 a 3 son para brocas con dientes de acero, y las series de 4 a 8 para brocas con insertos de carburo de tungsteno. Dentro de cada grupo (1 a 3) y (4 a 8) el menor número indica brocas capaces de perforar formaciones suaves mientras que un mayor número indica brocas capacitadas para formaciones fuertes.
- II. **Tipo de estructura de corte:** para definir más el grado de dureza de la formación que la broca perfora, el sistema divide cada serie en 4 tipos, siendo 1 para la formación más suave y 4 para formaciones más duras.

Tabla 2.3 CLASIFICACIÓN IADC PARA BROCAS DE CONOS.

IADC: BROCA DE CONO										
	Series de la estructura cortante	Tipo de estructura de corte	Tipo de cojinete y protección al calibre				Características disponibles			
DIENTES DE ACERO	1	SUAVE	1	Cojinete de rodillo abierto estándar (1)	Cojinete de rodillo abierto estándar, refrigerado por aire (2)	Cojinete de rodillo abierto estándar con protección de calibre (3)	Cojinete de rodillo sellado (4)	Cojinete de rodillo sellado con protección de calibre (5)	Cojinete de fricción sellado (6)	Cojinete de fricción sellado con protección de calibre (7)
			2							
			3							
		4								
	2	MEDIO	1							
		2								
		3								
		4								
	3	DURO	1							
		2								
		3								
		4								
DIENTES DE INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO	4	SUAVE	1							
			2							
			3							
			4							
	5	SUAVE A MEDIO	1							
			2							
			3							
			4							
6	MEDIO	1								
		2								
		3								
		4								
7	DURO	1								
		2								
		3								
		4								
8	MUY DURO	1								
		2								
		3								
		4								

Fuente: Manual Grado de Desgaste de Smith Tool.

- III. **Tipo de cojinete y protección al calibre:** número entre el 1 al 7 que describe los cojinetes y qué tipo de protección al calibre tiene la broca. Del 1 al 5 para cojinetes de rodillos, y 6 y 7 para cojinetes lisos/de fricción.
- IV. **Características disponibles:** carácter opcional, es una de las 16 letras que indica características especiales que una broca pudiere tener. Si una broca tuviere varias características especiales, el fabricante usará el código para la más importante.

2.1.5.2. Brocas PDC.

En 1990 la IADC adoptó un sistema para clasificar brocas de diamante natural, PDC y TSP. Este código presenta cuatro caracteres, como se observa en la tabla 2.4, su uso se explica a continuación.

- I. **Material del cuerpo:** para brocas PDC el primer carácter es M, S o D para matriz (Matrix), cuerpo de acero (Steel body) o Diamante (Diamond).
- II. **Segundo carácter:** número entre 1 y 8, donde las brocas con 1 perforan las formaciones más suaves y 8 perforan las más duras.
 - **Densidad de cortadores:** en una broca PDC entre 1 (brocas que poseen menor cantidad de cortadores) y 4 (con mayor cantidad de cortadores).
 - **Densidad de diamantes:** para brocas de diamante natural, o TSP que usan los códigos 6 (menos de 3 piedras por quilate), 7 (de 3 a 7 piedras por quilate) y 8 (más de 7 piedras por quilate).
- III. **Tamaño o tipo de cortador:** número del 1 al 3, o en ciertos casos 4, depende del tipo de broca. Para una PDC el número se refiere al tamaño del cortador (1 el más grande y 3 el más pequeño). Para brocas de

diamante natural y TSP, este código indica el tipo de broca. El código 1 indica diamantes naturales, 2 TSP, 3 para híbridas (diamantes naturales y TSP), y 4 aplica para brocas con diamantes impregnados.

- IV. **Estilo del cuerpo:** número entre 1 y 4. Para brocas de flanco o dimensión lateral más corta 1; 2, 3 y 4 representan perfiles cada vez más largos.

Tabla 2.4 CLASIFICACIÓN IADC PARA BROCAS PDC.

IADC: BROCA PDC								
Material del cuerpo	Densidad de cortadores (1-4)		Tamaño o tipo de cortador		Estilo del cuerpo			
"M" Matriz "S" Acero "D" Diamante	1	MUY SUAVE	2	PDC, 19 mm	1	Flanco o dimensión: Corta "Espina de pescado"		
			3	PDC, 13 mm				
			4	PDC, 8 mm				
	2	SUAVE	2	PDC, 19 mm				
			3	PDC, 13 mm				
			4	PDC, 8 mm				
	3	SUAVE A MEDIO	2	PDC, 19 mm			2	Flanco o dimensión: Perfil corto
			3	PDC, 13 mm				
			4	PDC, 8 mm				
	4	MEDIO	2	PDC, 19 mm				
			3	PDC, 13 mm				
			4	PDC, 8 mm				
	Densidad de diamantes (6-8)				3	Flanco o dimensión: Perfil medio		
	6	MEDIO A FUERTE	1	Diamante natural				
			2	TSP				
			3	Combinación				
	7	FUERTE	1	Diamante natural	4	Flanco o dimensión: Perfil largo		
			2	TSP				
3			Combinación					
8	MUY FUERTE	1	Diamante natural					
		4	Diamantes impregnados					

Fuente: Manual Grado de Desgaste de Smith Tool.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE BROCAS, PARÁMETROS Y FACTORES DE PERFORACIÓN ASOCIADOS, EMPLEADAS EN LA SECCIÓN 12 ¼” Y FORMACIÓN TIYUYACU EN EL CAMPO SACHA.

Caracterizar las diversas brocas empleadas en las operaciones de perforación del Campo Sacha constituye una significativa fuente de análisis dada la gran cantidad de datos relevantes que existen en los distintos reportes; por lo tanto, a continuación se muestra de una manera sintetizada y organizada la información producto del estudio recopilatorio realizado para la elaboración de este trabajo en base a la teoría expuesta en el Capítulo 1.

En una primera instancia, se clasifica y califica a las brocas en base a las herramientas descritas anteriormente. Por un lado, se determina cuantitativamente las brocas que intervienen por pozo y, por otro, la información se combina con la descripción de la clasificación IADC.

Posteriormente, para facilitar la identificación de las brocas, a cada una se le asigna un número, que en ocasiones va acompañado de la letra “R” cuando la broca reingresa. De esta manera se presenta la información referente a los parámetros asociados a las brocas en las operaciones de perforación, incluida su hidráulica.

Los intervalos perforados se los presenta por el total conseguido por cada broca, así como sus parciales atravesados por formación, de la misma manera con la data de tiempo y ROP.

En lo que respecta a los datos de fluidos de perforación se los presenta por pozo, y cuando en los reportes divide a la Sección 12 ¼” en Superior e Inferior, se los presenta así.

2.2.1. CANTIDAD Y CLASIFICACIÓN IADC DE LAS BROCAS EMPLEADAS.

La información caracterizada en la presente sección se resume en la tabla 2.5, y constituye una síntesis del Anexo 2⁴, elaborado a partir de reportes de brocas de 28 pozos.

Tabla 2.5 CANTIDAD DE BROCAS EMPLEADAS PARA LA SECCIÓN 12 ¼" Y FM. TIYUYACU, SEGÚN CLASIFICACIÓN IADC.

Clasificación IADC	CANTIDAD DE BROCAS EMPLEADAS											TOTAL	
	347	517	437	437X	447W	M123	M223	M323	M423	S123	S323		X122Y
Sección 12 ¼"	1	7	1	4	2	6	15	21	6	1	1	1	66
Fm. Tiyuyacu	1	7	1	4	1	1	12	18	5	0	1	1	52

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

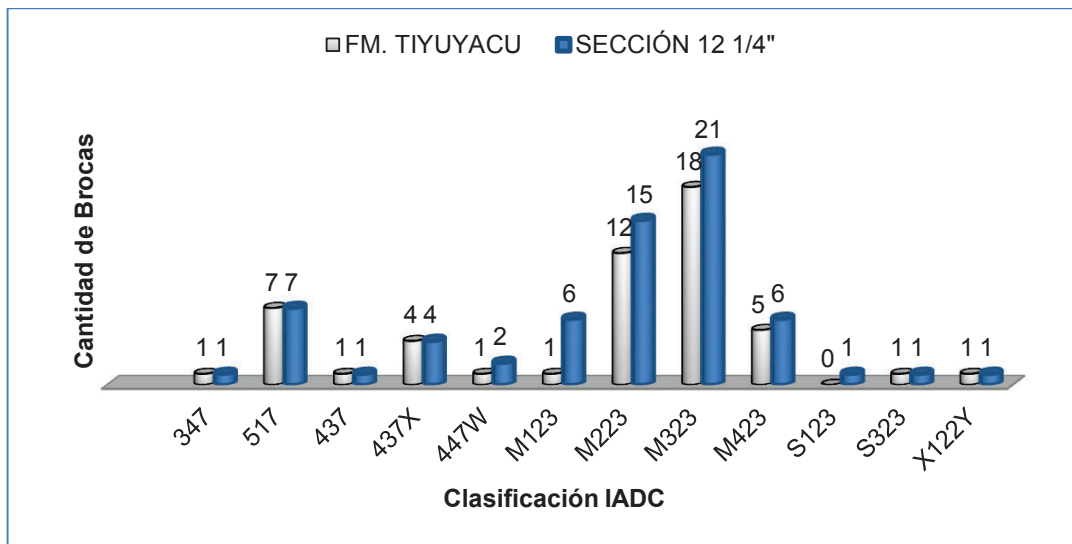
En la tabla se observa la cantidad de brocas empleadas, tanto para la Sección 12 ¼" como para la Formación Tiyuyacu en particular, siendo en total 66 y 52 brocas, respectivamente; las que se clasificaron según la IADC, en 12 tipos para la Sección 12 ¼" y 11 tipos para la Formación Tiyuyacu.

El gráfico 2.1 permite identificar las brocas usadas en la perforación, tanto de la Sección 12 ¼" como de la Formación Tiyuyacu, existiendo una clara tendencia al uso de brocas PDC sobre las Tricónicas. En lo que respecta a la Formación Tiyuyacu, entre las brocas PDC destacan M323, M223; mientras que de las Tricónicas la única que denota un uso relativamente elevado es la 517. Se puede

⁴ **Nota:** se presenta información detallada de cada una de las brocas para la Sección 12 ¼" del Campo Sacha, y contiene: nombre de pozo, tipo de broca (PDC/ Tricónica), número de broca en el pozo, intervención o no en la perforación de la Formación Tiyuyacu.

agrupar, para mayor facilidad las brocas con menor presencia en nuestro análisis, siendo estas de mayor a menor uso: M423, 437, 437X, 347, S323, 447W, M123, X122Y, y finalmente las brocas S123 con una incidencia de uso nula.

Gráfico 2.1 CANTIDAD DE BROCAS EN LA FM. TIYUYACU Y SECCIÓN 12 1/4"



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

2.2.1.1. Descripción IADC de las Brocas Empleadas en la Formación Tiyuyacu.

2.2.1.1.1. Brocas PDC.

A partir de la clasificación IADC se identifica cinco tipos de brocas PDC empleadas para perforar la Formación Tiyuyacu del Campo Sacha. Las sutiles diferencias que se dan entre sí se describen a continuación, acorde a su código IADC:

- **Broca M323.** Para perforar Tiyuyacu en los pozos analizados se usan veintiuna de estas brocas, siendo ésta la más común. Sus características son cuerpo de matriz con una densidad de media a alta de cortadores de longitud de 19 [mm] para formaciones suaves a medias; de perfil medio.

- **Broca M223.** Es el segundo tipo de brocas más usadas en la Formación Tiyuyacu con una cantidad de quince en los reportes analizados; su cuerpo es de matriz con una densidad baja de cortadores con longitud de 19 [mm] orientados a perforar formaciones suaves; de perfil medio.
- **Broca M123.** Empleada seis veces durante la perforación de la Formación Tiyuyacu. Su cuerpo, según la interpretación del código IADC, es elaborado en matriz, con una baja densidad de cortadores de 19 [mm] apta para perforar formaciones muy suaves; brocas de perfil medio.
- **Broca S323.** De los reportes, se observa el uso de una sola de estas brocas en la perforación de la Formación Tiyuyacu. Con cuerpo de acero y una densidad de media a alta de cortadores de longitud de 19 [mm] para perforar formaciones de dureza entre suave a media; broca de perfil medio.
- **Broca M423.** Intervienen seis de estas brocas en la perforación de Tiyuyacu de los reportes analizados, se caracteriza por tener cuerpo de matriz con una alta densidad de cortadores de 19 [mm] de longitud aptos para perforar formaciones de dureza media; broca de perfil medio.

2.2.1.1.2. Brocas Tricónicas.

Las brocas que en Sacha se han empleado para la Formación Tiyuyacu describen seis tipos de brocas según su clasificación IADC, éstas son:

- **Broca 517.** Se presenta en siete ocasiones este tipo de broca para la perforación de la Formación Tiyuyacu. Presentan dientes de insertos de tungsteno, apta para perforar formaciones de dureza entre suave a media. Tiene cojinetes de fricción sellado con protección de calibre.

- **Broca 437.** Se usó para perforar la Formación Tiyuyacu en una ocasión. Su código indica que es una broca con dientes de insertos de tungsteno para perforar formaciones suaves, posee cojinetes de fricción sellados con protección al calibre.
- **Broca 437X.** Perfora la Formación Tiyuyacu en cuatro ocasiones. Con las mismas características que su predecesora, con la “X” adicional que le da la característica de tener predominio de insertos de dientes de cincel.
- **Broca 447W.** Utilizada dos veces en las operaciones de perforación de Tiyuyacu. Según el código, esta broca perfora formaciones suaves con sus dientes de insertos de tungsteno, cojinetes de fricción sellados con protección al calibre y una estructura de corte mejorada.
- **Broca 347.** De los reportes analizados se encuentra una sola broca de este tipo en la perforación de la Formación Tiyuyacu, su código indica que es una broca de dientes de acero para perforar formaciones muy duras, posee cojinete de fricción sellado con protección de calibre.
- **Broca X112Y.** Una sola broca de este tipo es usada.

En las tablas 2.6 y 2.7 se presentan como resumen lo antes mencionado, diferenciando las brocas Tricónicas de las PDC, desarrollando el significado de los códigos, en particular para el grupo de brocas que se analizará en este estudio.

Tabla 2.6 DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO IADC DE LAS BROCAS TRICÓNICAS EMPLEADAS EN EL CAMPO SACHA.

Clasificación IADC	Series de la Estructura Cortante	Tipo de Estructura Cortante	Tipo de Cojinete y Protección al Calibre	Características disponibles (extras)	Cant. de Brocas	
					Sección 12 1/4"	Tiyuyacu
517	Dientes de insertos de tungsteno (5)	Suave a Medio (1)	Cojinete de fricción sellado con protección al calibre	-	7	7
437X	Dientes de insertos de tungsteno (4)	Suave (3)	Cojinete de fricción sellado con protección al calibre	Predominio de insertos de dientes de cincel	4	4
447W	Dientes de insertos de tungsteno (4)	Suave (4)	Cojinete de fricción sellado con protección al calibre	Estructura de corte mejorada	2	1
437	Dientes de insertos de tungsteno (4)	Suave (3)	Cojinete de fricción sellado con protección al calibre	-	1	1
347	Dientes de acero (3)	Duro (4)	Cojinete de fricción sellado con protección al calibre	-	1	1
X122Y	-	-	-	-	1	1



TRICÓNICA

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Tabla 2.7 DESCRIPCIÓN DEL CÓDIGO IADC DE LAS BROCCAS PDC EMPLEADAS EN EL CAMPO SACHA.

Clasificación IADC	Material del Cuerpo	Densidad de Cortadores	Tamaño o Tipo de Cortador	Estilo de Cuerpo	Cant. de Brocas	
					Sección 12 1/4"	Tiyuyacu
M323	MATRIZ	Suave a Medio	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	21	18
M223	MATRIZ	Suave	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	15	12
M423	MATRIZ	Medio	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	6	5
M123	MATRIZ	Muy Suave	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	6	1
S323	ACERO	Suave a Medio	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	1	1
S123	ACERO	Muy Suave	PDC, 19 mm	Flanco o dimensión: Perfil medio	1	0



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

2.2.2. CALIFICACIÓN IADC.

Todas las brocas que intervienen en la perforación de la Sección 12 ¼” y, por tanto, de la Formación Tiyuyacu, al salir a superficie se calificaron sobre la base de la teoría antes expuesta. Existen cuatro casos en que las brocas han sido reingresadas al pozo, estas brocas son: 46R, 48R, 60R y 66R. La calificación de cada broca estudiada está en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 CALIFICACIÓN IADC DE LAS BROCAS ESTUDIADAS.

No.	POZO	Cód. IADC	HILERA	HILERA	Características DESGASTE	UBICACIÓN	COJINETE SELLO	GAUGE	OTRAS Características	RAZÓN DE SALIDA
			INTERIOR	EXTERIOR						
1	208D	M223	0	1	WT	S/G	X	4	CT/DL	TD
2	239D	M223	1	2	CT/DL	N/S/G	X	1	NO	BHA
3	239D	437X	1	2	BT/CT	M/G	E	I	WT	HR
4	239D	437X	0	1	WT	G	E	I	CT	TD
5	261D	M223	1	2	WT	A	X	I	BT	HR
6	261D	M223	1	2	WT	A	X	I	BT	TD
7	263D	M323	4	3	BT	A	X	2	LT	PR
8	263D	M223	2	2	WT	A	X	I	BT	TD
9	265D	M323	2	2	WT	A	X	1	CT	BHA
10	265D	S323	1	2	WT	A	X	I	CT	BHA
11	265D	X122Y	1	2	WT	A	E	I	CT	FM
12	265D	M123	1	1	WT	A	X	I	CT	BHA
13	265D	M323	1	2	WT	A	X	I	CT	TD
14	267D	M323	1	2	WT	A	X	I	CT	BHA
15	267D	517	1	2	WT	A	E	1	NO	TD
16	280D	M323	2	3	WT	A	X	1	BT	PR
17	280D	M323	0	1	WT	S	X	I	NO	BHA
18	280D	517	1	1	WT	A	E	I	BT	BHA
19	280D	M123	0	1	WT	G	X	I	NO	TD
20	281D	M323	1	3	WT	A	X	I	LT	BHA
21	281D	M123	1	1	WT	A	X	I	CT	TD
22	282D	M323	0	1	WT	A	X	I	NO	BHA
23	282D	M323	0	1	WT	A	X	I	NO	BHA

Continuación Tabla 2.8										
24	282D	517	1	2	WT	A	E	1	NO	BHA
25	282D	M123	0	0	WT	A	X	I	NO	TD
26	283D	M323	1	2	WT	A	X	1	BT	PR
27	283D	M323	1	0	NO	A	X	I	BT	BHA
28	283D	517	0	1	NO	A	E	I	WT	TD
29	302D	M423	1	1	WT	N/T/S	X	I	CT	TD
30	303D	M223	1	1	BT	G/S	X	I	WT	FM
31	303D	447W	1	1	WT	A	F/2	2	BT	DT
32	314D	M223	2	5	RO	A	X	3	CT/BT	FM
33	314D	S123	0	3	CT/DL	G	X	1	ER	TD
34	317H	M223	0	2	CT	G	X	I	NO	BHA
35	317H	437	1	1	WT	G	E	I	NO	BHA
36	317H	M223	0	2	BT	S/G	X	1	WT	TD
37	340D	M323	0	2	CT	G	X	2	BT	BHA
38	340D	M323	2	2	BT	S	X	I	HC	PR
39	340D	M323	0	1	WT	A	X	I	BT	TD
40	341D	M123	1	2	DL/CT	N/G	X	1	WT	FM
41	341D	437X	1	1	CI/WT	A	FEE	I	CT/LT	TD
42	352D	M223	2	1	CT	S	X	I	BT	BHA
43	352D	517	0	1	WT	A	E	I	NO	FM
44	352D	M123	0	1	WT	A	X	I	CT	TD
45	355D	M223	1	1	CT	G	X	I	PN	DMF
46	355D	M323	1	0	BT	A	X	I	CT	TD
46R	355D	M323	1	2	BT	S	X	I	CT	HP
47	360V	M323	8	8	RO	A	X	I	NO	PR
48	360V	347	0	1	WT	A	E	I	NO	BHA
48R	360V	347	1	2	WT	A	E	I	NO	BHA
49	360V	M323	1	1	WT	S/G	X	I	NO	TD
50	362D	M223	0	2	WT	G	X	I	NO	TD
51	363D	M223	0	2	CT	G	X	1	WT	BHA
52	363D	437X	1	1	WT	A	E	1	NO	BHA
53	363D	M223	0	2	CT	G	X	4	WT/PN	PP
54	363D	M223	0	0	NO	A	X	I	NO	TD
55	365D	M323	1	1	WT	A	X	I	BT	BHA
56	365D	517	1	1	WT	A	E	I	NO	TD
57	366D	M323	0	1	WT	S/G	X	I	BT	TD
58	373H	M323	1	2	CT	G	X	1	WT	BHA
59	373H	517	1	1	WT	A	E	1	BT	BHA
60	373H	M323	0	0	WT	A	X	I	NO	BHA
60R	373H	M323	0	1	WT	A	X	I	NO	TD
61	380V	M423	1	2	BT	S	X	I	WT	TD
62	382D	M423	1	1	WT	S	X	I	BT	TD
63	383H	M423	0	1	CT	G	X	I	JD	BHA

Continuación Tabla 2.8										
64	383H	447W	1	1	WT	A	E	I	JD	BHA
65	383H	M423	0	1	CT	G	X	I	NO	TD
66	384D	M423	0	0	NO	A	X	I	NO	DTF
66R	384D	M423	1	1	WT	S	X	I	CT	TD

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En la tabla 2.8 se expone la calificación de 70 brocas en total, de las cuales 4 son reingresos; en el Anexo 3 se detalla carácter por carácter la calificación de las mismas.

2.2.3. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN.

La tabla 2.9 muestra los parámetros con los que se ha desarrollado la perforación de la sección intermedia en los pozos en estudio, con información de: Torque, Tasa de Flujo, Peso sobre la broca (WOB) y Revoluciones por minuto totales (RPM).

Los parámetros aquí descritos son los que están involucrados directamente sobre el rendimiento de brocas; ya que este trabajo se encuentra enfocado hacia las mismas.

Tabla 2.9 PARÁMETROS DE PERFORACIÓN EN CADA BROCA.

		PARÁMETROS DE PERFORACIÓN			
No. Broca	Pozo	Torque [klbs-ft]	Tasa de Flujo [GPM]	WOB [klbs]	RPM Total
1	208D	0-22,5	600-850	0-40,5	112-221
2	239D	9,0-14	650-850	2-30	136-208
3		12,0-15	700-800	5-30	152-198
4		12,0-15	750	25-30	160-180
5	261D	19	830	4-36	252
6		20	730	4-24	230
7	263D	24	860	6-18	269
8		18	780	6-30	251

Continuación Tabla 2.9					
9	265D	18	850	12-40	241
10		18	850	12-40	241
11		16	750	20-40	235
12		16	750	20-40	235
13		20	740	8-40	232
14	267D	4,0-20	900	2-36	263
15		9,0-14	750	20-40	245
16	280D	22	850	4-35	267
17		15	770	4-25	243
18		22	800	25-35	256
19		22	745	16-28	244
20	281D	22	920	6-25	219
21		22	760	14-22	248
22	282D	7,0-18	830	8-26	263
23		12,0-22	780	8-30	247
24		14,0-18	750	28-45	245
25		14-22,0	700	10-25	218
26	283D	8-22,0	850	8 - 36	257
27		10-16,0	785	12 - 20	243
28		10-17,0	730	12 - 35	240
29	302D	6-19,0	700-880	6-35	159-310
30	303D	6-7,0	700-950	15-39	164-247
31		1-2,0	880-880	20-35	210
32	314D	20-30,0	650-950	2-30	112-185
33		20-32,0	700-850	8-35	172-221
34	317H	12-18,0	700-850	4-20	152-216
35		12,0-18	850	12-30	191-206
36		15,0-26	700-850	10-30	176-154
37	340D	22	850	2-25	215
38		24	820	5-35	209
39		22	790	5-30	204
40	341D	8,0-25	600-900	8-28	189
41		22,0-25	810-900	13-25	160
42	352D	25	890	2-25	189
43		14	850	12-25	186
44		20	880	5-25	208
45	355D	22	807	2-35	262
46		24	753	2-28	173
46R		S/D	S/D	S/D	S/D
47	360V	0-15,0	960	2-40	196
48		S/D	S/D	S/D	S/D
48R		S/D	S/D	S/D	S/D
49		12-17,0	850	8-22	216

Continuación Tabla 2.9					
50	362D	14	600-800	10-26	136-220
51	363D	14,00-19	600-880	10-28	136-220
52		15,00-19	800	35	128-198
53		22,00-25	800	10-35	189-269
54		20,00-22	750	5-20	210
55	365D	5,00-20	890	2-30	232
56	366D	14,00-18	800	2-35	188
57		10,00-22	880	0-28	231
58		12	713	3-25	169
59		12	839	4-40	208
60	373H	15	816	2-35	193
60R		16	735	2-34	189
61	380V	5,00-11	550-880	10-35	103-185
62	382D	3,00-9	550-880	10-40	134-235
63	383H	10,00-13	500-880	5-35	125-220
64		8,0-9	700-800	15-40	169-206
65		11,0-20	700-870	5-35	179-227,9
66	384D	6,0-9	550-880	4-30	134-220
66R		10,0-15	700-880	8-40	159-235

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

2.2.3.1. Torque (torsión) y Arrastre.

Torques constantes y similares deben apreciarse en formaciones homogéneas. Formaciones interestratificadas con diferentes resistencias mostrarían cambios de torque según la broca y/o el BHA entran y salen de éstas.

Valores irregulares de torque indicarían inestabilidad de las paredes del pozo, colgamiento o arrastre excesivo en la sarta de perforación, pérdida de calibre de la broca o reducción del diámetro del hueco, transiciones litológicas o cambios de formación, cambios bruscos en la inclinación o dirección del hueco (doglegs), mala interacción de la estructura de corte de la broca con la formación, tortuosidad y/o espiralamiento del hueco, empaquetamiento o pega de la sarta de perforación, presencia de chatarra o basura en el pozo.

Un incremento de torsión se debería a cambios en el ángulo del agujero, fuga en la sarta, cambio de formación, propiedades no adecuadas del lodo, incremento en

el peso sobre la broca, limpieza inadecuada del pozo. Podría provocar un aumento en el daño que sufren los cortadores, desprender conos o romper aletas.

Se dice que hay un torque demasiado alto si la velocidad de rotación en superficie empieza a bajar.

Decrecimiento en los valores de torque implicaría cambio de formación, disminución de WOB, cambios en la velocidad de rotación, mejora en las propiedades del lodo, embolamiento de la broca, enderezamiento del ángulo del agujero, falla en las herramientas de fondo, o destrucción de las brocas.

Se denomina “perforar rotando”, cuando la mesa rotaria le da velocidad de rotación a la sarta, y se dice “perforar deslizando” cuando a la sarta que permanece inmóvil se le da inclinación y azimut para poder direccionar el pozo, usando únicamente el gasto de lodo y el motor de fondo.

Imprimir un torque excesivo podría limitar la longitud del intervalo horizontal al dañar las juntas o las conexiones más débiles de la tubería o a las paredes más delgadas de ésta. Al perforar rotando se tiene un torque mayor porque toda la tubería se encuentra en movimiento, a diferencia de perforar deslizando, donde el torque es mínimo.

2.2.3.2. Gasto Óptimo de Operación (GPM)

Operar con un galonaje mínimo no es recomendable; esto podría provocar embolamiento y reducir la limpieza del pozo, lo que lleva a una disminución en la tasa de penetración, por lo tanto un mayor costo de operación. Para una adecuada selección en el galonaje, presión de circulación y potencia en la broca, que a la vez permita una adecuada limpieza del pozo y no exceda la presión máxima permitida en superficie y en el espacio anular, es necesario considerar:

- Que las bombas sean capaces de bombear a la velocidad requerida.
- Que el galonaje seleccionado no interfiera con el funcionamiento de las otras herramientas de la sarta (MWD, LWD).

2.2.3.3. Peso sobre la Broca (WOB)

El WOB depende del tipo y dureza de la formación, siendo entonces que al aumentar la compresión de la formación, este parámetro debe incrementarse acompañado de una disminución en la tasa de rotación.

Pero debe tenerse cuidado con el WOB ya que al aumentar demasiado podría romper los elementos de corte en las brocas Tricónicas y/o PDC, o peor aún, romper una aleta o cono, que al caer al fondo del pozo generaría chatarra.

Al momento de enfrentarse a formaciones suaves las brocas tienden a embolarse, esto puede evitarse disminuyendo este parámetro (WOB), manteniendo una buena ROP, una mayor velocidad de rotación y una mayor circulación de fluido de perforación para garantizar una buena limpieza.

En perforaciones sobre balance de formaciones duras el WOB debe reducirse para mantener el hueco vertical. En caso de enfrentar una formación de alta abrasividad, se debería reducir ligeramente o mantener el WOB y disminuir las RPM para evitar el desgaste de los dientes de la broca. Pero a medida que los elementos de corte se desgasten, el WOB aumentará para mantener un ROP óptimo, aumentando también la estabilidad de la broca; ya que la vibración y la pérdida de calibre se presentarían por el comportamiento dinámico. El WOB debe optimizarse para reducir daños en la broca, causados por vibraciones.

2.2.3.4. Velocidad de Rotación (RPM).

Las RPM variarán según la dureza y abrasividad de la formación a perforar. Según incrementa la fuerza compresiva de la formación se requiere bajar las RPM, de manera que al atravesar una formación blanda un alto RPM resulta eficiente, en contraste con una formación dura o abrasiva donde un RPM más bajo será más eficiente ya que minimiza vibraciones y desgaste de los elementos de corte.

Existen casos en que una formación puede ser considerablemente blanda y al mismo tiempo abrasiva. Por lo que resulta necesario en todo momento optimizar las RPM para prevenir vibraciones.

Al perforar formaciones duras bajo balance no se necesita disminuir este parámetro para mantener la verticalidad del hueco.

2.2.4. FACTORES DE PERFORACIÓN ASOCIADOS A LA BROCA.

2.2.4.1. Fluidos de Perforación.

La tabla 2.10 muestra la reología de los fluidos de perforación que se emplean en la Sección 12 ¼” en cada pozo, donde constan: densidad, viscosidad de embudo, viscosidad plástica, punto cedente, geles, sólidos y pH.

Tabla 2.10 REOLOGÍA BÁSICA DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN PARA LA SECCIÓN 12 ¼” DE LOS POZOS DEL CAMPO SACHA.

No. Pozo	Pozo	Unidad	Densidad [ppg]		Viscosidad de Embudo [sec/ quart]		PV: Viscosidad Plástica [cPs]		YP: Punto Cedente [lbs/1000ft ²]		Geles [10/10/30]	Sólidos [Lbs/bls]		pH	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.		Min.	Máx.	Min.	Máx.
1	208D	Superior	9,5	9,5	28	29	3	4	6	7	3/8/13 5/9/15	17,5	2	9,3	9,3
		Inferior	9,6	10,1	48	52	13	17	9	25	3/10/15 6/10/13	2,5	7,5	9,8	9,4
2	239D	Sup/Inf	9,5	11,2	27	42	6	10	9	14	8/15/19 10/28/35	10	22,5	8	9
3	261D	Sup/Inf	10,2	10,2	42	47	14	23	15	23	6/9/11	7,07		10,4	10,7
4	263D	Sup/Inf	9,5	10,4	38	50	16	16	16	16	4/10/14	9,31		10,3	10,3
5	265D	Sup/Inf	9,5	10,9	43	52	15	19	14	22	7/13/19	4	12,5	10,7	11
6	267D	Sup/Inf	9,5	11,1	29	58	4	8	3	7	6/12/17	5	13	8,5	10,4
7	280D	Sup/Inf	9,2	22,1	29	48	4	20	8	20	6/11/14	4	13,5	8	10,7
8	281D	Sup/Inf	9,8	1,3	43	53	12	20	26	18	6/12/17	7	14	10,1	10,2
9	282D	Sup/Inf	9,5	11,1	32	52	4	17	8	23	8/16/23	4	12	8,5	10,4
10	283D	Sup/Inf	9,6	11,2	32	50	6	20	10	20	7/13/18	6,5	15,5	8,5	9,5
11	302D	Sup/Inf	9,7	11,2	39	57	9	22	15	26	S/D	3	3,9	9,2	10
12	303D	Superior	9,8	10,2	31	37	6	12	10	15	S/D	0	6	8	9,5
		Inferior	10,1	10,1	33	60	11	24	17	25	S/D	0	6	8,5	9,5

Continuación Tabla 2.10															
13	314D	Superior	9,8	10,2	30	35	6	12	10	15	S/D	0	6	8,5	9,5
		Inferior	10,1	10,8	33	55	10	25	15	25	S/D	0	6	8,5	9,5
14	317H	Sup/Inf	9,7	11,4	38	63	10	23	11	24	4/5/6 15/38/49	0	17,5	10,2	9,1
15	340D	Sup/Inf	9,7	13,5	42	60	11	24	14	25	3/8/11 8/21/26	2,5	17,5	1,1	9,5
16	341D	Sup/Inf	9,7	10,9	36	48	10	19	11	18	4/8/11 4/19/27	2,5	17,5	9,3	9,9
17	352D	Superior	9,5	10,1	28	34	5	6	6	11	2/9/12 3/10/14	10	17,5	7,1	7,4
		Inferior	10,1	11,2	36	46	10	13	11	18	3/9/12 5/18/22	5	15	9,6	9,5
18	355D	Superior	9,2	10	28	30	5	13	4	12	3/5/9 6/15/21	15	22,5	7	7,2
		Inferior	10	11,3	40	48	12	19	16	21	4/9/13 7/17/25	5	7,5	9,9	10,2
19	360V	Sup/Inf	9,2	11,6	30	62	6	26	12	34	S/D	2,5	17,5	8,5	9,3
20	362D	Sup/Inf	9,5	11,2	40	62	10	26	18	27	9/18/25	8	16	10	10,8
21	363D	Sup/Inf	9,6	11,2	42	67	13	29	19	32	10/23/32	4	18	10	10,9
22	365D	Sup/Inf	9,5	10,2	28	57	4	19	10	21	S/D	1	6	7,5	9,7
23	366D	Sup/Inf	9,2	10,8	42	52	10	18	16	31	S/D	8,75	8,75	8,8	9,4
24	373H	Sup/Inf	9,8	13,5	39	56	11	35	13	34	3/6/10 6/24/29	2,5	10	9,6	10
25	380V	Superior	9,8	9,8	32	32	6	8	14	16	S/D	0	4,49	7,2	8,5
		Inferior	9,8	9,8	32	46	6	15	14	16	S/D	0	4,49	9,4	9,5
26	382D	Superior	9,8	10,1	31	37	6	12	10	15	S/D	0	6	8	9,5
		Inferior	10,1	10,1	33	60	112	24	17	25	S/D	0	6	8,5	9,5
27	383H	Sup/Inf	9,7	13,4	38	73	10	27	12	31	S/D	1	6,5	8	9,5
28	384D	Superior	9,7	9,7	38	42	10	14	14	18	S/D	3,1	5	9,4	9,7
		Inferior	9,7	10	41	57	14	22	20	26	S/D	4,2	4,8	9,4	9,6

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

2.2.4.2. Hidráulica de Brocas.

2.2.4.2.1. TFA (Total Flow Area).

El TFA regula los cambios en presión y velocidad del lodo de perforación, de tal forma que, el flujo de fluido varía de alta presión y baja velocidad en la sarta de perforación a baja presión y alta velocidad a la salida de la broca. En este estudio se destaca el TFA utilizado en la o las brocas que presentan los mejores resultados en los diferentes análisis.

Se determina sumando las áreas de cada uno de los nozzles de la broca, con la ecuación básica del área de un círculo:

$$\text{Área de un nozzle} = \frac{\pi D^2}{4} [\text{in}^2] \quad (2.1)$$

Donde:

- Área de un nozzle (Área de flujo), [in^2].
- D = Diámetro del nozzle, [in].

En la industria se maneja el diámetro de nozzles en N/32 pulgadas, siendo la fórmula a aplicarse la ecuación 2.1 que es el área de un nozzle. Por tanto, la ecuación a usarse se resume en elevar el diámetro/32 pulgadas de cada nozzle al cuadrado, y dividir para 1303,8 (constante obtenida de dividir π para $4 \cdot 32^2$) como en la ecuación 2.2, y así obtener el TFA.

$$TFA = \frac{\sum N_i^2}{1303,8} [\text{in}^2] \quad (2.2)$$

Donde:

- N = Tamaño del nozzle/32, [in].
- TFA = Área total de flujo, [in^2].

2.2.4.2.2. HSI.

El Caballaje Hidráulico (HSI), al ser la fuerza hidráulica que consume la broca, es el que provee la energía para remover los cortes, a su vez, determina el índice de limpieza del pozo. Por tanto, interviene directamente sobre la tasa de penetración. Se considera como el factor primario para maximizar la tasa de penetración, al ser la energía requerida en la broca para expulsar los cortes desde la salida (cara) de la broca al anular.

La hidráulica de perforación es un factor muy completo al abarcar factores como: caudal de circulación, presión de circulación y diámetro de la broca.

Tabla 2.11 HIDRÁULICA PARA LAS BROCAS DE LA SECCIÓN 12 1/4".

No. Broca	Tipo de Broca	Pozo	HIDRÁULICA			
			Boquillas (/32")	Presión de Circulación [Psi]	TFA [in ²]	HSI [hp/in ²]
1	PDC	208D	5X13 2X12	1900-3300	0,869	<u>2,50</u>
2	PDC	239D	5X13 2X12	2200-3650	0,869	<u>3,50</u>
3	TRIC		3X18 1X16	2200-3600	0,940	<u>2,25</u>
4	TRIC	261D	3X18 1X16	3600	0,940	<u>2,36</u>
5	PDC		5X13 2X14	3750	0,949	1,91
6	PDC	263D	5X13 2X14	3800	0,949	1,66
7	PDC		5X13 2X14	3800	0,949	2,24
8	PDC	265D	5X13 2X14	3900	0,949	1,89
9	PDC		5X13 2X14	3900	0,949	2,17
10	PDC	267D	5X13 2X14	3900	0,949	1,89
11	TRIC		3X22	3800	1,114	1,58
12	PDC	280D	4X13 4X14	3800	1,119	1,39
13	PDC		7X15	4000	1,208	1,39
14	PDC	281D	5X13 2X14	3900	0,949	2,66
15	TRIC		3X20	3900	0,92	2,18
16	PDC	282D	5X13 2X14	3700	0,949	2,99
17	PDC		5X13 2X14	3900	0,949	1,85
18	TRIC	283D	3X22	3900	1,114	1,87
19	PDC		7X12 1X13	3900	0,903	2,31
20	PDC	302D	5X13 2X14	3900	0,949	2,24
21	PDC		7X12 1X13	3700	0,903	2,47
22	PDC	303D	5X13 2X14	3650	0,949	2,34
23	PDC		5X13 2X14	3750	0,949	2,03
24	TRIC	314D	3x22	3700	1,114	1,63
25	PDC		7X12 1X13	3800	0,903	1,71
26	PDC	317H	5X13 2X14	3900	0,949	2,58
27	PDC		5X13 2X14	3900	0,949	1,83
28	TRIC	303D	3X20	3900	0,920	2,21
29	PDC		8x12	2400-3700	0,884	2,72
30	PDC	314D	8x12	1200-3500	0,884	2,38
31	TRIC		3x20	3500-3700	0,92	3,72
32	PDC	317H	4x13 3X14	1900-3850	0,969	<u>2,65</u>
33	PDC		4x142X16	3900	0,994	<u>2,5</u>
34	PDC	317H	2x13 5x14	2200-2900	1,010	<u>2,25</u>
35	TRIC		1x16 3x18	3600	0,942	<u>3,45</u>

Continuación Tabla 2.11						
36	PDC		7x14	3500-3950	1,052	<u>2,15</u>
37	PDC	340D	7X13	3800	0,907	2,69
38	PDC		7X14	3750	1,052	1,48
39	PDC		7X14	3880	1,052	2,08
40	PDC	341D	7X13	1450-3300	0,907	<u>2,45</u>
41	TRIC		1X16 3X18	2850-3500	0,942	<u>3,05</u>
42	PDC	352D	7X12	3350	0,773	3,68
43	TRIC		2X15 1X20	3500	0,652	3,97
44	PDC		6X12 2X11	3500	0,848	4,07
45	PDC	355D	7X12	2231	0,773	3,87
46	PDC		7X12	2404	0,773	2,19
46R	PDC		7X12	S/D	0,773	3,95
47	PDC	360V	4X13 3X14	3450	0,969	3,26
48	TRIC		3X20	3900	0,920	S/D
48R	TRIC		3X20	S/D	0,920	S/D
49	PDC		7X14	S/D	1,052	1,83
50	PDC	362D	7X13	3700	0,907	<u>2,65</u>
51	PDC	363D	7X13	2350-3700	0,907	<u>2,90</u>
52	TRIC		3X18 1X16	3900	0,942	<u>2,85</u>
53	PDC		3X14 4X15	3600-3800	1,140	<u>1,75</u>
54	PDC		3X15 4X16	3800	1,303	<u>1,20</u>
55	PDC	365D	7X12	3800	0,773	4,21
56	TRIC		3X20	3850	0,920	2,81
57	PDC	366D	7X12	3900	0,773	3,29
58	PDC	373H	7X12	2496	0,773	2,60
59	TRIC		3X20	3045	0,92	3,01
60	PDC		5X15 2X14	3637	1,164	2,18
60R	PDC		5X16 2X18	3676	1,479	1,03
61	PDC	380V	6X12 2X1	1400-3700	0,664	3,47
62	PDC	382D	3X12 5X13	1200-3850	0,979	2,63
63	PDC	383H	2X12/32 5X13	1400-3250	0,867	1,56
64	TRIC		3X20	2200-2950	0,920	2,54
65	PDC		6X14 2X15	2450-4150	1,247	1,42
66	PDC	384D	5X12 3X13	1400-3200	0,941	2,50
66R	PDC		5X12 3X13	2100-3800	0,941	2,58

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

2.2.5. ESPESOR PERFORADO.

En la tabla 2.12 se observa el espesor perforado de las formaciones desde el Terciario Indiferenciado hasta la Formación Tena, además del espesor total

perforado por broca, y el acumulado perforado por pozo en estas formaciones; con énfasis en la Formación Tiyuyacu.

Tabla 2.12 ESPESOR PERFORADO POR FORMACIÓN, SECCIÓN 12 ¼”.

No. Broca	POZO	INTERVALO [ft]							TOTAL ESPESOR POR BROCA	TOTAL ESPESOR POR POZO	Atraviesa Tiyuyacu
		TID	Ortegiuaza	FM. Tiyuyacu	Congl. Superior Tiyuyacu	Int. Tiyuyacu	Congl. Inferior Tiyuyacu	Fm. Tena			
1	208D	1714,00	830,00	182,00	190,00	782,00	470,00	38,00	4206,00	4206,00	X
2		2778,00	838,00	204,00	206,00	769,00	154,00		4949,00		X
3	239D						249,00		249,00	5382,00	X
4							175,00	9,00	184,00		X
5	261D		628,00	212,00	666,00	N/E			1506,00	3142,00	X
6						N/E	712,00	924,00	1636,00		X
7	263D		612,00	194,00	199,00	157,00			1162,00	3124	X
8						524,00	527,00	911,00	1962,00		X
9			895,00	246,00	263,00	273,00			1677,00		X
10						612,00	250,00		862,00		X
11	265D						390,00		390,00	4169,00	X
12							40,00	194,00	234,00		X
13								1006,00	1006,00		
14	267D	1485,00	913,00	216,00	240,00	778,00	247,00		3879,00	4347	X
15							422,00	46,00	468,00		X
16		1597,00	756,00	213,00	529,00	N/E			3095,00		X
17	280D				506,00	N/E	252,00		758,00	5161,00	X
18						N/E	208,00		208,00		X
19						N/E		1100,00	1100,00		
20	281D		631,00	213,00	1035,00	N/E	355,00		2234,00	3216,00	X
21						N/E	68,00	914,00	982,00		X
22		1826,00	804,00	201,00	265,00				3096,00		X
23	282D					843,00	121,00		964,00	5370,00	X
24							348,00	37,00	385,00		X
25								925,00	925,00		
26		1794,00	797,00	223,00	239,00	444,00			3497,00		X
27	283D					516,00	128,00		644,00	4392,00	X
28							219,00	32,00	251,00		X
29	302D		767,00	212,00	1208,00	N/E	493,00	31,00	2711,00	2711,00	X
30	303D	1494,00	910,00	215,00	923,00	N/E	203,00		3745,00	4187,00	X
31						N/E	277,00	165,00	442,00		X
32	314D		735,00	146,00	247,00	659,00	594,00	25,00	2406,00	3174,00	X
33								768,00	768,00		

Continuación Tabla 2.12											
34				101,00	261,00	729,00	61,00		1152,00		X
35	317H						563,00	92,00	655,00	3752,00	X
36								860,00	1945,00		
37	340D		814,00	172,00	239,00	411,00			1636,00	3173,00	X
38						516,00	445,00	72,00	1033,00		X
39								504,00	504,00		
40	341D	1872,00	927,00	151,00	1079,00	N/E	176,00		4205,00	4703,00	X
41						N/E	465,00	33,00	498,00		X
42	352D	1494,00	850,00	219,00	170,00	N/E	945,00		3678,00		X
43						N/E	365,00	30,00	395,00	4851,00	X
44						N/E		778,00	778,00		
45	355D	3202,00	914,00	220,00	174,00	430,00			4940,00		X
46						464,00	494,00	90,00	1048,00	5988,00	X
46R		S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-		
47	360V	1475,00	775,00	126,84	248,59	623,30	534,27		3783,00		X
48			S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-	4685,00	
48R			S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-		
49							93,00	809,00	902,00		X
50	362D	586,00	900,00	240,00	233,00	717,00	595,00	893,00	4164,00	4164,00	X
51	363D		926,00	202,00	231,00	858,00	221,00		2438,00		X
52							397,00	59,00	456,00	4736,00	X
53								1068,00	1273,00		
54									569,00		
55	365D	1891,00	942,00	193,00	211,00	793,00	238,00		4268,00	4687,00	X
56							287,00	132,00	419,00		X
57	366D		663,00	208,00	165,00	648,00	566,00	70,00	2320,00	2320,00	X
58	373H			255,00	117,00	706,00	226,00		1304,00		X
59							409,00	41,00	450,00	4085,00	X
60								973,00	1041,00		
60R									1290,00		
61	380V	1429,00	849,00	151,00	150,00	801,00	539,00	35,00	3954,00	3954,00	X
62	382D	1515,00	968,00	215,00	995,00	N/E	668,00	66,00	4427,00	4427,00	X
63	383H			161,00	163,00	738,00	224,00		1286,00		X
64							387,00	10,00	397,00	3744,00	X
65								916,00	2061,00		
66	384D	1590,00	898,00			N/E			2488,00	4565,00	
66R			83,00	202,00	658,00	N/E	1067,00	67,00	2077,00		X

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En los casos que los valores de la columna "Total Intervalo por Broca" son superiores a la suma de lo atravesado por formación, la diferencia corresponde a formaciones ubicadas geológicamente por debajo de la Formación Tena.

2.2.6. TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN.

Se considera tiempo neto aquel empleado únicamente en operaciones de perforación, bien sea rotando o deslizando; es decir, no considera tiempos de viajes ni de circulación.

En la tabla 2.13, se han compilado los diferentes tiempos por broca, de las diferentes formaciones geológicas que éstas han perforado por pozo. Nótese que de las brocas 46R, 48, 48R y 60R no se dispone de esta información, porque estas brocas entran para viajes de acondicionamiento del hueco, por tal no disponen de tiempos de perforación; en cambio, para las brocas de perforación la escasez de información se debe a que la misma no consta en los reportes analizados o no es compatible con las formaciones consideradas (No. 54).

Tabla 2.13 TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN POR BROCA, SECCIÓN 12 ¼".

No. Broca	POZO	TIEMPO [hr]								TIEMPO TOTAL por BROCA	TIEMPO TOTAL por POZO	Atraviesa Tiyuyacu
		Terciario Indiferenciado	Ortegüaza	Formación Tiyuyacu	Congl. Superior Tiyuyacu	Int. Tiyuyacu	Congl. Inferior Tiyuyacu	Tena	Sumatorio X ⁵			
1	208D	13,43	14,93	1,97	4,07	15,02	12,82	0,95		63,19	63,19	X
2		14,39	10,51	3,11	6,31	34,02	8,66			77,00		X
3	239D						7,50			7,50	96,30	X
4							10,07	1,73		11,80		X
5	261D		<i>9,44</i>	<i>5,24</i>	<i>20,24</i>	N/E			34,92	34,92		X
6					<i>5,99</i>	N/E	<i>20,37</i>	<i>25,17</i>	51,53	51,53	86,45	X
7	263D		<i>15,32</i>	<i>7,10</i>	<i>4,80</i>	<i>5,20</i>			32,42	32,42		X
8						<i>18,47</i>	<i>8,35</i>	<i>23,45</i>	50,27	50,27	82,69	X
9			<i>19,00</i>	<i>9,50</i>	<i>7,73</i>	<i>5,52</i>			41,75	41,75		X
10						<i>15,95</i>	<i>9,73</i>		25,68	25,68		X
11	265D						14,13			14,13	150,03	X
12								<i>19,12</i>	19,12	19,12		
13								49,35		49,35		

⁵ Los reportes de brocas de la compañía Baker Hughes, en su mayoría brindan información de horas perforadas por la broca, o sin hacer distinción de los conglomerados de Tiyuyacu.

⁶ Todo número en negrita y cursiva, son tiempos que los reportes de brocas no arrojaban directamente, estos valores se obtuvieron de los reportes diarios de perforación.

Continuación Tabla 2.13													
14	267D	18,21	4,57	9,34	20,72	N/E	6,72		41,35	59,56	81,08	X	
15							17,44	4,08		21,52		X	
16	280D	12,22	22,00	5,10	14,50				53,82	53,82	106,49	X	
17						13,00	4,55		17,55	17,55		X	
18							10,30			10,30		X	
19									24,82	24,82			
20	281D		3,00	5,50	18,00	N/E	7,50	5,00	39,00	39,00	49,62	X	
21						N/E		10,62	10,62	10,62			
22	282D	9,19	8,01	7,27	8,05				15,32	32,52	91,81	X	
23						23,14	4,29		27,43	27,43		X	
24							11,98	2,80		14,78		X	
25									17,08	17,08			
26	283D	12,69	22,29	10,54	9,10	19,45			39,09	74,07	101,18	X	
27						9,19	4,38		13,57	13,57		X	
28							10,23	3,31		13,54		X	
29	302D		16,18	4,28	5,95	25,05	35,53	0,75	87,75	87,75	87,75	X	
30	303D	11,68	4,60	0,82	19,17	N/E	7,40			43,67	63,19	X	
31						N/E	8,02	11,50		19,52		X	
32	314D		8,80	X	X	X	X ⁷	2,80	45,70	57,30	68,60	X	
33									11,30	11,30			
34	317H			2,20	6,67	10,97	2,99			22,83	156,39	X	
35							23,12	8,98		32,10		X	
36									43,66	101,46			
37	340D		27,55	6,68	7,09	13,78			55,10	55,10	122,83	X	
38						32,09	7,54	4,72	44,35	44,35		X	
39									23,38	23,38			
40	341D	20,56	11,14	19,20	10,10	N/E	7,60			68,60	88,30	X	
41						N/E	15,15	4,55		19,70		X	
42	352D	8,79	9,55	21,80	1,40	N/E	20,81		44,01	62,35	96,17	X	
43						N/E	13,87	4,05		17,92		X	
44						N/E		15,90		15,90			
45	355D	16,64	9,09	14,74	7,80	14,74				63,01	85,93	X	
46						5,98	15,16	1,78		22,92		X	
46R		S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D		-			
47	360V	13,17	4,80	2,52	7,56	18,76	11,44		40,28	58,25	80,19	X	
48			S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D		-			
48R			S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D		-			
49								3,92	18,02			21,94	X
50	362D	6,11	8,98	3,12	6,52	16,89	17,44	24,61		83,67	83,67	X	
51	363D		15,43	3,16	6,60	14,30	11,05			50,54	142,34	X	
52								14,77	5,00			19,77	X
53									25,69			45,31	

⁷ En el reporte de brocas no siempre constan los tiempos individuales que la broca demoró al atravesar los conglomerados y la Formación Tiyuyacu, mas sí el tiempo total que opera la broca, valor al que corresponde este dato.

Continuación Tabla 2.13												
54										26,72		
55	365D	13,98	13,19	9,36	4,46	22,20	7,58		43,60	70,77	97,74	X
56							17,97	9,00		26,97		X
57	366D		6,89	12,67	6,41	4,80	12,02	3,12	11,21	33,89	33,89	X
58	373H			3,84	2,74	15,41	7,94			29,93	137,81	X
59							16,46	2,79		19,25		X
60									24,36	24,36		
60R										64,27		
61	380V	4,72	3,43	1,68	3,18	9,72	17,18	2,35		42,26	42,26	X
62	382D	12,15	11,33	2,03	24,10	N/E	23,12	1,70		74,43	74,43	X
63	383H			2,85	3,70	9,95	5,90			22,40	79,90	X
64							19,46	2,32		21,78		X
65								35,72		97,93		
66	384D	11,18	16,60			N/E				27,78	80,91	
66R			0,86	1,82	16,30	N/E	32,35	1,80		53,13		X

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

2.2.7. TASAS DE PENETRACIÓN EFECTIVAS (ROP).

Del mismo modo que en los casos antes mencionados, la tabla 2.14 indica la ROP Efectiva en cada una de las formaciones atravesadas, dando un ROP Efectiva total por cada broca. Cabe recalcar que ROP Efectiva corresponde a la relación de pies perforados para el tiempo efectivo que toma la operación.

Tabla 2.14 TASA DE PENETRACIÓN EFECTIVA POR BROCA EN LA SECCIÓN 12 1/4".

No. de Broca	POZO	ROP EFECTIVA [ft/hr]							ROP TOTAL EFECT. por BROCA	Atravesada Tiyuyacu
		Terciario Indiferenciado	Ortegüaza	Formación Tiyuyacu	Congl Superior Tiyuyacu	Int. Tiyuyacu	Congl Inferior Tiyuyacu	Tena		
1	208D	127,62	55,59	92,39	46,68	52,06	36,66	40,00	66,56	X
2	239D	193,05	79,73	65,59	32,65	22,60	17,78		64,27	X
3							33,20		33,20	X
4							17,38	5,20	15,59	X
5	261D		43,13	43,13	43,13	N/E			43,13	X
6						N/E	31,75	31,75	31,75	X

Continuación Tabla 2.14										
7	263D		35,84	35,84	35,84	35,84			35,84	X
8						39,03	39,03	39,03	39,03	X
9	265D		40,17	40,17	40,17	40,17			40,17	X
10						33,57	33,57		33,57	
11								27,60	27,60	X
12								12,24	12,24	X
13								20,39	20,39	X
14	267D	81,55	177,70	35,81	35,81	35,81	35,81		59,95	
15							24,20	11,28	21,75	X
16	280D	57,51	57,51	57,51	57,51	N/E			57,51	X
17					43,19	N/E	43,19		43,19	X
18						N/E	20,19		20,19	X
19						N/E		44,32	44,32	
20	281D	S/D	57,28	57,28	57,28	N/E	57,28		57,28	X
21						N/E	92,47	92,47	92,47	X
22	282D	198,78	100,37	30,43	30,43				95,20	X
23						35,14	35,14		35,14	X
24							29,05	13,20	26,05	X
25								54,16	54,16	
26	283D	141,40	35,75	23,18	23,18	23,18			47,21	X
27						47,46	47,46		47,46	
28							21,00	9,88	18,54	X
29	302D		47,60	27,50	27,50	N/E	27,50	15,80	30,89	X
30	303D	65,77	65,77	85,80	85,80	N/E	85,80		85,76	
31						N/E	22,60	22,60	22,64	X
32	314D		83,52	36,02	36,02	36,02	36,02	8,93	41,99	X
33								67,96	67,96	
34	317H			45,91	39,13	66,45	20,40		50,46	X
35							24,35	10,24	20,40	X
36								19,70	19,17	X
37	340D		29,69	29,69	29,69	29,69			29,69	X
38						23,29	23,29	23,29	23,29	
39								21,56	21,56	X
40	341D	91,05	84,20	48,28	28,91	N/E	23,16		61,30	X
41						N/E	30,69	7,25	25,28	
42	352D	169,94	27,13	30,31	30,31	N/E	30,31		58,99	
43						N/E	30,57	23,73	27,43	X
44						N/E		48,93	48,93	X
45	355D	192,44	100,60	44,10	22,30	44,10			78,40	X
46						77,58	32,60	50,56	45,72	
46R		S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-	
47	360V	112,00	161,46	42,86	42,86	33,82	33,82		64,94	X
48			S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-	X
48R			S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	-	X
49							23,74	44,90	41,11	X

Continuación Tabla 2.14										
50	362D	95,91	100,22	76,92	35,74	42,45	34,12	36,29	49,77	
51	363D		60,00	64,00	35,00	60,00	20,00		48,24	X
52							26,87	11,80	23,07	X
53								41,57	28,10	X
54									21,29	X
55	365D	135,26	71,42	32,91	32,91	32,91	32,91		60,31	X
56							18,98	8,67	15,54	X
57	366D		96,23	65,67	30,87	30,87	30,87	34,62	50,53	X
58	373H			66,33	42,65	45,82	28,47		43,57	X
59							24,85	14,68	23,38	X
60								39,95	39,03	X
60R									20,07	X
61	380V	301,00	250,00	63,00	65,00	75,00	30,00	20,00	93,56	X
62	382D	126,00	83,84	38,51	38,51	N/E	38,51	27,36	59,48	X
63	383H			60,00	39,00	59,00	40,00		57,36	
64							20,00	6,00	18,23	X
65								22,90	21,05	X
66	384D	301,00	250,00			N/E			89,56	X
66R			107,00	40,00	33,00	N/E	33,00	20,00	39,09	X

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Disminuciones abruptas de ROP señalan un cambio de broca. También pueden indicar desgaste de la broca, cambio de formación, agujero torcido, fugas hidráulicas en la sarta, o parámetros WOB, RPM o hidráulicos no optimizados.

Un incremento de ROP sería causado por un cambio de formación, o perforación cerca del balance (reduciendo sobrebalance). Perforar bajo balance incrementa significativamente el ROP.

2.2.8. ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (E_s).

La energía mecánica específica⁸ considera parámetros importantes en la operación de perforación, se define como:

⁸ Rabia, H. (1985, July 1). Specific Energy as a Criterion for Bit Selection. Society of Petroleum Engineers.

$$E_S = \frac{20 \cdot WOB \cdot N}{d \cdot ROP} \left[\frac{\text{in} \cdot \text{lb} \cdot \text{f}}{\text{in}^3} \right] \quad (2.3)$$

Donde:

- WOB = Peso sobre la broca, [klbs].
- N = Velocidad de la rotaria, [rpm].
- D = Diámetro de la broca, [in].
- ROP = Tasa de penetración, [ft/hr].

Como se denota en la ecuación 2.3, su valor es netamente dependiente de la broca, así como de su diseño y tipo, mas no considera propiedades de la formación que está atravesando.

Para calcular el valor de la energía mecánica específica (E_S) de cada broca se considera los parámetros que obtenga la broca por formación atravesada, mas no por cada broca en sí. Entonces, si una broca perfora 3 formaciones, se realiza la aplicación de la ecuación tres veces, una por cada formación.

Criterio de la Energía Mecánica Específica para la Selección de Brocas.

El criterio define que la mejor broca para cierta formación es aquella que requiera menor cantidad de energía mecánica específica, sea esta Tricónica o PDC.

Es importante también definir el punto en el que la broca que está perforando debe ser reemplazada. Esto es cuando el valor de la energía mecánica específica de la broca que se encuentra en operaciones empieza a incrementarse, al tiempo que otra broca adopta el criterio de este método de lograr obtener una energía mecánica específica menor en ese mismo punto. Ver tabla 2.15.

Tabla 2.15 ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (E_s), SECCIÓN 12 ¼".

No. Broca	Tipo de Broca	POZO	E _s [in-lbf/in ³]						
			Terciario Indiferenciado	Orteguaza	Formación Tiyuyacu	Congl. Superior Tiyuyacu	Int. Tiyuyacu	Congl. Inferior Tiyuyacu	Tena
1	PDC	208D	9,73	32,57	24,97	23,78	35,36	31,44	32,65
2	PDC	239D	12,18	32,76	25,89	52,00	64,53	73,46	
3	TRIC							59,01	
4	TRIC							225,45	659,34
5	PDC	261D		29,17	27,31	50,95	N/E		
6	PDC					S/D	N/E	18,93	64,94
7	PDC	263D		21,77	8,54	4,90	117,19		
8	PDC						59,04	41,64	73,62
9	PDC	265D		20,20	34,76	44,83	73,14		
10	PDC						61,60	56,90	
11	TRIC							93,16	
12	PDC							136,83	330,72
13	PDC								97,13
14	PDC	267D	12,36	12,12	36,37	65,31	97,41	100,93	
15	TRIC							121,44	396,07
16	PDC	280D	20,99	13,63	34,78	85,68			
17	PDC						75,05	36,69	
18	TRIC							177,86	
19	PDC								73,06
20	PDC	281D	S/D	28,15	35,04	74,06	N/E	7,46	41,05
21	PDC						N/E		35,05
22	PDC	282D	12,25	22,84	79,12	51,70			
23	PDC						92,45	52,00	
24	TRIC							156,11	389,61
25	PDC								48,01
26	PDC	283D	8,98	44,69	37,47	67,16	150,13		
27	PDC						39,83	35,81	
28	TRIC							43,54	297,45
29	PDC	302D		16,36	72,56	96,04	N/E	80,84	139,28
30	PDC	303D	28,40	11,88	41,07	30,08	N/E	85,47	
31	TRIC						N/E	133,62	183,67
32	PDC	314D		15,64	21,37	21,77	26,48	50,72	292,52
33	PDC								61,26
34	PDC	317H			10,83	58,41	8,03	32,01	
35	TRIC							113,05	286,99
36	PDC								66,10
37	PDC	340D		16,56	49,78	38,11	78,49		
38	PDC						42,67	67,72	273,61
39	PDC								88,55

Continuación Tabla 2.15									
40	PDC	341D	19,72	40,72	71,01	46,33	N/E		
41	TRIC						N/E	79,80	337,79
42	PDC	352D	9,62	72,41	49,09	13,06	N/E	106,48	
43	TRIC						N/E	S/D	S/D
44	PDC						N/E		41,44
45	PDC	355D	7,76	15,61	32,77	23,98	50,22		
46	PDC						22,57	25,04	30,27
46R	PDC		S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
47	PDC	360V	27,21	S/D	S/D	S/D	107,97	43,93	
48	TRIC							63,27	40,29
48R	TRIC			S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
49	PDC			S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
50	PDC	362D	13,62	20,51	12,21	27,54	49,40	19,45	73,24
51	PDC	363D		29,54	33,50	18,66	34,93	47,11	
52	TRIC							138,85	247,32
53	PDC								39,93
54	PDC								
55	PDC	365D	9,86	26,54	28,22	29,68	118,85	67,28	
56	TRIC							93,37	340,21
57	PDC	366D		19,66	23,65	14,99	45,29	46,44	53,30
58	PDC	373H			S/D	S/D	34,63	39,41	
59	TRIC							33,62	32,65
60	PDC								23,31
60R	PDC								
61	PDC	380V	17,05	14,50	43,83	12,21	54,83	55,03	97,96
62	PDC	382D	15,10	33,13	25,59	58,58	N/E	36,88	148,67
63	PDC	383H			17,39	22,27	40,52	40,82	
64	TRIC							150,85	S/D
65	PDC								86,49
66	PDC	384D	10,24	14,56			N/E		
66R	PDC				20,60	61,41	39,58	N/E	66,26

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

2.2.9. COSTO POR PIE. (BOURGOYNE A., 1992)

El costo por pie sirve como una gran herramienta para evaluar el desempeño de una broca en marcha, considerando el tiempo y espesor atravesado, además del costo en sí de la broca y del taladro de perforación. De ahí que el costo por pie, se determina con la siguiente ecuación:

$$C_f = \frac{C_b + C_t(t_n + t_t)}{\Delta D} \left[\frac{US \$}{ft} \right] \quad (2.4)$$

De forma simplificada:

$$C_f = \frac{C_b + C_t(T)}{\Delta D} \left[\frac{US \$}{ft} \right] \quad (2.5)$$

Donde:

- ΔD = Espesor perforado, [ft].
- C_f = Costo de perforación por unidad de profundidad, [US \$/ft]
- C_b = Costo de la broca, [US \$].
- C_t = Costo operativo fijo del equipo de perforación, [US \$/hr].
- t_n = Tiempo neto de perforación. [hr].
- t_t = Tiempo de viaje, [hr].
- T = Tiempo total (tiempo de perforación más tiempo de viaje), [hr].

Reducir el costo por uso de los diferentes tipos de brocas no necesariamente resulta en costos de perforación más bajos si no se evalúa de forma técnica aspectos como el riesgo por problemas de perforación, tales como: atascamiento de la tubería, desviación del agujero, y otros que aumentan de forma significativa el costo final de las operaciones de perforación.

En la tabla 2.16 consta el costo por pie para las brocas consideradas dentro de este estudio, así como el costo por pie de cada pozo.

A continuación, un ejemplo de cálculo para la broca No. 1 (M223) que atraviesa sola la Sección 12 ¼" del Pozo 208D (ecuación 2.4):

$$C_f = \frac{C_b + C_t(t_n + t_t)}{\Delta D} \left[\frac{US \$}{ft} \right]$$

$$C_f = \frac{65000 + 1614,54(63,18 + 8,22)}{4196} \left[\frac{US \$}{ft} \right]$$

$$C_f = 42,97 \left[\frac{US \$}{ft} \right]$$

En el caso del cálculo de costo por pie para pozo, a continuación el ejemplo de cálculo para el pozo 341D, cuya Sección 12 ¼" es perforada con dos brocas (M123 y 437X):

- 1) Se obtienen las fracciones del espesor perforado para cada broca que interviene en el pozo de la siguiente manera:

$$fracción_{H(n)} = \frac{\text{Espesor perforado por la broca}(n)}{\text{Espesor (1)} + \text{Espesor (2)} + \dots + \text{Espesor (i)}} \quad (2.6)$$

Aplicado para cada broca de este caso se obtienen las fracciones de 0,89 y 0,11 respectivamente para las brocas No. 40 y 41:

$$fracción_{H(\text{No.40})} = \frac{\text{Espesor perforado por la broca No. 40}}{\text{Espesor (No. 40)} + \text{Espesor (No. 41)}}$$

$$fracción_{H(\text{No.40})} = \frac{4205}{4205 + 498}$$

$$fracción_{H(\text{No.40})} = 0,89$$

$$fracción_{H(\text{No.41})} = \frac{\text{Espesor perforado por la broca No. 41}}{\text{Espesor (No. 40)} + \text{Espesor (No. 41)}}$$

$$fracción_{H(\text{No.41})} = \frac{498}{4205 + 498}$$

$$fracción_{H(\text{No.41})} = 0,11$$

- 2) Usando la ecuación 2.4 se calcula para cada broca el costo por pie perforado.

$$C_{fH(No.40)} = \frac{55000 + 1614,54(68,60 + 8,00)}{4205} = 42,49 \left[\frac{US \$}{ft} \right]$$

$$C_{fH(No.41)} = \frac{16000 + 1614,54(19,70 + 16,41)}{498} = 149,20 \left[\frac{US \$}{ft} \right]$$

- 3) A continuación se multiplica la fracción y el costo por pie, que corresponde a cada broca y se suma, obteniendo el resultado final de costo por pie de la sección para el pozo 341D, siendo de 53,79 [US \$/ft].

$$C_{f\ Total} = (C_{fHn} * fracción_{Hn}) + (C_{fHn+1} * fracción_{Hn+1}) + \dots + (C_{fH(n+i)} * fracción_{H(n+i)}) \left[\frac{US \$}{ft} \right] \quad (2.7)$$

$$C_{f\ Total} = (42,49 * 0,89) + (149,20 * 0,11) \left[\frac{US \$}{ft} \right]$$

$$C_{f\ Total} = 53,79 \left[\frac{US \$}{ft} \right]$$

El tiempo de viaje por broca no se encuentra en los reportes de perforación, por lo que se aplica la ecuación (2.8) que considera el tiempo aproximado en que se demora en meter el BHA a la profundidad adecuada para iniciar las operaciones de perforación, y el que demora en salir desde la profundidad máxima alcanzada.

$$t_t = \frac{POOH}{v_t} [hr] \quad (2.8)$$

Donde:

- POOH = Profundidad de salida de la broca a superficie, [ft].
- v_t = Tiempo de viaje promedio, [ft/hr]⁹.

La ecuación considera que en promedio el tiempo de viaje es de 1 hora por cada 1000 pies de profundidad del pozo.

Tabla 2.16 COSTO POR PIE DE LAS BROCAS QUE INTERVIENEN EN LA SECCIÓN 12 ¼”.

Costo por Pie [\$/ft] para Brocas y Pozos											
No. Broca	Tipo	Pozo	IADC	C_b	C_t	t_n	t_t	ΔD	Costo por Pie, Broca	Fracción por Espesor	Costo por Pie, Pozo
				[\$]	[\$/hr]	[hr]	[hr]	[ft]	[\$/ft]		[\$/ft]
1	PDC	208D	M223	65000	1615	63,18	8,22	4196	42,97	1,00	42,97
2	PDC	239D	M223	65000	1152	77,00	7,95	4949	32,92	0,92	43,90
3	TRIC		437X	16000	1152	7,50	8,20	249	136,92	0,05	
4	TRIC	261D	437X	16000	1152	11,80	8,38	184	213,38	0,03	92,95
5	PDC		M223	60000	1628	34,92	7,37	1456	88,50	0,47	
6	PDC	263D	M223	60000	1628	51,53	9,01	1636	96,92	0,53	92,37
7	PDC		M323	68000	1628	32,42	6,99	1162	113,74	0,37	
8	PDC	265D	M223	60000	1628	50,27	8,95	1962	79,72	0,63	131,09
9	PDC		M323	68000	1628	41,72	7,45	1671	88,60	0,40	
10	PDC	267D	S323	20000	1628	25,68	8,31	862	87,39	0,21	57,26
11	TRIC		X122Y	20000	1628	14,13	8,70	390	146,58	0,09	
12	PDC	280D	M123	55000	1628	19,12	8,93	235	428,38	0,06	83,47
13	PDC		M323	68000	1628	49,35	9,94	1005	163,70	0,24	
14	PDC	281D	M323	68000	1628	64,70	7,89	3877	48,02	0,89	71,97
15	TRIC		517	14000	1628	21,52	8,36	468	133,85	0,11	
16	PDC	282D	M323	68000	1628	53,82	7,10	3100	53,93	0,60	76,03
17	PDC		M323	68000	1628	17,55	7,86	753	145,24	0,15	
18	TRIC	281D	517	14000	1628	10,30	8,07	208	211,06	0,04	71,97
19	PDC		M123	55000	1628	24,82	9,17	1100	100,30	0,21	
20	PDC	282D	M323	68000	1628	39,00	7,96	2232	64,72	0,69	71,97
21	PDC		M123	55000	1628	10,62	8,94	982	88,44	0,31	
22	PDC	282D	M323	68000	1628	32,52	7,12	3096	42,81	0,58	76,03
23	PDC		M323	68000	1628	27,43	8,08	964	130,51	0,18	

⁹ Hyne, N. (1991). Dictionary of Petroleum Exploration, Drilling & Production. The University of Tulsa, Tulsa, Oklahoma.

Continuación Tabla 2.16											
24	TRIC		517	14000	1628	14,78	8,47	385	134,66	0,07	
25	PDC		M123	55000	1628	17,08	9,39	925	106,05	0,17	
26	PDC	283D	M323	68000	1628	74,07	7,50	3497	57,42	0,80	80,56
27	PDC		M323	68000	1628	13,57	8,14	644	160,48	0,15	
28	TRIC		517	14000	1628	13,53	8,40	251	197,98	0,06	
29	PDC	302D	M423	73000	1377	87,65	8,54	2711	75,78	1,00	75,78
30	PDC	303D	M223	57000	1377	43,67	7,75	3745	34,12	0,89	46,56
31	TRIC		447W	29000	1377	19,52	8,19	442	151,94	0,11	
32	PDC	314D	M223	65000	1615	57,30	8,48	2399	71,36	0,76	77,16
33	PDC		S123	40000	1615	11,30	9,24	768	95,27	0,24	
34	PDC	317H	M223	72000	1615	22,83	7,56	1152	105,09	0,31	119,24
35	TRIC		437	16000	1615	32,10	8,22	655	123,80	0,17	
36	PDC		M223	65000	1615	101,46	10,16	1945	126,07	0,52	
37	PDC	340D	M323	68000	1278	55,10	7,60	1636	90,55	0,52	123,99
38	PDC		M323	68000	1278	44,35	8,64	1033	131,38	0,33	
39	PDC		M323	68000	1278	23,38	9,14	504	217,38	0,16	
40	PDC	341D	M123	55000	1615	68,60	8,21	4205	42,57	0,89	51,21
41	TRIC		437X	16000	1615	19,70	8,70	498	124,21	0,11	
42	PDC	352D	M223	60000	1278	62,35	7,68	3678	40,65	0,76	57,48
43	TRIC		517	14000	1278	14,40	8,07	395	108,15	0,08	
44	PDC		M123	55000	1278	15,90	8,85	778	111,35	0,16	
45	PDC	355D	M223	60000	1278	48,27	7,47	4940	26,57	0,82	39,98
46	PDC		M323	68000	1278	22,92	8,52	1048	103,22	0,18	
46R	PDC		M323	68000	1278	-	-	-	-	-	
47	PDC	360V	M323	68000	1703	58,25	7,78	3783	47,71	0,81	67,08
48	TRIC		347	9000	1703	-	-	-	-	-	
48R	TRIC		347	9000	1703	-	-	-	-	-	
49	PDC	362D	M323	68000	1703	29,93	8,69	902	148,31	0,19	53,72
50	PDC		M223	65000	1703	83,70	9,40	4162	53,72	1,00	
51	PDC	363D	M223	72000	1703	50,50	8,58	2432	70,99	0,51	111,30
52	TRIC		437X	16000	1703	19,73	9,04	456	142,55	0,10	
53	PDC		M223	65000	1703	45,31	10,31	1273	125,49	0,27	
54	PDC	365D	M223	65000	1703	26,72	10,88	569	226,80	0,12	59,17
55	PDC		M323	68000	1703	70,78	8,28	4268	47,49	0,91	
56	TRIC		517	14000	1703	26,92	8,70	419	178,21	0,09	
57	PDC	366D	M323	68000	1703	45,90	8,32	2320	69,12	1,00	69,12
58	PDC	373H	M323	68000	1278	29,93	7,57	1304	88,90	0,32	91,51
59	TRIC		517	14000	1278	19,25	8,02	450	108,56	0,11	
60	PDC		M323	68000	1278	26,67	9,06	1041	89,67	0,57	
60R	PDC			1278	64,27	10,35	1290				
61	PDC	380V	M423	73000	1377	41,20	7,99	3954	35,59	1,00	35,59
62	PDC	382D	M423	73000	1377	74,43	8,44	4427	42,26	1,00	42,26
63	PDC	383H	M423	73000	1377	22,42	7,63	1285	89,00	0,34	103,43
64	TRIC		447W	29000	1377	21,78	8,02	397	176,41	0,11	
65	PDC		M423	54000	1377	97,93	10,09	2061	98,36	0,55	

Continuación Tabla 2.16											
66	PDC	384D	M423	73000	1264	27,80	6,50	2487	42,56	1	42,56
66R	PDC				1264	53,10	8,57	2078			

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Los costos de las brocas varían según el tipo de contrato con la operadora; éstos pueden ser:

Por Renta, donde la empresa operadora paga el alquiler por cada broca que usa. En caso que la broca salga en peores condiciones de las acordadas, se debe cancelar el valor de este contrato y el de una nueva broca. Por Venta, donde la empresa operadora adquiere las brocas a usarse en las labores de perforación. Finalmente, por Lump Sum, donde se alquila a un precio fijo sin importar el número de brocas a usarse en la perforación.

Para este estudio, los precios para cada broca son referenciales, y basados en precios de venta.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DE LOS RESULTADOS DEL DESEMPEÑO DE LAS BROCAS EN LA SECCIÓN 12 ¼” EN EL CAMPO SACHA.

3.1. ANÁLISIS TÉCNICO DE BROCAS, PARÁMETROS Y FACTORES DE PERFORACIÓN ASOCIADOS, EMPLEADAS EN LA SECCIÓN 12 ¼” Y FORMACIÓN TIYUYACU EN EL CAMPO SACHA.

3.1.1. ANÁLISIS SEGÚN CALIFICACIÓN IADC.

La calificación IADC establece la evaluación del grado de daño de una broca, además de describir el motivo por el cual la broca sale; el “Rock Bit Dull Grading System”¹⁰ constituye una evaluación precisa y consistente de la condición de las brocas una vez empleadas.

El análisis se presenta para la Sección 12 ¼” y la Formación Tiyuyacu por separado, con el fin de contrastar las posibles variaciones de los resultados que se arrojen, y evidenciar que efectivamente Tiyuyacu presenta los mayores retos en esta sección.

La evaluación de grado de daño consta para 70 brocas (66 brocas y 4 reingresos) en la Sección 12 ¼” y para 55 brocas (52 brocas y 3 reingresos) en la Formación Tiyuyacu, precisando cada una de las ocho calificaciones que constituyen el “Dull Grading”, cuya interpretación se muestra en la tabla del Anexo 3.

¹⁰ VAN DAKE, Kate. (1995). “THE BIT” (Rotary drilling, unit 1, lesson 2). University of Texas at Austin.

3.1.1.1. Sección 12 ¼”.

Para el desarrollo del estudio, a continuación se presentan las tablas de la 3.1 a la 3.8 junto con los gráficos del 3.1 al 3.8, correspondientes a las brocas empleadas para la perforación de la Sección 12 ¼”.

Hileras Internas e Hileras Externas de Cortadores.

La tabla 3.1 presenta características de desgaste de los cortadores en las filas internas y filas externas dentro de la evaluación de brocas. La calificación viene dada en una escala de 0 a 8, como se explica en el Capítulo 2; sin embargo, para facilitar la comprensión de estos valores se los presenta a manera de porcentajes que van de 0% (cortadores sin daño alguno) a 100% (cortadores totalmente desgastados).

Tabla 3.1 PORCENTAJE DE DESGASTE DE LA HILERA INTERIOR Y EXTERIOR BASADO EN ESCALA DE 0 A 8, SECCIÓN 12 ¼”.

DESGASTE POR HILERAS [%]	SECCIÓN 12 ¼”		
	TIPO DE BROCA		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Mínimo Desgaste de la Hilera Interior	0,0%	0,0%	0,0%
Promedio de Desgaste de la Hilera Interior	11,1%	9,6%	10,7%
Máximo Desgaste de la Hilera Interior	100,0%	12,5%	100,0%
Mínimo Desgaste de la Hilera Exterior	0,0%	12,5%	0,0%
Promedio de Desgaste de la Hilera Exterior	20,3%	16,2%	19,3%
Máximo Desgaste de la Hilera Exterior	100,0%	25,0%	100,0%
Total de Brocas	53	17	70

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En esta tabla se observa el promedio de desgaste de la hilera interior: 11,1% para la broca PDC, 9,6% para la broca Tricónica y 10,7% para ambos tipos de brocas. El porcentaje de desgaste de las brocas PDC es superior al de las brocas Tricónicas.

El valor máximo de desgaste en la hilera interior, para las brocas PDC es de 100%; para las brocas Tricónicas es 12,5%. Las brocas Tricónicas presentan un comportamiento de desgaste bastante controlado, a su vez existen pocos casos de brocas PDC que exhiben un desgaste total (100%). El valor mínimo en ambos casos, (brocas Tricónicas como PDC) es 0%.

El promedio del porcentaje de desgaste de la hilera exterior se comporta de la siguiente manera: 20,3% para las brocas PDC, 16,2% para las Tricónicas, y el promedio entre PDC y Tricónicas es del 19,3%.

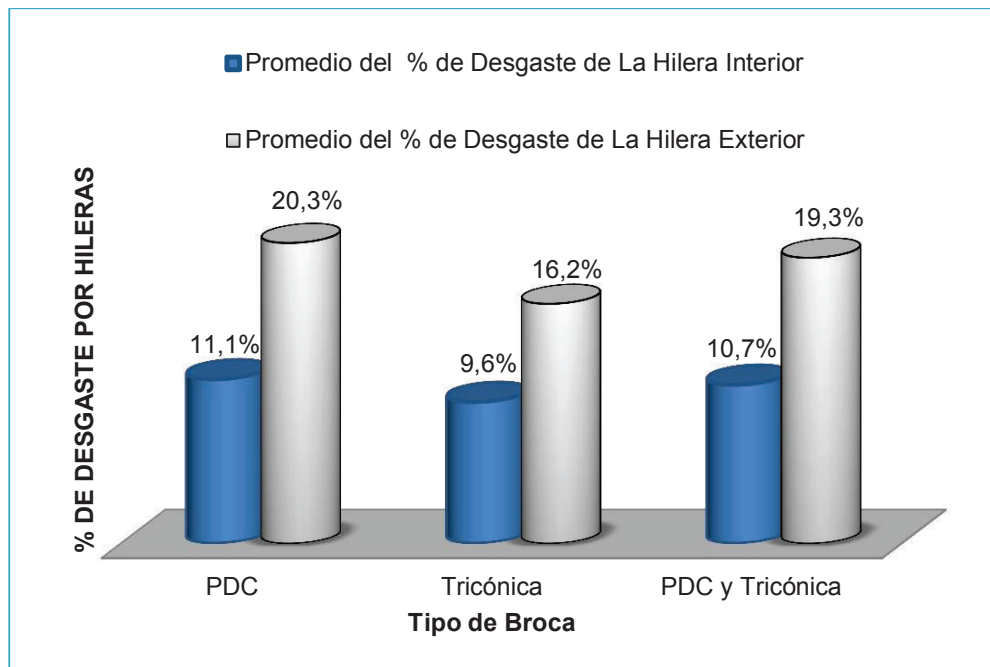
Al igual que en el porcentaje de desgaste de la hilera interior, la hilera exterior presenta un mayor desgaste en brocas PDC, consecuentemente las brocas Tricónicas se presentan como las más resistentes al desgaste.

Los valores máximos de desgaste en la hilera exterior son: 100% para brocas PDC, 25% para brocas Tricónicas. Se mantiene un comportamiento de desgaste controlado en las brocas Tricónicas, mientras que las brocas PDC presentan hasta 100% de desgaste ocasionalmente.

Los valores mínimos de desgaste en la hilera exterior son: 0% para brocas PDC y 12,5% para brocas Tricónicas. Esto indica que las brocas PDC ocasionalmente tienen desgaste de hilera exterior nulo, por otro lado la broca Tricónica presenta como mínimo desgaste un valor más próximo a su promedio y por tanto su comportamiento en cuanto a desgastes tiene un rango más predecible.

En el gráfico 3.1 se observa el promedio de desgaste tanto para la hilera interior como para la hilera exterior por tipo de broca, sea PDC o Tricónica, y para el total de ambas brocas en la Sección 12 ¼".

Gráfico 3.1 PROMEDIOS DE DESGASTE DE LA HILERA INTERIOR Y EXTERIOR BASADO EN LA CALIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Principal Característica de Desgaste de la Estructura de Corte.

Para el desgaste que presentan las brocas durante la perforación de la Sección 12 ¼”, como se muestra en la tabla 3.2, se tiene como principal característica los Dientes gastados; siendo la causa en 29 brocas PDC de las 53 calificadas y 14 casos en las brocas Tricónicas de las 17 evaluadas.

Otras características de desgaste para la brocas PDC son: Diente astillado (9), Diente o Inserto roto (7), Diente astillado/ Delaminado (3), Nada (3) y finalmente Desgaste anular (2); mientras que, otras características de desgaste para las brocas Tricónicas son: Inferencia de conos/Dientes gastados (1), Diente o Inserto roto/ Diente o Cortador roto (1) y Nada (1).

Tabla 3.2 CANTIDAD DE BROCAS POR CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DE DESGASTE, SECCIÓN 12 1/4".

CARACTERÍSTICA DE DESGASTE	SECCIÓN 12 1/4"		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Dientes Gastados	29	14	43
Diente Astillado	9	0	9
Diente o Inserto Roto	7	0	7
Nada	3	1	4
Diente Astillado/ Delaminado	3	0	3
Desgaste Anular	2	0	2
Inferencia de Conos/ Dientes Gastados	0	1	1
Diente o Inserto Roto/ Diente o Cortador Roto	0	1	1
Total de Brocas	53	17	70

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Ubicación de los Cortadores Desgastados.

En la tabla 3.3 se muestra las distintas ubicaciones donde se encuentran los cortadores desgastados dentro de las brocas, tanto para PDC como para Tricónicas. Las ubicaciones en las brocas PDC más relevantes son:

- Todas las filas (27).
- Fila de calibre (11).
- Hombro (7).
- Hombro/ Fila de calibre (5).

Mientras que, para brocas Tricónicas son:

- Todas las filas (14)
- Fila de calibre (2)

Tabla 3.3 CANTIDAD DE BROCAS POR UBICACIÓN DE LOS CORTADORES DESGASTADOS, SECCIÓN 12 1/4".

UBICACIÓN DEL DESGASTE	SECCIÓN 12 1/4"		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Todas las Filas	27	14	41
Fila de Calibre	11	2	13
Hombro	7	0	7
Hombro/Fila de Calibre	5	0	5
Fila de la Nariz	1	0	1
Fila de la Nariz/ Conicidad/Hombro	1	0	1
Fila de la Nariz/ Hombro/Fila de Calibre	1	0	1
Fila Intermedia/ Fila de Calibre	0	1	1
Total de Brocas	53	17	70

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Desgaste de los Cojinetes y Sellos.

La tabla 3.4 se refiere al tipo de desgaste de los cojinetes y sellos en brocas que perforan la Sección 12 1/4". En brocas PDC no se tiene cojinetes ya que su cabeza es fija.

Para brocas Tricónicas, el cojinete sello es eficaz en 15 de 17 brocas. La eficacia total de sellos se manifiesta cuando la broca ha reportado que el sello de los tres conos que la conforman es eficaz.

Se habla de apenas 2 brocas que han presentado cojinete parcialmente fallado cuyo reporte indica "fallado, eficaz, eficaz", lo que se traduce en sello eficaz para 2 de los 3 conos.

Tabla 3.4 CANTIDAD DE BROCAS POR EFICACIA DE COJINETES Y SELLOS, SECCIÓN 12 1/4".

SECCIÓN 12 1/4"			
CANTIDAD DE BROCAS			
COJINETE SELLO	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Broca de cortadores fijos	53	N/A	53
El sello es eficaz (eficaz, eficaz, eficaz)	N/A	15	15
El sello (fallado, eficaz, eficaz)	N/A	2	2
Total de Brocas	53	17	70

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Brocas Dentro/Fuera de Calibre.

La tabla 3.5, para la Sección 12 1/4", muestra la cantidad de brocas PDC y Tricónicas que se presentan dentro o fuera de calibre. En calibre se tiene: 39 brocas PDC y 12 brocas Tricónicas, un total de 51 brocas en calibre (0/16 de pulgada).

Tabla 3.5 CANTIDAD DE BROCAS "IN/OUT GAUGE", SECCIÓN 12 1/4".

SECCIÓN 12 1/4"			
CANTIDAD DE BROCAS			
GAUGE FUERA DE CALIBRE [in]	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
0/16	39	12	51
1/16	9	4	13
2/16	2	1	3
3/16	1	0	1
4/16	2	0	2
Total de Brocas	53	17	70

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Fuera de calibre en 1/16" son: 9 brocas PDC y 4 Tricónicas, con un total de 13 brocas. Fuera de calibre con 2/16" son: 2 brocas PDC y 1 Tricónica. Fuera de calibre con 3/16" se tiene 1 broca PDC y ninguna Tricónica; y lo mismo con 4/16" fuera de calibre, siendo 1 broca PDC y ninguna Tricónica.

Los resultados muestran que la broca Tricónica tiende menos a estar fuera de calibre y a su vez cuando lo está es máximo con 2/16"; por otro lado, la broca PDC tiene una alta probabilidad de estar en calibre. Sin embargo, existen casos en los que las brocas están fuera de calibre con 1/16", 2/16", 3/16" y hasta 4/16".

Tabla 3.6 CANTIDAD DE BROCAS CON CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE SECUNDARIAS, SECCIÓN 12 1/4".

OTRAS CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE	SECCIÓN 12 1/4"		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Ninguna	15	8	23
Diente o Inserto Roto	12	3	15
Diente Astillado	11	2	13
Dientes Gastados	6	2	8
Daño por Cuerpo Extraño	1	1	2
Inserto Perdido	2	0	2
Boquilla Tapada	1	0	1
Diente Astillado/ Delaminado	1	0	1
Diente Astillado/ Diente o Inserto Roto	1	0	1
Diente Astillado/ Inserto Perdido	0	1	1
Dientes Gastados/ Boquilla Tapada	1	0	1
Erosionado	1	0	1
Temperatura	1	0	1
Total de Brocas	53	17	70

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Características de Desgaste Secundarias de la Estructura de Corte.

En general, para la Sección 12 ¼”, como se evidencia en la tabla 3.6, la recurrencia de desgaste secundario, en brocas PDC, son: Diente o Inserto roto (12), Diente astillado (11), Dientes gastados (6). En brocas Tricónicas son: Diente o Inserto roto (3), Diente astillado (2), Dientes gastados (2). En ambos tipos de brocas la característica de desgaste secundaria “Ninguna” es la que predomina con 15 PDC y 8 Tricónicas.

Razón de Salida de la Broca.

La tabla 3.7 muestra la razón de salida de las brocas que se emplearon en la Sección 12 ¼”.

Tabla 3.7 CANTIDAD DE BROCAS POR RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA, SECCIÓN 12 ¼”.

RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA	SECCIÓN 12 ¼”		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Cambio de Ensamblaje de Fondo	18	8	26
Profundidad Total	22	6	28
Horas sobre la Broca	1	1	2
Tasa de Penetración	5	0	5
Cambio de Formación	3	2	5
Falla en el Motor de Fondo	1	0	1
Problemas en el Hueco	1	0	1
Presión de la Bomba	1	0	1
Falla en Herramienta de Fondo	1	0	1
Total de Brocas	53	17	70

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La razón de salida más frecuente para las brocas PDC es por haber alcanzado la Profundidad total, 22 veces de un total de 53, seguido del Cambio de ensamblaje de fondo con 18 veces, la Tasa de penetración es la tercera razón con 5 brocas, Cambio de formación con 3 brocas, y con tan sólo 1 broca se tienen diversos motivos como: Horas sobre la broca, Falla en el motor de fondo, Problemas en el hueco, Presión de la bomba y Falla en herramienta de fondo.

En el caso de las brocas Tricónicas se tiene lo siguiente: 8 de 17 brocas presentan como motivo de salida el Cambio de ensamblaje de fondo, 6 brocas salen por alcanzar una Profundidad total, 2 brocas debido al cambio de formación, y sólo 1 por Horas sobre la broca.

Las razones de salida en general coinciden para ambos tipos de brocas, con variaciones muy pequeñas; dado el número de brocas PDC, muy superior a las Tricónicas en su uso, se evidencia que éstas presentan una mayor diversidad de eventos para la salida de operación.

Las principales razones de salida son: Cambio de ensamblaje de fondo en primer lugar y Profundidad total en segunda instancia, para Tricónicas, y en orden inverso para las brocas PDC. La Tasa de penetración es un motivo exclusivo que corresponde a las PDC.

Respecto a las demás razones de salida, se presentan esporádicamente o son inexistentes.

3.1.1.2. Formación Tiyuyacu.

A continuación se estudia la calificación IADC, característica por característica, de las 55 brocas que actuaron específicamente en la Formación Tiyuyacu, empleando el mismo procedimiento de análisis que se utiliza para la Sección 12 ¼", a la que pertenecen. Por lo tanto, se evidenciarán comportamientos similares a los presentados en el numeral 3.1.1.

Hileras Internas e Hileras Externas de Cortadores.

En la tabla 3.8 se observa el promedio de desgaste de la hilera interior: 14,1% para la broca PDC, 9,4% para la broca Tricónica y 12,7% para ambos tipos de brocas. El porcentaje de desgaste de las brocas PDC es superior al de las brocas Tricónicas. A su vez, estos porcentajes son superiores a los obtenidos en la Sección 12 ¼"; se sobreentiende que las exigencias en la Formación Tiyuyacu son mayores y por ello el desgaste en las hileras es superior.

Los valores máximos de desgaste en la hilera interior son: 100% para brocas PDC, 12,5 % para brocas Tricónicas. Al igual que en la Sección 12 ¼", las brocas Tricónicas presentan un menor desgaste en la hilera interior, y las PDC en muy pocos casos tienen un desgaste total (100%) de esta hilera.

Los valores mínimos en ambos casos para la hilera interior, y por ende en el mínimo general es de un 0%; por tanto, existen brocas que salieron sin desgaste alguno para brocas PDC y Tricónicas.

Tabla 3.8 PORCENTAJE DE DESGASTE DE LA HILERA INTERIOR Y EXTERIOR BASADO EN ESCALA DE 0 A 8, FM. TIYUYACU.

DESGASTE POR HILERAS [%]	FORMACIÓN TIYUYACU		
	TIPO DE BROCA		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Mínimo Desgaste de la Hilera Interior	0,0%	0,0%	0,0%
Promedio de Desgaste de la Hilera Interior	14,1%	9,4%	12,7%
Máximo Desgaste de la Hilera Interior	100,0%	12,5%	100,0%
Mínimo Desgaste de la Hilera Exterior	0,0%	12,5%	0,0%
Promedio de Desgaste de la Hilera Exterior	22,4%	16,4%	20,7%
Máximo Desgaste de la Hilera Exterior	100,0%	25,0%	100,0%
Total de Brocas	39	16	55

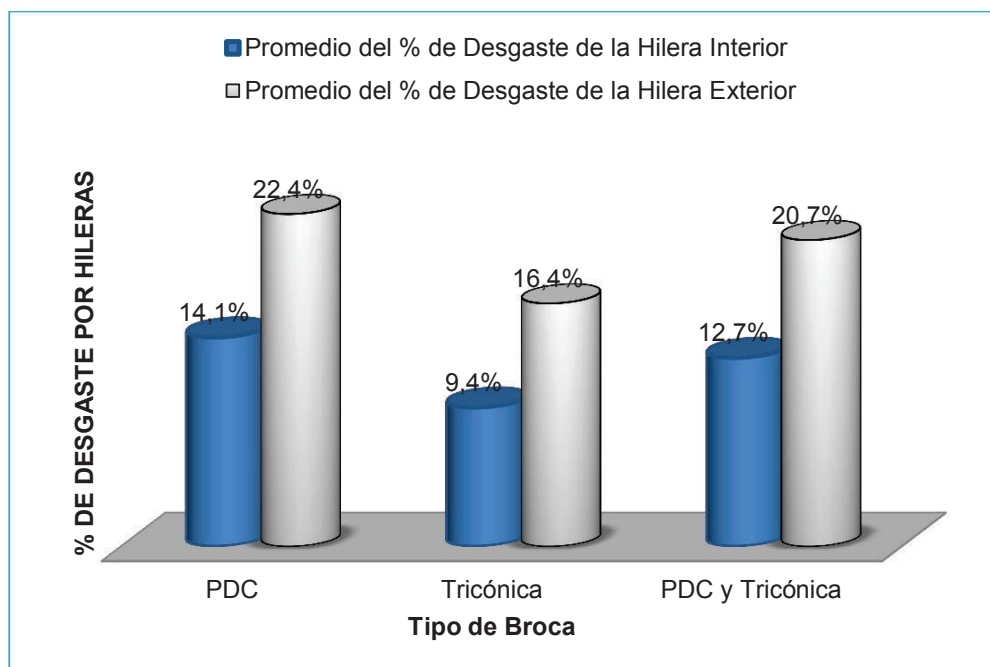
Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Para la hilera exterior, los porcentajes promedios correspondientes a las brocas PDC y Tricónicas son 22,4% y 16,4%, respectivamente, con un promedio total de 20,7%. El desgaste de las brocas Tricónicas en la hilera interior se mantiene inferior que para las brocas PDC.

Los valores máximos de desgaste en la hilera exterior son: 100% para PDC y 25% para brocas Tricónicas. Valores que indican presencia de desgaste total en brocas PDC, y valores bajos de desgaste máximo en brocas Tricónicas.

Similar que en la Sección 12 ¼", los porcentajes mínimos de desgaste en la hilera exterior de Tiyuyacu son: 0% y 12,5% para brocas PDC y Tricónicas, respectivamente. Las brocas PDC pueden ser muy polares en cuanto a valores del desgaste de sus hileras interiores y exteriores. En este caso en específico, el desgaste de la broca exterior es nulo, mientras que el comportamiento de la broca Tricónica se mantiene en 12,5% de desgaste en la hilera exterior.

Gráfico 3.2 PROMEDIOS DE DESGASTE DE LA HILERA INTERIOR Y EXTERIOR BASADO EN LA CALIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En el gráfico 3.2 se observa el promedio de desgaste tanto para la hilera interior y la exterior por tipo de broca, sea esta PDC o Tricónica, y para el total de ambas brocas en la Formación Tiyuyacu.

El total de ambas brocas, citado en el gráfico como “PDC y Tricónica”, se explica como el promedio calculado de los valores de las 55 brocas que se emplearon para la Formación Tiyuyacu.

Tabla 3.9 CANTIDAD DE BROCAS POR CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DE DESGASTE, FM. TIYUYACU.

CARACTERÍSTICA DE DESGASTE	FORMACIÓN TIYUYACU		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Dientes Gastados	20	13	33
Diente Astillado	7	0	7
Diente o Inserto Roto	6	0	6
Nada	2	1	3
Diente Astillado/ Delaminado	2	0	2
Desgaste Anular	2	0	2
Inferencia de Conos/ Dientes Gastados	0	1	1
Diente o Inserto Roto/ Diente o Cortador Roto	0	1	1
Total de Brocas	39	16	55

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Principal Característica de Desgaste de la Estructura de Corte.

En la tabla 3.9 se visualiza que la mayor característica de desgaste en las brocas durante la perforación de la Formación Tiyuyacu se debe a Dientes gastados;

similar que en la Sección 12 ¼". Siendo la causa en 20 calificaciones de las 39 brocas PDC, y en 13 casos de las 16 brocas Tricónicas.

Como características de desgaste menos frecuentes para la brocas PDC se tiene: Diente astillado (7), Diente o Inserto roto (6), Diente Astillado/Delaminado (2), Nada (2) y finalmente Desgaste anular (2). Mientras que para las brocas Tricónicas son: Inferencia de Conos/Dientes gastados (1), Diente o Inserto roto/Diente o Cortador roto (1) y Nada (1).

Tabla 3.10 CANTIDAD DE BROCAS POR UBICACIÓN DE LOS CORTADORES DESGASTADOS, FM. TIYUYACU.

UBICACIÓN DEL DESGASTE	FORMACIÓN TIYUYACU		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Todas las Filas	18	13	31
Fila de Calibre	7	2	9
Hombro	7	0	7
Hombro/Fila de Calibre	4	0	4
Fila de la Nariz	1	0	1
Fila de la Nariz/ Conicidad/Hombro	1	0	1
Fila de la Nariz/ Hombro/Fila de Calibre	1	0	1
Fila Intermedia/ Fila de Calibre	0	1	1
Total de Brocas	39	16	55

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Ubicación de los Cortadores Desgastados.

La tabla 3.10 muestra las distintas ubicaciones en donde se encuentran los cortadores desgastados, para las brocas PDC y Tricónicas empleadas en la Formación Tiyuyacu.

Las ubicaciones en las brocas PDC son: Todas las filas (18), Fila de calibre (7), Hombro (7), Hombro/Fila de calibre (4), Fila de nariz (1), Fila de la nariz/conicidad/hombro (1) y Fila de la nariz/hombro/Fila de calibre (1). Para las brocas Tricónicas son: Todas las filas (13), Fila de calibre (2) y Fila intermedia/Fila de calibre (1).

La ubicación de los cortadores desgastados, independientemente del tipo de broca, es la mayoría de ocasiones, en Todas las filas.

Tabla 3.11 CANTIDAD DE BROCAS POR EFICACIA DE COJINETES Y SELLOS, FM. TIYUYACU.

FORMACIÓN TIYUYACU			
CANTIDAD DE BROCAS			
COJINETE SELLO	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Broca de cortadores fijos	39	N/A	39
El sello es eficaz	N/A	15	15
El sello (fallado, eficaz, eficaz)	N/A	1	1
Total de Brocas	39	16	55

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Desgaste de los Cojinetes y Sellos.

En la tabla 3.11 se presenta el tipo de desgaste de los cojinetes y sellos en brocas Tricónicas empleadas en la Formación Tiyuyacu, ya que las brocas PDC no tienen cojinetes debido a su cabeza fija. La calificación para Tricónicas se presenta de la siguiente manera: 15 brocas reportan que el sello es eficaz y 1 broca tiene un sello fallado.

El cojinete sello es eficaz para las brocas Tricónicas en 15 de 16 evaluaciones, donde apenas 1 de ellas presenta cojinete fallado de manera parcial, ya que es sólo en 1 de sus 3 cojinetes.

Brocas Dentro/Fuera de Calibre.

En la tabla 3.12 se recopila información de la cantidad de brocas PDC y Tricónicas que se presentan fuera de calibre o en calibre. En calibre (0/16") se tienen 28 brocas PDC y 12 Tricónicas, en total 40 brocas. Fuera de calibre en 1/16 de pulgada se tienen 7 brocas PDC y 4 brocas Tricónicas.

Fuera de calibre con 2/16" están: 2 brocas PDC y ninguna Tricónica. Fuera de calibre con 3/16" se tiene 1 broca PDC y ninguna Tricónica, y lo mismo se repite con 4/16 de pulgada fuera de calibre, con sólo 1 broca PDC y ninguna broca Tricónica.

Tabla 3.12 CANTIDAD DE BROCAS DENTRO/FUERA DE CALIBRE, EN LA FORMACIÓN TIYUYACU.

GAUGE FUERA DE CALIBRE [in]	FORMACIÓN TIYUYACU		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
0/16	28	12	40
1/16	7	4	11
2/16	2	0	2
3/16	1	0	1
4/16	1	0	1
Total de Brocas	39	16	55

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Los resultados muestran que la broca Tricónica tiene una menor tendencia a estar fuera de calibre, y a su vez cuando lo está, es máximo con 1/16 de pulgada. Por otro lado, la broca PDC tiene una alta probabilidad de estar en calibre. Sin embargo, existen casos en los que las brocas están fuera de calibre con hasta 4/16". En conjunto el comportamiento de las brocas PDC y Tricónicas es salir manteniéndose en calibre.

Tabla 3.13 CANTIDAD DE BROCAS CON CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE SECUNDARIAS, FM. TIYUYACU.

OTRAS CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE	FORMACIÓN TIYUYACU		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Ninguna	9	8	17
Diente o Inserto Roto	11	2	13
Diente Astillado	7	2	9
Dientes Gastados	5	2	7
Daño por Cuerpo Extraño	1	1	2
Inserto Perdido	2	0	2
Boquilla Tapada	1	0	1
Diente Astillado/ Delaminado	1	0	1
Diente Astillado/ Diente o Inserto Roto	1	0	1
Diente Astillado/ Inserto Perdido	0	1	1
Temperatura	1	0	1
Dientes Gastados/ Boquilla Tapada	0	0	0
Erosionado	0	0	0
Total de Brocas	39	16	55

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Características de Desgaste Secundarias de la Estructura de Corte.

Para la Formación Tiyuyacu, en la tabla 3.13 se muestra desgaste secundario en las brocas PDC y Tricónicas; de lo que se tiene: Diente o Inserto roto (11 PDC y 2 Tricónicas), Diente astillado (7 PDC y 2 Tricónicas), Dientes gastados (5 PDC y 2 Tricónica), Inserto perdido (2 PDC), Daño por cuerpo extraño (1 PDC y 1 Tricónica), Diente astillado/delaminado (1 PDC), Diente astillado/ Diente o Inserto roto (1 PDC), Temperatura (1 PDC), Boquilla tapada (1 PDC), Diente astillado/

Inserto perdido (1 Tricónica), Erosionado (0 brocas), Dientes gastados/ Boquilla tapada (0 brocas), Ninguna (9 PDC y 8 Tricónicas).

Las brocas Tricónicas se muestran más resistente al desgaste, esto es fácilmente evidenciable teniendo en cuenta que 8 de 16 brocas se presentaron con Ninguna característica secundaria de desgaste, en cambio sólo 9 de 39 brocas PDC comparten esta característica.

Las brocas PDC, así como las Tricónicas, en su mayoría sufrieron desgaste por Diente o Inserto roto, Diente astillado, Dientes gastados. Sin embargo, la cantidad de brocas con ningún tipo de desgaste secundario disminuyen en relación a las presentadas en la Sección 12 ¼", lo que permite entender que la Formación Tiyuyacu propicia mayores inconvenientes de desgaste en las brocas.

Razón de Salida de la Broca.

La tabla 3.14 muestra la razón de salida de las brocas empleadas en la Formación Tiyuyacu, tanto para brocas PDC, Tricónicas y ambas; y se obtienen los siguientes resultados: la razón de salida más frecuente para las brocas PDC es por el Cambio de ensamblaje de fondo con 16 veces de un total de 39, seguido de haber alcanzado la Profundidad total con 11 brocas, la Tasa de penetración es la tercera razón con 5 brocas, y por Cambio de formación 3 brocas.

En el caso de las brocas Tricónicas se presenta lo siguiente: 8 de 16 brocas salen debido al Cambio de ensamblaje de fondo, 5 brocas salen por haber alcanzado la Profundidad total, 2 brocas debido al Cambio de formación y sólo 1 por Horas sobre la broca.

El comportamiento de la razón de salida de las brocas para la Formación Tiyuyacu es similar al descrito en la Sección 12 ¼" ya que las conductas coinciden para ambos tipos de brocas. Las dos principales razones son: Cambio de ensamblaje de fondo y Profundidad total alcanzada. La Tasa de penetración, se presenta como un motivo sólo para brocas PDC; las demás razones son inexistentes o de escasa presencia.

**Tabla 3.14 CANTIDAD DE BROCAS POR RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA,
FM. TIYUYACU.**

RAZÓN DE SALIDA DE LA BROCA	FORMACIÓN TIYUYACU		
	CANTIDAD DE BROCAS		
	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
Cambio de Ensamblaje de Fondo	16	8	24
Profundidad Total	11	5	16
Horas sobre la Broca	1	1	2
Tasa de Penetración	5	0	5
Cambio de Formación	3	2	5
Falla en el Motor de Fondo	1	0	1
Problemas en el Hueco	1	0	1
Presión de la Bomba	0	0	0
Falla en Herramienta de Fondo	1	0	1
Total de Brocas	39	16	55

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.1.3. Resultado del Análisis de la Calificación IADC para la Sección 12 ¼” y Formación Tiyuyacu.

El desgaste medido por el sistema de evaluación IADC, integrado por ocho puntos, presenta lo siguiente:

- La mayoría de brocas en la Sección 12 ¼” promedia un desgaste de la hilera interior relativamente bajo para brocas PDC y Tricónicas, con valores muy cercanos entre ambos.
- La hilera exterior presenta aproximadamente el doble de desgaste que para la hilera interior, con una diferencia de 4,1% a favor de las brocas Tricónicas respecto de las brocas PDC.
- La principal característica de desgaste es por “Dientes gastados”.

- La ubicación principal de este desgaste es “Todas las filas”.
- El sello se presenta eficaz en la mayoría de las brocas Tricónicas. Esta evaluación no aplica a las brocas PDC ya que no tienen sellos.
- El comportamiento habitual entre las brocas PDC y Tricónicas es estar “In Gauge” o en calibre.
- Las principales características de desgaste de los cortadores para ambos tipos de brocas, en orden de mayor a menor presencia, son: Ninguna, Diente o Inserto roto y Diente astillado.
- La razón de salida primordial en brocas PDC es haber alcanzado la Profundidad total, y en brocas Tricónicas es el Cambio de ensamblaje de fondo.

En las tablas 3.15 y 3.16 el resumen de las principales características de la calificación IADC para la Sección 12 ¼” y para la Formación Tiyuyacu, respectivamente.

Tabla 3.15 RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA CALIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.

SECCIÓN 12 ¼”				
Característica Calificación IADC	% DE DESGASTE POR HILERAS	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
I	Promedio del % de Desgaste de la Hilera Interior	11,10%	9,60%	10,70%
O	Promedio del % de Desgaste de la Hilera Exterior	20,30%	16,20%	19,30%
D	Dientes Gastados	29	14	43
L	Todas las Filas	27	14	41
B	El Sello es Eficaz	N/A	15	15
G	0/16”	39	12	51
O	Ninguna	15	8	23
	Diente o Inserto Roto	12	3	15
	Diente Astillado	11	2	13
R	Profundidad Total	22	6	28
	Cambio de Ensamblaje de Fondo	18	8	26

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Tabla 3.16 RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA CALIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.

FORMACIÓN TIYUYACU				
Característica Calificación IADC	% DE DESGASTE POR HILERAS	PDC	Tricónica	PDC y Tricónica
I	Promedio del % de Desgaste de la Hilera Interior	14,10%	9,40%	12,70%
O	Promedio del % de Desgaste de la Hilera Exterior	22,40%	16,40%	20,70%
D	Dientes Gastados	20	13	33
L	Todas las Filas	18	13	31
B	El Sello es Eficaz	N/A	15	15
G	0/16"	28	12	40
O	Ninguna	9	8	17
	Diente o Inserto Roto	11	2	13
	Diente Astillado	7	2	9
R	Profundidad Total	16	8	24
	Cambio de Ensamblaje de Fondo	11	5	16

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La Formación Tiyuyacu muestra todas las tendencias mencionadas para la Sección 12 ¼", con la única variación de que el principal motivo de salida para las brocas Tricónicas para Tiyuyacu es alcanzar la Profundidad total, y en segundo lugar por Cambio de ensamblaje de fondo.

La mayoría de brocas Tricónicas empleadas sobre la Sección 12 ¼" se replican específicamente en Tiyuyacu, de allí que los resultados para este tipo de brocas sean casi los mismos.

Las mayores diferencias entre los resultados de la Sección 12 ¼" y la Formación Tiyuyacu ocurren en torno a las brocas PDC, debido a su aplicación para perforar las distintas formaciones que conforman la Sección 12 ¼".

Si bien la broca Tricónica es más resistente, la diferencia es mínima en relación a las brocas PDC; ambas brocas son aptas para la perforación de la Sección 12 ¼" y para la Formación Tiyuyacu.

Acerca de los cambios de broca, pocas veces se realizan por motivos diferentes a los ya expuestos. Casos aislados se presentan en brocas PDC por baja Tasa de penetración (tabla 3.17). Sin embargo, brocas PDC de características iguales se presentan con los mejores resultados de ROP con el uso adecuado de los parámetros de perforación que se verán más adelante en este estudio.

Tabla 3.17 CALIFICACIÓN IADC DE BROCAS PDC QUE SALEN POR PRESENTAR BAJO ROP EN LA SECCIÓN 12 ¼” Y FM. TIYUYACU.

No. Broca	Clasif. IADC	Pozo	CALIFICACIÓN IADC							
			4	3	BT	A	X	2	LT	PR
7	M323	263D	4	3	BT	A	X	2	LT	PR
16	M323	280D	2	3	WT	A	X	1	BT	PR
26	M323	283D	1	2	WT	A	X	1	BT	PR
38	M323	340D	2	2	BT	S	X	1	HC	PR
47	M323	360V	8	8	RO	A	X	1	NO	PR

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.2. ANÁLISIS SEGÚN CANTIDAD DE BROCAS.

Para realizar un análisis que permita discutir acerca de la eficiencia de los medios empleados (cantidad de brocas), se genera la tabla 3.18 que identifica cuántas brocas intervienen por cada uno de los pozos estudiados en la Sección 12 ¼” y específicamente en la Formación Tiyuyacu.

En la tabla 3.18 se adjunta el cuadro de eficiencia de las brocas según cuatro clasificaciones: Alta, Media, Baja y Muy Baja, incluyendo reingresos de brocas. El cuadro resumen de la tabla 3.18 muestra la cantidad de brocas por la clasificación de eficiencia, para la Sección 12 ¼” y la Formación Tiyuyacu.

Para la interpretación de la eficiencia según la cantidad de brocas por pozo, tanto en la Sección 12 ¼” como en la Formación Tiyuyacu, se aplica el siguiente criterio: una broca utilizada para la perforación de la sección/formación significa Alta Eficiencia, dos brocas representan una Eficiencia Media, tres brocas

equivalen Baja Eficiencia y finalmente cuatro brocas corresponden a Muy Baja Eficiencia.

La cantidad de brocas no abarca un análisis completo de su desempeño en la perforación de la Formación Tiyuyacu y la Sección 12 ¼", tampoco permite obtener conclusiones finales respecto a su uso; sin embargo, logra distinguir la información relevante haciendo énfasis en el o los pozos que presentan en sus reportes los mejores resultados, para poder identificar las prácticas adecuadas en lo referente a selección de brocas y sus parámetros de perforación, así como detectar y evitar prácticas y parámetros de perforación que conllevan a una menor eficiencia.

Según el cuadro resumen, y comparando los pozos por cantidad de brocas en la Sección 12 ¼" frente a la Formación Tiyuyacu, inicialmente se identifica una mayor cantidad de brocas en Alta Eficiencia; esto se debe básicamente a que Tiyuyacu es parte de la Sección 12 ¼" en todos los pozos, lo que se traduce en un menor intervalo a perforar, y una menor cantidad de brocas que atraviesan Tiyuyacu.

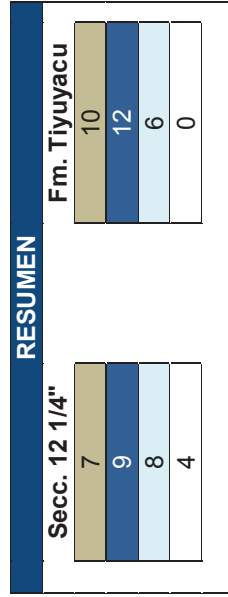
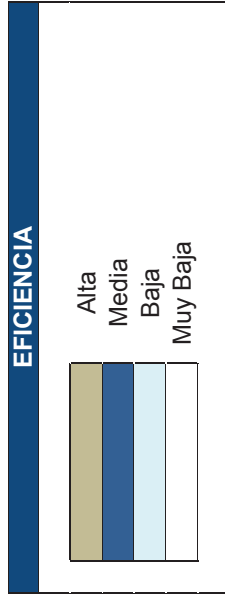
Del mismo cuadro resumen, se evidencia que la presencia de pozos con Muy Baja Eficiencia en la Formación Tiyuyacu es nula (0%), contrastando con la Sección 12 ¼" donde existen 4 pozos que representan un 14% del total de pozos de la sección dentro de esta categoría. En cambio, en Baja Eficiencia se hallan 8 pozos (29%) y 6 pozos (21%), respectivamente, para la Sección 12 ¼" y Tiyuyacu. Para Eficiencia Media se cuentan 9 pozos (32%) para la Sección 12 ¼", y 12 pozos (43%) en la Fm. Tiyuyacu. Finalmente, los pozos que obtuvieron Alta Eficiencia y a los cuales prestaremos una especial atención más adelante, son 7 (25%) en la Sección 12 ¼", y 10 pozos (36%) en la Fm. Tiyuyacu.

Tabla 3.18 CANTIDAD DE BROCAS PDC/TRICÓNICAS, SECCIÓN 12 1/4" Y TIYUYACU.

POZO	Sección 12 1/4"			Fm. Tiyuyacu		
	PDC	Tricónica	Total	PDC	Tricónica	Total
208D	1		1	1		1
239D	1	2	3	1	2	3
261D	2		2	2		2
263D	2		2	2		2
265D	4	1	5	2	1	3
267D	1	1	2	1	1	2
280D	3	1	4	2	1	3
281D	2		2	1		1
282D	3	1	4	2	1	3
283D	2	1	3	2	1	3
302D	1		1	1		1
303D	1	1	2	1		1
314D	2		2	1		1
317H	2	1	3	1	1	2
340D	3		3	2		2
341D	1	1	2	1	1	2
352D	2	1	3	1	1	2
355D	2		2	2		2
360V	2	1	3	2	1	3
362D	1		1	1		1
363D	3	1	4	1	1	2
365D	1	1	2	1	1	2
366D	1		1	1		1
373H	2	1	3	1	1	2
380V	1		1	1		1
382D	1		1	1		1
383H	2	1	3	1	1	2
384D	1		1	1		1

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.



Pormenorizando el análisis de eficiencia por cantidad de brocas empleadas en la Sección 12 ¼" y en la Formación Tiyuyacu, interpretamos los datos de las tablas 3.19 y 3.20 y los gráficos 3.3 y 3.4, de lo que podemos señalar lo siguiente:

3.1.2.1. Sección 12 ¼".

Los pozos que presentan una Alta Eficiencia en lo que a cantidad de brocas utilizadas para la perforación de la Sección 12 ¼" se refiere, son perforados en su totalidad por brocas PDC. Mientras que, al aumentar el uso de brocas Tricónicas la eficiencia tiende a disminuir de Alta a Media y Baja. Ver tabla 3.19.

Tabla 3.19 BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN LA CANTIDAD USADAS POR POZO, SECCIÓN 12 ¼".

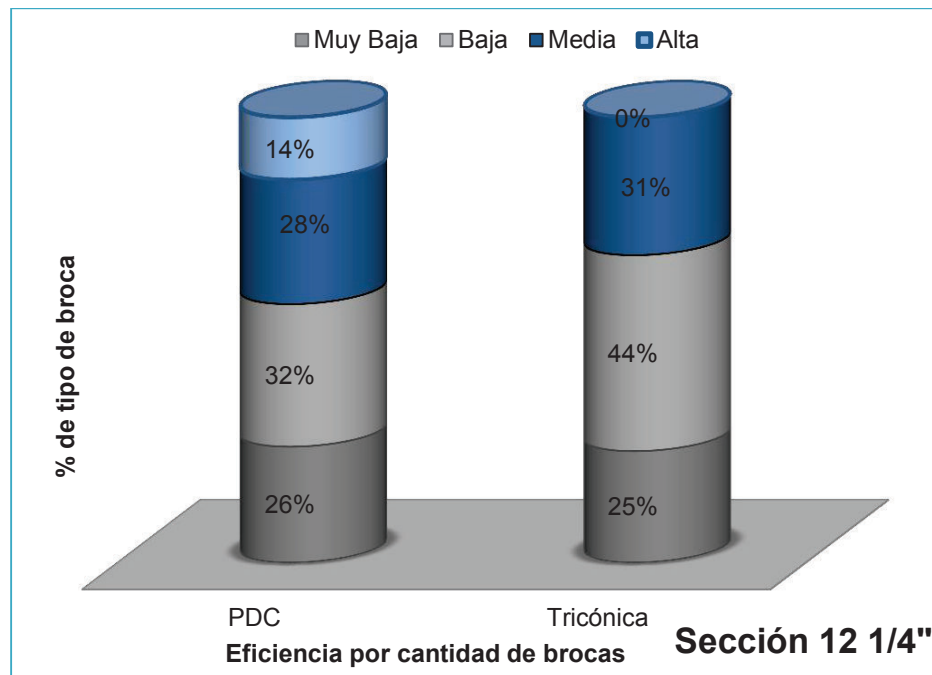
		Sección 12 ¼"			
Eficiencia Broca		Alta	Media	Baja	Muy Baja
	PDC		7	14	16
Tricónica		0	5	7	4
Total		7	19	23	17
Total Brocas		66			

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En la tabla se visualiza también el uso mayoritario de brocas PDC en la Sección 12 ¼" acompañado de un mejor desempeño en cantidad de brocas requeridas para atravesar la sección. Sin embargo, las brocas PDC presentan, en comparación a las brocas Tricónicas, una mayor tendencia a ser calificadas como de Muy Baja Eficiencia en cuanto a cantidad de brocas.

Gráfico 3.3 PORCENTAJE DE BROCAS PDC/TRICÓNICAS, SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD, SECCIÓN 12 1/4".



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En el gráfico 3.3 constan los porcentajes de los resultados para el uso de cada tipo de broca según su eficiencia; permite obtener valores sobre la fiabilidad de los tipos de brocas empleadas. Esta variación confirma la superioridad de desempeño por cantidad de las brocas PDC sobre las Tricónicas.

Del total de brocas PDC, 14% presenta una Alta Eficiencia, 28% Media, 32% Baja y un 26% Muy Baja, siendo estos porcentajes superiores a la eficiencia de los obtenidos con respecto a las brocas Tricónicas que son: 0%, 31%, 44% y 25% respectivamente.

Para Muy Baja Eficiencia, las brocas Tricónicas representan 25% frente al 26% de las PDC, por lo que las primeras se muestran superiores. En términos generales no es significativo cuando apreciamos los demás valores en los que el uso de PDC representa un 14% de Alta Eficiencia versus el 0% de las brocas Tricónicas;

o a su vez la menor posibilidad de obtener una Baja Eficiencia de las brocas PDC (32%) frente a las brocas Tricónicas (44%).

3.1.2.2. Formación Tiyuyacu.

La tabla 3.20 de la Formación Tiyuyacu no presenta brocas dentro de la clasificación “Muy Baja Eficiencia”. Se observa que la eficiencia decae a medida que se incrementan las brocas Tricónicas.

Tabla 3.20 BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN LA CANTIDAD USADAS POR POZO, FM. TIYUYACU.

Eficiencia Broca	Fm. Tiyuyacu			
	Alta	Media	Baja	Muy Baja
PDC	10	16	11	0
Tricónica	0	8	7	0
Total	10	24	18	0
Total Brocas	52			

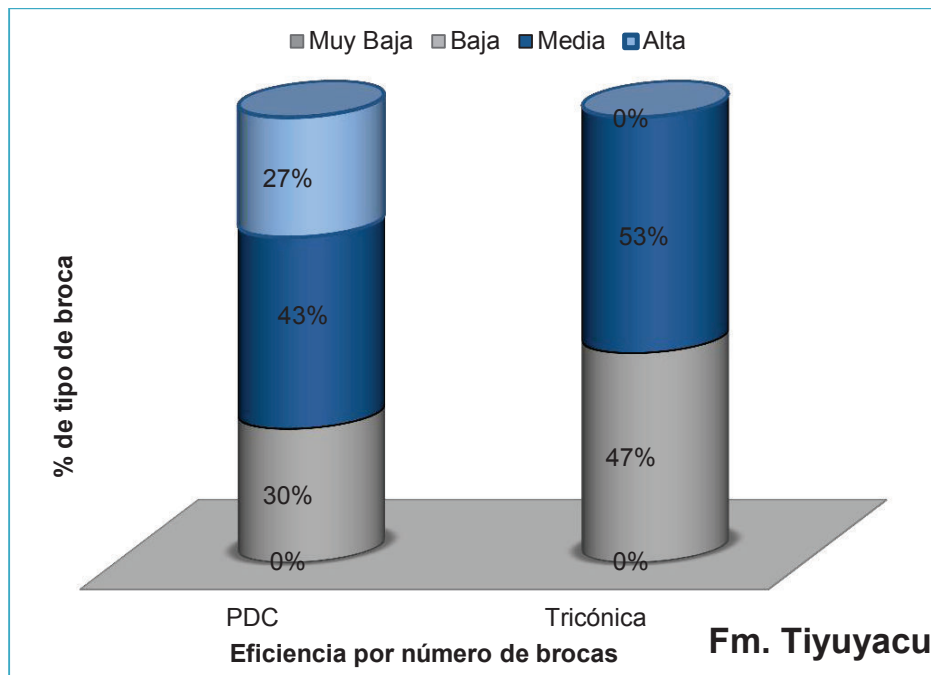
Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

El gráfico 3.4 de porcentajes de eficiencias de brocas por tipo de broca (PDC o Tricónica), muestra calificaciones más elevadas en lo referente a eficiencia en relación al gráfico 3.3 que evalúa la Sección 12 ¼”. Este gráfico indica valores basados en el cien por ciento del total de cada tipo de broca, mostrando así la fiabilidad de la broca en función de la cantidad usada por pozo.

Los resultados muestran las siguientes cifras porcentuales en la Formación Tiyuyacu: 27% de Alta Eficiencia versus 0% de la brocas Tricónicas, 43% versus 53% en Eficiencia Media, 30% versus 47% en Baja Eficiencia y finalmente un 0% en ambos tipos de brocas para Muy Baja Eficiencia.

Gráfico 3.4 PORCENTAJE DE BROCAS PDC/TRICÓNICAS, SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD, FM. TIYUYACU.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.3. ANÁLISIS SEGÚN CLASIFICACIÓN IADC.

El análisis anterior, basado en resultados referentes a la cantidad de brocas para la Sección 12 ¼" como para la Formación Tiyuyacu permite profundizar en la identificación del tipo de broca según la clasificación IADC y sus características más relevantes.

Se recuerda que por eficiencia según cantidad de brocas por pozo (numeral 3.2.1) se clasificó como: una broca corresponde a Alta Eficiencia, dos brocas representan Eficiencia Media, tres brocas una Baja Eficiencia y cuatro brocas significan Muy Baja Eficiencia.

El análisis se sustenta en las tablas 3.21 a 3.27 y los gráficos 3.5 al 3.11. Es necesario recalcar que en el Capítulo 2, la tabla 2.5 contiene el total de brocas utilizadas en las operaciones de perforación de la Sección 12 ¼" y la Formación Tiyuyacu, según clasificación IADC.

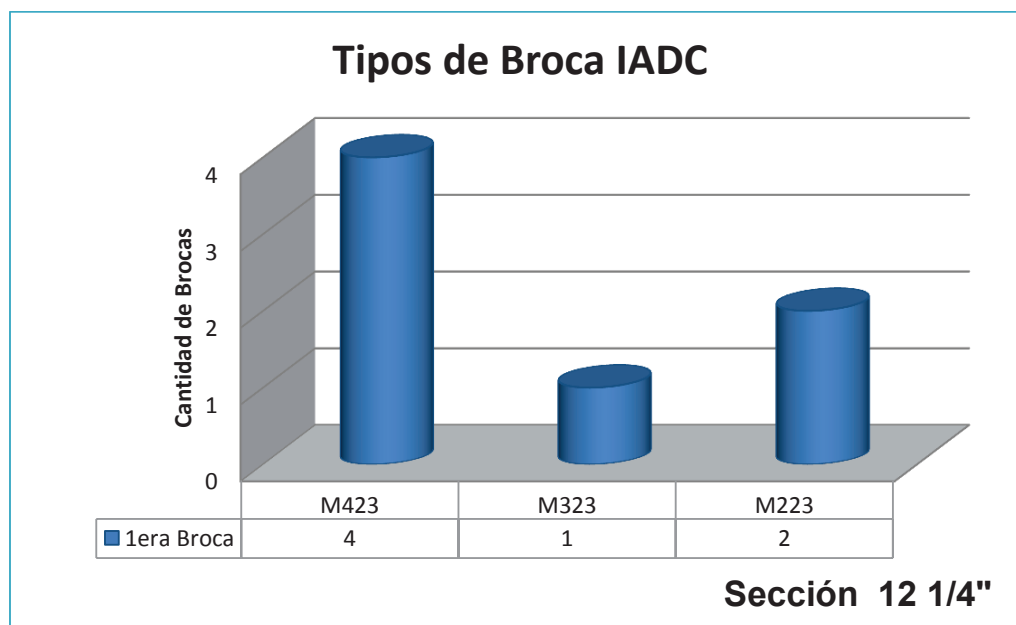
Nota: en las siguientes tablas, la letra cursiva y letra de color rojo, corresponden a la broca Tricónica y reingreso de broca, respectivamente. Las brocas se identifican con un número (No.) previamente asignado como se puede ver en el Anexo 2.

3.1.3.1. Sección 12 ¼"

Alta Eficiencia por Cantidad de Brocas.

El gráfico 3.5 corresponde a las brocas empleadas en la Sección 12 ¼". Se identifican tres clasificaciones IADC, de mayor a menor presencia: M423, M223 y finalmente las M323.

Gráfico 3.5 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON ALTA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼".



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Cuatro brocas con IADC M423 del total de seis utilizadas en la perforación de la sección alcanzan esta Alta Eficiencia, mientras que, sólo dos brocas M223 de un total de 15 y una broca M323 de 21 obtienen el mismo resultado.

El material del cuerpo, tamaño o tipo de cortador y el estilo de cuerpo son los mismos en estas brocas, la variación se presenta en la densidad de cortadores (segundo carácter del código) siendo 4, 3 y 2. La densidad de cortador 4 para formaciones medias, 3 para formaciones de suaves a medias y 2 para formaciones suaves.

Tabla 3.21 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON ALTA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.

Sección 12 ¼"		
Pozo	1era Broca	No. de Broca
208D	M223	1
302D	M423	29
362D	M223	50
366D	M323	57
380V	M423	61
382D	M423	62
384D	M423	66-66R

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

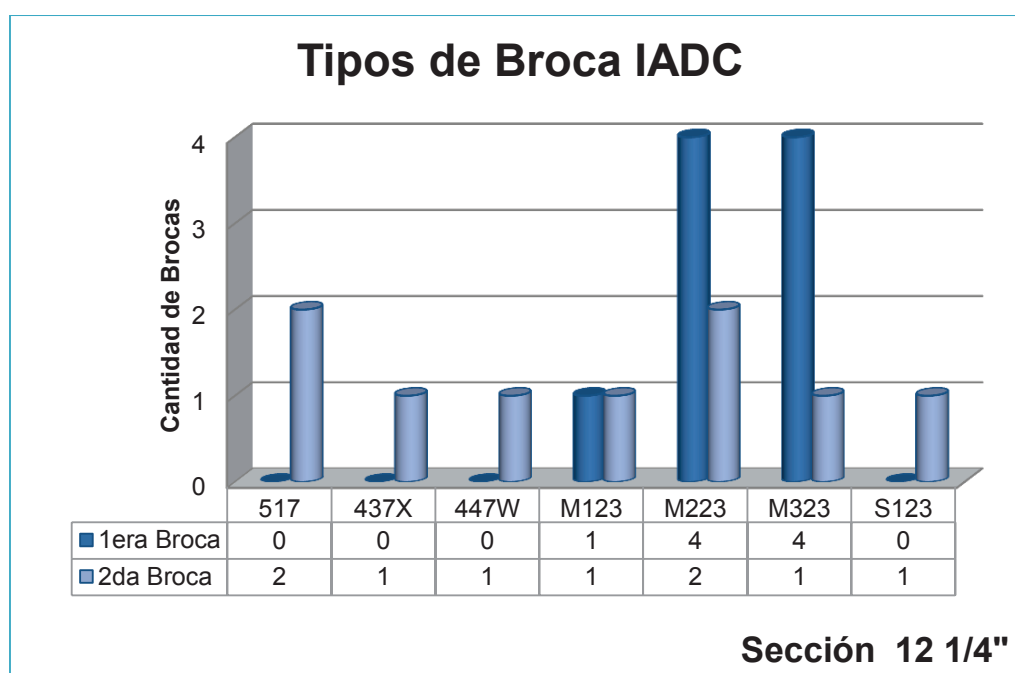
La tabla 3.21 muestra las brocas específicas con su clasificación IADC por pozo, y número de broca asignado para identificación en este estudio (No. de Broca). Además el puesto que ocupan todas estas brocas en el orden de ingreso en sus respectivos pozos, es el primero para la sección.

Aquí se evidencia la capacidad de la broca M423 en lo que respecta a perforar por sí sola toda la Sección 12 ¼”. Por ello se la tomará en cuenta al momento de comparar los resultados.

Eficiencia Media por Cantidad de Brocas.

En el gráfico 3.6 se observa la presencia de siete tipos de brocas, que según la clasificación IADC, son: PDC (M123, M223, M323, S123), Tricónicas (517, 437X, 447W).

Gráfico 3.6 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La primera broca en ingresar en la Sección 12 ¼” resulta ser de entre todos los reportes estudiados siempre una broca PDC, que para esta eficiencia son: 4 brocas M223, 4 brocas M323, 1 broca M123. La variación entre estas brocas se da en la densidad de cortadores, con el segundo carácter: 3, 2 y 1. La densidad de cortador 3 sirve para formaciones de suaves a medias, 2 para formaciones suaves y 1 para formaciones muy suaves.

La segunda broca en intervenir por pozo varía entre PDC y Tricónica. Las brocas PDC son: 2 brocas M223, 1 broca M123, 1 Broca M323 y además 1 broca S123.

La diferencia de la broca S123 radica básicamente en el material del cuerpo que en este caso es Acero "S", y no Matriz "M".

En cuanto a las brocas Tricónicas, son: 2 brocas 517, 1 broca 437X y 1 broca 447W, siendo el primer carácter indicativo de la serie de estructura cortante y tipo de estructura de corte, donde aunque todas presentan insertos de carburo de tungsteno, la diferencia se da en el tipo de formación en que son capaces de trabajar, siendo suave a medio para la 517, y suave para las 437X y 447W.

Éstas últimas presentan características disponibles adicionales, donde el cuarto carácter indica: "W: Estructura de corte mejorada" y "X: Predominio de insertos de dientes de cincel". Otra similitud se da en su tercer carácter que indica la existencia de cojinete de fricción sellado con protección de calibre.

La tabla 3.22 muestra el orden de ingreso de las brocas por pozo en esta sección; la primera broca es siempre del tipo PDC, y las siguientes varían entre PDC y Tricónicas.

Tabla 3.22 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼".

Sección 12 ¼"			
Pozo	1era Broca	2da Broca	No. de Broca
261D	M223	M223	5-6
263D	M323	M223	7-8
267D	M323	517	14-15
281D	M323	M123	20-21
303D	M223	447W	30-31
314D	M223	S123	32-33
341D	M123	437X	40-41
355D	M223	M323	45-46- 46R
365D	M323	517	55-56

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

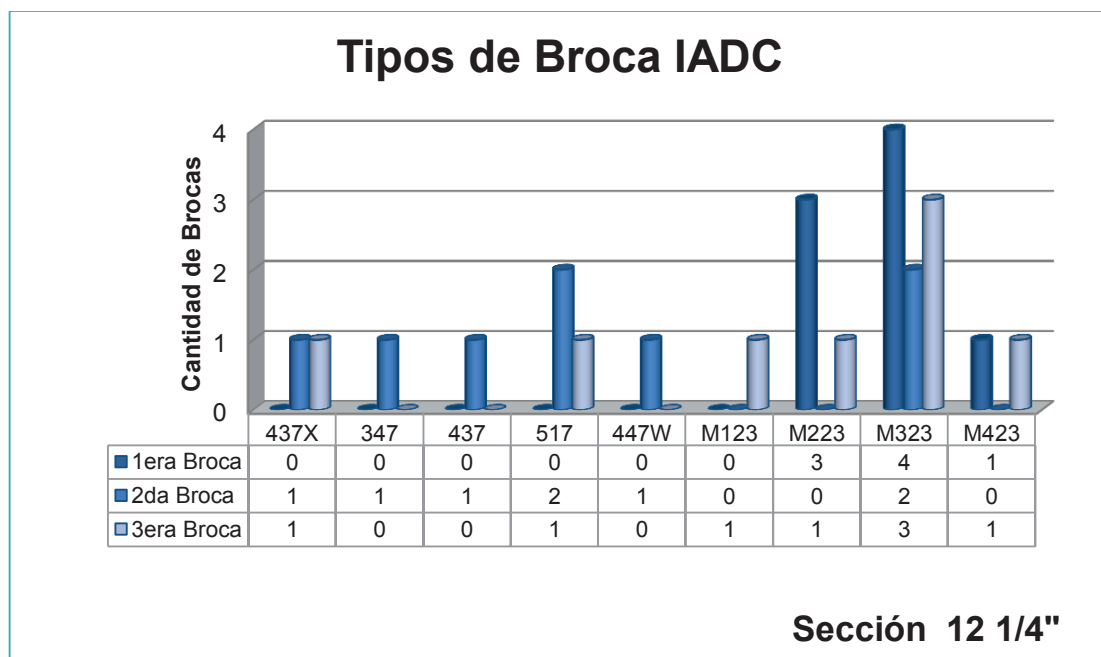
Cuando se trata de perforar la Sección 12 ¼" con dos brocas, hay la posibilidad de que la segunda broca que ingresa sea Tricónica, siendo de este tipo 4 de las 9

brocas. Sin embargo, las brocas PDC siguen teniendo una marcada ventaja en su uso, en lo que se refiere a presencia, tal es el punto que 14 de las 18 brocas calificadas como Eficiencia Media son brocas PDC.

Baja Eficiencia por Cantidad de Brocas.

En el gráfico 3.7 se identifican nueve tipos de brocas según clasificación IADC, que acorde al análisis por cantidad de brocas se consideran de “Baja Eficiencia” por requerir de tres brocas para perforar la Sección 12 ¼”.

Gráfico 3.7 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼”.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La primera broca en ingresar, así como se ha visto para los anteriores casos, sigue siendo del tipo PDC. Estas son: 4 brocas M323, 3 brocas M223 y 1 broca

M423. La diferencia entre sí es la densidad del cortador, variando entre 4, 3 y 2 para estructuras medio, suave a medio y suave, respectivamente.

La segunda broca trabaja con brocas predominantemente Tricónicas, que son: 2 brocas 517, 1 broca 437X, 1 broca 347, 1 broca 437 y 1 broca 447W, mientras que existen 2 brocas PDC M323, hablando de sus clasificaciones IADC. Se observa variación en la estructura de corte de las brocas Tricónicas 517, 437X, 437, 447W que son brocas con dientes de insertos de carburo de tungsteno, y la broca 347 que tiene dientes de acero. Se destaca la presencia de brocas Tricónicas, siendo 6 de 8 brocas utilizadas.

La tercera broca en ingresar suele ser PDC, como lo son: 3 brocas M323, 1 broca M423, 1 broca M123 y 1 broca M223; la diferencia entre ellas se da por la densidad de cortadores, representado por el segundo carácter del código IADC. Las brocas Tricónicas utilizadas son: 1 broca 437X y 1 broca 517, ambas de dientes de insertos de carburo de tungsteno que se diferencian por la estructura cortante, con el carácter "5" para formaciones de suave a medio y "4" para formaciones suaves.

Tabla 3.23 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼".

Sección 12 ¼"				
Pozo	1era Broca	2da Broca	3era Broca	No. de Broca
239D	M223	437X	437X	2-3-4
283D	M323	M323	517	26-27-28
317H	M223	437	M223	34-35-36
340D	M323	M323	M323	37-38-39
352D	M223	517	M123	42-43-44
360V	M323	347	M323	47-48- 48R -49
373H	M323	517	M323	58-59-60- 60R
383H	M423	447W	M423	63-64-65

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La tabla 3.23 de brocas con clasificación IADC correspondiente a la Sección 12 ¼" que han sido evaluadas con "Baja Eficiencia" en el análisis posterior realizado en función de la cantidad de brocas. Se considera el orden de ingreso por pozo, con los respectivos números de broca (No. de Broca) como identificación.

La Sección 12 ¼" mantiene el uso predominantemente de brocas PDC, de donde actúan 16 del total de 24 brocas que pertenecen a esta eficiencia. Las brocas Tricónicas normalmente son usadas en el segundo ingreso, ocasionalmente en el tercer ingreso, mas no tienen presencia alguna en el primer ingreso.

Existe una tendencia en el uso de brocas, y es: PDC primera broca, Tricónica segunda broca, PDC tercera broca. No se requiere profundizar en cada una de ellas, debido a que este grupo de brocas es de Baja Eficiencia según la cantidad de brocas usadas por pozo.

Muy Baja Eficiencia por Cantidad de Brocas.

Las brocas del gráfico 3.8, atravesaron la Sección 12 ¼" empleando entre 4 y hasta 5 brocas por pozo. Este tipo de brocas se denomina de Muy Baja Eficiencia y presupone prácticas que deben ser evitadas al momento de perforar esta sección.

Las brocas utilizadas en este grupo son de tipo PDC y Tricónica, entre las brocas PDC se tiene: 6 brocas M323, 3 brocas M123, 3 brocas M223 y 1 broca S323. Las brocas Tricónicas usadas fueron: 2 brocas 517, 1 broca 437X y 1 broca X122Y. No se ahonda en las diferencias existentes entre ellas, porque dichas características ya han sido descritas con anterioridad.

Las primeras brocas en ingresar son únicamente del tipo PDC, repitiendo el patrón ya conocido, y son: 3 brocas M323 y 1 broca M223. La variación entre estas brocas se da en la densidad de cortador, suave a medio (3) y suave (2).

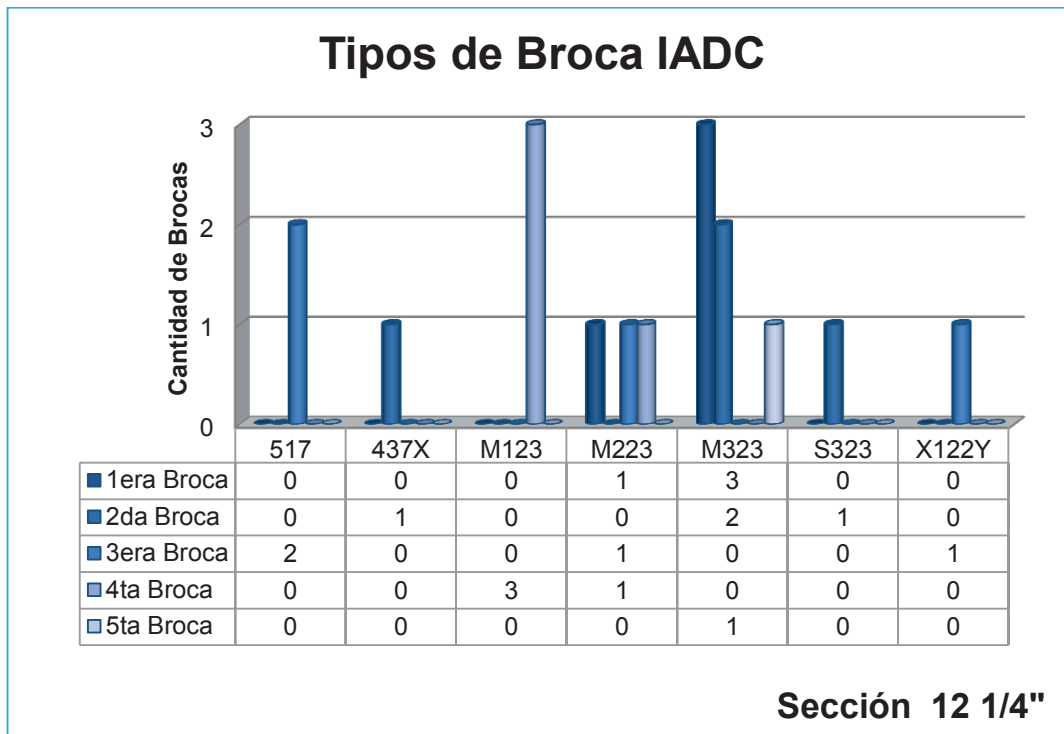
La segunda broca en ingresar en los cuatro pozos que presentan "Muy Baja Eficiencia" son 3 PDC (2 M323 y 1 S323) y 1 broca Tricónica (437X). La variación entre las brocas PDC es el material de la broca "M" para matriz y "S" para acero.

Las brocas que ingresan como terceras para perforar la sección son: PDC (1 broca M223), Tricónicas (2 brocas 517 y 1 broca X122Y). Este ingreso de broca es comúnmente del tipo Tricónica.

La cuarta broca sólo emplea brocas PDC: 3 brocas M123 y 1 broca M223. La única variación se da por la densidad del cortador, entre muy suave (1) y suave (2).

El pozo 265D es el único caso donde se usan 5 brocas para perforar la Sección 12 ¼". En este se observa el patrón más repetitivo en los cuatro primeros ingresos, es decir: PDC, PDC, Tricónica, PDC; agregando como quinto ingreso una broca PDC.

Gráfico 3.8 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼".



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En la tabla 3.24 de brocas con clasificación IADC correspondiente a la Sección 12 ¼" se puntualizan las brocas que han sido evaluadas con Muy Baja Eficiencia en el análisis antes realizado en función de la cantidad de brocas, y pozos a los que pertenecen. Se considera el orden de ingreso por pozo, con los respectivos números de broca (No. de Broca) como identificación.

Tabla 3.24 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, SECCIÓN 12 ¼".

Sección 12 1/4"						
Pozo	1era Broca	2da Broca	3era Broca	4ta Broca	5ta Broca	No. de Broca
265D	M323	S323	X122Y	M123	M323	9-10-11-12-13
280D	M323	M323	517	M123		16-17-18-19
282D	M323	M323	517	M123		22-23-24-25
363D	M223	437X	M223	M223		51-52-53-54

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Las brocas utilizadas en la Sección 12 ¼" y que presentan una Muy Baja Eficiencia, son brocas PDC (M323, M223 y M123) las cuales juntas suman 12 de las 17 brocas ocupadas.

En 3 de estos 4 pozos se usan 2 brocas PDC hasta llegar al Conglomerado Inferior, donde se hizo el cambio por una Tricónica. En el caso que se usan 5 brocas es por haber ingresado con la PDC de IADC M123 no en la Formación Tena como se venía realizando, sino en el Conglomerado Inferior, saliendo por cambio de BHA, una vez brindada inclinación al pozo.

Debemos tener en cuenta que este análisis por cantidad de brocas usadas en un pozo es meramente orientativo, ya que no considera otras variables importantes, como profundidad perforada, cambios por plan de brocas, o formaciones en que las brocas han intervenido.

Por tanto la Muy Baja Eficiencia no descarta el uso de las brocas que en ella participan, debido a que la razón por la cual se desarrolló la sección de esa forma

va más allá de este análisis, con eventos como dar inclinación al pozo. Hay casos en que se considera la Formación Tena dentro de la Sección 12 $\frac{1}{4}$ ", lo que también afecta a la eficiencia por cantidad de brocas.

3.1.3.2. Formación Tiyuyacu.

A continuación la clasificación IADC se la presenta según las diferentes eficiencias obtenidas en base al análisis por cantidad de brocas que actúan en un pozo. Cada una de ellas describe en un gráfico el orden de ingreso de las mismas nombradas en clasificación IADC. A su vez están acompañadas de tablas descriptivas del pozo, identificando individualmente a cada broca con su número adoptado en el Anexo 2.

Alta Eficiencia por Cantidad de Brocas.

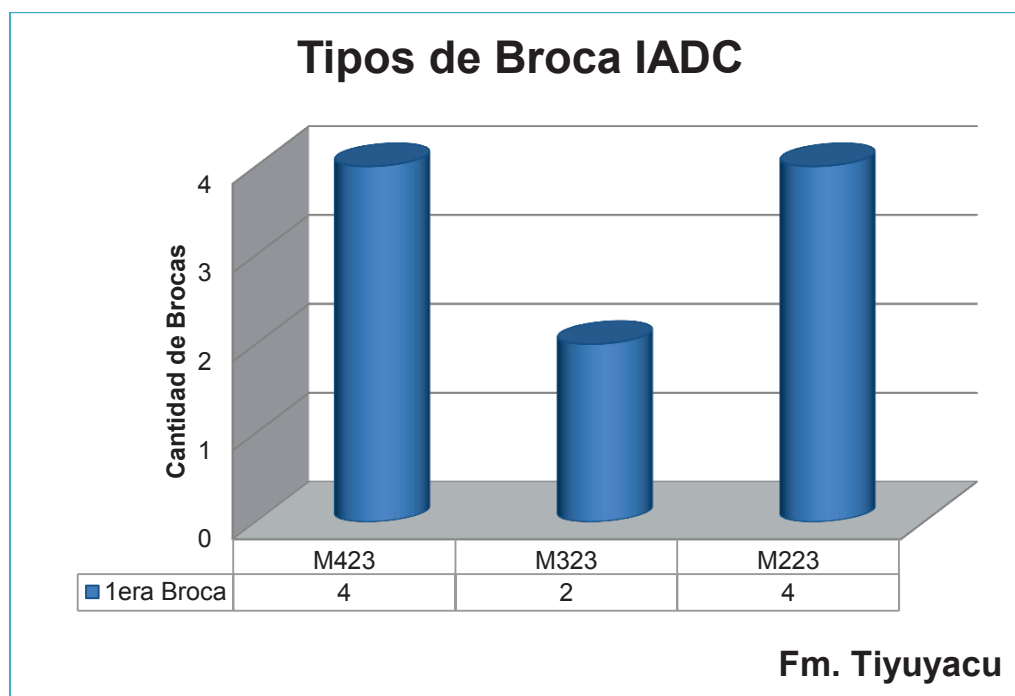
Respecto de la eficiencia por cantidad de brocas que intervienen en esta ocasión sólo en la Formación Tiyuyacu, el gráfico 3.9 identifica las brocas de Alta Eficiencia que participan.

Cuatro brocas M423 de las cinco únicas de todo este estudio, pertenecen a esta Alta Eficiencia en la formación, también cuatro brocas M223 de un total de 12, y 2 de 18 brocas M323 en el presente trabajo.

El material del cuerpo, tamaño o tipo de cortador y el estilo de cuerpo son los mismos en estas brocas, la única variación se presenta en la densidad de cortadores, (segundo carácter del código IADC) siendo 4, 2 y 1.

Es indudable la capacidad de las brocas M423 y M223 en lo que respecta a perforar la Formación Tiyuyacu, y por ello se las debe considerar al momento de comparar los resultados de los análisis faltantes planteados en este estudio, sin dejar de hacer el énfasis necesario en la broca M423 que destaca al tener 4 de 5 brocas (80%) con esta calificación en Tiyuyacu, por la dificultad propia que presenta atravesarla.

**Gráfico 3.9 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON ALTA EFICIENCIA
SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.**



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

**Tabla 3.25 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON ALTA EFICIENCIA
SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.**

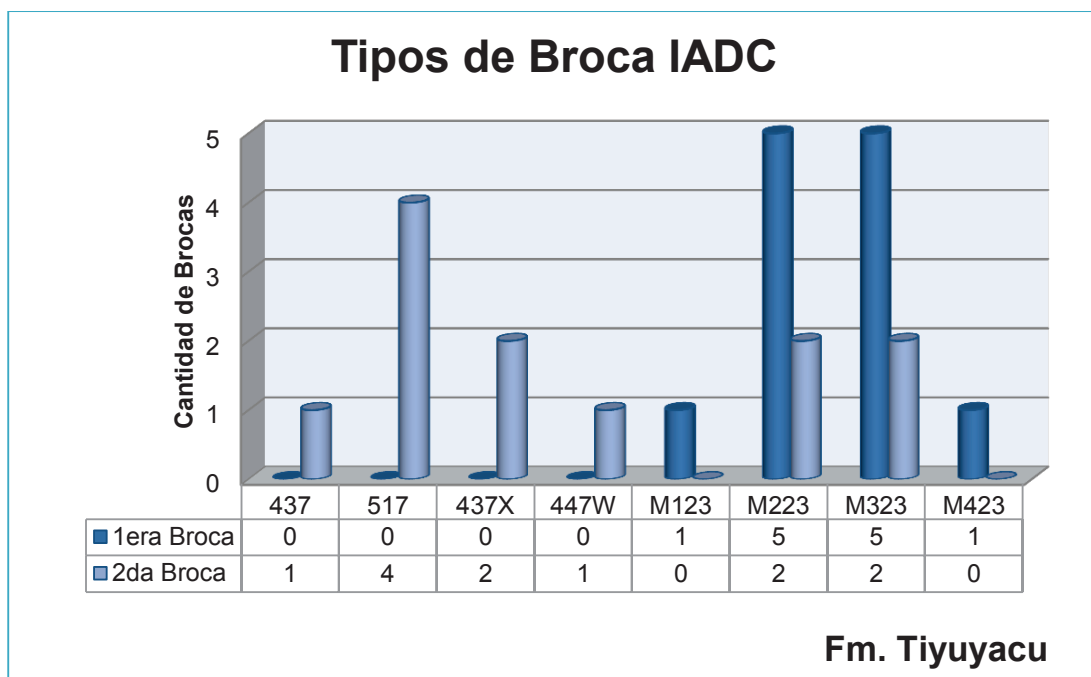
Fm. Tiyuyacu		
Pozo	1era Broca	No. de Broca
208D	M223	1
281D	M323	20
302D	M423	29
303D	M223	30
314D	M223	32
362D	M223	50
366D	M323	57
380V	M423	61
382D	M423	62
384D	M423	66-66R

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Eficiencia Media por Cantidad de Brocas.

Según la clasificación IADC son 8 tipos de brocas que perforan la Formación Tiyuyacu. Se puede observar en el gráfico 3.10 las siguientes: PDC (M123, M223, M323, M423), Tricónicas (517, 437X, 437, 447W).

Gráfico 3.10 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Al igual que en la Sección 12 ¼", en Tiyuyacu la primera broca en ingresar al pozo es PDC, son: 5 brocas M223, 5 brocas M323, 1 broca M123, 1 broca M423, según clasificación IADC. Se mantiene así la tendencia de ingresar a la Formación Tiyuyacu únicamente con brocas PDC. La diferencia entre las brocas PDC, como se ha mencionado con anterioridad, es exclusivamente en la densidad de cortador variando entre 4, 3, 2, y 1.

La segunda broca varía entre PDC y Tricónica, en donde las brocas PDC son: 2 brocas M223, 2 brocas M323; las brocas Tricónicas, son: 4 brocas 517, 2 brocas 437X, 1 broca 437, 1 broca 447W, las diferencias radican en el tipo de estructura.

Tabla 3.26 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.

Fm. Tiyuyacu			
Pozo	1era Broca	2da Broca	No. de Broca
261D	M223	M223	5-6
263D	M323	M223	7-8
267D	M323	517	14-15
317H	M223	437	34-35
340D	M323	M323	37-38
341D	M123	437X	40-41
352D	M223	517	42-43
355D	M223	M323	45-46- 46R
363D	M223	437X	51-52
365D	M323	517	55-56
373H	M323	517	58-59
383H	M423	447W	63-64

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

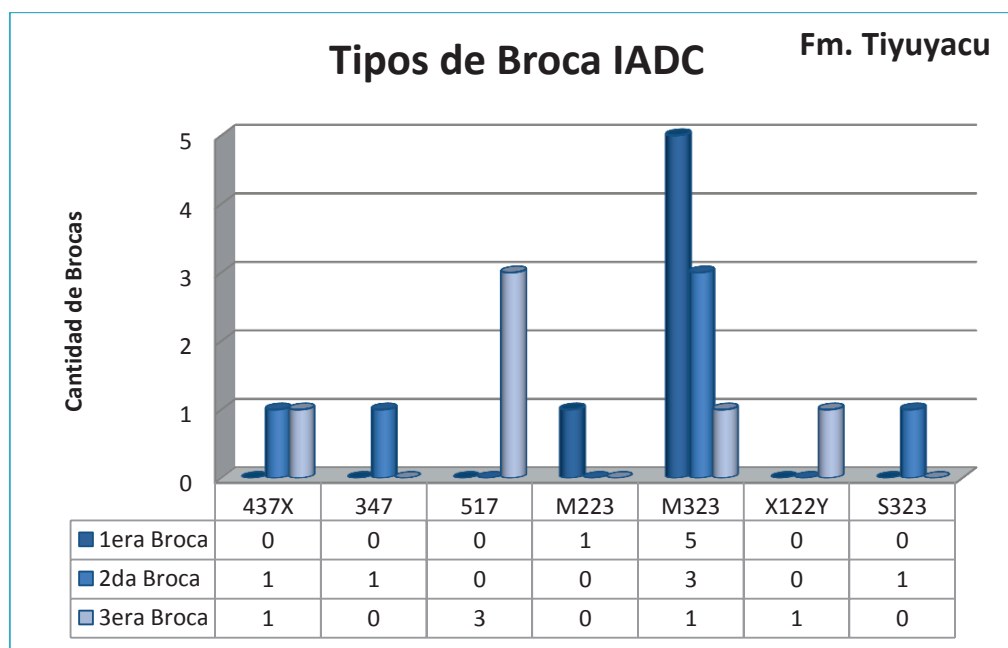
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Tiyuyacu denota un incremento de uso de brocas Tricónicas en cuanto a la segunda broca que ingresa a la formación, con 8 de las 12 utilizadas para Eficiencia Media, superando así a las brocas PDC. La presencia de las brocas PDC en general (primera y segunda broca) sigue siendo mayoritaria, siendo 16 brocas de las 24 utilizadas en Tiyuyacu para esta eficiencia.

Baja Eficiencia por Cantidad de Brocas.

En el gráfico 3.11 se aprecia los diferentes tipos de brocas que actúan en pozos que perforan Tiyuyacu con 3 brocas, por lo que también se hace alusión al orden que le corresponde a cada una.

Gráfico 3.11 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Tabla 3.27 ORDEN POR INGRESO DE BROCAS CON BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, CON CLASIFICACIÓN IADC, FM. TIYUYACU.

Fm. Tiyuyacu				
Pozo	1era Broca	2da Broca	3era Broca	No. de Broca
239D	M223	437X	437X	2-3-4
265D	M323	S323	X122Y	9-10-11
280D	M323	M323	517	16-17-18
282D	M323	M323	517	22-23-24
283D	M323	M323	517	26-27-28
360V	M323	347	M323	47-48- 48R -49

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La primera broca es siempre del tipo PDC, y son: 5 brocas M323 y 1 broca M223, la variación se da en la densidad de cortador, entre 3 y 2; suave a medio y suave respectivamente.

Las segundas brocas son del tipo PDC y Tricónicas. PDC: 3 brocas M323 y 1 broca S323. Tricónicas: 1 broca 437X y 1 broca 347. Donde se encuentran brocas preferentemente del tipo PDC para este ingreso.

Las terceras brocas en perforar la Formación Tiyuyacu, son principalmente brocas Tricónicas, que son: 3 brocas 517, 1 broca 437X y 1 broca X122Y, la broca PDC es: 1 broca M323.

El uso preferencial de brocas según la clasificación IADC posee una clara tendencia por el uso de brocas M323 con un total de 9 brocas, las demás brocas no tienen mayor representatividad y el análisis de las mismas no requiere hacerse extensivo debido a que estas brocas se presentan como de “Baja Eficiencia”.

Muy Baja Eficiencia por Cantidad de Brocas.

No se presenta descripción de datos sobre brocas con Muy Baja Eficiencia debido a que la Formación Tiyuyacu se perfora con un límite reportado como máximo de 3 brocas.

3.1.3.3. Resultados de Análisis según Clasificación IADC.

Las tablas de la 3.28 a 3.31 son tablas resumen de la cantidad de brocas y de porcentajes según la clasificación IADC, ubicadas en la escala de eficiencia (por cantidad de brocas) para la Sección 12 ¼” y Formación Tiyuyacu, respectivamente.

Se identifican brocas cuya participación encaja entre: Alta y Media, mientras otras se ubican entre Baja y Muy Baja eficiencia. Muchas brocas que poseen 100% de presencia para cierta eficiencia no son determinantes, ya que representan un 100% basado en 1 de 1 broca.

Tabla 3.28 CLASIFICACIÓN IADC DE BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD EN FRACCIÓN, SECCIÓN 12 1/4".

Sección 12 1/4"					
IADC	Alta	Media	Baja	Muy Baja	Total Brocas
347	-	-	1/1	-	1
517	-	2/7	3/7	2/7	7
437	-	1/1	-	-	1
437X	-	1/4	2/4	1/4	4
447W	-	1/2	1/2	-	2
M123	-	2/6	1/6	3/6	6
M223	2/15	6/15	4/15	3/15	15
M323	1/21	5/21	9/21	6/21	21
M423	4/6	-	2/6	-	6
S123	-	1/1	-	-	1
S323	-	-	-	1/1	1
X122Y	-	-	-	1/1	1
Total Brocas	7	19	23	17	66

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Tabla 3.29 CLASIFICACIÓN IADC DE BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD EN PORCENTAJE, SECCIÓN 12 1/4".

Sección 12 1/4"							
IADC	Alta	IADC	Media	IADC	Baja	IADC	Muy Baja
M323	5%	M323	24%	M123	17%	M223	20%
M223	13%	437X	25%	M223	27%	437X	25%
M423	67%	517	29%	M423	33%	517	29%
		M123	33%	M323	43%	M323	29%
		M223	40%	517	43%	M123	50%
		447W	50%	437X	50%	S323	100%
		S123	100%	447W	50%	X122Y	100%
		437	100%	347	100%		

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En la tabla 3.29, se puede observar las brocas según clasificación IADC en porcentaje de participación, obtenido de: la cantidad de brocas ubicada en cada eficiencia dividida para el total de su clasificación IADC.

Brocas que suman porcentajes representativos entre Alta Eficiencia y Eficiencia Media, son: M423 (67%), M223 (53%), M123 (33%), y brocas con poca participación pero altos porcentajes como son las: 437 (100%), S123 (100%) y la 447W (50%).

Brocas que suman porcentajes representativos entre Baja y Muy Baja Eficiencia son: 437X (75%), M323 (72%), 517 (72%), M123 (67%), y brocas con poca participación pero altos porcentajes como son las: S323 (100%), X122Y (100%), 347 (100%), 447W (50%). Son 8 las brocas Tricónicas con IADC 437X y 517 del total de 16, para estas eficiencias.

Tabla 3.30 CLASIFICACIÓN IADC DE BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD EN FRACCIÓN, FM. TIYUYACU.

Fm. Tiyuyacu					
IADC	Alta	Media	Baja	Muy Baja	Total Brocas
347	-	-	1/1	-	1
517	-	4/7	3/7	-	7
437	-	1/1	-	-	1
437X	-	2/4	2/4	-	4
447W	-	1/1	-	-	1
M123	-	1/1	-	-	1
M223	4/12	7/12	1/12	-	12
M323	2/18	7/18	9/18	-	18
M423	4/5	1/5	-	-	5
S123	-	-	-	-	0
S323	-	-	1/1	-	1
X122Y	-	-	1/1	-	1
Total Brocas	10	24	18	-	52

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La tabla 3.31 muestra los porcentajes más altos; 100% y 50% han sido producto de una o dos brocas utilizadas, por tanto no son representativas teniendo en cuenta que el estudio de la Formación Tiyuyacu abarca 52 brocas.

Tabla 3.31 CLASIFICACIÓN IADC DE BROCAS POR EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD EN PORCENTAJE, FM. TIYUYACU.

Fm. Tiyuyacu					
IADC	Alta	IADC	Media	IADC	Baja
M323	11%	M423	20%	M223	8%
M223	33%	M323	39%	517	43%
M423	80%	437X	50%	437X	50%
		517	57%	M323	50%
		M223	58%	347	100%
		437	100%	S323	100%
		447W	100%	X122Y	100%
		M123	100%		

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Las brocas que suman porcentajes representativos entre Alta Eficiencia y Eficiencia Media son: M423 (100%), M223 (91%), 517 (57%), M323 (50%) y 437X (50%), que en cantidad suman 31 brocas de las 52 que intervienen en Tiyuyacu. Brocas con poca participación pero altos porcentajes son las: 437 (100%), 447W (100%), M123 (100%) y la S123 (100%).

Las brocas que suman porcentajes representativos entre Baja y Muy Baja eficiencias son: 437X (50%), M323 (50%), 517 (43%), y brocas con poca participación pero altos porcentajes como son las: S323 (100%), X122Y (100%), 347 (100%).

Al considerar toda la sección las brocas tipo Tricónica son llevadas a segundo plano por ubicarse en su mayoría en lo que se ha considerado como Baja y Muy Baja Eficiencia, a diferencia de las PDC.

El resultado de este análisis no es concluyente bajo ningún concepto, debido a que las brocas según su clasificación IADC que presentan los mejores resultados,

no necesariamente obtienen las mejores tasas de penetración, ni el costo por pie perforado más conveniente. Para ello se requiere complementar entre sí los diferentes análisis del presente trabajo.

3.1.4. ANÁLISIS SEGÚN PARÁMETROS DE PERFORACIÓN.

En esta parte del estudio, se analizan los parámetros que utilizan las brocas que se presentan con eficiencias Alta, Media, Baja y Muy Baja respecto a la cantidad de brocas requeridas para la Sección 12 ¼” como para la Formación Tiyuyacu por pozo. Estos parámetros constan las tablas de los Anexos 4.1 a 4.4, y en los Anexos del 5.1 a 5.4, respectivamente.

A continuación se presentan rangos y promedios de: Torque, Tasa de flujo, Peso sobre la broca (WOB) y Revoluciones por minuto totales (RPM) en los gráficos y tablas siguientes.

Dentro de las tablas constan “Mínimo”, “Máximo”, “Mínimo Promedio”, “Máximo Promedio” y “Promedio”. El “Mínimo” y “Máximo” son, como su nombre lo indica el menor y mayor valor dentro de los rangos de los parámetros presentados. El “Mínimo y Máximo Promedio” se calculan promediando todos los valores mínimos y máximos respectivamente de todas las brocas para cada eficiencia. El “Promedio” se obtiene de los promedios parciales de cada broca, dividido para la cantidad total de brocas.

3.1.4.1. Sección 12 ¼”.

Torque.

El gráfico 3.12 consta con rangos y promedios de torque de las brocas consideradas en este estudio como de Alta Eficiencia. El gráfico 3.13 hace mención del mismo parámetro en Eficiencia Media exceptuando la broca 46R del pozo 355D, la cual no presenta rango o promedio de torque.

Gráfico 3.12 TORQUE SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE ALTA EFICIENCIA.

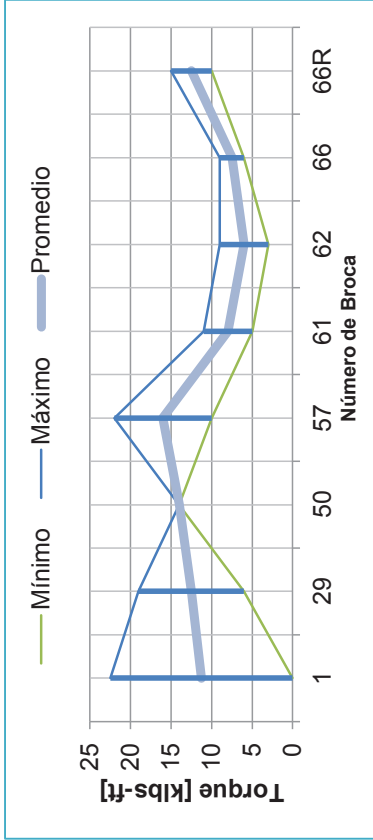


Gráfico 3.13 TORQUE SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA.

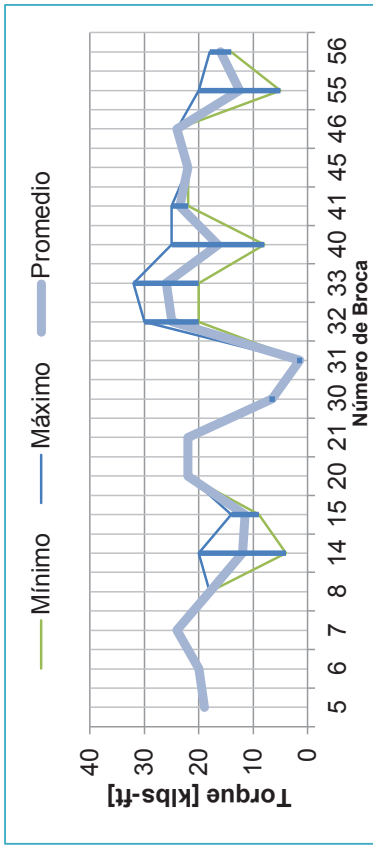


Gráfico 3.14 TORQUE SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE BAJA EFICIENCIA.

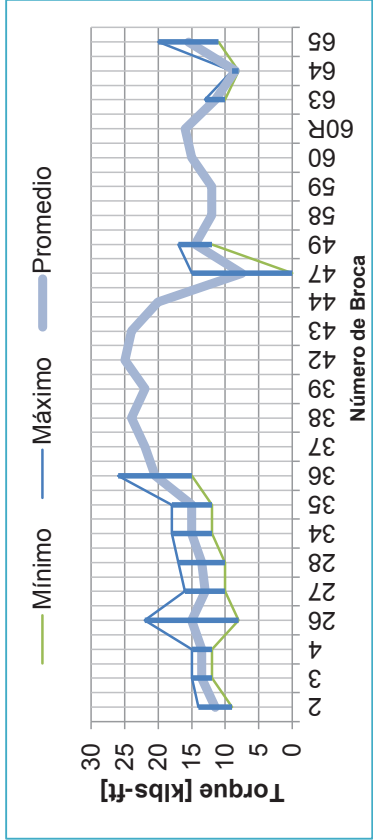
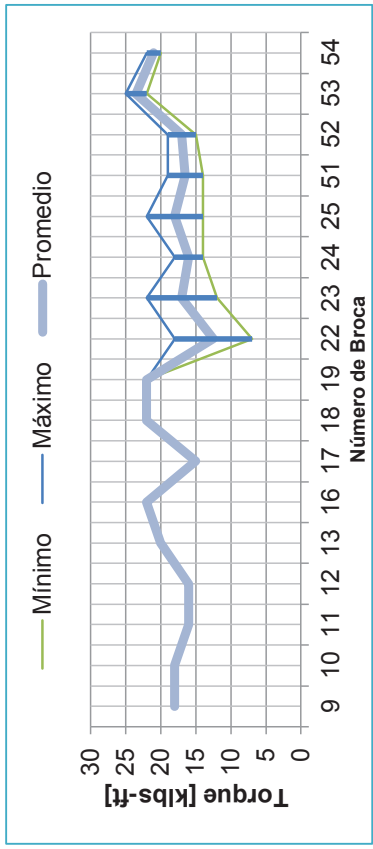


Gráfico 3.15 TORQUE SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

El gráfico 3.14 presenta el torque de 23 brocas y 1 broca de reingreso consideradas de Baja Eficiencia. Se omiten las brocas 48 y 48R, ambas del pozo 360V ya que no constan datos del parámetro debido a que no intervienen directamente en operaciones de perforación. El gráfico 3.15 presenta el torque de las brocas de Muy Baja Eficiencia.

Seguidamente, el análisis hecho a base de la tabla 3.32 de torque, para la Sección 12 ¼" es:

Tabla 3.32 VALORES ESTADÍSTICOS DE TORQUES SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, SECCIÓN 12 ¼".

Eficiencia Valor	Torque [klbs-ft]			
	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Mínimo	0,00	1,00	0,00	7,00
Mínimo Promedio	5,71	10,90	10,07	14,75
Promedio	10,97	17,89	15,83	18,26
Máximo Promedio	15,36	19,30	16,79	20,63
Máximo	22,50	32,00	26,00	25,00

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

- El comportamiento entre mínimos y máximos torques no presenta tendencia alguna. De tal forma que el menor valor máximo corresponde a las brocas de Alta Eficiencia y es 22,5 [klbs-ft], le sigue el grupo de brocas de Muy Baja Eficiencia con 25 [klbs-ft].
- En lo que respecta a valores mínimos, no existe mayor diferencia. Sólo el torque en brocas de Muy Baja Eficiencia se presenta desigual siendo el más elevado entre las eficiencias con 7,00 [klbs-ft]. La variación entre el menor y mayor valor de este grupo evidencia que no existe una conducta que fije un comportamiento para el desempeño de las brocas.
- El mínimo y máximo promedios, son valores más determinantes en este análisis que el mínimo y máximo, ya que gran parte de datos de torque en los reportes presentan un solo valor, considerado como promedio. Se tiene

que el Mínimo Promedio más bajo acompaña a una Alta Eficiencia con 5,71 [klbs-ft]. A medida que aumenta el mínimo promedio la eficiencia baja; se mantiene el comportamiento con el máximo promedio en el cual el menor valor de 15,36 [klbs-ft] se presenta en el grupo de brocas de Alta Eficiencia.

- El Promedio indica que un menor torque conlleva una Alta Eficiencia, y un alto torque da como resultado una Muy Baja Eficiencia, acorde a la conducta mencionada en el punto anterior.

Tasa de Flujo.

El gráfico 3.16 consta de los rangos y promedios de las tasas de flujo de las brocas consideradas en este estudio como de Alta Eficiencia. El gráfico 3.17 hace mención del mismo parámetro en Eficiencia Media exceptuando la broca 46R del pozo 355D, la cual no presenta rango o promedio de la tasa de flujo. El gráfico 3.18, presenta este parámetro para 23 brocas, y 1 broca de reingreso consideradas de Baja Eficiencia, se excluyen las brocas 48 y 48R ambas del pozo 360V debido a que no figuran datos. El gráfico 3.19 presenta la tasa de flujo de las brocas de Muy Baja Eficiencia.

Como se puede observar en los gráficos 3.17, 3.18 y 3.19, la cantidad de datos en cuanto a rangos es limitada, esto debido a que se halla en los reportes valores únicos para las diferentes brocas, limitando así el poder determinar de manera adecuada los rangos óptimos de trabajo para este parámetro.

Gráfico 3.16 TASA DE FLUJO SECCIÓN 12 1/4" BROCCAS DE ALTA EFICIENCIA.

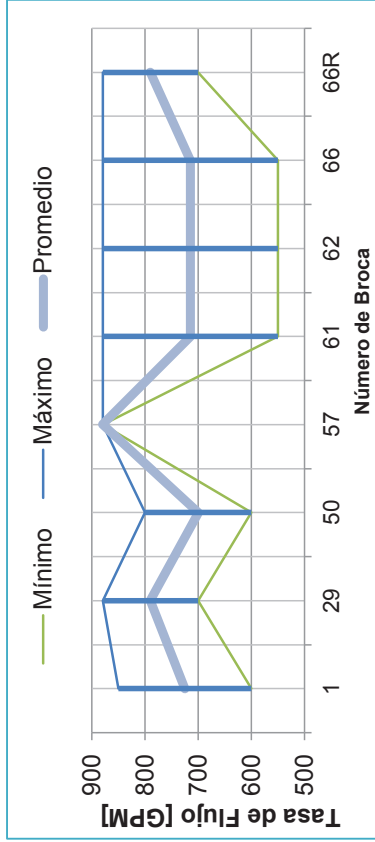


Gráfico 3.17 TASA DE FLUJO SECCIÓN 12 1/4" BROCCAS DE EFICIENCIA MEDIA.

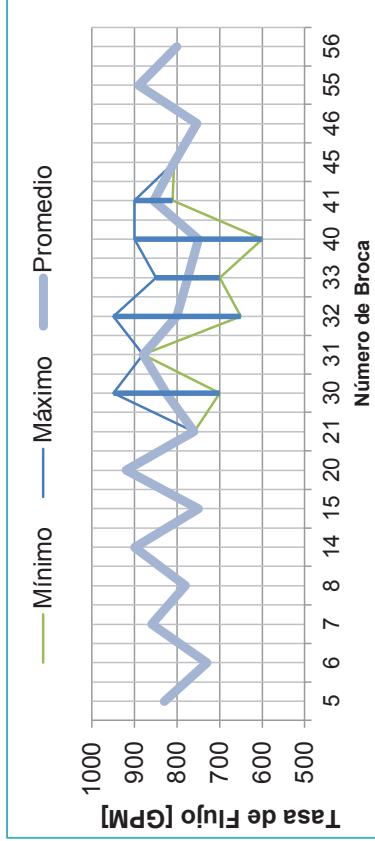


Gráfico 3.18 TASA DE FLUJO SECCIÓN 12 1/4" BROCCAS DE BAJA EFICIENCIA.

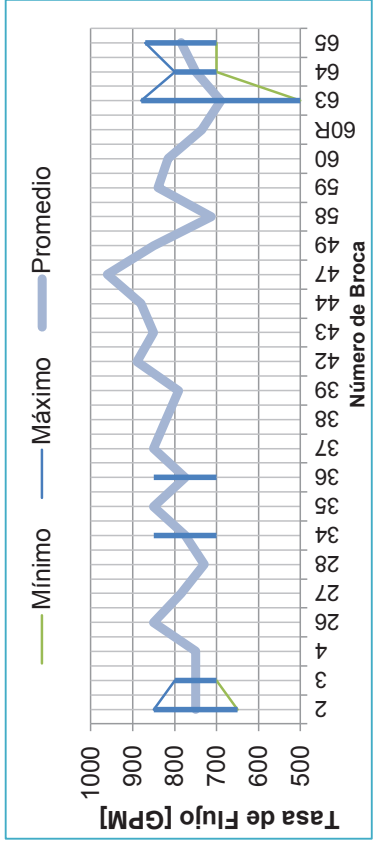
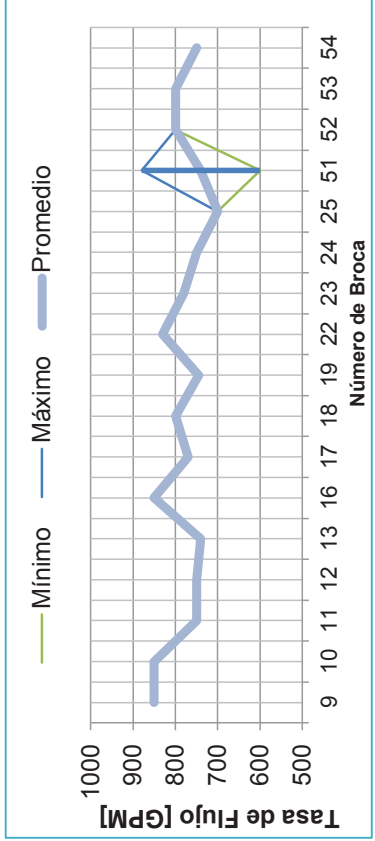


Gráfico 3.19 TASA DE FLUJO SECCIÓN 12 1/4" BROCCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

A continuación, la tabla 3.33 de tasa de flujo permite entre otras cosas evidenciar las siguientes variaciones:

- En los mínimos y máximos se tiene que: los mínimos son muy similares entre ellos, esto se debe a la escasa data antes indicada, con los máximos se tiene la misma situación.
- Entre mínimos y máximos promedios en una misma sección: el menor mínimo promedio corresponde al grupo de Muy Baja Eficiencia, seguido de las brocas de Alta Eficiencia, lo que elimina una posible tendencia. El menor máximo promedio imposibilita un comportamiento basado en estos datos.
- El promedio obtenido para este parámetro, es el único que permite hacer una acotación puntual, tal que, el menor valor promedio corresponde a las brocas de Alta Eficiencia. Las demás tasas de flujo son muy similares para los grupos de Media, Baja y Muy Baja eficiencias.

Tabla 3.33 VALORES ESTADÍSTICOS DE TASAS DE FLUJO SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, SECCIÓN 12 ¼”.

Eficiencia Valor	Tasas de Flujo [GPM]			
	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Mínimo	550,00	600,00	500,00	600,00
Mínimo Promedio	607,14	692,00	664,29	600,00
Promedio	753,75	814,72	801,38	779,71
Máximo Promedio	864,29	910,00	842,86	880,00
Máximo	880,00	950,00	880,00	880,00

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Peso sobre la Broca (WOB).

El gráfico 3.20 consta de rangos y promedios de peso sobre la broca en el grupo de Alta Eficiencia, el gráfico 3.21 para Eficiencia Media exceptuando la broca 46R del pozo 355D, la cual no consta con datos de peso sobre la broca. El gráfico 3.22

presenta el peso sobre la broca de 23 ingresos y 1 reingreso de las mismas en el grupo de Baja Eficiencia, exceptuando las brocas 48 y 48R ambas del pozo 360V. El gráfico 3.23 se refiere a las brocas de Muy Baja Eficiencia.

Consecutivamente, la tabla 3.34 de Peso sobre la broca analiza las variaciones del parámetro entre estos grupos de brocas:

- La conducta entre mínimos y máximos no marca un comportamiento. Los valores mínimos, crecen mientras las eficiencias decrecen. El valor más elevado para máximos se presenta para Muy Baja Eficiencia con 45,00 [klbs].
- Los valores mínimos y máximos promedios, en lo que respecta a Peso sobre la broca, el grupo de brocas de Alta Eficiencia posee el menor mínimo promedio y el mayor máximo promedio, lo que se traduce en la aplicación de peso sobre la broca sobre un rango más extenso.
- El promedio total del peso sobre la broca para Alta Eficiencia es similar a las demás eficiencias y no determina ningún comportamiento para los diferentes grupos de brocas.

Tabla 3.34 VALORES ESTADÍSTICOS DE PESO SOBRE LA BROCA SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, SECCIÓN 12 ¼”.

		Peso sobre la Broca [klbs]			
		Alta	Media	Baja	Muy Baja
Eficiencia Valor	Mínimo	0,00	2,00	2,00	4,00
	Mínimo Promedio	6,00	7,56	6,96	12,50
	Promedio	20,16	19,08	18,73	23,59
	Máximo Promedio	34,31	30,61	30,50	33,25
	Máximo	40,50	40,00	40,00	45,00

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Gráfico 3.20 WOB SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE ALTA EFICIENCIA.

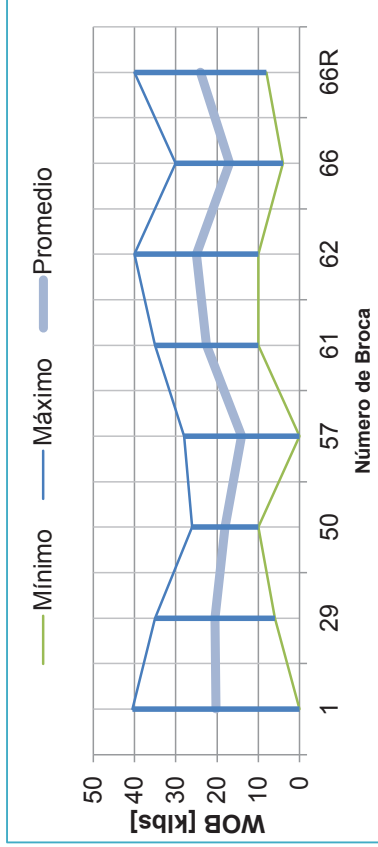


Gráfico 3.21 WOB SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA.

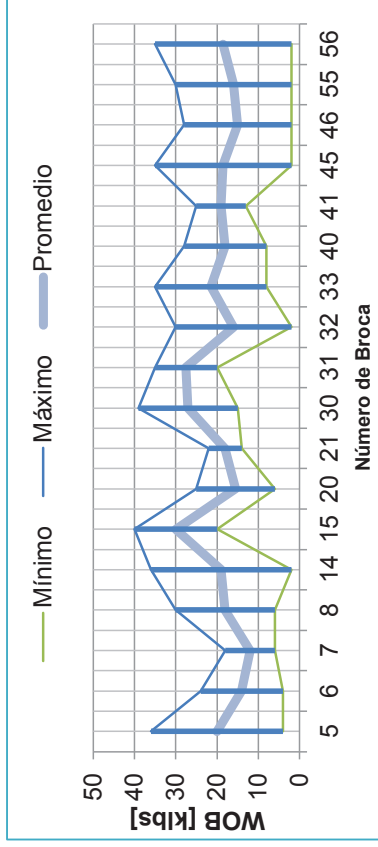


Gráfico 3.22 WOB SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE BAJA EFICIENCIA.

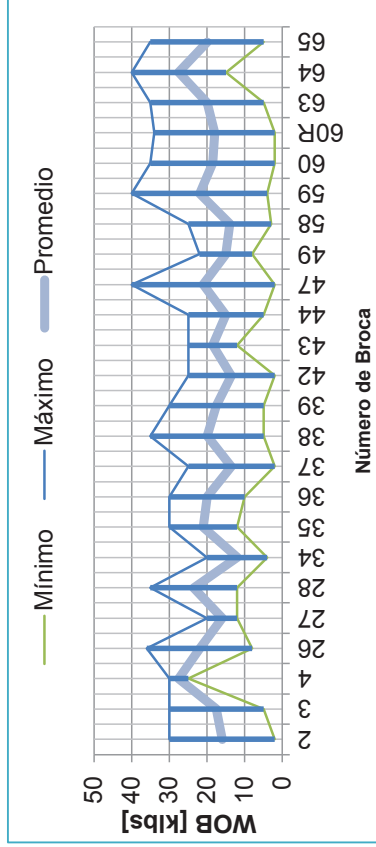
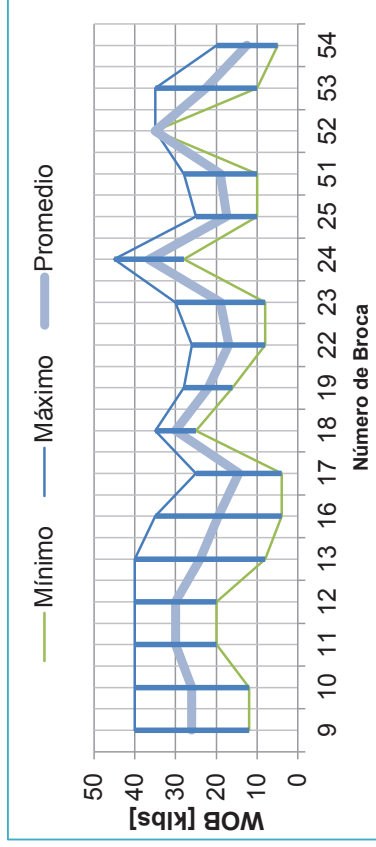


Gráfico 3.23 WOB SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Velocidad de Rotación (RPM).

Los rangos y promedios de velocidad de rotación para brocas de Alta Eficiencia se muestran en el gráfico 3.24. El gráfico 3.25 hace mención del mismo parámetro en Eficiencia Media exceptuando la broca 46R del pozo 355D. El gráfico 3.26 presenta la velocidad de rotación de 23 brocas y 1 broca de reingreso consideradas de Baja Eficiencia, se exceptúan datos de las brocas 48R y 49 ambas del pozo 360V. El gráfico 3.27 presenta este parámetro para brocas de Muy Baja Eficiencia.

Ya en la tabla 3.35 de velocidad de rotación se evidencia ciertos comportamientos del parámetro, como lo son:

- El menor valor mínimo de 103,00 [rpm] corresponde al grupo de Alta Eficiencia; a medida que este valor aumenta tiende a disminuir la eficiencia. En los valores máximos de velocidad de rotación el mayor de estos corresponde a brocas de Alta Eficiencia con 310,00 [rpm], acorde a la disminución de este valor la eficiencia tiende a bajar. La diferencia entre mínimos y máximos de esta tabla, determina que a mayor variación, la eficiencia de las brocas aumenta.
- Los mínimos y máximos promedios, tienen un comportamiento tal que el menor valor y mayor valor respectivamente, son del grupo de brocas de Alta Eficiencia.
- El menor promedio de este parámetro corresponde a Alta Eficiencia.

Gráfico 3.24 RPM TOTAL SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE ALTA EFICIENCIA.

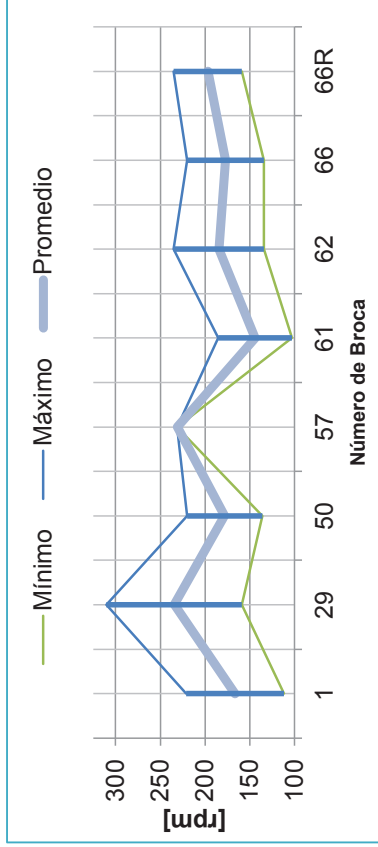


Gráfico 3.25 RPM TOTAL SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA.

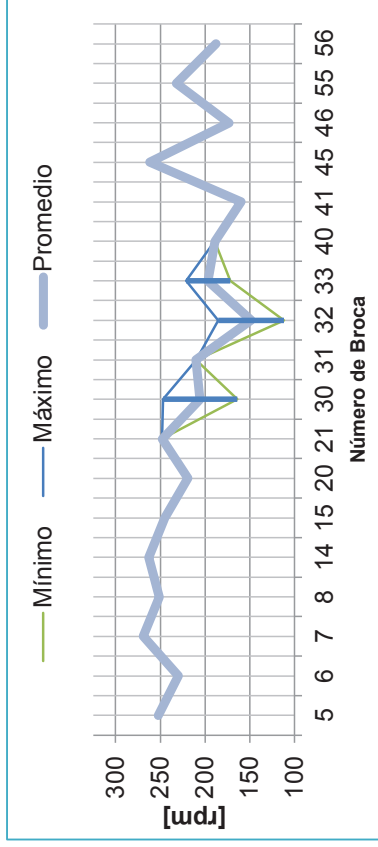


Gráfico 3.26 RPM TOTAL SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE BAJA EFICIENCIA.

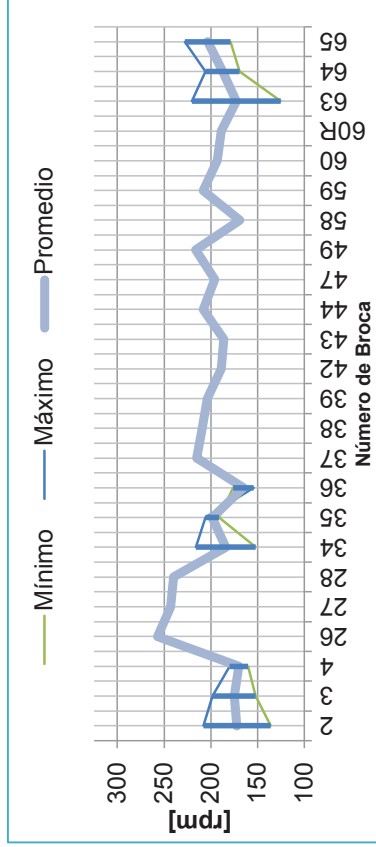
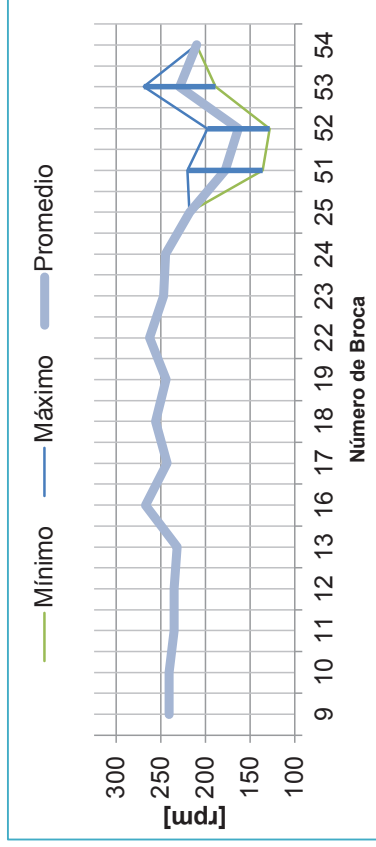


Gráfico 3.27 RPM TOTAL SECCIÓN 12 1/4" BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Tabla 3.35 VALORES ESTADÍSTICOS DE VELOCIDAD SOBRE LA BROCA SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, SECCIÓN 12 ¼”.

Eficiencia Valor	Velocidad sobre la Broca [rpm]			
	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Mínimo	103,00	112,00	125,00	128,00
Mínimo Promedio	133,86	149,33	160,00	151,00
Promedio	189,06	218,97	197,91	232,18
Máximo Promedio	232,29	217,67	201,77	229,00
Máximo	310,00	247,00	227,90	269,00

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.4.2. Formación Tiyuyacu.

A continuación se presentan para la Formación Tiyuyacu en los gráficos: torque, tasa de flujo, peso sobre la broca (WOB) y velocidad sobre la broca (RPM), parámetros previamente descritos para la Sección 12 ¼”.

Torque.

El gráfico 3.28 consta con rangos y promedios de torque de las brocas de Alta Eficiencia, el gráfico 3.29 hace mención del mismo parámetro para Eficiencia Media exceptuando la broca 46R del pozo 355D. El gráfico 3.30 presenta el torque de 17 brocas consideradas de Baja Eficiencia, se exceptúan datos de las broca 48 (y 48R) del pozo 360V.

Gráfico 3.28 TORQUE FM. TIYUYACU BROCAS DE ALTA EFICIENCIA.

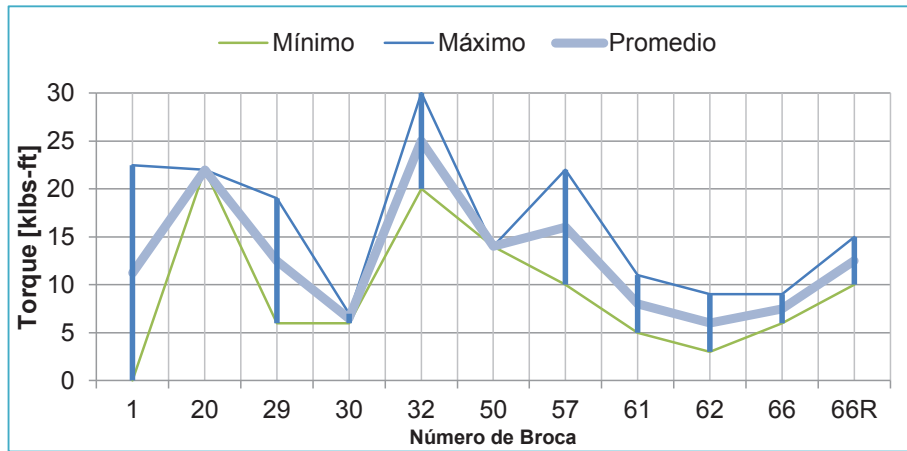


Gráfico 3.29 TORQUE FM. TIYUYACU BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA.

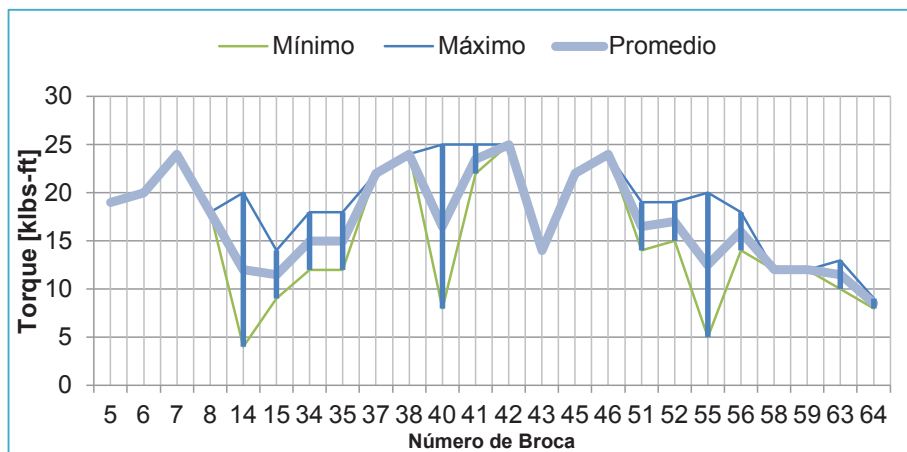
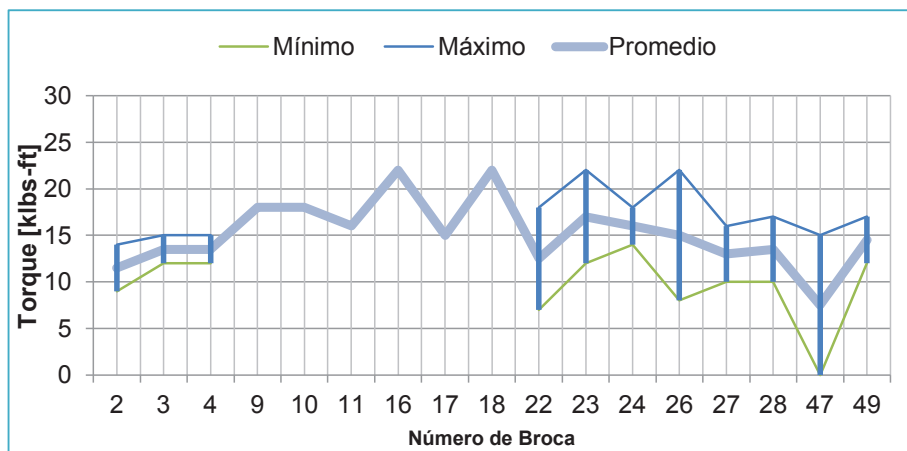


Gráfico 3.30 TORQUE FM. TIYUYACU BROCAS DE BAJA EFICIENCIA.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
 Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La tabla 3.36 sobre torque muestra variaciones del parámetro entre grupos de brocas por eficiencias en la Formación Tiyuyacu:

- Entre mínimos y máximos, sólo los valores máximos muestran un comportamiento decreciente en función de la eficiencia. El mayor máximo de 30,00 [klbs-ft] corresponde a la mejor eficiencia. La menor variación entre ambos parámetros corresponde a brocas de Alta Eficiencia.
- El menor valor para mínimo y máximo promedios pertenece al grupo de brocas de Alta Eficiencia.
- El promedio total del torque, muestra que el menor valor se presenta para Alta Eficiencia.

Tabla 3.36 VALORES ESTADÍSTICOS DE TORQUES SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.

Eficiencia Valor	Torque [klbs-ft]		
	Alta	Media	Baja
Mínimo	0,00	4,00	0,00
Mínimo Promedio	7,33	11,08	9,64
Promedio	12,84	17,15	15,21
Máximo Promedio	16,06	18,17	17,18
Máximo	30,00	25,00	22,00

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Tasa de Flujo.

En el gráfico 3.31 se visualiza rangos y promedios de la tasa de flujo para las brocas consideradas de Alta Eficiencia. El gráfico 3.32 se refiere al mismo parámetro en Eficiencia Media exceptuando la broca 46R del pozo 355D. El gráfico 3.33 muestra la tasa de flujo de 17 brocas de Baja Eficiencia, se exceptúan datos de las brocas 48 (y 48R) ambas del pozo 360V debido a que no figuran datos del parámetro.

Gráfico 3.31 TASA DE FLUJO FM. TIYUYACU BROCAS DE ALTA EFICIENCIA.

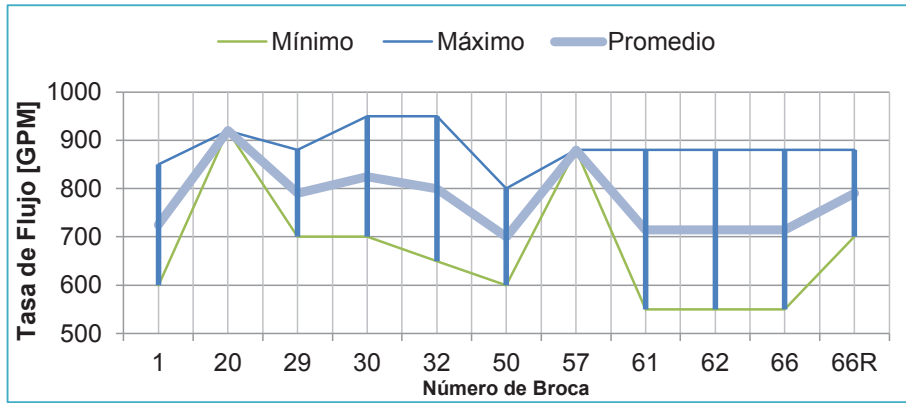


Gráfico 3.32 TASA DE FLUJO FM. TIYUYACU BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA.

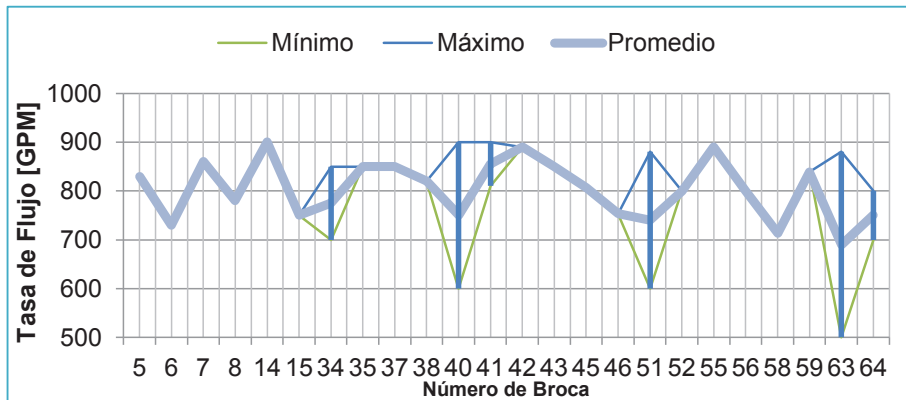
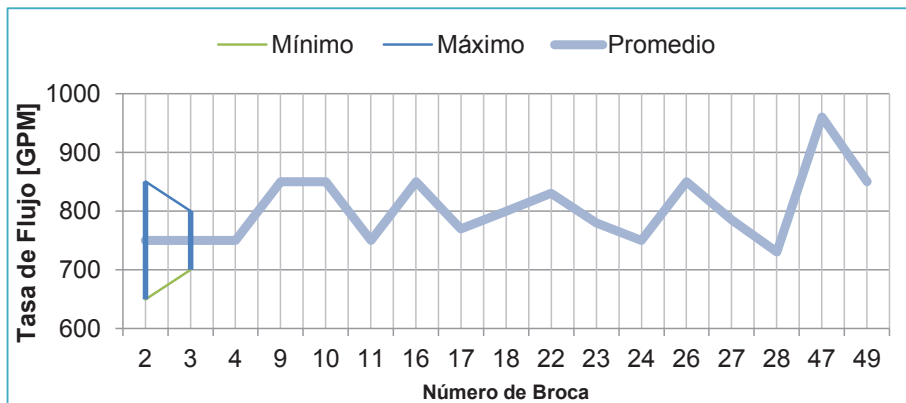


Gráfico 3.33 TASA DE FLUJO FM. TIYUYACU BROCAS DE BAJA EFICIENCIA.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

El gasto óptimo de operación se muestra en la tabla 3.37 para variaciones del parámetro entre grupos de brocas por eficiencias en la Formación Tiyuyacu:

- Entre mínimos y máximos, el valor máximo en la tabla 3.37 es el único que presenta una tendencia, en la que el mayor máximo es para brocas de Alta Eficiencia y a medida que baja el valor, disminuye la eficiencia de las brocas.
- El mínimo y máximo promedios, muestran tendencias en la tasa de flujo. A mayor eficiencia menor promedio mínimo de la tasa de flujo. El mayor valor máximo promedio corresponde a brocas de Alta Eficiencia, mientras baja este valor baja la eficiencia del grupo de brocas.
- En el promedio total, la tasa de flujo menor corresponde a brocas de Alta Eficiencia.

Tabla 3.37 VALORES ESTADÍSTICOS DE TASAS DE FLUJO SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.

Eficiencia Valor	Tasa de Flujo [GPM]		
	Alta	Media	Baja
Mínimo	550,00	500,00	650,00
Mínimo Promedio	622,22	651,67	675,00
Promedio	779,55	803,00	803,24
Máximo Promedio	883,33	868,33	825,00
Máximo	950,00	900,00	850,00

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Peso sobre la Broca (WOB).

El gráfico 3.34 consta con rangos y promedios del peso sobre las brocas consideradas en este estudio como de Alta Eficiencia. El gráfico 3.35 hace mención del mismo parámetro en Eficiencia Media exceptuando la broca 46R del pozo 355D. El gráfico 3.36 presenta el peso sobre las 17 brocas consideradas de Baja Eficiencia, se exceptúan datos de las brocas 48 (y 48R) del pozo 360V.

La tabla 3.38 de peso sobre la broca evidencia las conductas del parámetro entre los grupos de brocas por eficiencias, en la Formación Tiyuyacu:

- El comportamiento entre mínimos y máximos se presenta de la siguiente manera: los valores mínimos son muy similares entre sí por lo que no determinan una tendencia; lo mismo acontece con valores máximos en los que la poca diferenciación entre sí no muestran comportamientos. La variación entre ambos valores, mínimo y máximo mantiene lo anteriormente mencionado.
- Los promedios mínimo y máximo, no muestran un comportamiento claro que defina una relación entre la eficiencia de las brocas y el parámetro.
- El promedio del peso sobre la broca no muestra una conducta.

Tabla 3.38 VALORES ESTADÍSTICOS DEL PESO SOBRE LA BROCA SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.

		Peso sobre la Broca [klbs]		
		Alta	Eficiencia	Baja
Eficiencia Valor	Mínimo	0,00	2,00	2,00
	Mínimo Promedio	6,45	6,30	11,47
	Promedio	19,98	18,92	22,18
	Máximo Promedio	33,50	30,13	32,88
	Máximo	40,50	40,00	45,00

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Gráfico 3.34 WOB FM. TIYUYACU BROCAS DE ALTA EFICIENCIA.

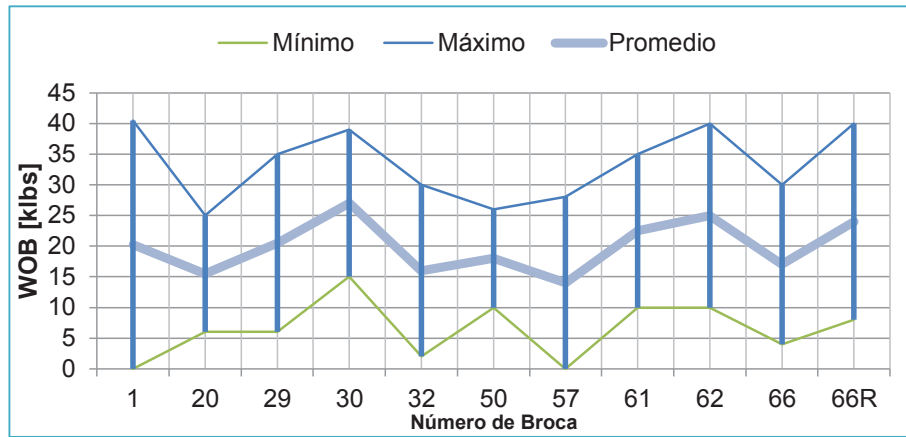


Gráfico 3.35 WOB FM. TIYUYACU BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA.

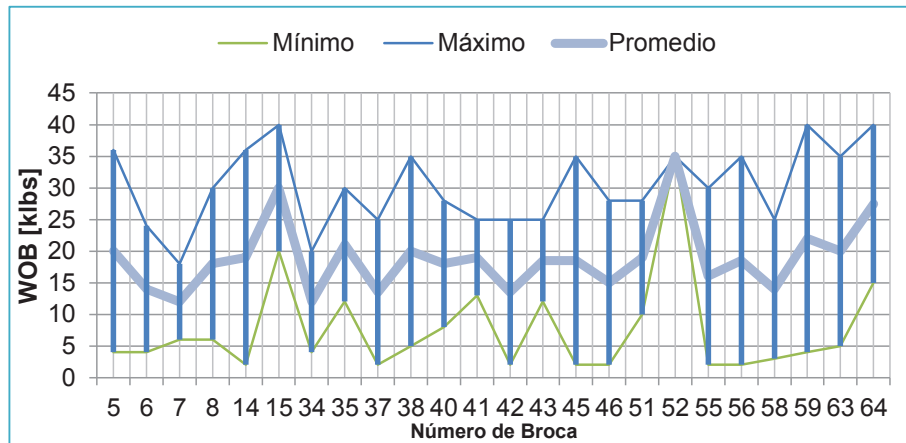
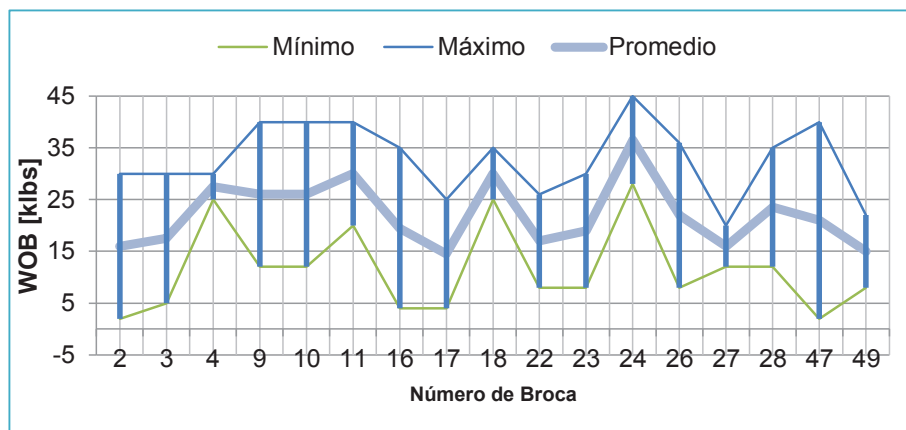


Gráfico 3.36 WOB FM. TIYUYACU BROCAS DE BAJA EFICIENCIA.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
 Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Velocidad de Rotación (RPM).

El gráfico 3.37 contiene los rangos y promedios de este parámetro para brocas de Alta Eficiencia, el gráfico 3.38 para Eficiencia Media exceptuando la broca 46R del pozo 355D. El gráfico 3.39 presenta la velocidad de rotación de 17 brocas consideradas de Baja Eficiencia exceptuando datos de la broca 48 (y 48R).

En la tabla 3.39 se muestran los valores estadísticos considerados necesarios para describir la velocidad de rotación para los grupos de brocas por eficiencias:

- El comportamiento entre mínimos y máximos en la velocidad de rotación identifica conductas; se tiene que el menor mínimo corresponde a mejores eficiencias. El máximo muestra que a mayor máximo, mejor eficiencia. La variación entre ambos valores (mínimo y máximo) es mayor mientras sea mejor la eficiencia.
- Acerca del mínimo y máximo promedios, el mínimo promedio de la velocidad de rotación no presenta una relación; mientras que los máximos promedios muestran que a mayor eficiencia, mayor valor en el parámetro.
- El promedio total de los valores de velocidad de rotación, indica que el menor valor corresponde a brocas de Alta Eficiencia, a medida que este valor aumenta la eficiencia decae a Eficiencia Media y Baja Eficiencia, al contrario del comportamiento del máximo promedio.

Tabla 3.39 VALORES ESTADÍSTICOS DE LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.

		Velocidad de Rotación [rpm]		
		Alta	Media	Baja
Valor	Eficiencia			
	Mínimo	103,00	125,00	136,00
	Mínimo Promedio	134,78	150,17	149,33
	Promedio	189,59	207,23	229,82
	Máximo Promedio	228,67	211,00	195,33
Máximo	310,00	220,00	208,00	

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Gráfico 3.37 RPM TOTAL FM. TIYUYACU BROCAS DE ALTA EFICIENCIA.

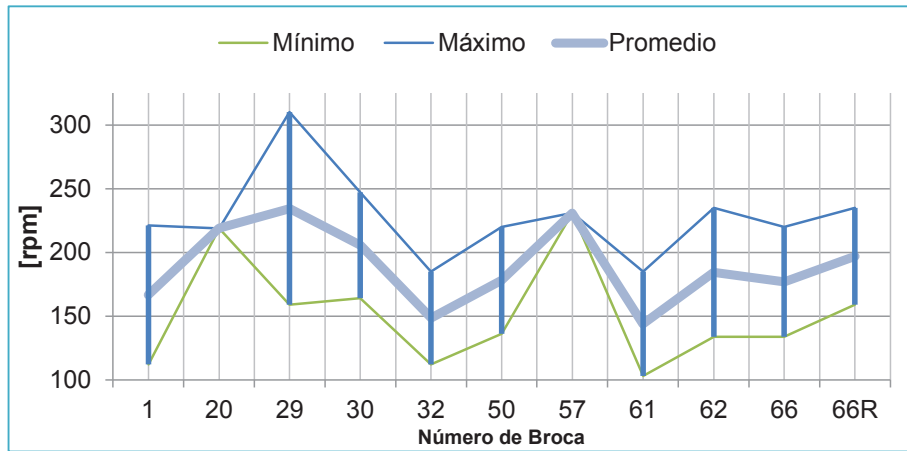


Gráfico 3.38 RPM TOTAL FM. TIYUYACU BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA.

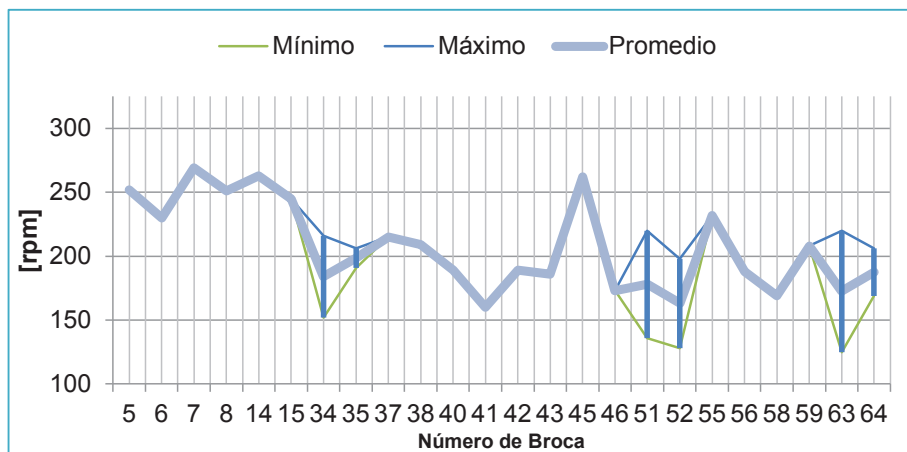
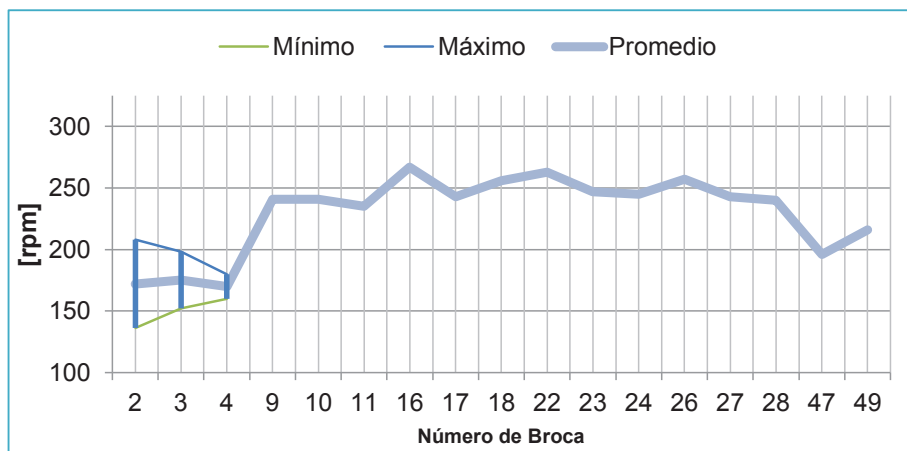


Gráfico 3.39 RPM TOTAL FM. TIYUYACU BROCAS DE BAJA EFICIENCIA.



Fuente: ARCHIVOS ARCH.
 Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.4.3. Resultado de los Parámetros de Perforación para Brocas de Alta Eficiencia.

La tabla 3.40 presenta en resumen los parámetros con los cuales se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a eficiencia según la cantidad de brocas requeridas para atravesar la Sección 12 ¼". Es importante tomarlos en cuenta con el fin de aplicarlos a procedimientos posteriores al momento de atravesar la sección.

Para la Formación Tiyuyacu éstos parámetros se presentan en la tabla 3.41, que muestra valores similares a los resultantes obtenidos para la Sección 12 ¼".

Siete brocas y un reingreso, que en el Anexo 4.1 se identifican con los números 1, 29, 50, 57, 61, 62, 66 y 66R con sus respectivos parámetros, y poseen los siguientes promedios y rangos en la Sección 12 ¼", que se visualizan en la tabla 3.40.

Tabla 3.40 RESUMEN DE VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS PARÁMETROS EN BROCAS DE ALTA EFICIENCIA, SECCIÓN 12 ¼".

Valores Estadísticos	PARÁMETROS			
	Torque [klbs-ft]	Tasa de flujo [GPM]	WOB [klbs]	RPM [rpm]
Mínimo	0,00	550,00	0,00	103,00
Mínimo Promedio	5,71	607,14	6,00	133,86
Promedio	10,97	753,75	20,16	189,06
Máximo Promedio	15,36	864,29	34,31	232,29
Máximo	22,50	880,00	40,50	310,00

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Para la Formación Tiyuyacu, los datos de parámetros de diez brocas y un reingreso, son los que constan en la tabla 3.41, valores que corresponden a las brocas número 1, 20, 29, 30, 32, 50, 57, 61, 62, 66 y 66R, nombradas así en el Anexo 4.1, con sus valores estadísticos.

Tabla 3.41 RESUMEN DE VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS PARÁMETROS EN BROCAS DE ALTA EFICIENCIA, FM. TIYUYACU.

Valores Estadísticos	PARÁMETROS			
	Torque [klbs-ft]	Tasa de flujo [GPM]	WOB [klbs]	RPM [rpm]
Mínimo	0,00	550,00	0,00	103,00
Mínimo Promedio	7,33	622,22	6,45	134,78
Promedio	12,84	779,55	19,98	189,59
Máximo Promedio	16,06	883,33	33,50	228,67
Máximo	30,00	950,00	40,50	310,00

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La variación entre los resultados de la Sección 12 ¼” y Tiyuyacu son muy leves debido a que las brocas en la formación son parte de las brocas utilizadas en la sección.

3.1.5. ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE PERFORACIÓN ASOCIADOS A LA BROCA.

3.1.5.1. Fluidos de Perforación.

Las características de los fluidos de perforación que acompañaron a las brocas consideradas como brocas de Alta, Media, Baja y Muy Baja Eficiencia en el numeral 3.3.2., se muestran en las tablas 3.42 y 3.43, tanto para las brocas que intervienen en la Sección 12 ¼” como para aquellas que perforan la Formación Tiyuyacu.

Cabe aclarar que en la Formación Tiyuyacu, ninguna broca entra en la clasificación de Muy Baja Eficiencia.

En el apartado de brocas de Alta Eficiencia para la Sección 12 ¼”, y para la Formación Tiyuyacu, dentro del análisis de geles, se dice que no existen suficientes datos como para ser analizados, ya que respectivamente se cuenta

con 3 de 11 datos y con 4 de 16 datos, lo que es aproximadamente un 25% del muestreo en general, estadísticamente no apto para considerarse.

Tabla 3.42 FLUIDOS DE PERFORACIÓN CLASIFICADOS SEGÚN LA EFICIENCIA DE LA BROCA, SECCIÓN 12 1/4".

Sección 12 1/4"													
	Densidad [ppg]		Viscosidad de Embudo [sec/quart]		PV: Viscosidad Plástica [cPs]		YP: Punto Cedente [lbs/1000ft ²]		Geles [10/10/30]	Sólidos [Lbs/bls]		pH	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Alta Eficiencia													
Mínimo	9,2	9,5	28,0	29,0	3,0	4,0	6,0	7,0	No hay suficientes datos para el análisis.	0,0	2,0	7,2	8,5
Promedio	9,7	10,2	36,7	47,8	8,9	16,6	13,9	21,1		4,3	6,3	9,0	9,6
Máximo	10,1	11,2	48,0	62,0	14,0	26,0	20,0	31,0		17,5	16,0	10,0	10,8
Eficiencia Media													
Mínimo	9,3	10,0	28,0	30,0	4,0	8,0	3,0	7,0	3/5/9 7/19/27	0,0	6,0	7,0	7,2
Promedio	9,8	10,6	34,3	48,2	11,3	15,7	11,3	15,3	4/12/17 6/17/25	4,3	10,5	8,8	9,7
Máximo	10,2	11,3	43,0	60,0	16,0	23,0	16,0	23,0	5/9/13 6/17/24	15,0	22,5	10,4	10,7
Baja Eficiencia													
Mínimo	9,2	10,1	27,0	34,0	5,0	6,0	6,0	11,0	2/5/6 3/10/14	0,0	6,5	1,1	7,4
Promedio	9,6	11,9	34,4	54,0	8,3	20,4	10,9	23,4	3/9/11 5/15/27	4,4	15,5	7,8	9,2
Máximo	10,1	13,5	42,0	73,0	11,0	35,0	14,0	34,0	4/9/13 8/22/28	10,0	22,5	10,2	10,0
Muy Baja Eficiencia													
Mínimo	9,2	10,9	29,0	48,0	4,0	17,0	8,0	20,0	7/11/14	4,0	12,0	8,0	10,4
Promedio	9,5	13,8	36,5	54,8	9,0	21,3	12,3	24,3	7/13/21	4,0	14,0	9,3	10,8
Máximo	9,6	22,1	43,0	67,0	15,0	29,0	19,0	32,0	7,75/15,75/22	4,0	18,0	10,7	11,0

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Nótese que las características de los fluidos de perforación normalmente se presentan en rangos, con un valor mínimo y uno máximo, donde al procesar estos datos se obtienen los mínimos, máximos y promedios para cada eficiencia.

En un inicio, los datos de fluidos de perforación con los que se cuenta son por pozo, más no por broca, por lo tanto al adecuarlos para las eficiencias obtenidas por cantidad de brocas, se termina clasificando los pozos como se observa en el

las tablas del Anexo 6. Consecuentemente, no hay presencia de conductas para las diferentes eficiencias, como se muestra en las tablas 3.42 y 3.43.

Tabla 3.43 FLUIDOS DE PERFORACIÓN CLASIFICADOS SEGÚN LA EFICIENCIA DE LA BROCA, FM. TIYUYACU.

Formación Tiyuyacu													
	Densidad [ppg]		Viscosidad de Embudo [sec/quart]		PV: Viscosidad Plástica [cPs]		YP: Punto Cedente [lbs/1000ft ²]		Geles [10/10/30]	Sólidos [Lbs/bls]		pH	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Alta Eficiencia													
Mínimo	9,2	9,5	28,0	29,0	3,0	4,0	6,0	7,0	No hay suficientes datos para el análisis.	0,0	2,0	7,2	8,5
Promedio	9,8	10,3	35,9	47,9	8,9	17,2	14,4	20,6		3,4	6,7	8,9	9,6
Máximo	10,1	11,3	48,0	62,0	14,0	26,0	26,0	31,0		17,5	16,0	10,1	10,8
Eficiencia Media													
Mínimo	9,3	10,0	28,0	30,0	4,0	6,0	3,0	7,0	2/5/6 3/10/14	0,0	6,0	1,1	7,2
Promedio	9,7	11,3	36,0	52,6	9,6	19,6	11,5	20,9	4/9/11 7/18/26	4,9	14,0	8,5	9,6
Máximo	10,2	13,5	42,0	73,0	16,0	35,0	19,0	34,0	4/9/13 7/21/27	15,0	22,5	10,4	10,9
Baja Eficiencia													
Mínimo	9,2	10,9	27,0	42,0	4,0	10,0	8,0	14,0	6/11/14 10/28/35	2,5	12,0	8,0	9,0
Promedio	9,4	13,0	32,2	51,0	6,8	18,7	10,2	22,2	7/13/19	5,2	15,6	8,7	10,0
Máximo	9,6	22,1	43,0	62,0	15,0	26,0	14,0	34,0	7/14/14	10,0	22,5	10,7	11,0

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.5.2. Hidráulica de Brocas.

Una vez determinadas las brocas correspondientes a la clasificación ya hecha en base a su eficiencia por cantidad de brocas, se presentan los parámetros que respectan a hidráulica, estableciendo para cada caso el valor mínimo, máximo y el valor promedio por grupo, obteniendo las tablas 3.44 y 3.45 tanto para la Sección 12 ¼" como para la Formación Tiyuyacu.

**Tabla 3.44 HIDRÁULICA EMPLEADA SEGÚN LA EFICIENCIA DE LA BROCA,
SECCIÓN 12 1/4".**

Sección 12 1/4"					
	Boquillas (/32")	Presión de Circulación [Psi]		TFA [in²]	HSI [hp/in²]
Alta Eficiencia					
Mínimo	6x12 2x1	1200	3200	0,664	2,50
Promedio	5x12 2x12	1733	3644	0,869	2,79
Máximo	3x12 5x13	2400	3900	0,979	3,47
Eficiencia Media					
Mínimo	7x12	1200	2231	0,773	1,66
Promedio	7x12 1x13	2180	3594	0,902	2,69
Máximo	4x14 2x16	3500	3900	0,994	4,21
Baja Eficiencia					
Mínimo	2x15 1x20	1400	2496	0,652	1,03
Promedio	4X13 3X14	2307	3556	0,965	2,50
Máximo	5x16 2x18	3500	4150	1,479	4,07
Muy Baja Eficiencia					
Mínimo	7x12 1x13	2350	3650	0,903	1,20
Promedio	5x13 2x14	2975	3818	1,027	1,99
Máximo	3x15 4x16	3600	4000	1,303	2,99

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

**Tabla 3.45 HIDRÁULICA EMPLEADA SEGÚN LA EFICIENCIA DE LA BROCA,
FM. TIYUYACU.**

Formación Tiyuyacu					
	Boquillas (/32")	Presión de Circulación [Psi]		TFA [in²]	HSI [hp/in²]
Alta Eficiencia					
Mínimo	6X12 2X1	1200	3200	0,664	2,24
Promedio	8x12	1688	3673	0,887	2,69
Máximo	3x12 5x13	2400	3900	0,979	3,47
Eficiencia Media					
Mínimo	2X15 1X20	1400	2231	0,652	1,48
Promedio	2X12 5X13	2075	3432	0,888	2,72
Máximo	7x14	2850	3900	1,052	4,21
Baja Eficiencia					
Mínimo	5X13 2X12	2200	3450	0,869	1,58
Promedio	4X13 3X14	2200	3771	0,972	2,25
Máximo	3X22	2200	3900	1,114	3,50

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Cabe anotar que al existir una relación directa entre el tamaño de las boquillas y el TFA, los valores de mínimo, máximo y promedio obtenidos para las boquillas corresponden a los del TFA.

Al analizar por eficiencias la hidráulica que se utiliza, sus mínimos, máximos y promedios son similares entre sí, por tanto no se presentan como factores determinantes para establecer el desempeño de las brocas.

En general los parámetros que acompañan a las llamadas brocas de Alta Eficiencia son los que preferentemente se deben usar, en los rangos que caben entre mínimos y máximos establecidos en las tablas 3.44 y 3.45, en las brocas que al concluir este estudio se definan como las más eficientes.

3.1.6. ANÁLISIS SEGÚN ESPESORES PERFORADOS.

3.1.6.1. Sección 12 ¼”.

El análisis que prosigue, se realiza basado en la amplitud de clase, dividiendo a la data en cuatro grupos restando al valor máximo total del mínimo total, y dividiendo para cuatro, de esta manera resultan grupos según el intervalo perforado por broca, denominados de Alta, Media, Baja y Muy Baja eficiencias.

En esta clasificación no se incluyen las brocas que ingresan y reingresan para viajes de acondicionamiento del pozo, debido a que no perforan ningún pie adicional, estas son las número: 46R, 48 y 48R.

Esta reclasificación por intervalo se presenta en las tablas 3.46 a 3.49.

Alta Eficiencia según Espesor Perforado.

Se observa en la tabla 3.46 que un total de diez brocas, todas del tipo PDC forman parte de este primer grupo, considerado de Alta Eficiencia por perforar grandes intervalos (desde 3757 hasta 4949 [ft]). La broca No. 2 perteneciente al

pozo 239D es la que logra el máximo rango atravesado. Cabe señalar que las razones de salida de estas brocas difieren entre sí, donde:

- **TD.** Brocas No. 1, 61, 62 y 50. Salen por haber alcanzado la profundidad total deseada, además de haber perforado solas toda esta sección desde el Terciario Indiferenciado hasta varios pies de la Formación Tena.
- **BHA.** Brocas No. 2, 14 y 55. Por cambio de ensamblaje de fondo son sacadas, para luego ingresar una broca del tipo Tricónica, además de que su ingreso es en el Terciario Indiferenciado, y su salida es al estar atravesando el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.
- **FM.** Broca No. 40. Su salida se debe por un cambio de formación, repitiendo el patrón anterior, donde perfora desde el Terciario Indiferenciado hasta parte del Conglomerado Inferior Tiyuyacu para dar paso a la siguiente broca que ingresa, que es una Tricónica.
- **PR.** Broca No. 47. Presenta el mismo comportamiento anterior, a diferencia que sale por exhibir una tasa de penetración muy baja.
- **DMF.** Broca No. 45. Sale por falla en el motor de fondo, luego de haber sido la segunda broca que más perfora entre el Terciario Indiferenciado y la Intercalación de Tiyuyacu. Por tal, luego de ésta entra otra PDC.

Tabla 3.46 BROCAS DE ALTA EFICIENCIA SEGÚN ESPESOR PERFORADO.

Brocas de Alta Eficiencia según el Espesor Perforado										
POZO	239D	355D	382D	365D	208D	341D	362D	380V	267D	360V
No. Broca	2	45	62	55	1	40	50	61	14	47
Interv.[ft]	4949	4940	4427	4268	4206	4205	4164	3954	3879	3783
Tipo Broca	PDC M223	PDC M223	PDC M423	PDC M323	PDC M223	PDC M123	PDC M223	PDC M423	PDC M323	PDC M323

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Además, todas son del tipo M, siendo: 4 del tipo M223, 3 M323, 2 M423 y 1 M123.

Eficiencia Media según Espesor Perforado.

En la clasificación de Eficiencia Media presente en la tabla 3.47 se cuenta con 6 de las 70 brocas de la sección, todas PDC, que perforan entre 2566 y 3756 [ft], donde la broca No. 30 es la que atraviesa el máximo espesor en esta clasificación. Cabe señalar que las razones por las que culminan con sus operaciones son diversas y comprenden las siguientes:

- **PR.** Brocas No. 16, 26. Pese a haber actuado en un considerable intervalo, salen por una baja tasa de penetración. Ambas inician en el Terciario Indiferenciado, y las prosigue una PDC. La No. 16 culmina aproximadamente a la mitad del Conglomerado Superior Tiyuyacu, y la No. 26 a un poco más de la mitad de la Intercalación de la Formación Tiyuyacu.
- **BHA.** Brocas No. 22, 42. Salen por un cambio de ensamblaje de fondo. Ambas inician en el Terciario Indiferenciado. La diferencia de pies perforados entre ambas brocas es de aproximadamente 600 [ft]. La No. 22 sale al culminar el Conglomerado Superior de Tiyuyacu, y la No. 42 culmina su intervención al 72% de avance en el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.
- **TD.** Broca No. 29. Sale por alcanzar la profundidad total de la Sección 12 ¼", perfora sola el intervalo comprendido entre Ortegüaza y Tena para este pozo.
Pese a que esta broca interviene en toda la Sección 12 ¼" no se considera de Alta Eficiencia debido que particularmente en este pozo, esta sección es considerablemente corta respecto de las brocas de Alta Eficiencia según el intervalo perforado, que salen por esta misma razón.
- **FM.** Broca No. 30. Su razón de salida es por cambio de formación, luego de atravesar desde el Terciario Indiferenciado hasta poco menos de la mitad del Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.

La cantidad de brocas por clasificación IADC que se contabilizan son 3 brocas del tipo M323, 2 M223 y 1 M423.

Tabla 3.47 BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA SEGÚN ESPESOR PERFORADO.

Brocas de Eficiencia Media según el Intervalo Perforado						
POZO	303D	352D	283D	282D	280D	302D
No. Broca	30	42	26	22	16	29
Interv.[ft]	3745	3678	3497	3096	3095	2711
Tipo Broca	PDC M223	PDC M223	PDC M323	PDC M323	PDC M323	PDC M423

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En base al análisis previo, el tipo de broca que mejor desempeño presenta en lo que a intervalo perforado se refiere está entre las del tipo IADC M223 y las del tipo M323, al coincidir éstas en cantidad al revisar las eficiencias Alta y Media (6 de cada una), representando un 75% de las brocas para eficiencias Alta y Media (16 brocas en total).

Baja Eficiencia según Espesor Perforado.

Este grupo (tabla 3.48) se denomina brocas de Baja Eficiencia por perforar entre 1375 y 2565 [ft]. Su característica principal es que todas las brocas son del tipo PDC. Pese a ser un grupo pequeño conformado por 13 brocas, su comportamiento difiere entre sí en lo que respecta a sus razones de salida. Se describe lo siguiente:

Tabla 3.48 BROCAS DE BAJA EFICIENCIA SEGÚN ESPESOR PERFORADO.

Brocas de Baja Eficiencia según el Espesor Perforado													
POZO	384D	363D	314D	366D	281D	384D	383H	263D	317H	265D	261D	340D	261D
No. Broca	66	51	32	57	20	66R	65	8	36	9	6	37	5
Interv. [ft]	2488	2438	2406	2320	2234	2077	2061	1962	1945	1677	1636	1636	1506
Tipo Broca	PDC M423	PDC M223	PDC M223	PDC M323	PDC M323	PDC M423	PDC M423	PDC M223	PDC M223	PDC M323	PDC M223	PDC M323	PDC M223

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

- **TD.** Brocas No. 6, 8, 36, 57, 65, 66R. Salen por alcanzar la profundidad total deseada, lo que significa que actúan como última broca para esta sección. La No. 36 y la No. 65 ingresan en Tena, por lo que su eficacia quedaría en duda, ya que aunque atraviesan un intervalo considerable actúan una vez los conglomerados son superados por una broca PDC que las precede. La broca No. 6 y la No. 8 atraviesan tanto al Conglomerado Inferior como a gran parte de Tena. La broca No. 57 atraviesa toda la Sección 12 ¼", ingresando en Ortegüaza y finalizando a 70 [ft] de Tena. Mientras que la broca No. 66 ya en su reingreso (No. 66R) atraviesa toda la Sección 12 ¼".
- **BHA.** Brocas No. 9, 20, 37, 51. Salen debido a un cambio de ensamblaje de fondo. Todas estas brocas tienen la particularidad de ingresar primeras en la Sección 12 ¼" y además hacerlo en la Formación Ortegüaza, habiendo salido dos de ellas a mitad del Terciario Indiferenciado, y las otras dos a mitad del Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.
- **HR.** Broca No. 5. Sale por horas sobre la broca. Es la primera de dos brocas PDC que perforan la sección completa, trabaja desde la Formación Ortegüaza hasta el final del Conglomerado Superior de Tiyuyacu.
- **FM.** Broca No. 32. También es la primera de dos brocas PDC en la Sección 12 ¼". Sale debido a un cambio de formación, habiendo perforado desde Ortegüaza hasta 25 [ft] de Tena.
- **DTF.** Broca No. 66. Sale debido a una falla en la herramienta de fondo, interviniendo desde el Terciario Indiferenciado hasta un 90% de Ortegüaza.

Se recalca que la broca No. 57, pese a perforar sola toda la Sección 12 ¼", encaja en esta clasificación debido a que en este pozo en particular se planificó esta sección de 2320[ft].

También se anota que la broca No. 66 pese a ser la primera de este grupo en su primer ingreso no atraviesa Tiyuyacu (lo hizo en su reingreso), únicamente interviene en la parte superior de la sección; a diferencia de la segunda broca en esta lista, la No. 51 que ingresa desde Ortegüaza y finaliza a casi la mitad del Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.

En lo que respecta al tipo de broca, se tiene que 6 brocas pertenecen al tipo M223, 4 al tipo M323 y finalmente 3 brocas al tipo M423, pudiendo este último variar a 1 broca¹¹.

Muy Baja Eficiencia según Espesor Perforado.

Este grupo (ver tabla 3.49) es considerado de Muy Baja Eficiencia por perforar el menor intervalo que va desde 184 hasta los 1374 [ft]. Es el más grande ya que comprende un total de 38 brocas de las 67 (sin considerar 3 reingresos efectuados), eso representa un 56,7% del total de estas brocas. Se distingue, además porque es el único grupo en el que intervienen tanto brocas Tricónicas como PDC.

El hecho de que todas las brocas Tricónicas, y algunas PDC sean parte de esta eficiencia da a entender que las mismas se usan para intervalos muy específicos dentro de la Sección 12 ¼”, como lo es el Conglomerado Inferior Tiyuyacu en el caso de las Tricónicas. La broca que ocupa el primer lugar en intervalo perforado de este grupo es la No. 58 del pozo 373H, con 1304 [ft] atravesados.

Este grupo requiere especial atención a las razones de salida de las brocas, donde se tiene lo siguiente:

- **TD.** Brocas No. 4, 13, 15, 19, 21, 25, 28, 33, 39, 41, 44, 46, 49, 54, 56, 60R. Estas 16 brocas, de las cuales 5 son del tipo Tricónica, salen debido a que alcanzan la profundidad total planificada para esta sección. 7 de estas brocas perforan entre el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu y Tena, 6 lo hacen a partir de Tena, 2 lo hacen después de la Formación Tena y 1 inicia a mitad de la Intercalación Tiyuyacu.

¹¹ La broca No. 66 con IADC M423 un reingreso (No. 66R). Entonces, considerada como una sola broca perfora 4565 [ft], encajando como la tercera broca de todas con mayor espesor perforado por sí sola, y catalogada como de Alta Eficiencia. Por lo tanto la cantidad de brocas con IADC M423 que intervienen en intervalos perforados de Alta y Media eficiencias se vería incrementada de 3 a 4 brocas.

Tabla 3.49 BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN ESPESOR PERFORADO.

Brocas de Muy Baja Eficiencia según el Intervalo Perforado.													
POZO	373H	373H	383H	363D	263D	317H	280D	355D	373H	340D	265D	281D	282D
No. Broca	58	60R	63	53	7	34	19	46	60	38	13	21	23
Interv. [ft]	1304	1290	1286	1273	1162	1152	1100	1048	1041	1033	1006	982	964
Tipo broca	PDC M323	PDC M323	PDC M423	PDC M223	PDC M323	PDC M223	PDC M123	PDC M323	PDC M323	PDC M323	PDC M323	PDC M123	PDC M323
POZO	282D	360V	265D	352D	314D	280D	317H	283D	363D	340D	341D	267D	363D
No. Broca	25	49	10	44	33	17	35	27	54	39	41	15	52
Interv. [ft]	925	902	862	778	768	758	655	644	569	504	498	468	456
Tipo broca	PDC M123	PDC M323	PDC S323	PDC M123	PDC S123	PDC M323	TRIC 437	PDC M323	PDC M223	PDC M323	TRIC 437X	TRIC 517	TRIC 437X
POZO	373H	303D	365D	383H	352D	265D	282D	283D	239D	265D	280D	239D	
No. Broca	59	31	56	64	43	11	24	28	3	12	18	4	
Interv. [ft]	450	442	419	397	395	390	385	251	249	234	208	184	
Tipo broca	TRIC 517	TRIC 447W	TRIC 517	TRIC 447W	TRIC 517	TRIC X122Y	TRIC 517	TRIC 517	TRIC 437X	PDC M123	TRIC 517	TRIC 437X	

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

- **BHA.** Brocas No. 10, 12, 17, 18, 23, 24, 27, 34, 35, 52, 58, 59, 60, 63, 64. Todas estas 15 brocas, de las cuales 6 son Tricónicas, reportan su salida debido a un cambio de BHA, tanto en el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu como en la Formación Tena. Sus ingresos difieren según el caso entre la Formación Tiyuyacu (sus Conglomerados e Intercalación) y Tena. En este grupo de Muy Baja Eficiencia según el intervalo perforado se destaca que 3 de 4 brocas son del pozo 373H.
- **PR.** Brocas No. 7, 38. Ambas del tipo PDC, salen a superficie por presión de la bomba. La broca No. 7 es la primera en su pozo, atravesando desde la Formación Ortegüaza hasta un 23% de la Intercalación de Tiyuyacu, la prosigue una broca PDC que culmina el trabajo. En cambio la broca No. 38, que es la segunda de tres brocas atraviesa un 56% de la parte inferior de la Intercalación de Tiyuyacu, todo el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu y 72 [ft] de la Formación Tena. En este pozo resulta coincidente que intervienen únicamente brocas PDC.
- **FM.** Brocas No. 11, 43. Estas brocas Tricónicas culminan sus labores reportando cambio de formación. Ambas brocas atraviesan similar

cantidad de pies (390 y 395 [ft] respectivamente), e ingresan en el Conglomerado Inferior Tiyuyacu. La broca No. 11 ingresa luego de perforar el 37% del conglomerado, para continuar con el 57% del mismo. En cambio la broca No. 43 perfora el 100% del mismo, y 30 [ft] de Tena.

- **HR.** Broca No. 3. Esta broca Tricónica reporta su salida por horas sobre la broca. Su ingreso es ya dentro del Conglomerado Inferior de Tiyuyacu, atravesando tan sólo un 43% del mismo, para salir inmediatamente.
- **DT.** Broca No. 31. Esta broca Tricónica sale por una falla en la herramienta de fondo. Ingresada aproximadamente a la mitad del Conglomerado Inferior de Tiyuyacu, culminando en Tena la Sección 12 ¼" del pozo.
- **PP.** Broca No. 53. Presión de la bomba. Esta broca PDC atraviesa una gran cantidad de pies entre Tena, Basal Tena y Napo. Ingresada luego de que una broca Tricónica atraviesa el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu y unos pocos pies de Tena.

El comportamiento del grupo de Muy Baja Eficiencia frente a la clasificación IADC se aprecia fácilmente en la tabla 3.50. Según esta clasificación IADC, aquí constan brocas que a su vez se hallan en grupos de mejores eficiencias, con las que se han obtenido buenos resultados. Pero que debido a factores de planificación o mecánicos presentan un desempeño por debajo de lo antes obtenido en cuanto a intervalos perforados.

Tabla 3.50 CLASIFICACIÓN IADC DE LAS BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN EL ESPESOR PERFORADO.

Clasificación IADC de Brocas para Baja Eficiencia según Espesor Perforado											
IADC	M323	517	M123	437X	M223	447W	X122Y	M423	S323	S123	437
Cant.	12	7	5	4	3	2	1	1	1	1	1

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.6.2. Formación Tiyuyacu.

Gran parte de las brocas antes descritas en la Sección 12 ¼” actúan en la Formación Tiyuyacu; en la que se puede apreciar el motivo específico de salida y su clasificación IADC. En la tabla 2.12, consta la información de pies perforados correspondientes a las brocas que intervienen en la Formación Tiyuyacu, Conglomerados e Intercalación, diferenciadas porque en la columna “Atraviesa Tiyuyacu” se encuentra una “X” marcada.

Para la Formación Tiyuyacu, se mantiene la cantidad de brocas consideradas como de Alta y Mediana Eficiencia para la Sección 12 ¼”. En cambio las brocas consideradas de Baja y Muy Baja Eficiencia según el intervalo perforado, disminuyen en cantidad con respecto a las que hay en la Sección 12 ¼”; por ejemplo de las 13 brocas consideradas de Baja Eficiencia en la Sección 12 ¼” intervienen sólo 10 para Tiyuyacu, y en el caso de las brocas de Muy Baja Eficiencia la cantidad varía aún más, donde de las 38 brocas que forman parte de este grupo en la Sección 12 ¼”, sólo 28 de ellas intervienen en la formación.

A continuación se expone en los gráficos 3.40, 3.41 y 3.42 respectivamente los resultados de las brocas antes reclasificadas como de Alta, Media y Baja Eficiencia, que intervienen particularmente en la Formación Tiyuyacu.

En estos gráficos se compara el espesor total de la Formación Tiyuyacu para cada pozo (barra color azul), contra los pies perforados por la broca (barra color rojo). De la misma manera, se observa los límites entre los topes y bases de los conglomerados, apreciando siempre a la base del Conglomerado Inferior como la base de Tiyuyacu. También dentro de los gráficos se exponen las razones de salida de la broca a superficie en siglas, e incluso el orden en que participan dentro de sus respectivos pozos.

Alta Eficiencia según Espesor Perforado.

En el gráfico 3.40, se aprecia que todas las brocas que intervienen, son las primeras en perforar la Formación Tiyuyacu. Cabe puntualizar que la broca No. 40

(PDC) del pozo 341D pese a que señala su salida por un cambio de formación no se lo hace exactamente en el tope del Conglomerado Inferior, sino hasta que el departamento de geología encargado confirma un 100% de conglomerado.

Eficiencia Media según Espesor Perforado.

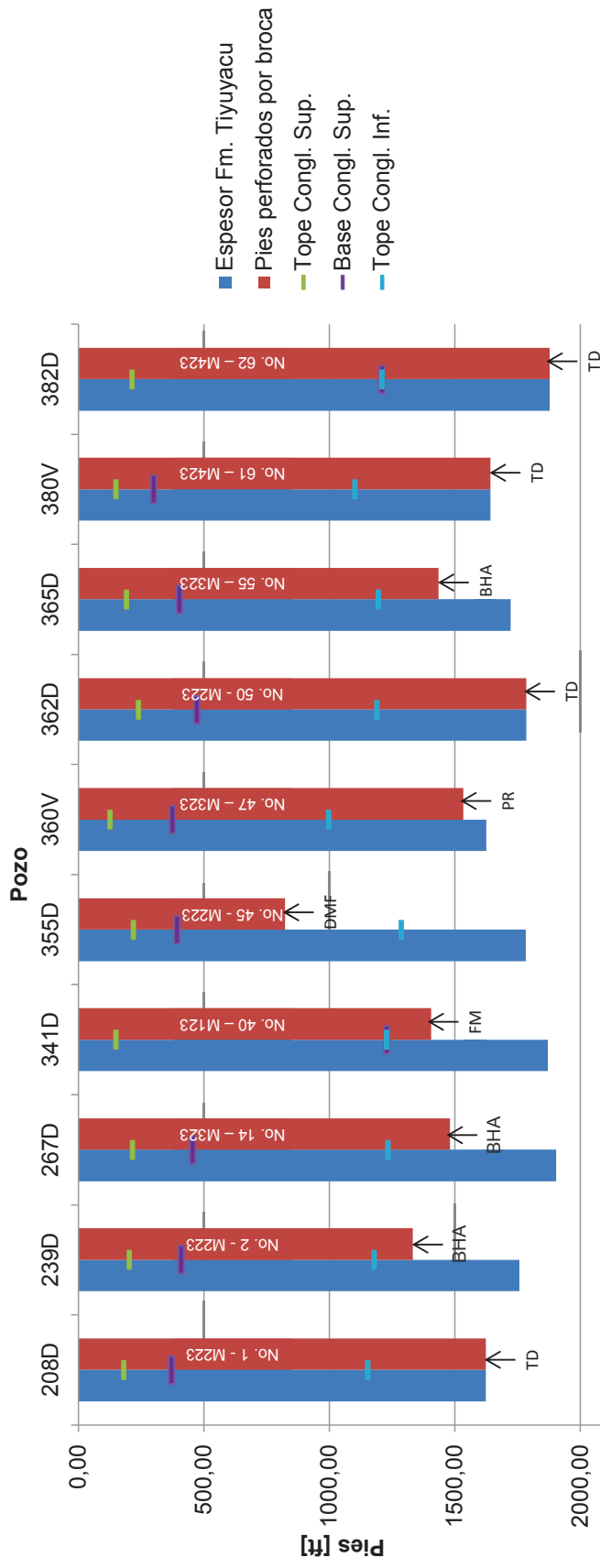
En el gráfico 3.41, igual que en el caso anterior, todas las brocas son las primeras en intervenir a la Formación Tiyuyacu. En específico en el pozo 303D la broca No. 30 (PDC) repite el patrón antes especificado, donde sale para ser reemplazada por una broca Tricónica para perforar específicamente el Conglomerado Inferior, aunque sale casi a la mitad del mismo presentándose en calibre pero con Inserto roto e Insertos gastados.

Baja Eficiencia según Espesor Perforado.

En el gráfico 3.42, para el pozo 261D las dos brocas PDC que intervienen en Tiyuyacu forman parte de esta eficiencia, realizándose el cambio por horas sobre la broca, justo en el cambio de formación para ingresar al Conglomerado Inferior. La eficacia de la segunda broca que ingresa, la No. 6 no se evidencia en Tiyuyacu, ya que la mayoría de pies perforados son en la Formación Tena.

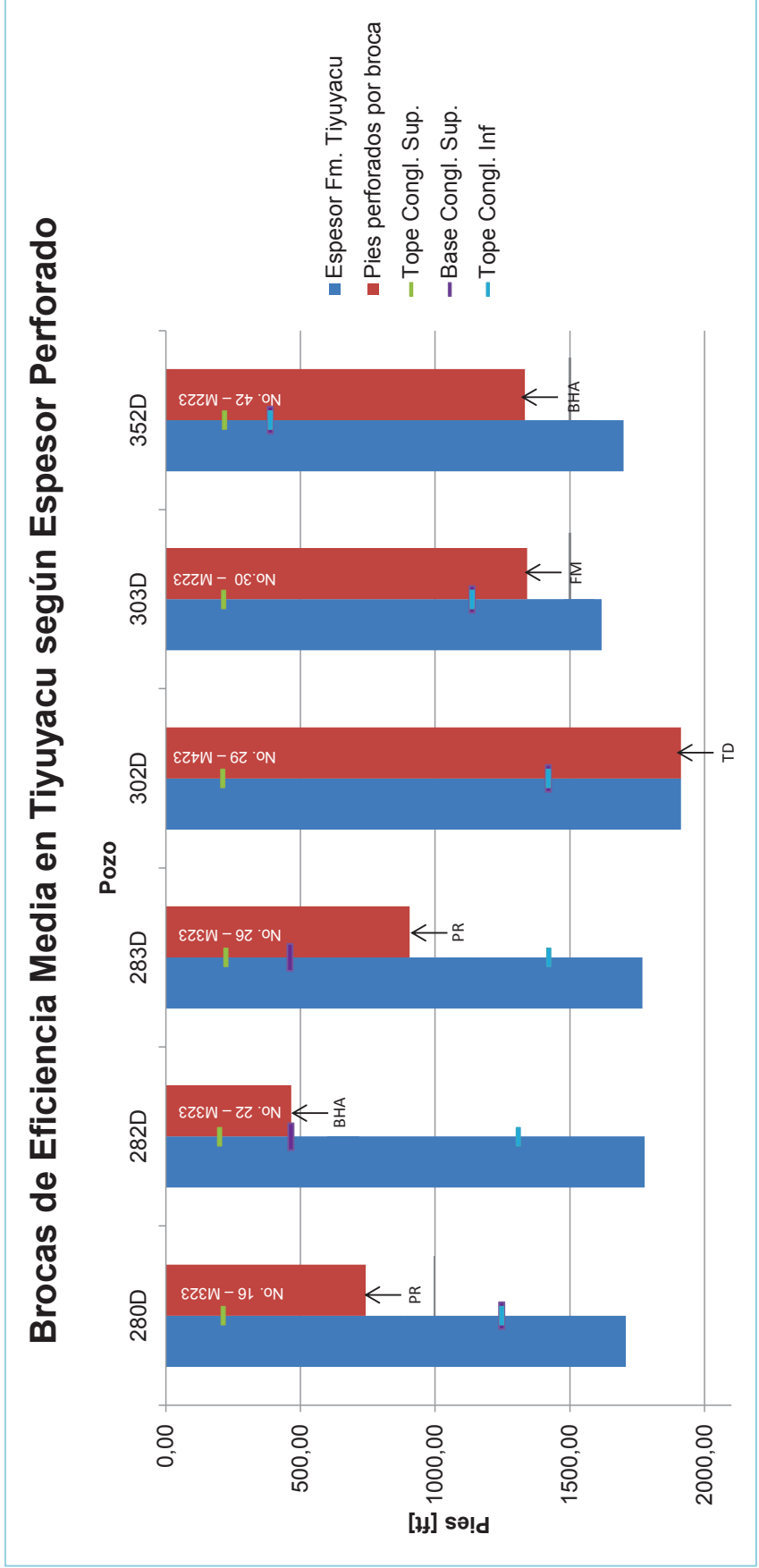
Gráfico 3.40 PIES PERFORADOS POR BROCAS DE ALTA EFICIENCIA PARA LA FM. TIYUYACU.

Brocas de Alta Eficiencia en Tiyuyacu según el Espesor Perforado



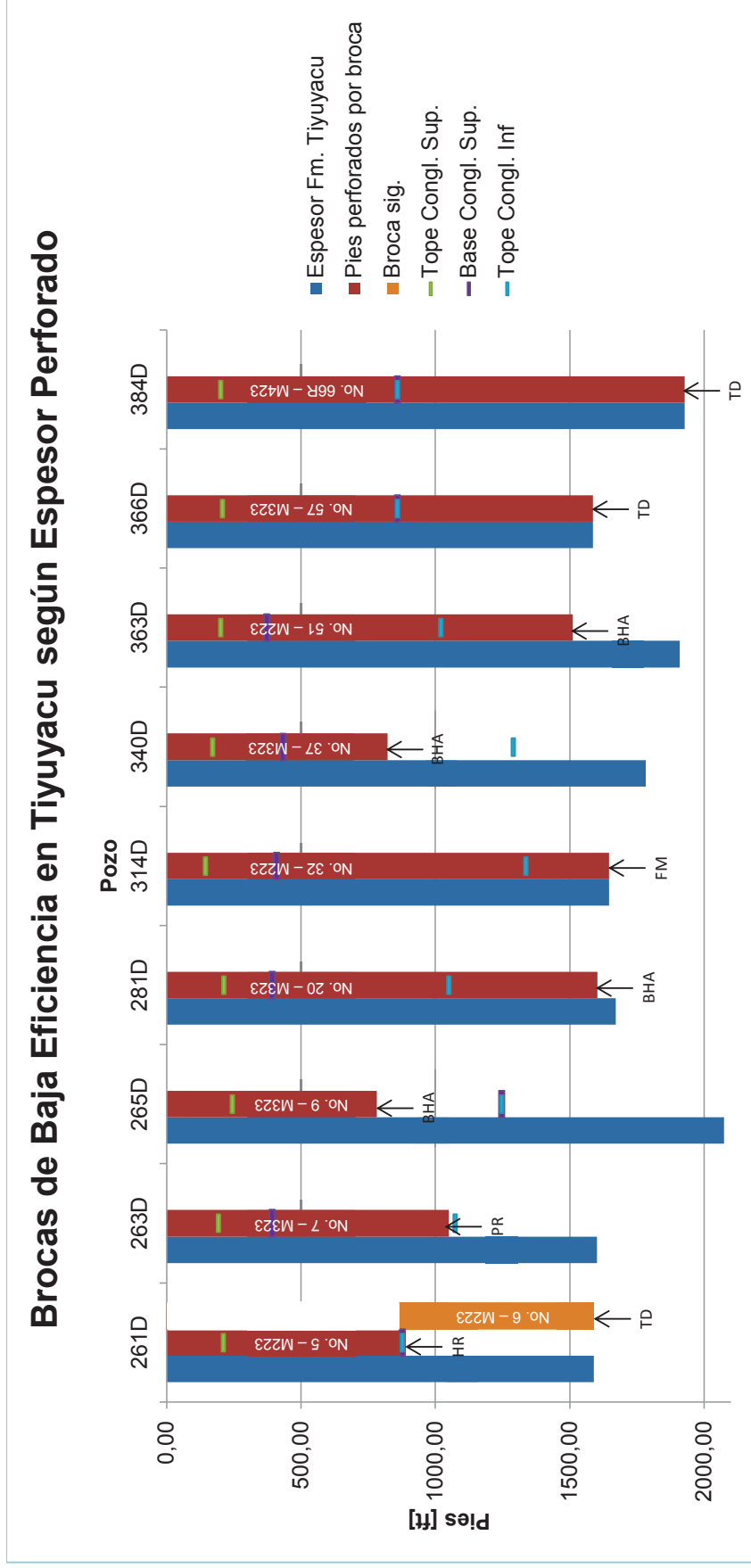
Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Gráfico 3.41 PIES PERFORADOS POR BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA PARA LA FM. TIYUYACU.



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Gráfico 3.42 PIES PERFORADOS POR BROCAS DE BAJA EFICIENCIA PARA LA FM. TIYUYACU.



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.6.3. Resultados

En resumen, lo obtenidos para la Sección 12 ¼" se presenta en la tabla 3.51, con los valores considerados los más representativos para cada una de las eficiencias en que se clasifican las brocas según la cantidad de pies que perforaron en cierto pozo.

Tabla 3.51 RESULTADOS POR EFICIENCIAS SEGÚN EL ESPESOR PERFORADO POR LAS BROCAS, SECCIÓN 12 ¼".

	Eficiencia según Pies Perforados			
	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Mínimo	3783,00	2711,00	1506,00	184,00
Promedio	4277,50	3303,67	2029,69	721,89
Máximo	4949,00	3745,00	2488,00	1304,00
Cant. Brocas	10	6	13	38

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

De este análisis se obtiene que las brocas Tricónicas se usan para actuar preferentemente en el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu, y en ocasiones estas brocas finiquitan la Sección 12 ¼" abarcando algunos pies de Tena.

De la misma manera, se determina que la broca que mayor cantidad de pies logra perforar es la No. 2 (PDC, M223) del pozo 239D con 4949 [ft] en su haber, a diferencia de la No. 4 (TRIC, 437X) del mismo pozo 239D con tan sólo 184 [ft].

Sobre el promedio de intervalo perforado para brocas de Alta Eficiencia se tienen cuatro brocas PDC, éstas son: la No. 2 (M223), No. 45 (M223), No. 62 (M423) y la No. 66 (M423), en orden de mayor a menor espesor conseguido. Las 2 primeras con IADC M223, de un total de 15 brocas con esta misma clasificación. Y las siguientes dos de IADC M423, de un total de 6 brocas.

Al reclasificar las brocas por eficiencia según su intervalo perforado, las brocas PDC se presentan en todas las eficiencias, a diferencia de las Tricónicas que

únicamente tienen presencia en Muy Baja Eficiencia. En este mismo grupo encontramos por tanto brocas PDC como Tricónicas, con predominio de las PDC por ocupar los primeros lugares de la misma como se observa en la tabla 3.49.

De este análisis se desprende que dentro de lo que es Tiyuyacu, la broca que mejor desempeño tiene en lo que respecta a pies perforados es la No. 29 (PDC, M423) al atravesar 1913 [ft] que en el pozo 384D comprende toda la Formación Tiyuyacu. La broca No. 12 (PDC, M123) del pozo 265D es la que menos pies perfora, con sólo 40 [ft].

3.1.7. ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS NETOS DE PERFORACIÓN.

3.1.7.1. Sección 12 ¼”.

En base al análisis que se ha venido haciendo según la eficiencia de perforación por la cantidad de brocas que intervienen en un pozo, se tienen los siguientes resultados (tabla 3.52):

Para la Sección 12 ¼”, como ya es conocido, en la primera columna se observa la cantidad de brocas que actúan para cada tipo de eficiencia, siendo 8, 18, 24 y 17 correspondientes a eficiencias Alta, Media, Baja o Muy Baja respectivamente.

El grupo de Baja Eficiencia comprende a la broca con el mínimo y el máximo tiempo neto de perforación de las 70 estudiadas. El tiempo promedio de las brocas de Baja y Media eficiencias son similares, de 36,21 y 39,37 [hrs] respectivamente.

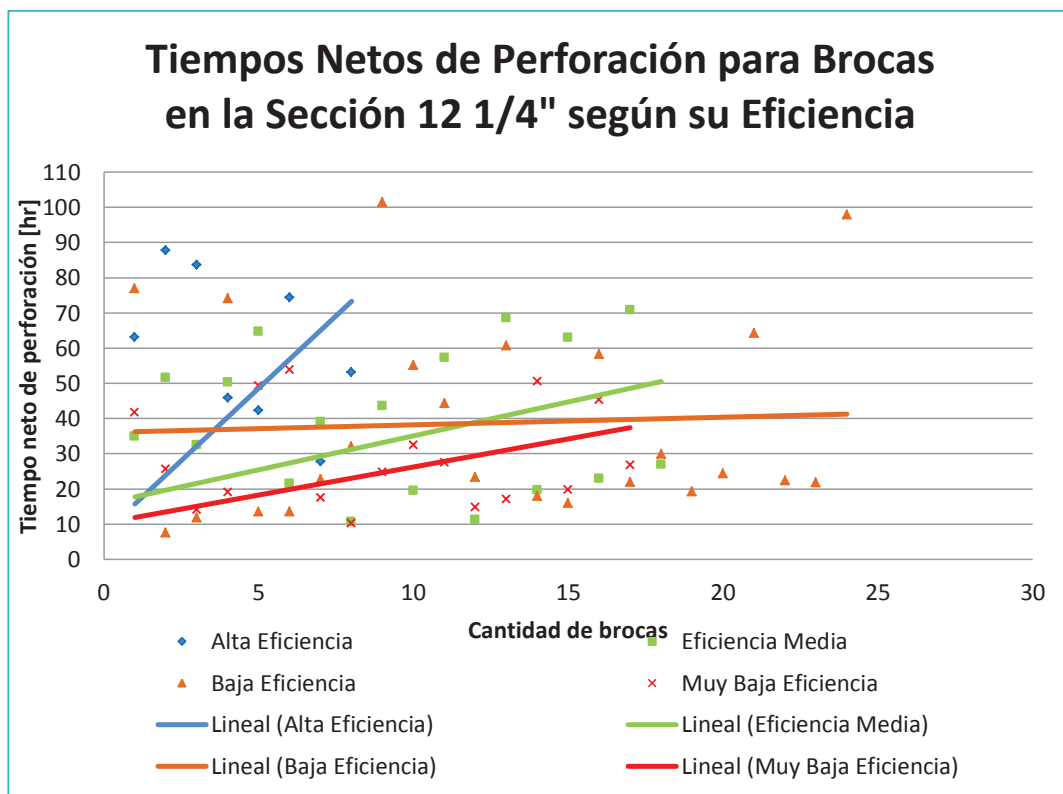
Por último el tiempo mínimo que es bastante similar para las eficiencias Media y Muy Baja, con 10,62 [hrs] y 10,30 [hrs] respectivamente. Por tal, en este tipo de clasificación no se observa una tendencia marcada en los tiempos de perforación.

**Tabla 3.52 TIEMPOS NETOS DE PERFORACIÓN PARA LA SECCIÓN 12 ¼”
SEGÚN LA EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS.**

	Eficiencia según Tiempo Neto Perforado			
	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Mínimo	27,78	10,62	7,50	10,30
Promedio	87,75	70,77	101,46	53,82
Máximo	59,77	39,37	36,21	28,86
Cant. Brocas	8	18	24	17

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

**Gráfico 3.43 TIEMPOS NETOS DE PERFORACIÓN PARA LA SECCIÓN 12 ¼”
SEGÚN SU EFICIENCIA.**



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Para definir de alguna manera las tendencias según las eficiencias, se usa el gráfico 3.43, donde las brocas que intervienen en la Sección 12 ¼” exhiben sus

tiempos netos totales de perforación, y se hallan sus respectivas líneas de tendencia, donde se encuentra lo siguiente:

- Para las brocas correspondientes a una Alta Eficiencia (recta azul), se tiene un amplio rango de tiempos dados por pocas brocas, tendiendo a conseguir los valores más altos de tiempos netos de perforación, y un valor mínimo similar a aquellas brocas de Media y Muy Baja Eficiencia. Es donde menos brocas se hallan.
- Para las brocas de Eficiencia Media (recta verde) la tendencia abarca un rango de tiempos mucho menos amplio que las de Alta Eficiencia, es más, el rango es similar al de Muy Baja Eficiencia, a diferencia de que los valores que la conforman tanto mínimo como máximo son superiores, situándose paralelamente y justo por encima de ésta. En general, el rango que abarca toma los mismos valores que brocas de Baja y Muy Baja Eficiencia, aproximadamente hasta las 40 [hr] netas perforadas que son el máximo de estas otras dos clasificaciones, valor en el que las supera.
- Para las brocas de Baja Eficiencia (recta naranja), pese a que nace sobre todas las otras rectas de tendencia, esto por la excepción de que su máximo valor en tiempo fue dado por la broca No. 36 con 101.36 [hr], su comportamiento decrece a lo largo de sus otros valores, pero no termina por situarse totalmente por debajo de todas las otras rectas, pero en general se podría interpretar como los tiempos de perforación más bajos; aunque sí se observa que abarca el menor rango de valores. La mayor cantidad de brocas se ubica en esta categoría.
- Para las brocas de Muy Baja Eficiencia (recta roja), la línea de tendencia nace en el valor más bajo de tiempo neto perforado, pero su comportamiento es creciente, aunque su valor máximo no supera a la tendencia de Baja Eficiencia. Su rango de valores es similar al de Eficiencia Media. En base a la cantidad de brocas que conforman esta tendencia, se ubica en segundo lugar.

En un inicio este tipo de análisis no arroja datos relevantes ni tendencias necesariamente marcadas, por ello resulta adecuado redefinirlo. Esto se hace

agrupando los pozos según los tiempos netos de perforación, en cuatro categorías como se ha venido haciendo (amplitud de clase)¹².

El criterio a aplicarse es: que los pozos cuya Sección 12 ¼" se la realiza en menor tiempo son de Alta Eficiencia, y los pozos que demoran más se consideran de Muy Baja Eficiencia. Existiendo entre estos dos tipos de eficiencias la Media y Baja, como en anteriores análisis.

Los datos a continuación organizados, se basan en la tabla 2.13. En ella se observa cuatro brocas que reingresan, y se distinguen por la letra "R" que está anexada al número de broca correspondiente. Es así, que la broca No. 46, 48¹³, 60 y 66 reingresan como No. 46R, 48R, 60R y 66R. De ellas sólo intervienen en labores de perforación la No. 66R y 60R. Estos últimos reingresos cuentan junto a su primer ingreso al pozo como una sola broca para el presente análisis.

A continuación, en las tablas 3.53 a 3.56 se muestran los pozos agrupados por eficiencia según sus horas netas de perforación, cantidad de brocas que usan, clasificación IADC y número de broca (No.) asignado en este estudio.

Alta Eficiencia según Tiempo Neto, por Pozo.

A la tabla 3.53 le corresponden los pozos que fueron perforados en menor tiempo, entre 40 y 70 [hr], que son en total 6 pozos. Con un tiempo mínimo de 42,26 [hr] que corresponde al pozo 380V (M423), y con un tiempo máximo de 68,60 [hr] por parte del pozo 314D (M223, S123).

Seguidamente, a esta clasificación le corresponden tanto 3 brocas del tipo M223 como del M423, y sólo una M323 que es la No. 26, misma que obtiene el menor tiempo neto en este grupo con 74,07 [hr]. El tiempo promedio en que los pozos considerados de Alta Eficiencia perforan la sección es de 55,46 [hr].

¹² Vargas, A., (1995), Estadística Descriptiva e Inferencial, ed. II, La Mancha, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla.

¹³ Tanto en su primer ingreso a pozo, como en su reingreso esta broca no perfora.

De la misma manera, la Sección 12 ¼" de estos pozos varía entre 2320 [ft] (Formación Ortegüaza hasta pocos pies de Tena) para el pozo 366D, y 4206 [ft] en el pozo 208D desde el Terciario Indiferenciado hasta un pequeño espesor de la Formación Tena. El promedio perforado de la sección es 3585 [ft].

En este punto, cabe destacar que las brocas con clasificación IADC M323 y M223 son las que en los reportes estudiados se presentan con la mayor cantidad de brocas, con 21 y 15 respectivamente; actuando dos de cada una de ellas dentro del grupo de pozos de Alta Eficiencia según el tiempo neto.

Tabla 3.53 POZOS DE ALTA EFICIENCIA SEGÚN TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN, SECCIÓN 12 ¼".

Pozos de Alta Eficiencia según Tiempo Neto						
	380V	366D	281D	208D	303D	314D
Tiempo [hr]	42,26	45,91	49,62	63,19	63,19	68,6
Cant. Brocas	1	1	2	1	2	2
Tipo IADC	M423	M323	M323 M123	M223	M223 447W	M223 S123
No. Broca	61	57	20 21	1	30 31	32 33

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

La Sección 12 ¼" de estos pozos ha sido perforada con una broca, y máximo dos. Se subraya que casi todas las brocas que aquí intervienen son de tipo PDC, donde sólo una es Tricónica e ingresa aproximadamente a la mitad del Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.

Eficiencia Media según Tiempo Neto, por Pozo.

En este grupo (tabla 3.54), se encuentran 14 pozos, los cuales perforaron entre 70 y 100 horas netas. El pozo que consta con el menor tiempo de perforación es el 382D con un total de 74,43 [hr], y 1 broca (M423); por otro lado el pozo que de

este grupo logra más tiempo es el 365D (M323, 517) con 97,74 [hr]. El tiempo neto promedio en que se perfora es de 86,92 [hr].

Respecto del tipo IADC de brocas que intervienen, se tienen 3 del tipo M423, 8 M323, 7 M223 y 7 Tricónicas.

Existe una variedad en lo que a cantidad de brocas por pozo se refiere, siendo: 4 ocasiones 1 broca, en 6 ocasiones 2, y 2 veces para 3 y 4 brocas que intervienen.

Tabla 3.54 POZOS DE EFICIENCIA MEDIA SEGÚN TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN, SECCIÓN 12 ¼”.

Pozos de Eficiencia Media según Tiempo Neto de Perforación.															
	382D	360V	384D	263D	362D	355D	267D	261D	302D	341D	282D	352D	239D	365D	
Tiempo [hr]	74,43	80,19	80,91	82,69	83,67	85,93	86,22	86,45	87,75	88,3	91,81	94,46	96,3	97,74	
Cant. Brocas	1	4	1	2	1	2	2	2	1	2	4	3	3	2	
Tipo IADC	M423	M323 347 M323	M423	M323 M223	M223	M223 M323	M323 517	M223	M423	M123 437X	M323 517 M123	M223 517 M123	M223 437X	M323	517
No. Broca	62	47 48 48R 49	66 66R	7 8	50	45 46	14 15	5 6	29	40 41	22 23 24 25	42 43 44 -	2 3 4 -	55 56	

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Para el pozo 360V se visualiza que intervienen 3 tipos de brocas, pero en particular en este pozo, la número 48 (Tricónica) no actúa directamente en actividades de perforación. Por ello la cantidad de brocas que perforan la Sección 12 ¼” en este pozo son 2, siendo estas PDC. Para el pozo 384D, la única broca que interviene en toda la sección reingresa hasta culminarla. Por lo que en cantidad se cuenta como una sola broca.

Los pozos clasificados como de Eficiencia Media según el tiempo neto perforado, emplean entre una y dos brocas para la perforación de la Sección 12 ¼” que está comprendida entre 2711 y 5988 [ft], para los pozos 302D y 355D respectivamente. El espesor promedio para este conjunto de pozos corresponde a 4349,44 [ft].

Baja Eficiencia según Tiempo Neto, por Pozo.

Pertenecen a este grupo tres pozos cuyo tiempo neto de perforación está comprendido entre 100 y 130 horas netas, como se observa en la tabla 3.55. Se determina que el pozo de Baja Eficiencia que perfora durante menos tiempo es el 283D (brocas M323, M323, 517) con 101,18 horas netas, mientras que el pozo 340D (3 brocas M323) con 122,83 [hr] es el de mayor tiempo neto. El promedio de tiempo perforado para este grupo corresponde a 110,17 [hr].

Estos pozos se perforan con 3 y 4 brocas cada uno. En total de las 10 brocas que constan se tienen 7 del tipo M323, 1 del M123 y 2 de IADC 517.

Tabla 3.55 POZOS DE BAJA EFICIENCIA SEGÚN TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN, SECCIÓN 12 ¼".

	Pozos de Baja Eficiencia		
	283D	280D	340D
Tiempo [hr]	101,18	106,49	122,83
Cant. Brocas	3	4	3
Tipo IADC	M323	M323	M323
	M323	M323	M323
	517	517	M323
	-	M123	-
No. Broca	26	16	37
	27	17	38
	28	18	39
	-	19	-

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Los espesores atravesados en la sección respectivamente para cada pozo son: 4392, 5161 y 3173 [ft], lo que en promedio representa 4242[ft].

Es aquí donde se observa que la intervención de tres brocas PDC no siempre es mejor frente a dos PDC y una Tricónica, pero esto, sin embargo, al referirse a un muestreo que cuenta con tan pocos datos (sólo 3 pozos), no es válido para

establecer tendencias en cuanto a comportamiento dentro de la Baja Eficiencia según tiempo neto.

Muy Baja Eficiencia según Tiempo Neto, por Pozo.

En este grupo se encuentran los 5 pozos cuya Sección 12 ¼" demora más en elaborarse, esto es entre 130 y 160 [hr] (tabla 3.56). De esta forma, el pozo que menos tiempo logra es el 373H con un total de 137,81 [hr], a diferencia del pozo 317H que demora 156,39 [hr] como valor máximo. El tiempo promedio neto perforado en que se construye la sección para este grupo es de 145,74 [hr].

Intervienen 3, 4 y hasta 5 brocas en la perforación de la Sección 12 ¼" en estos pozos, que suman un total de 18 brocas, donde 12 de ellas son del tipo PDC. De éstas 5 son de IADC M223 (de un total de 15), 4 de IADC M323 (de un total de 21), éstas como las PDC que presentan mayor frecuencia, seguidas por 2 M423 de un total de 6. En lo que respecta a Tricónicas su tipo IADC varía entre sí.

Tabla 3.56 POZOS DE MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN, SECCIÓN 12 ¼".

Pozos de Muy Baja Eficiencia según Tiempo Neto					
	373H	383H	363D	265D	317H
Tiempo [hr]	137,81	142,11	142,34	150,03	156,39
Cant. Brocas	3	3	4	5	3
Tipo IADC	M323	M423	M223	M323	M223
	517	447W	437X	S323	437
	M323	M423	M223	X122Y	M223
	-	-	M223	M123	-
	-	-	-	M323	-
No. Broca	58	63	51	9	34
	59	64	52	10	35
	60	65	53	11	36
	-	-	54	12	-
	-	-	-	13	-

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Respecto del espesor de la Sección 12 ¼” que se está perforando, éste varía entre 3744[ft] para el pozo 383H y 4736 [ft] para el 363D, con un espesor promedio de 4097 [ft]. El patrón usado para ingresar brocas Tricónicas es colocarlas justo en medio de 2 brocas tipo PDC.

3.1.7.2. Formación Tiyuyacu.

Respecto de la Formación Tiyuyacu, bajo la clasificación inicial según la cantidad de brocas usadas por pozo, y cuyo detalle se aprecia en el Anexo 7, sus resultados se muestran sintetizados en el gráfico 3.44 comparando los datos más representativos, considerados como tiempos mínimos, máximos y promedios, versus su tipo de eficiencia.

En un inicio, como sucede con la Sección 12 ¼”, no se esperaba ver tendencias con el análisis según la cantidad de brocas que se habían empleado en un pozo, pero netamente para la Formación Tiyuyacu en el gráfico 3.44 se aprecian diferencias en el comportamiento de las mismas.

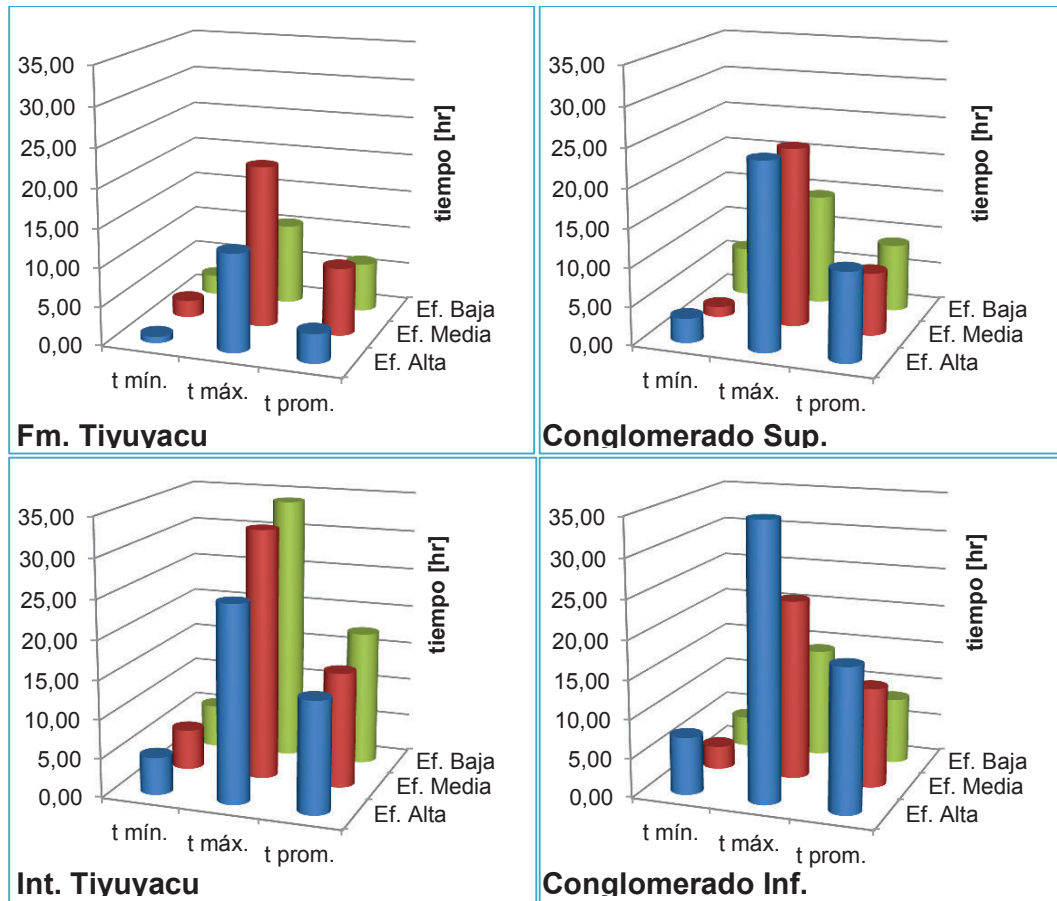
De esta manera, para la parte superior de la formación que es el intervalo que menos tiempo demanda para ser perforado, se tiene que tanto las brocas que más demoran y menos lo hacen, atraviesan solas un promedio de 196,21 [ft].

La broca que menos demora en atravesar con 0,82 [hr] es la No. 30 (PDC, M223) de Alta Eficiencia. La broca No. 42 (PDC, M223), considerada de Eficiencia Media es la que más demora con 20,95 [hr]. El promedio, de Alta, Media y Baja Eficiencia es de 3,77 [hr], 8,80 [hr] y 6,34 [hr] respectivamente.

El Conglomerado Superior con un espesor promedio de 407,26 [ft], fue perforado en 1,35 [hr] como menor tiempo con la broca No. 42 (M223) perteneciente al grupo de Eficiencia Media. La broca 62 (M423) con 24,10 [hr], clasificada como de Alta Eficiencia fue la que más tiempo toma en atravesarla. Nuevamente, ninguna tuvo superioridad ni marca la diferencia, lo que sí llama la atención es que las brocas de Eficiencia Media en promedio tienen el menor tiempo neto de perforación con 8,16 [hr], les siguen las de Eficiencia Baja con 8,87 [hr] y luego las

de Alta Eficiencia con 11,52 [hr]. Se recalca que estas brocas en sus respectivos pozos son las únicas que actúan en todo el Conglomerado Superior.

Gráfico 3.44 TIEMPO NETO PERFORADO SEGÚN LA EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS, FM. TIYUYACU.



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Para la intercalación de Tiyuyacu, que es el intervalo de mayor espesor promedio con 616,30 [ft] en Tiyuyacu, el tiempo que más demora una sola broca al atravesarla es de 34,02 [hr] con la No. 2 (M223) de Baja Eficiencia. El tiempo mínimo de perforación es de 4,80 [hr] con la broca No. 57 (M323) del grupo de Alta Eficiencia, que atraviesa sola esta intercalación. Los tiempos promedios para eficiencias Alta y Media son similares, con 14,30 y 14,83 [hr] respectivamente.

Mientras que para las brocas de Muy Baja Eficiencia el promedio en esta parte es de 17,38 [hr].

Para el Conglomerado Inferior con un espesor promedio de 366,68 [ft], y conocido por su complicación al perforar, el tiempo neto máximo de una broca para atravesarlo en su totalidad es de 35,53 [hr] por parte de la broca No. 29 (M423) de Alta Eficiencia, mientras que el máximo tiempo para las brocas de Media y Baja Eficiencia, llega hasta 23,12 y 14,13 [hr] respectivamente. Referente al tiempo mínimo perforado de 2,99 [hr] la broca No. 34 (M223) del grupo de Eficiencia Media, no lo hizo sola, perforó sólo parte de este intervalo; por lo que se toma en cuenta a la broca No. 30 (M223) del grupo de Alta Eficiencia, con 7,40 [hr], ya que perfora sola todo el Conglomerado Inferior.

3.1.7.3. Resultados.

En lo que respecta a la Sección 12 $\frac{1}{4}$ ", los pozos correspondientes a Alta Eficiencia por tiempos netos de perforación siempre emplean entre 1 y 2 brocas máximo, a diferencia de aquellos de Muy Baja Eficiencia, donde se encuentran desde 3 hasta 5 brocas por pozo.

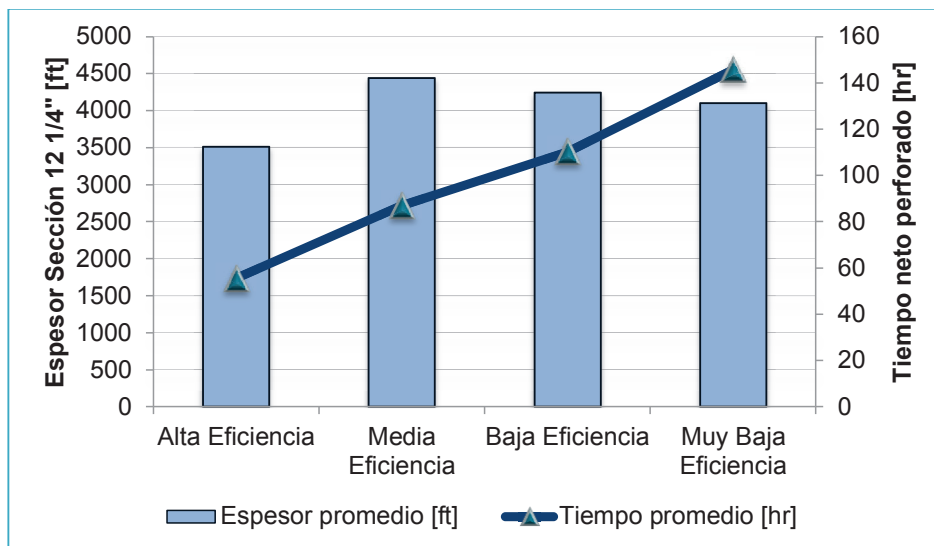
Se debe considerar que estos resultados se obtienen sólo en base a los tiempos netos, sin tomar en cuenta los tiempos de viaje que en pozos con mayores cambios de brocas se incrementan, por ello, optar por usar un máximo de dos brocas PDC se considera lo propio. Esto al estar el tiempo de perforación relacionado directamente con los costos.

Así mismo, respecto de los promedios de los tiempos de perforación netos, el promedio de Baja Eficiencia dobla al de Alta Eficiencia, esto debido a los rangos definidos.

Se debe resaltar que los únicos tres pozos horizontales de este análisis están categorizados dentro de Muy Baja Eficiencia según el tiempo neto. Todos ellos muestran el siguiente orden de brocas: PDC, Tricónica y PDC.

En lo que respecta a intervalos perforados, los pozos de mayor eficiencia coinciden con los menores espesores en promedio, lo que contribuye directamente a su alto desempeño respecto del tiempo neto. Los pozos de Eficiencia Media, es decir, con los segundos tiempos más pequeños, perforan los espesores promedio más grandes de la Sección 12 ¼". Lo antes descrito se aprecia en el gráfico 3.45.

Gráfico 3.45 ESPESOR PROMEDIO DE LOS POZOS SEGÚN EFICIENCIA POR TIEMPO NETO PERFORADO PROMEDIO.



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En lo que respecta a la Formación Tiyuyacu, donde el análisis se realiza por broca se tiene que el tiempo neto máximo de perforación se da en la Intercalación Tiyuyacu, mientras que el mínimo corresponde a la parte superior de la formación. Este intervalo superior en cuanto a tiempo es bien manejado por parte de las brocas de Alta Eficiencia según cantidad, demandando cortos periodos de tiempo neto promedio. Individualmente en este se habla de la broca No. 30, que coincide con la clasificación de los pozos por tiempo neto para la Sección 12 ¼" también en Alta Eficiencia.

De hecho las brocas de Alta Eficiencia (cantidad de brocas) corresponden a tiempos mayores para los conglomerados, en especial para el Conglomerado Inferior, donde incluso su tiempo mínimo resulta ser el más alto frente a las otras dos clasificaciones (Media y Baja Eficiencia). Esto se explica porque se usa casi siempre parámetros controlados en este conglomerado, esto con la finalidad de cuidar la broca para poder culminar la Sección 12 ¼” con la misma. En la intercalación y la parte superior de Tiyuyacu éstas brocas presentan los mejores tiempos netos.

Los resultados considerados más importantes se establecen en la tabla 3.57, donde se refleja la eficiencia de la broca según la cantidad de brocas por pozo, como la eficiencia según el tiempo neto en la Sección 12 ¼” por broca.

Tabla 3.57 BROCAS MÁS IMPORTANTES SEGÚN EL TIEMPO NETO PERFORADO PARA LA FM. TIYUYACU.

Parte de Tiyuyacu	Menor tiempo neto				Mayor tiempo neto			
	Broca [No.]	Eficiencia		Tipo IADC	Broca [No.]	Eficiencia		Tipo IADC
		Según Cant. Brocas	Según Tiempo Neto			Según Cant. Brocas	Según Tiempo Neto	
Formación Tiyuyacu	30	Alta	Alta	M223	42	Media	Media	M223
Conglomerado Superior	42	Media	Media	M223	62	Alta	Media	M423
Intercalación Tiyuyacu	57	Alta	Alta	M323	2	Baja	Media	M223
Conglomerado Inferior	20	Alta	Alta	M323	29	Alta	Media	M423

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Como resultados más importantes se ha tomado a la broca que emplea menos y más tiempo en perforar cada parte que conforma Tiyuyacu, contrastando con la Eficiencia según el tiempo neto conseguida por el pozo en que actúan. Como primera observación, tanto las brocas que usaron menor como mayor tiempo para cada intervalo, son del tipo PDC.

Todas las brocas que usan mayor tiempo neto para la perforación de las partes de Tiyuyacu son parte de pozos considerados de Eficiencia Media. Ya para las brocas que superan en mejores tiempos dichas partes de la formación, la

Eficiencia según cantidad de brocas corresponde con la conseguida por sus pozos para este mismo tiempo. Esto es tres brocas de Alta Eficiencia y uno de Eficiencia Media bajo ambas perspectivas.

Como se observa la broca No. 62 (M423) y la No. 29 (M423) hicieron solas la sección de sus pozos respectivamente, clasificados según tiempo neto como de Eficiencia Media, pero que en el Conglomerado Superior e Inferior respectivamente es donde peor se desempeñan al lograr el mayor tiempo.

También se ve que el trabajo individual afecta al resultado total por pozo. La correspondencia en el desempeño en Tiyuyacu y el total en la sección también se hace evidente.

3.1.8. ANÁLISIS DE LAS TASAS DE PENETRACIÓN EFECTIVAS (ROP).

3.1.8.1. Sección 12 ¼”.

Partiendo de que se tiene distintos valores de tasas de penetración para las diferentes brocas, se las clasifica de manera similar a lo que se ha venido haciendo, es decir en cuatro grupos, como se muestra en la tabla 3.58 para la Sección 12 ¼”.

Tabla 3.58 CANTIDAD DE BROCAS AGRUPADAS SEGÚN LA ROP EFECTIVA PARA LA SECCIÓN 12 ¼”.

	Clasificación de ROP Efectiva para la Sección 12 ¼" (ROP)			
	Alta	Media	Baja	Muy Baja
Subtotal de brocas	6	13	22	26
Total de brocas	67			

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Esta clasificación se la realiza tomando en cuenta el valor mínimo y máximo de ROP del total de las brocas, de donde se obtuvo el rango disponible a dividir, habiéndolo hecho como ya se mencionó, en cuatro grupos, denominados como tasas de penetración efectivas: Altas, Medias, Bajas, Muy Bajas.

Para proceder con el análisis, se detalla las brocas que corresponden a la clasificación antes mostrada junto a su valor respectivo de tasa de penetración efectiva, con datos considerados informativos de nombre del pozo, número y tipo de broca, y su clasificación IADC, esto en las tablas 3.59, 3.60, 3.61 y 3.62.

Alta ROP

En la tabla 3.59 constan las 6 brocas que obtienen ROP entre 74,46 y 95,20 [ft/hr], para la Sección 12 ¼", todas PDC y además todas ingresan como primera broca en sus respectivos pozos. Se tiene que la broca que logra el máximo valor de ROP es la No. 22 (M323), que atraviesa 3096[ft], es decir completa hasta el Conglomerado Superior de Tiyuyacu.

Tabla 3.59 BROCAS CON ALTA ROP PARA LA SECCIÓN 12 ¼".

Brocas con Alta ROP						
POZO	282D	380V	281D	384D	303D	355D
No. Broca	22	61	21	66	30	45
ROP [ft/hr]	95,20	93,56	92,47	89,56	85,76	78,40
IADC	M323	M423	M123	M423	M223	M223

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Así mismo, de este grupo el menor ROP alcanzado lo consigue la broca No. 45 (M223) con 78,40 [ft/hr], luego de 4940 [ft] perforados hasta aproximadamente la mitad de la Intercalación de Tiyuyacu. El promedio es de 89,16 [ft/hr] ROP para este grupo.

Mediana ROP.

En la tabla 3.60 se toma a las brocas que alcanzaron valores entre 53,72 y 74,45 [ft/hr] como rango para ser consideradas brocas de tasas de perforación efectivas medianas.

Nuevamente, como en el caso anterior, todas las 13 brocas que consiguen Medianas ROP son del tipo PDC. En este grupo se logra alcanzar una ROP máximo de 67,96 [ft/hr] por parte de la broca No. 33 (S123) que atraviesa 768 [ft] de la Formación Tena. Mientras que la ROP mínima de 54,16 [ft/hr] corresponde a la broca No. 25 (M123), que también perfora únicamente de Tena un total de 925 [ft]. El promedio en este grupo es de 60,77 [ft/hr].

En este grupo llama la atención que ambas brocas, tanto la de máximo como mínimo ROP conseguido, hayan actuado únicamente en la parte inferior de la Sección 12 ¼" en la Formación Tena. Cabe aclarar que es una mera coincidencia, ya que otras brocas alcanzan valores de ROP que encajan en esta clasificación, mas difieren en las formaciones atravesadas, por tal el comportamiento de las brocas de este grupo no está determinado por las brocas de máximo y mínimo ROP.

Es el caso de la segunda broca de este grupo con mayor ROP alcanzado, es decir la No. 1 (M223) con 66,56 [ft/hr] que logra perforar 4206 [ft] desde el Terciario Indiferenciado hasta unos pocos pies de Tena, es decir la Sección 12 ¼" completa del pozo 208D, siendo este el mismo caso que la broca No. 62 (M423).

El comportamiento más habitual en la mayoría de brocas de este grupo, (No. 2, 14, 16, 20, 40, 42, 47, 55 y 63) es que han ingresado como primeras pero no únicas brocas de la sección en sus respectivos pozos.

Tabla 3.60 BROCAS CON MEDIANA ROP PARA LA SECCIÓN 12 ¼”.

Brocas con Mediana Tasa de Penetración Efectiva (ROP)				
POZO	ROP [ft/hr]	No. Broca	POZO	
M223	66,56	1	208D	
M223	64,27	2	239D	
M323	59,95	14	267D	
M323	57,51	16	280D	
M323	57,28	20	281D	
M123	54,16	25	282D	
S123	67,96	33	314D	
M123	61,30	40	341D	
M223	58,99	42	352D	
M323	64,94	47	360V	
M323	60,31	55	365D	
M423	59,48	62	382D	
M423	57,36	63	383H	

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Baja ROP.

Este grupo con Baja ROP (tabla 3.61) lo conforman 22 brocas cuyos valores de ROP se encuentran entre 32,98 y 53,61 [ft/hr], donde sólo la broca No. 3 es del tipo Tricónica, todas las demás corresponden a brocas del tipo PDC.

Tabla 3.61 BROCAS CON BAJA ROP PARA LA SECCIÓN 12 ¼”.

Brocas con Baja Tasa de Penetración Efectiva (ROP)				
IADC	ROP [ft/hr]	No. Broca	POZO	
437X	33,20	3	239D	
M223	43,13	5	261D	
M323	42,75	7	263D	
M223	38,01	8		
M323	40,17	9	265D	
S323	33,57	10		
M323	43,19	17	280D	
M123	44,32	19		
M323	35,14	23	282D	
M323	47,21	26	283D	
M323	47,46	27		
M223	41,99	32	314D	
M223	50,46	34	317H	
M123	48,93	44	352D	
M323	45,72	46	355D	
347	4 1,11	49	360V	
M223	49,77	50	362D	
M223	48,24	51	363D	
M323	50,53	57	366D	
M323	43,57	58	373H	
M323	39,03	60		
M423	39,09	66R	384D	

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Como se observa para los pozos 265D, 280D, 283D y 373H, dos de sus brocas encajan en esta clasificación. Para el pozo 263D sus únicas dos brocas de esta sección pertenecen aquí.

Al fijarse más detenidamente en los datos, se encuentra que la broca que en el grupo de Baja ROP obtiene la más alta es la No. 57 (M323) con 50,53 [ft/hr], que atraviesa 2320 [ft] y con ello toda la Sección 12 ¼" de su pozo. De la misma manera, el mínimo ROP obtenido en esta categoría es de 33,20 [ft/hr] con la única broca Tricónica de este grupo, la No. 3 (437X), que ingresa a mitad del Conglomerado Inferior Tiyuyacu y sin culminarlo, únicamente 249 [ft]. El promedio es de 43,03 [ft/hr], aproximadamente 18 [ft/hr] menos que el promedio del grupo de Mediana ROP.

Muy Baja ROP.

Tabla 3.62 BROCAS CON MUY BAJA ROP PARA LA SECCIÓN 12 ¼".

Brocas con Muy Baja Tasa de Penetración Efectiva (ROP)				
IADC	ROP [ft/hr]	No. Broca	POZO	
437X	15,59	4	239D	
M223	31,75	6	261D	
X122Y	27,60	11	265D	
M123	12,24	12		
M323	20,39	13		
517	21,75	15	267D	
517	20,19	18	280D	
517	26,05	24	282D	
517	18,54	28	283D	
M423	30,89	29	302D	
447W	22,64	31	303D	
437	20,40	35	317H	
M223	19,17	36		
M323	29,69	37	340D	
M323	23,29	38		
M323	21,56	39		
437X	25,28	41	341D	
517	27,43	43	352D	
437X	23,07	52	363D	
M223	28,10	53		
M223	21,29	54		
517	15,54	56	365D	
517	23,38	59	373H	
M323	20,07	60R		
447W	18,23	64	383H	
M423	21,05	65		

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En la tabla 3.62 se puede apreciar 26 brocas de Muy Baja ROP, esto es entre 12 y 33 [ft/hr]. Aquí el mínimo ROP obtenido es de 12,24 [ft/hr] con la broca No. 12 (M123) que atraviesa 234 [ft], entre parte del Conglomerado Inferior y Tena, en el pozo 265D. Mientras que el ROP máximo de 31,75 [ft/hr] valor que pertenece a la broca No. 6 (M223) que atraviesa 1636 [ft] entre el Conglomerado Inferior

Tiyuyacu y Tena del pozo 261D. El promedio es de 22,57 [ft/hr], aproximadamente 21 [ft/hr] menos comparado con el promedio del grupo anterior de ROP.

En cantidad este grupo tiene 50% - 50% para Tricónicas y PDC, sin ser determinante al momento de indicar qué tipo de broca es la que en su mayoría ha obtenido estas tasas de penetración tan bajas.

Lo aquí expuesto para cada grupo de eficiencia de la Sección 12 ¼” se encuentra resumido en la siguiente tabla:

Tabla 3.63 RESUMEN POR GRUPO ROP, SECCIÓN 12 ¼”.

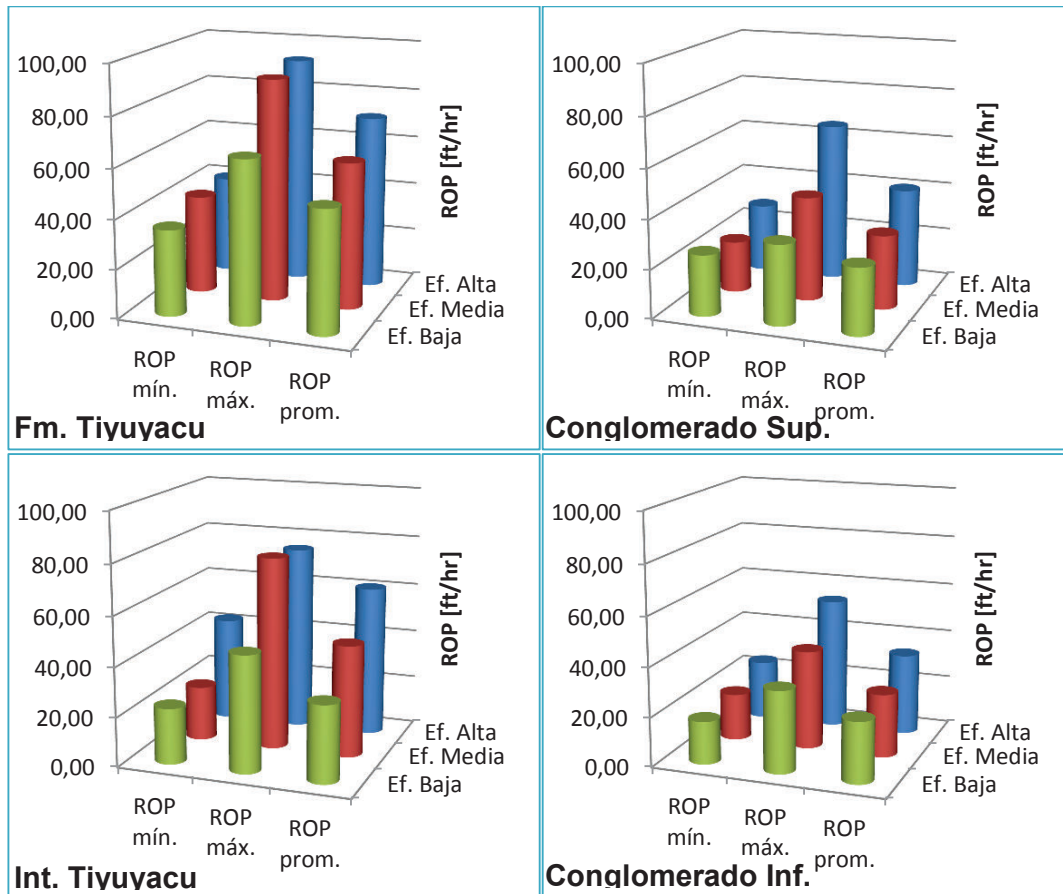
Grupo	Total de Brocas	ROP Mínimo	Broca No.	ROP Máximo	Broca No.	ROP Promedio
Alta	6	78,40	45	95,20	22	89,16
Mediana	13	54,16	25	67,96	33	60,77
Baja	22	33,20	3	50,53	57	43,49
Muy Baja	26	12,24	12	31,75	6	22,57

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.1.8.2. Formación Tiyuyacu.

Ahora, en la Formación Tiyuyacu, se analiza el comportamiento específico que tiene la ROP para cada uno de los intervalos que la conforman, esto en base a los datos de la tabla del Anexo 8 que se presentan en el gráfico 3.46, donde se aprecia los diferentes valores de ROP para las partes que constituyen Tiyuyacu, considerando para cada eficiencia (según la cantidad de brocas que intervienen en un pozo) los valores más importantes arrojados por grupo, siendo éstos el valor mínimo, máximo y promedio.

Gráfico 3.46 ROP NETO PARA LA FM. TIYUYACU SEGÚN LA EFICIENCIA.

Fuente: Archivos de la ARCH.
 Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

- Para la parte superior de la Formación Tiyuyacu, justo antes del tope de su Conglomerado Superior (100% de arcilla), se obtiene la ROP máxima de toda la formación, con 92,39 [ft/hr], por parte de la broca No. 1 (M223), que corresponde al grupo de brocas de Alta Eficiencia según cantidad de brocas. La ROP mínima conseguido de este intervalo es de 35,00 [ft/hr] por parte de la broca No. 47 (M323) de Baja Eficiencia, perteneciente al pozo 360V. Los promedios de Alta a Baja Eficiencia conseguidos son de 70,59 [ft/hr], 59,37 [ft/hr] y 49,65 [ft/hr] respectivamente. Aquí las brocas de Alta Eficiencia logran obtener los valores mayores de ROP, incluso su promedio es superior. En esta zona intervino una sola broca, para todos los casos.

- Para el Conglomerado Superior, con una ROP de 21 [ft/hr] la broca que menos pies por hora logra es la No. 7 (M323) del pozo 263D, perteneciente al grupo de Eficiencia Media, mientras que el límite superior es alcanzado por la broca No. 30 (M223) clasificada como de Alta Eficiencia con 65 [ft/hr].

Las brocas consideradas de Alta Eficiencia según cantidad obtienen en promedio las ROP más altas. En esta sección el comportamiento para todas las eficiencias es similar al anterior, donde generalmente actúa una broca del tipo PDC para todo el Conglomerado Superior, siendo para el caso específico del pozo 280D donde se necesita dos brocas para perforar este conglomerado, la No. 16 (M323) y No. 17 (517); en todos los otros pozos siempre basta una broca.

- En la Intercalación de Tiyuyacu, la ROP más baja y más alta corresponden al grupo de Eficiencia Media según la cantidad de brocas por pozo. La broca No. 7 (M323) obtiene el valor más bajo de 22 [ft/hr], y el más alto de 77,58 [ft/hr] con la broca No. 46 (M323). Los tiempos promedios para Alta, Media y Baja Eficiencia son 60,98, 45,29 y 31,10 [ft/hr].

El avance aquí se desarrolla más rápido por una broca de Eficiencia Media, pero en promedio nuevamente las brocas de Alta Eficiencia se desempeñan mejor. El uso de brocas, en su mayoría es individual excepto para los pozos: 263D, brocas No. 7 y 8, pozo 340D brocas No. 37 y 38, pozo 355D brocas No. 45 y 46, de Eficiencia Media; de Baja Eficiencia son las No. 9 y 10 del pozo 265D, y No. 26 y 27 del pozo 283D, todas ellas de tipo PDC.

- En el Conglomerado Inferior, se presenta la menor ROP de toda la formación, con 17,38 [ft/hr] con la broca No. 4 (437X) del grupo de Baja Eficiencia del pozo 239D. Se anota que en el mismo pozo la broca No. 2 (M223) presenta un valor de 17,78 [ft/hr], apenas mayor al primero. La ROP más alta conseguida en este conglomerado es de 53,20 [ft/hr] de la broca No. 30 (M223) de Alta Eficiencia del pozo 303D, con gran diferencia de los máximos que alcanzan los otros grupos que llegan a 40 y 33,20 [ft/hr] respectivamente para Media y Baja Eficiencia.

Nuevamente, el mejor desempeño es por parte de las brocas de Alta Eficiencia sobre esta sección. En la cantidad de brocas que actúan en este intervalo, lo más común es que para Eficiencia Media y Baja se trabaje con dos brocas, la primera una PDC y la segunda del tipo Tricónica, a excepción de ciertas brocas PDC consideradas de Eficiencia Media que atraviesan solas este intervalo (No. 6, 8, 38 y 46); para las de Baja Eficiencia la excepción se da al usar tres brocas para este intervalo, la No. 2, 3 y 4, del pozo 239D, donde las ROP obtenidas son 17,78 [ft/hr], 33,20 y 17,38 [ft/hr] según corresponde.

En lo antes mencionado se da un comportamiento bastante peculiar por parte de la broca No. 7 (M323), que manifiesta los menores valores de ROP para el Conglomerado Superior, y la Intercalación de Tiyuyacu.

Para describir comportamientos en base a los gráficos presentados, se tiene sin duda que las brocas consideradas de Alta Eficiencia obtienen los mejores valores de ROP, con marcadas diferencias en su desempeño frente a las otras brocas, sobre todo en los Conglomerados, ya que en la Formación Tiyuyacu propiamente dicha, donde se cuenta con arcilla al 100% el contraste no es tan grande respecto de las brocas de Mediana Eficiencia.

Como nota final, la broca No. 4 es la que obtiene los valores más bajos de ROP, y la No. 1 los más altos dentro de toda la Formación Tiyuyacu.

3.1.8.3. Resultados de Análisis por Tasa de Penetración.

Para facilitar la visualización de resultados para la Formación Tiyuyacu, se presenta en la tabla 3.64 una síntesis de lo antes dicho, comparando las eficiencias según la cantidad de brocas, versus los grupos según la ROP alcanzada por las brocas.

Para este caso en particular, los grupos de ROP se corresponden con las eficiencias, por ejemplo: para el grupo de Alta ROP la eficiencia es análoga, llamándose Alta Eficiencia.

Tabla 3.64 BROCAS MÁS IMPORTANTES SEGÚN LA TASA DE PENETRACIÓN EFECTIVA, FM. TIYUYACU.

Parte de Tiyuyacu	Menor ROP					Mayor ROP				
	Broca [No.]	Eficiencia		Tipo	IADC	Broca [No.]	Eficiencia		Tipo	IADC
		Según Cant. Brocas	Según ROP				Según Cant. Brocas	Según ROP		
Formación Tiyuyacu	47	Baja	Media	PDC	M323	1	Alta	Media	PDC	M223
Conglomerado Superior	7	Media	Baja	PDC	M323	30	Alta	Alta	PDC	M223
Intercalación Tiyuyacu	7	Media	Baja	PDC	M323	46	Media	Baja	PDC	M323
Conglomerado Inferior	4	Baja	Muy Baja	TRIC	437X	30	Alta	Alta	PDC	M223

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Como resultados más importantes se ha tomado a las brocas que arrojan mejores y peores valores de ROP para Tiyuyacu y sus Conglomerados por separado.

Existe coherencia en los resultados, ya que se observa que en la sección llamada “Menor ROP” constan brocas clasificadas según ambas eficiencias como Medias, Bajas y Muy Bajas. En esta columna la broca No. 7 destaca por ser para el Conglomerado Superior y la Intercalación Tiyuyacu en la que la ROP es menor frente a todas las otras brocas.

Entre las brocas de “Mayor ROP” destaca la No. 30 en los conglomerados, donde más interesa, siendo considerada como de Alta Eficiencia según las clasificaciones que constan en la tabla 3.64. La No. 46 es concebida como de Baja Eficiencia según el criterio de la ROP, por tal, aunque se obtienen buenos resultados es sólo en la Intercalación de Tiyuyacu, lo que bajo parámetros adecuados otras brocas pueden lograr, además esta broca es de IADC M323, que es la misma clasificación IADC que consigue tres de los cuatro casilleros de brocas que obtuvieron las menores ROP para Tiyuyacu.

En lo que respecta a brocas Tricónicas, frente a las PDC, las tasas de penetración obtenidas con Tricónicas en la Formación Tena resultan ineficientes frente a las obtenidas por las PDC, siendo esto una ventaja adicional para las brocas de compacto de diamante policristalino.

3.1.9. ANÁLISIS DE LA ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (E_s).

Los cálculos previos realizados para cada formación de la energía mecánica específica se han tabulado en el numeral 2.2.8., donde los recuadros de amarillo son los menores valores de E_s para cada formación, y los de turquesa son los segundos valores menores de E_s . Estos importantes valores con datos específicos tanto de la primera como segunda mejor broca según el criterio de la energía mecánica específica se resumen en la tabla 3.65.

En lo que respecta a la Formación Tiyuyacu, se prefiere continuar separando los conglomerados para su análisis.

Tabla 3.65 MEJORES BROCAS SEGÚN LA ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA, SECCIÓN 12 ¼”.

MEJOR BROCA SEGÚN ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (E_s)							
FORMACIÓN	T. I.	Fm. Ortigúaza	Fm. Tiyuyacu	Congl. Superior	Int. Fm. Tiyuyacu	Congl. Inferior	Fm. Tena
No. Broca	45	30	7	7	34	20	60
PDC/Tricónica	PDC	PDC	PDC	PDC	PDC	PDC	PDC
IADC	M223	M223	M323	M323	M223	M323	M323
E_s	7,76	11,88	8,54	4,90	8,03	7,46	23,31
Tipo	HCD605X	FX56	HCD605X	HCD605X	MSI519LM HSBPXX	HCD605X	DP605X
SEGUNDA MEJOR BROCA SEGÚN ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (E_s)							
No. Broca	26	14	34	61	46	6	46
PDC/Tricónica	PDC	PDC	PDC	PDC	PDC	PDC	PDC
IADC	M323	M323	M223	M423	M323	M223	M323
E_s	8,98	12,12	10,83	12,21	22,57	18,93	30,27
Tipo	HCD605X	HCD605X	MSI519LM HSBPXX	FXE56D	HCD605X	HCD605X	HCD605X

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Como se observa en la tabla, todas las brocas que se presentan según el criterio de la energía mecánica específica son del tipo PDC, con clasificación IADC M323, M223 y M423.

Teniendo en cuenta la primera y segunda mejor broca por formación, se observa continuidad con las brocas de IADC M323 (color púrpura), lo que se traduce en el posible uso de una sola broca para la Sección 12 ¼" con estas características. Lo mismo podría aplicarse para las brocas tipo HCD605X, presentadas de color rosa en la tabla 3.65.

Si nos regimos estrictamente a que las brocas seleccionadas deberán ser aquellas que tengan la menor E_s en la formación, aplicaría la parte superior de la tabla, donde se harían cuatro cambios de brocas según su clasificación IADC para las formaciones, en el siguiente orden: M223, M323, M223 y M323. Detallando dicha selección se tiene que:

Para el Terciario Indiferenciado, abreviado en la tabla como T.I., y para la Formación Ortegüaza una broca con IADC M223 sería la ideal, en este punto se realizaría el primer cambio de broca por una de IADC M323 ya que para la Formación Tiyuyacu y el Conglomerado Superior la broca más idónea sería ésta. Para la Intercalación de la Formación Tiyuyacu se ingresaría nuevamente una broca con IADC M223 sólo para este tramo, ya que para el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu y la Formación Tena la broca de IADC M323 supera nuevamente a las demás.

El criterio de energía mecánica específica junto al costo de perforación por pie son la base para decidir el tipo de broca a ser utilizada en el presente estudio.

3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO.

Un correcto enfoque técnico tiene como uno de sus principales objetivos, el reducir los costos en cuanto al uso de materiales y tiempo, lo cual se facilita mediante el análisis económico.

El presente análisis aborda tanto costo por pie calculado por broca, como por sección; permitiendo así determinar el mejor costo-beneficio en las operaciones de perforación de la Sección 12 ¼" y por tanto para la Formación Tiyuyacu.

Empleando la Amplitud de clase, en base de la tabla 2.16, se obtienen cuatro categorías, llamadas “Muy Favorable”, “Favorable”, “Poco Favorable” y “Desfavorable”, de esta manera se determina las brocas y pozos que por su costo por pie resultan ser los más óptimos.

3.2.1. ANÁLISIS POR BROCA.

En el gráfico 3.47 se aprecian estas cuatro categorías para el análisis económico individual de las brocas que prosiguen. Se presentan también las brocas por grupo contadas según su clasificación IADC. El mínimo costo por pie que se identifica es de \$26,57 y el máximo es de \$226,80. En el gráfico se observa un dato disperso de \$428,38 y por ello no es considerado como el máximo de todas las brocas.

Costo por pie Muy Favorable.

Dentro de esta categoría constan 23 brocas todas del tipo PDC, cuyo costo por pie perforado fluctúa desde \$26,57 (broca No. 5) hasta \$76,62 (broca No. 60). Esto quiere decir que en base al costo individual de la broca, tiempo y espesor perforado la broca es aprovechada adecuadamente.

Respecto de la clasificación IADC se tienen 5 de las 7 brocas M423 en este grupo. También se presentan como importantes 9 brocas de IADC M323, y 8 M223. Adicionalmente, todas las brocas de Alta y Media eficiencias según espesor perforado, son parte de este grupo, afianzando la relación inversa entre costo y espesor perforado dada por la ecuación 2.4.

Costo por pie Favorable.

De las 24 brocas que forman parte de este grupo, sólo 4 son Tricónicas, y las otras 20 PDC. Aquí se consideran brocas cuyo costo por pie perforado es de

entre \$76,63 y \$126,68. Destacan en cantidad 6 brocas de IADC M223 y M323, y cabe mencionar que en esta categoría se encuentran 2 de las 7 brocas M423.

Costo por pie Poco Favorable.

En este grupo están 13 brocas, de ellas 7 del tipo Tricónica, que alcanzan un costo por pie perforado entre \$126,69 y \$176,64. Esto relacionado al poco espesor que perforan, ya que su ingreso se da preferencialmente para el Conglomerado Inferior. Pese a que el costo de las brocas Tricónicas individualmente es el más ventajoso, su actuación ante un corto espesor influye elevando su costo por pie, ubicándolas en una situación poco favorable frente a las demás.

Costo por pie Desfavorable.

Es un grupo conformado por 7 brocas con valores ubicados entre \$176,75 y \$226,80, donde se incluye el dato disperso de \$428,38. Este último es tan elevado debido a que la broca número 12 ingresa a perforar tan sólo 234 [ft], y al ser una broca tipo PDC de IADC M123 su costo por pie se ve afectado sin justificar económicamente su ingreso. En total, a este grupo pertenecen 3 brocas tipo PDC y 4 Tricónicas.

3.2.2. ANÁLISIS POR POZO.

Los costos para la Sección 12 ¼" de los pozos de estudio, se calculan como en el ejemplo del apartado 2.2.9 del Capítulo 2. En base a este cálculo y a la tabla 2.16 se presentan estos resultados en el gráfico 3.48.

Nótese que los únicos tres pozos horizontales de este estudio pertenecen a las categorías Poco Favorable y Desfavorable.

Costo por pie Muy Favorable.

Aquí constan 12 pozos cuyo costo por pie de la Sección 12 ¼" está entre \$35,59 y \$59,46. La cantidad de brocas que perforan varían entre 1, 2 y hasta 3 brocas siendo 4, 5 y 3 pozos respectivamente. De la misma manera las combinaciones de tipo de brocas varían entre sí, los pozos que emplean una broca por sección lo hacen siempre con una PDC. Para el caso de los 5 pozos donde se usan 2 brocas, en su mayoría utilizan una broca PDC y una Tricónica, y en el caso del pozo 384D es 1 broca PDC con su reingreso.

Para los 3 pozos donde se perfora la sección con 3 brocas, las combinaciones de brocas varían desde tres brocas PDC (pozo 355D), dos brocas PDC y una Tricónica (pozo 352D), hasta una broca PDC y dos Tricónicas (pozo 239D).

La mayoría de pozos que forman parte de este grupo contienen 9 de las 10 brocas que forman parte del grupo de Alta Eficiencia según el espesor perforado.

Costo por pie Favorable.

En este grupo constan 7 pozos, con costo por pie entre \$59,47 y \$83,34 para la sección. La cantidad de brocas usadas en cada pozo varía entre una y cuatro. En el pozo 360V hubo problemas al sacar el primer BHA de la Sección 12 ¼", y el uso de los siguientes BHA es para realizar viajes de acondicionamiento del hueco, ingresando el último BHA para culminar con la perforación; se recalca que el costo por pie es de las brocas que cumplieron labores de perforación.

Respecto del uso de las brocas por pozo, no se percibe un patrón marcado. Se tiene 2 pozos, el 366D y 302D que emplean 1 sola broca PDC (una M323 y M423 respectivamente) para perforar la sección; 3 pozos que usan 2 brocas PDC¹⁴, 1 pozo con 3 brocas (2 PDC y 1 Tricónica), y 1 pozo con 4 brocas entre 3 PDC y 1 Tricónica.

¹⁴ Contando al pozo 360V que de sus 3 brocas, 2 intervienen en labores de perforación y 1 junto a su reingreso para viaje de acondicionamiento del pozo.

Costo por pie Poco Favorable.

Constan 5 pozos cuya Sección 12 ¼" tiene un costo por pie entre \$83,34 y \$107,22. Los costos más altos por pie para este grupo están dados por pozos con 2 brocas PDC, y el menos alto es para un pozo con 4 brocas (3 PDC y 1 Tricónica).

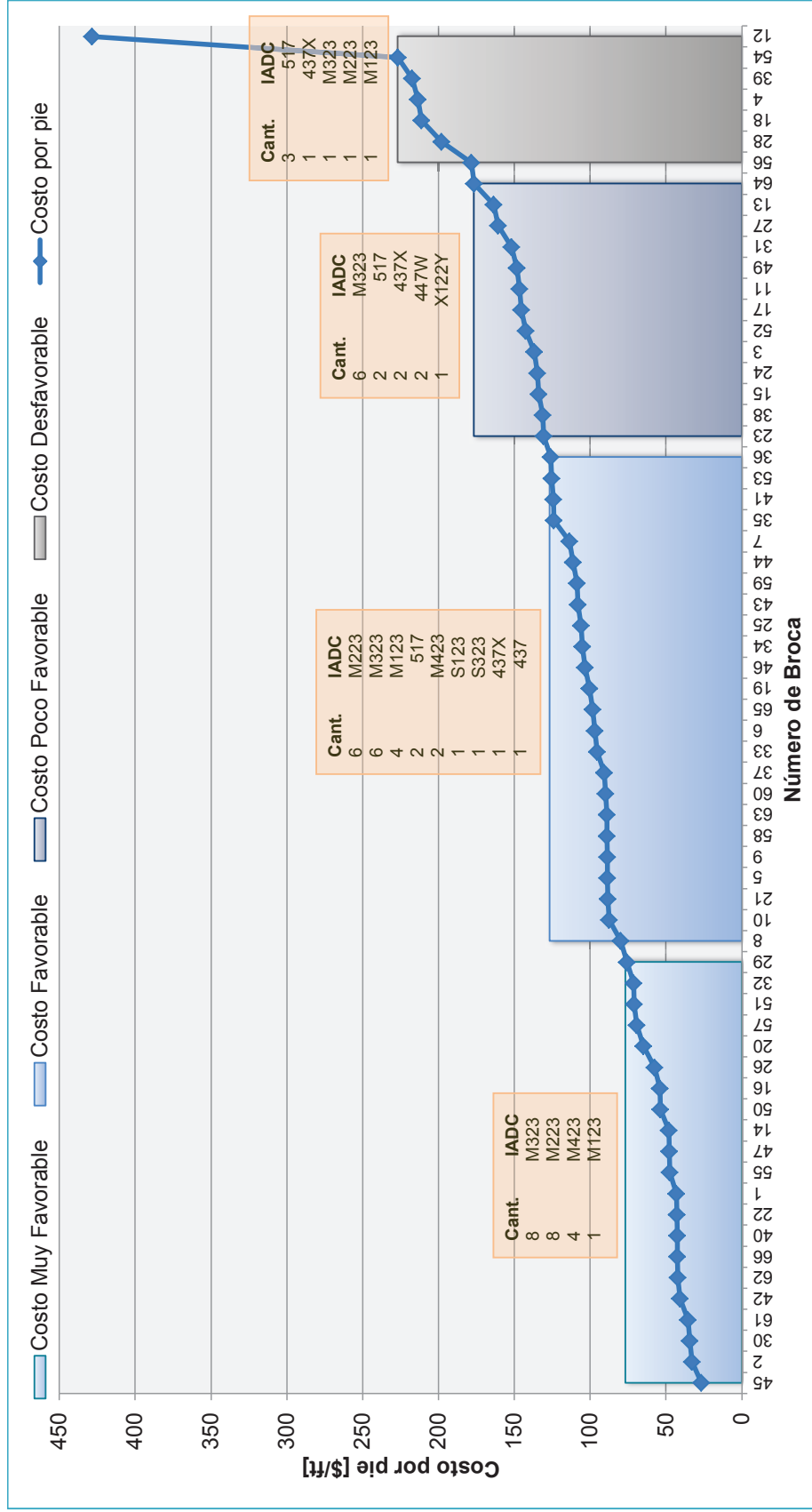
Las brocas de IADC M423 son de este grupo y asimismo las de mayor costo por pie, junto a una Tricónica 447W, para el pozo 383H.

Costo por pie Desfavorable.

Pertenecen a este grupo 4 pozos de costo por pie entre \$107,23 y \$131,09. El pozo con menor costo por pie es el 363D con 4 brocas (3 PDC y 1 Tricónica). El de mayor costo es el 265D con 5 brocas (4 PDC y 1 Tricónica).

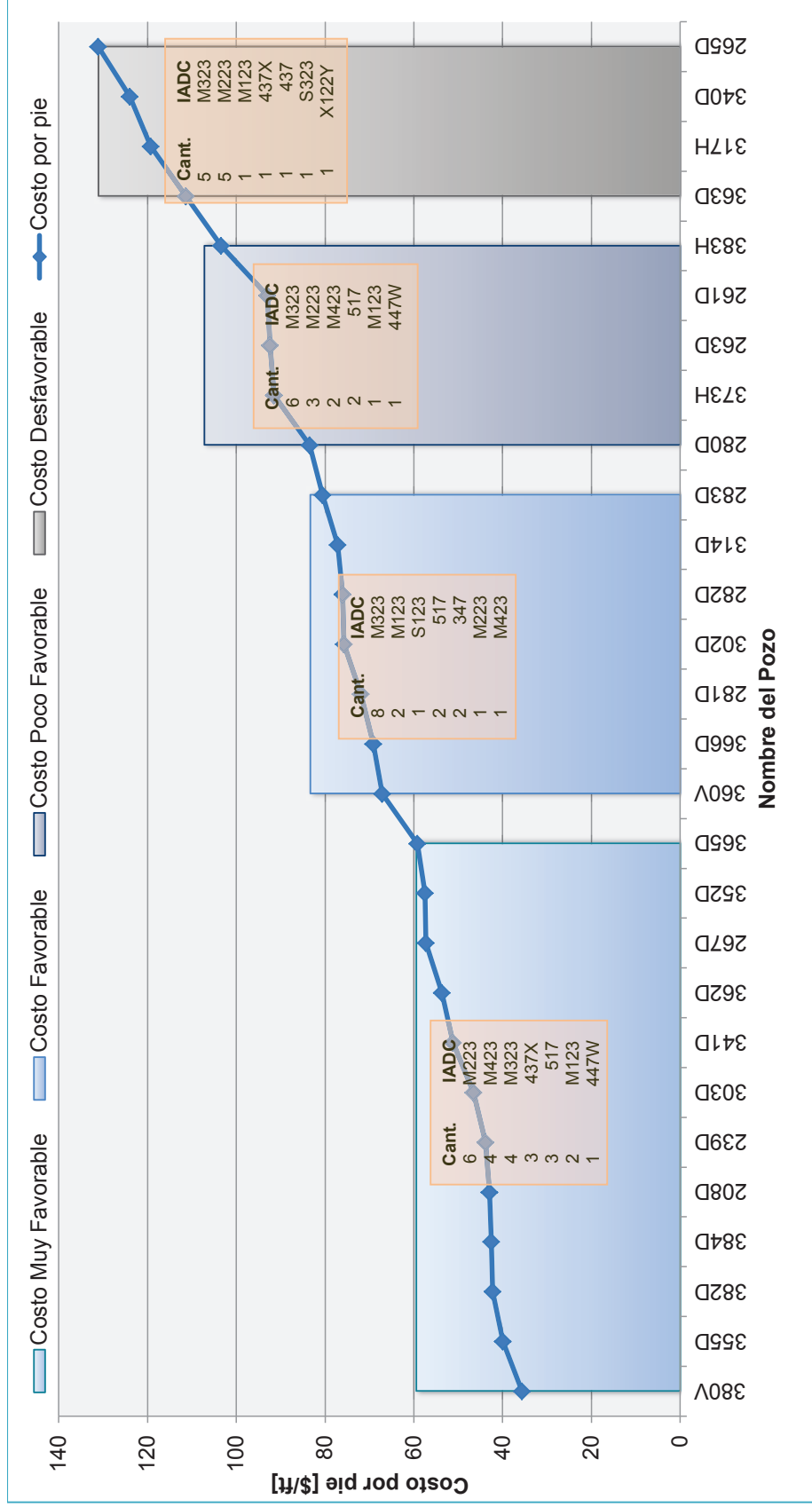
En este caso la mayoría de brocas de estos pozos pertenecen, respecto al espesor perforado, a Muy Baja Eficiencia.

Gráfico 3.47 COSTO POR PIE PERFORADO DE CADA BROCA, SECCIÓN 12 1/4".



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy

Gráfico 3.48 COSTO POR PIE PERFORADO DE CADA POZO, SECCIÓN 12 1/4".



Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

3.2.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO.

Al contrastar los mejores resultados (Muy Favorables) de costo por pie, entre las brocas y Sección 12 ¼" por pozo, se tiene que la mayoría de brocas que encabezan el grupo se relacionan con los 12 pozos cuya sección tiene los costos más convenientes por pie perforado.

Tabla 3.66 CORRESPONDENCIA DE COSTO POR PIE MUY FAVORABLE ENTRE BROCAS Y SECCIÓN 12 ¼" POR POZO.

IADC	No. Broca	Pozo	Costo por pie, Sección [\$/ft]
M223	45	355D	39,98
M223	2	239D	43,90
M223	30	303D	46,56
M423	61	380V	35,59
M223	42	352D	57,48
M423	62	382D	42,26
M423	66	384D	42,56
M123	40	341D	51,21
M323	22		
M223	1	208D	42,97
M323	55	365D	59,17
M323	47		
M323	14	267D	57,26
M223	50	362D	53,72
M323	16		
M323	26		
M323	20		
M323	57		
M223	51		
M223	32		
M423	29		

Fuente: Archivos de la ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Estas 12 brocas coincidentes, según tipo IADC son M423, M323, M223 y M123 en cantidades respectivas de 3, 2, 6 y 1.

La broca M123 posee el menor costo individual, sin embargo, al realizar el costo por pie perforado solamente existe una que participa en el grupo de brocas resultantes del análisis económico. Este resultado contrasta con el obtenido por las brocas de clasificación IADC M423, que siendo la broca más costosa individualmente, tiene una amplia presencia con 3 brocas, como se observa en la tabla 3.66.

De ahí se tiene que las brocas M323, de costo individual menor al de las M423, y por lo que se podría esperar una mayor participación en cuanto al resultado económico por costo por pie perforado, no obstante, posee a sólo 2 brocas en estos resultados.

La broca M223 coherente a su costo individual, exhibe costos por pie Muy Favorables además de una alta presencia (6) entre las resultantes según este análisis.

Además todas ellas perforan la primera parte de la Sección 12 ¼". Siendo la excepción 3 brocas del tipo M423 y 2 M223 que logran solas toda la sección. Cabe mencionar que en los pozos cuya Sección 12 ¼" es perforada con una segunda broca, ésta corresponde en su mayoría a una del tipo Tricónica de IADC 517.

3.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Una vez expuestos los análisis previos, se agrupa los resultados parciales por broca, pozo, y formación con el fin de contrastarlos y definir en base a estos factores, tanto técnicos como económicos, de entre todas las brocas aquellas a considerarse para plantear la mejor propuesta de la Sección 12 ¼" según el presente estudio.

Se asignan números del 1 al 4 según la eficiencia, teniendo que 1 es para las categorías de Muy Baja Eficiencia, 2 para Baja Eficiencia, 3 para Eficiencia Media y 4 para Alta Eficiencia; esto en los resultados obtenidos de la clasificación IADC, intervalo perforado, tiempo neto de perforación y tasa de penetración efectiva.

En el Anexo 9 se halla para cada broca de este estudio los factores mencionados, con su respectivo puntaje y con su número (No. de broca). El encabezado de la tabla que consta en este anexo, se presenta en la tabla 3.67 con la información de las cuatro primeras brocas.

Resulta importante destacar que los puntajes son evaluados de forma independiente para espesor perforado, tiempo neto perforado y tasa de penetración resultante para cada broca. Donde teóricamente esta última se calcula relacionando el espesor y tiempo. Por tal, obtener puntaje de 4 en ROP no implica tener lo mismo en tiempo y espesor individualmente, y viceversa. Por ejemplo, la broca No. 1 alcanza el máximo puntaje tanto en tiempo como espesor, sin embargo su tasa de penetración es de 3.

Tabla 3.67 MUESTRA DE LA TABLA DEL ANEXO 9 CON SU ENCABEZADO

PUNTAJE [del 1 al 4]								
No. Broca	Calificación IADC	Cantidad de Brocas	Clasificación IADC	Espesor Perforado	Tiempo Neto de Perforación	Tasa de Penetración (ROP)	Puntaje Total	Tipo IADC
1	Tricónicas y PDC son aptas para Sección 12 1/4".	4	2	4	4	3	17	M223
2		2	2	4	3	3	14	M223
3			2	1		2	10	437X
4			2	1		1	9	437X

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Las brocas, que al sumar estos puntajes obtienen un mayor valor, y por tal, la mayor eficiencia global de estos factores y se resumen en la tabla 3.68. En ella se halla el número que se ha venido usando para identificar la broca y su

clasificación IADC, ordenadas de mayor a menor puntaje producto de este análisis.

Tabla 3.68 BROCAS CON MAYOR PUNTAJE.

No. de Broca	Total Puntaje	Tipo IADC
61	19	M423
1	17	M223
62	17	M423
30	16	M223
45	16	M223
50	15	M223
66	15	M423
14	15	M323
55	15	M323

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

En la tabla 3.68, todas las brocas resultantes son del tipo PDC, en las que se hallan tres clasificaciones IADC que son: 4 brocas del tipo M223, 3 M423, y 2 de M323. Aquí se tiene que la broca No. 61 (M423) es la que mayor eficiencia global consigue con un total de 19 puntos, sobre los 20 máximos posibles.

Contrastando estos resultados con el análisis hecho según energía mecánica específica (E_s), las brocas que se presentan mejor favorecidas tanto por puntaje, como por la ecuación 2.2, son las observadas en la tabla 3.69.

Se observa que cuatro brocas en total son similares entre estos dos grupos, donde se ve la presencia de tipos IADC M423, M323 y M223, representados por las No. 61, 14, 30 y 45, según correspondan.

A continuación, se combina los resultados del análisis económico con el obtenido por puntajes y por el método de la energía mecánica específica.

Tabla 3.69 BROCAS COINCIDENTES ENTRE E_s Y PUNTAJE ALCANZADO.

No. de Broca	Total Puntaje	Tipo IADC
61	19	M423
30	16	M223
45	16	M223
14	15	M323

Fuente: Archivos de la ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

De las cuatro brocas (No. 61, 30, 45 y 14) de la tabla 3.69, resultantes del análisis técnico, todas concuerdan con el análisis económico en el grupo de costo por pie Muy Favorable, donde tres de ellas (No. 61, 30 y 45) encabezan esta lista. El tipo IADC se reduce a brocas M223 y M423, como se aprecia de color celeste en la tabla 3.69.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DEL PROGRAMA DE BROCAS PARA LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN 12 ¼” DEL CAMPO SACHA


4.1. PROGRAMA DE BROCAS PROPUESTO.

Para la propuesta del programa de brocas se toma como base que la Sección 12 ¼”, de los 28 pozos estudiados, comúnmente se inicia a una profundidad estimada de 4000 [ft], esto es en el Terciario Indiferenciado, y culmina aproximadamente a 8000 [ft] una vez superado el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu; esto es entre 20 y 100 [ft] de la Formación Tena.

Las opciones de propuestas, basadas en el análisis técnico-económico, se presentan en las tablas 4.1 a 4.4. En ellas se presentan los parámetros de perforación, acompañados de las características específicas de las brocas, y características especiales en caso de contar con ellas.

De lo propuesto, la opción 1 es económicamente la mejor como se evidencia en la tabla 4.5. Sin embargo la opción 2 se presenta técnicamente mejor, además, es capaz de arrojar resultados económicos muy similares y no debe dejar de ser considerada. Se aclara que la diferencia entre ellas es la cantidad y tipo de brocas a ser usadas para la perforación de la Sección 12 ¼”.



Tabla 4.1 PROPUESTA DEL PROGRAMA DE BROCAS SECCIÓN 12 1/4" DEL CAMPO SACHA, OPCIÓN 1.

OPCIÓN 1: PLAN DE BROCAS, SECCIÓN 12 1/4".													
Prof. MD [ft]	Formación	Diám.	Cód. IADC	Prof. Entrada [ft]	Prof. Salida [ft]	Espesor Fm. [ft]	Espesor Total [ft]	t _n [hr]	ROP [ft/hr]	WOB [klb-ft]	RPM Total [rpm]	Tasa de Flujo [gpm]	Condición de Salida Esperada
4000	T. Indiferenciado				1861					10-25	135-220	550-880	 1-1-WT-S-X-IBT-TD
5861	Ortegüaza				509								
6370	Fm. Tiyuyacu				178						155-235	700-880	
6548	Congl. Superior	12 1/4"	M423	4000	8500	362	4500	75	60	15-28	150-230		
6910	Intercalación				758					25-40	150-220	750-880	
7668	Congl. Inferior				665					30-35	120-180	700-800	
8333	Fm. Tena				167					40	220	880	

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.


Tabla 4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS BROCAS, OPCIÓN 1.

CARACTERÍSTICAS DE LA BROCA, OPCIÓN 1.						
Broca	HIDRÁULICA			Descripción Código IADC	Tipo	Características Especiales
	Boquillas (/32")	Presión de Circulación [Psi]	TFA [in ²]			
1	3X12 5X13	1200-3850	0,979	2,63	FXE56D	E: Calibre con "Stepped Gauge". D: Elementos PDC de corte secundarios.  

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.



Tabla 4.3 PROPUESTA DEL PROGRAMA DE BROCAS SECCIÓN 12 1/4" DEL CAMPO SACHA, OPCIÓN 2.

OPCIÓN 2: PLAN DE BROCAS, SECCIÓN 12 1/4".													
Prof. [ft]	Formación	Diám.	Código IADC	Prof. Entrada [ft]	Prof. Salida [ft]	Espesor Fm. [ft]	Espesor [ft]	t _h [hr]	ROP [ft/hr]	WOB [klb-ft]	RPM Total [rpm]	Tasa de Flujo [gpm]	Condición de Salida Esperada
4000	T. Indiferenciado	12 1/4"	M223	4000	7820	1861	3820	45	85	20-32	145-240	850	
5861	Orteguaza					509				15-30	150-235	850-920	
6370	Fm. Tiyuyacu					178				23-33	190-230	880	
6548	Congl. Superior					362				20-25	150-190	870	
6910	Intercalación					758				20-38	150-250	720-870	
7668	Congl. Inferior					152				35-39	160-170	700-750	
8333	Fm. Tena					513				10-20	130-200	810-900	
						47				15	225	890	

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Tabla 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS BROCAS, OPCIÓN 2.

CARACTERÍSTICAS DE LAS BROCAS, OPCIÓN 2.						
Broca	HIDRÁULICA			Descripción Código IADC	Tipo	Características Especiales
	Boquillas (/32")	Presión de Circulación [Psi]	TFA [in ²]			
1	8x12	1200-3500	0,884	2,38	FX56	
2	1X16 3X18	2850-3500	0,942	3,05	GF1100DVCPs	  <p>OD: 50% de insertos de diamante en la fila de calibre. PS: Protección de desgaste en la pierna de carburo de tungsteno.</p>

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

Tabla 4.5 COSTO POR PIE DE LAS OPCIONES PROPUESTAS POR BROCAS Y POZOS, SECCIÓN 12 1/4".

Opción	Broca	Tipo	IADC	C _b [\$]	C _t [\$ /hr]	t _n [hr]	t _t [hr]	T [hr]	ΔD [ft]	C _f Broca [\$ /ft]	f _{AD}	C _f Pozo[\$ /ft]
1	1	PDC	M423	73000	1300	75	9	84	4500	40	1,00	40,34
2	2	TRIC	437X	16000	1300	20	8	81	560	94	0,13	40,68

Fuente: Archivos ARCH.

Elaborado por: César Briones/Ruddy León.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Tanto brocas PDC, como Tricónicas, son aptas para perforar la Formación Tiyuyacu en base a las calificaciones IADC obtenidas en este estudio. Sin embargo, existen brocas que reportan altos desgastes una vez que perforan el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu, por lo que estructuralmente no resisten la dureza y abrasividad de la formación, o los parámetros no son los adecuados; en ciertos casos ambas razones.
- Según el análisis por cantidad de brocas usadas, prevalece el uso de brocas PDC sobre las Tricónicas como práctica habitual en la perforación de la Sección Intermedia de los 28 pozos estudiados, con resultados técnico-económicos de gran contraste entre sí.
- En los conglomerados de la Formación Tiyuyacu aquellas brocas que emplean mayor tiempo neto de perforación, presentan los mejores desempeños respecto a los tiempos de perforación netos para la Sección 12 ¼". De tal manera que ir más lento en los conglomerados permite prolongar la vida útil de la broca.
- Al aplicar cualquiera de las propuestas aquí presentadas, se obtienen mejores precios de la sección por pozo con respecto a los obtenidos por la mayoría en este estudio; esto es aproximadamente 35 [\$/ft] menos que el promedio.
- La propuesta resultante que involucra a la broca de IADC M423 aplica para pozos verticales y horizontales, a pesar de que la muestra es significativamente superior en cuanto a pozos direccionales se refiere.

- Usar pocas brocas para perforar la sección intermedia no significa conseguir menores tiempos. Es así que se presentan pozos cuya sección se perfora con una broca, que al ser técnicamente inadecuada se toma mayor tiempo controlando parámetros para el cuidado de la misma, muchas veces sin lograrlo, esto se ve reflejado en su calificación IADC.
- El método de energía mecánica específica (E_s) es de gran utilidad para determinar la broca idónea por formaciones. No obstante, requiere ser complementado con el método estadístico aquí utilizado que involucra calificaciones IADC, ROP, tiempos netos, espesores, además del análisis económico.
- Según este estudio, el resultado técnico-económico para la perforación de la Sección 12 ¼" desemboca en dos propuestas viables. La primera opción es usar una sola broca PDC de código IADC M423, con las características y parámetros mostrados en las tablas 4.1 y 4.2. La segunda opción consiste en usar dos brocas, una PDC M223 desde el Terciario Indiferenciado a 4000 [ft] de profundidad hasta parte del Conglomerado Inferior, donde se realiza cambio de broca por una Tricónica 437X, la cual culmina la perforación del mismo y avanza aproximadamente 50 [ft] en la Formación Tena; sus características y parámetros se describen detalladamente en las tablas 4.3 y 4.4.
- La broca M423 logra perforar la sección intermedia en gran parte por sus características adicionales, que evitan su temprano desgaste en el Conglomerado. Estas características son: calibre con "Stepped Gauge" y elementos PDC de corte secundarios. Por otro lado, la broca M223 no requiere de característica adicional alguna, ya que no interviene completamente en la perforación del conglomerado chert.
- La broca PDC M423 con características especiales demuestra ser una tecnología capaz de perforar con éxito el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu, equiparándose con su análoga Tricónica 437X, con la ventaja adicional de perforar sola todas las formaciones de la Sección 12 ¼" en el Campo Sacha.
- Los parámetros controlados aplicados en el conglomerado chert de la Formación Tiyuyacu dependen del tipo de broca a usarse. Las brocas PDC

requieren que no exista vibraciones para conservar su integridad y mejorar su mecanismo de corte (cizallamiento); por tanto, aplican alto WOB y bajo galonaje. Mientras que las brocas Tricónicas tienen un mejor desempeño disminuyendo el WOB y aumentando la tasa de flujo, con la finalidad de mejorar la fractura en la trituración de la roca.

5.2. RECOMENDACIONES

- Evitar el uso de brocas PDC de código IADC M123, M223 y M323 que presentan altos desgastes en la perforación del Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.
- Optar por cualquiera de las propuestas presentadas en el presente estudio, para así reducir el contraste técnico-económico existente.
- En la Formación Tiyuyacu se recomienda salvaguardar la integridad de la broca al pasar los conglomerados, aunque esto demande mayor tiempo.
- Estudiar un mayor número de pozos horizontales para determinar una adecuada aplicación del uso de brocas en la sección intermedia.
- Prescindir del uso de una sola broca PDC diferente a la M423 para la perforación de toda la sección intermedia, siempre y cuando esta concluya una vez atravesado el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.
- En caso de optar por una broca PDC de menor resistencia que la broca M423, se recomienda asistirle de una broca Tricónica 437X, como el plan de brocas lo propone.
- Para futuros análisis, se recomienda complementar el método de energía mecánica específica con otros métodos, como los aquí referidos: el análisis estadístico y económico.
- Se recomienda seguir cualquiera de los planes de brocas propuestos en el presente estudio, debido a su similitud de resultados.
- Se recomienda mantener las características especiales de las brocas M423, como de la Tricónica 437X, para la perforación de la Sección 12 ¼" y de la Formación Tiyuyacu, respectivamente.

- Tomar en cuenta para el control de parámetros los ya presentados en las tablas 4.1 y 4.3 según el tipo de broca a usar en la perforación del Conglomerado Inferior de Tiyuyacu.
- De no contar con una broca Tricónica 437X, se recomienda optar por brocas que mantengan la característica de poseer dientes de insertos de carburo de tungsteno, esto es, según IADC el primer carácter de 4 ó 5.
- En caso de perforar la sección intermedia incluyendo la Formación Tena ingresar una broca PDC M123 es técnica y económicamente recomendable, esto luego de aplicar la opción 1 ó 2 planteadas en este estudio.
- Una vez superado el Conglomerado Inferior de Tiyuyacu con la opción 1 (M423) se recomienda continuar con la aplicación de la misma para probar el desempeño de la broca en grandes intervalos de la Formación Tena.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán Salazar Carlos Andrés y Fausto Andrés Álvarez Fuentes, (2014). Determinación de los parámetros óptimos de perforación en el campo Sacha. Tesis de grado EPN. Quito, Ecuador.
- Baby Patrice, Rivadeneira Marco y Barragán Roberto. (2004). La Cuenca Oriente: Geología y Petróleo, primera edición, Instituto Francés de Estudios Andinos, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Petroecuador.
- Besson, Alain. (Invierno de 2001). “Bordes Cortantes”, Schlumberger Oilfield Review, Volumen 12, pp. 39-42.
- Bourgoyne Adam, Millheim Keith, Chenevert Martin y Farrile Young. (1991). Applied Drilling Engineering, Volumen 2, Richardson TX, Society of Petroleum Engineers (SPE).
- Bruton, Greg. (Verano de 2014). “Tecnología de barrenas de PDC para el siglo XXI”, Schlumberger Oilfield Review, Volumen 26, pp. 56-57.
- Cabrera Pazmiño Andrés Iván y Jéssica Vanessa Cunduri Morocho, (2012). Caracterización del conglomerado de la Formación Tiyuyacu de la Cuenca Oriental del Ecuador en los bloques 7 y 18 para la adecuada selección de brocas en la sección de 12 ¼”. Tesis de grado UCE. Quito, Ecuador.
- EP PETROECUADOR, (2013). El Petróleo en el Ecuador la Nueva Era Petrolera, primera edición, Quito: Manthra Comunicación integral y Producción editorial.
- Instituto Tecnológico Geominero de España. (1994). Manual de Perforación y Voladura de Rocas, segunda edición, Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España D.L.
- López Rodríguez, Ramiro Javier (2012). Estudio de desempeño y rendimiento de brocas de perforación en el Campo Shushufindi para

- optimizar tiempos de perforación mediante la aplicación de la base de datos Phoenix de Halliburton. Tesis de grado EPN. Quito, Ecuador.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2014, Marzo). “Recursos Naturales No Renovables”, Rendición de Cuentas, pp. 55.
 - Monzón Rivas, Alex Mauricio (2010). Caracterización del conglomerado basal de Tiyuyacu para la correcta aplicación de brocas en los campos Yanaquincha Este y Limoncocha en el complejo Indillana. Tesis de grado ESPOL. Guayaquil, Ecuador.
 - Rabia, H. (1985, July 1). Specific Energy as a Criterion for Bit Selection. Society of Petroleum Engineers.
 - Ruiz, Geoffrey Modeste Henri. (2002). Exhumation of the northern Sub-Andean Zone of Ecuador and its source regions: a combined thermochronological and heavy mineral approach, Zürich.
 - Schlumberger. (2013). “Roller Cone Products”, Product Catalog, pp.48-53.
 - Van Dake, Kate. (1995). “THE BIT” (Rotary drilling, unit 1, lesson 2). University of Texas at Austin.
 - Vargas Antonio. (1995). Estadística Descriptiva e Inferencial, segunda edición, La Mancha, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla.
 - Río Napo. (2015, Mayo). Producción ORN Sacha. <http://www.rionapocem.com.ec/>
 - Schlumberger. (2009). Smith Tool. Manual Grado de Desgaste. <https://es.scribd.com/doc/16756155/Smith-Bits-Grado-de-Desgaste>

ANEXOS

ANEXO No 1

**CARACTERÍSTICAS DE DESGASTE DE LA ESTRUCTURA
DE CORTE.**



1. BC – Cono Roto



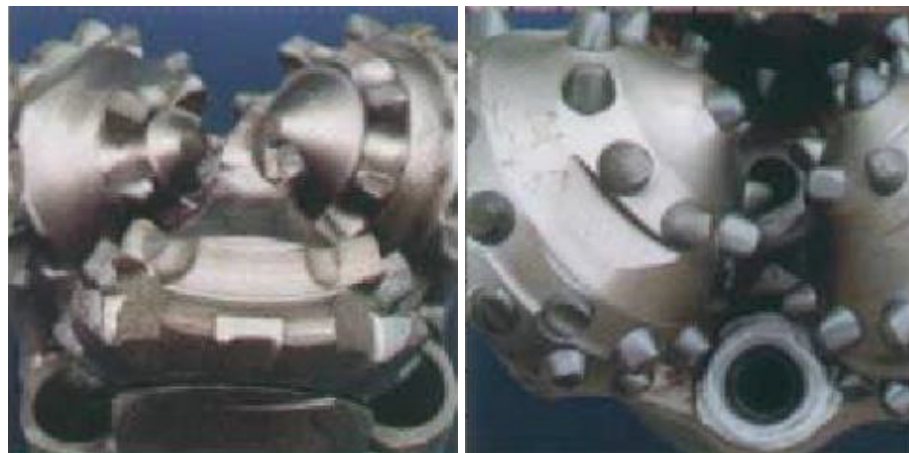
2. BT – Diente o Inserto Roto



3. BU – Embolamiento



4. CC – Cono Fisurado



5. CD – Cono Arrastrado



6. CI – Interferencia de Conos



7. CR – Coroneado



8. CT – Diente Astillado



9. ER – Erosión



10. FC – Diente Remachado



11. HC – Temperatura



12. JD – Cuerpo Extraño



13. LC – Cono Perdido



14. LN – Boquilla Perdida



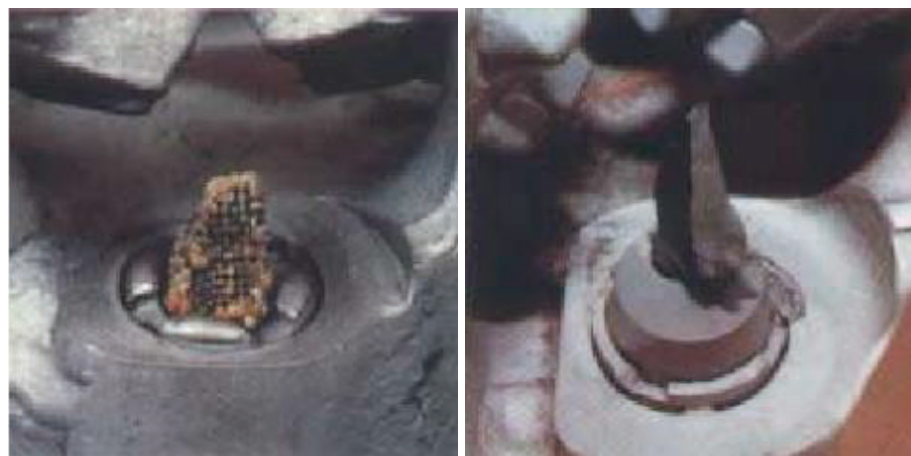
15. LT – Inserto Perdido



16. OC – Fuera de Centro



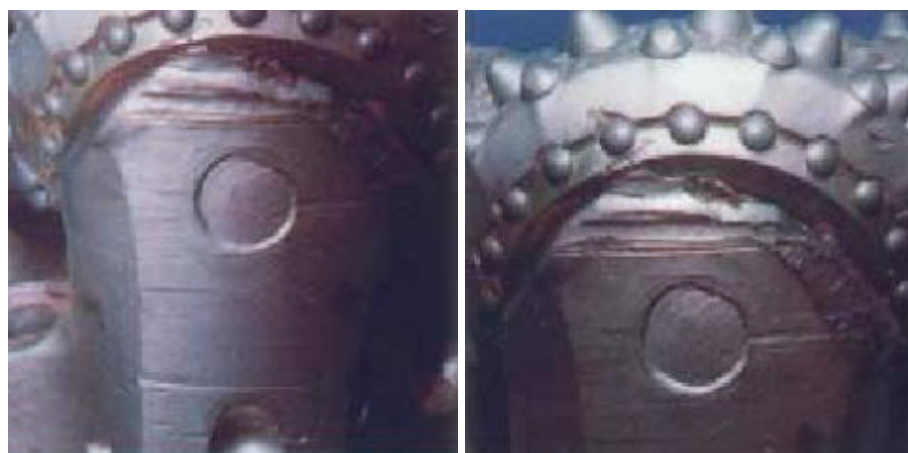
17. PB – Acuñado



18. PN – Boquilla Tapada



19. RG – Calibre Redondeado



20. SD – Daño en Patas



21. SS – Autoafilado



22. TR – Perfil sobre Huella



23. WO – Lavado



24. WT – Dientes Desgastados

ANEXO No 2

**BROCAS QUE PERFORAN LA SECCIÓN 12 ¼” EN POZOS
DEL CAMPO SACHA.**

No. Broca	PDC / Tricónica	No. Broca en Pozo	IADC	Perforó en Tiyuyacu
SACHA 208D				
1	PDC	3	M223	X
SACHA 239D				
2	PDC	3	M223	X
3	Tricónica	4	437X	X
4	Tricónica	5	437X	X
SACHA 261D				
5	PDC	3	M223	X
6	PDC	4	M223	X
SACHA 263D				
7	PDC	4	M323	X
8	PDC	5	M223	X
SACHA 265D				
9	PDC	3	M323	X
10	PDC	4	S323	X
11	Tricónica	5	X122Y ¹⁵	X
12	PDC	6	M123	X
13	PDC	7	M323	
SACHA 267D				
14	PDC	3	M323	X
15	Tricónica	4	517	X
SACHA 280D				
16	PDC	3	M323	X
17	PDC	4	M323	X
18	Tricónica	5	517	X
19	PDC	6	M123	
SACHA 281D				
20	PDC	3	M323	X
21	PDC	4	M123	X
SACHA 282D				
22	PDC	3	M323	X
23	PDC	4	M323	X
24	Tricónica	5	517	X
25	PDC	6	M123	
SACHA 283D				
26	PDC	3	M323	X

¹⁵ La broca Tricónica No. 11 según el reporte de brocas estudiado, posee una clasificación IADC X122Y, y es así como se la caracteriza y analiza en el presente estudio. Sin embargo, por su singular codificación se indaga sobre la misma, hallando que corresponde al código IADC 517.

Continuación Anexo 2				
27	PDC	4	M323	X
28	Tricónica	5	517	X
SACHA 302D				
29	PDC	3	M423	X
SACHA 303D				
30	PDC	3	M223	X
31	Tricónica	4	447W	X
SACHA 314D				
32	PDC	3	M223	X
33	PDC	4	S123	
SACHA 317H				
34	PDC	4	M223	X
35	Tricónica	5	437	X
36	PDC	6	M223	
SACHA 340D				
37	PDC	4	M323	X
38	PDC	5	M323	X
39	PDC	6	M323	
SACHA 341D				
40	PDC	3	M123	X
41	Tricónica	4	437X	X
SACHA 352D				
42	PDC	3	M223	X
43	Tricónica	4	517	X
44	PDC	5	M123	
SACHA 355D				
45	PDC	3	M223	X
46	PDC	4	M323	X
46R	PDC	4R	M323	
SACHA 360V				
47	PDC	3	M323	X
48	Tricónica	4	347	
48R	Tricónica	4R	347	
49	PDC	5	M323	X
SACHA 362D				
50	PDC	3	M223	X
SACHA 363D				
51	PDC	3	M223	X
52	Tricónica	4	437X	X
53	PDC	5	M223	
54	PDC	7	M223	
SACHA 365D				

Continuación Anexo 2				
55	PDC	4	M323	X
56	Tricónica	5	517	X
SACHA 366D				
57	PDC	4	M323	X
SACHA 373H				
58	PDC	4	M323	X
59	Tricónica	5	517	X
60	PDC	6	M323	
60R	PDC	6R	M323	
SACHA 380V				
61	PDC	3	M423	X
SACHA 382D				
62	PDC	3	M423	X
SACHA 383H				
63	PDC	3	M423	X
64	Tricónica	4	447W	X
65	PDC	5	M423	
SACHA 384D				
66	PDC	3	M423	
66R	PDC	3R	M423	X

ANEXO No 3

**CALIFICACIÓN IADC DE BROCAS QUE PERFORAN LA
SECCIÓN 12 ¼” EN POZOS DEL CAMPO SACHA.**

CONDICIÓN DE DESGASTE												
No. Broca	Desgaste: Hilera Interior	Desgaste: Hilera Exterior	CARACTERÍSTICA DE DESGASTE	UBICACIÓN DEL DESGASTE	COJINETE SELLO	CALIBRE	OTRAS CARACTERÍSTICAS	RAZÓN DE SALIDA				
1	0%	13%	Dientes gastados	Hombro/Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	4/16 fuera de calibre	Diente astillado/Delaminado	Profundidad total				
2	13%	25%	Diente astillado/ Delaminado	Fila de la nariz/Hombro/Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo				
3	13%	25%	Diente o inserto roto/ Diente o cortador roto	Fila intermedia/Fila de calibre	El sello es eficaz	En calibre	Dientes gastados	Horas sobre la broca				
4	0%	13%	Dientes gastados	Fila de calibre	El sello es eficaz	En calibre	Diente astillado	Profundidad total				
5	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Horas sobre la broca				
6	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Profundidad total				
7	50%	38%	Diente o inserto o roto	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	2/16 fuera de calibre	Inserto perdido	Tasa de penetración				
8	25%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Profundidad total				
9	25%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Diente astillado	Cambio de ensamble de fondo				
10	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Cambio de ensamble de fondo				
11	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	En calibre	Diente astillado	Cambio de formación				
12	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Cambio de ensamble de fondo				
13	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Profundidad total				

Continuación Anexo 3									
14	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Cambio de ensamble de fondo	
15	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	1/16 fuera de calibre	Ninguna	Profundidad total	
16	25%	38%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Diente o inserto roto	Tasa de penetración	
17	0%	13%	Dientes gastados	Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo	
18	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	En calibre	Diente o inserto roto	Cambio de ensamble de fondo	
19	0%	13%	Dientes gastados	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Profundidad total	
20	13%	38%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Inserto perdido	Cambio de ensamble de fondo	
21	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Profundidad total	
22	0%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo	
23	0%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo	
24	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	1/16 fuera de calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo	
25	0%	0%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Profundidad total	
26	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Diente o inserto roto	Tasa de penetración	
27	13%	0%	Nada	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Cambio de ensamble de fondo	
28	0%	13%	Nada	Todas las filas	El sello es eficaz	En calibre	Dientes gastados	Profundidad total	
29	13%	13%	Dientes gastados	Fila de la Nariz/Conicidad/Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Profundidad total	
30	13%	13%	Diente o inserto o roto	Fila de calibre/Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Dientes gastados	Cambio de formación	
31	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello ha fallado/(2)	2/16 fuera de calibre	Diente o inserto roto	Profundidad total	
32	25%	63%	Desgaste anular	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	3/16 fuera de calibre	Diente astillado/Diente o inserto roto	Cambio de formación	
33	0%	38%	Diente astillado/Delaminado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Erosionado	Profundidad total	

Continuación Anexo 3									
34	0%	25%	Diente astillado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo	
35	13%	13%	Dientes gastados	Fila de calibre	El sello es eficaz	En calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo	
36	0%	25%	Diente o inserto o roto	Hombro/Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Dientes gastados	Profundidad total	
37	0%	25%	Diente astillado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	2/16 fuera de calibre	Diente o inserto roto	Cambio de ensamble de fondo	
38	25%	25%	Diente o inserto o roto	Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Temperatura	Tasa de penetración	
39	0%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Profundidad total	
40	13%	25%	Delaminado/Diente astillado	Fila de la nariz	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Dientes gastados	Cambio de formación	
41	13%	13%	Inferencia de conos/Dientes gastados	Todas las filas	El sello (fallado, eficaz, eficaz)	En calibre	Diente astillado/Inserto perdido	Profundidad total	
42	25%	13%	Diente astillado	Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Cambio de ensamble de fondo	
43	0%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	En calibre	Ninguna	Cambio de formación	
44	0%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Profundidad total	
45	13%	13%	Diente astillado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	En calibre	Boquilla tapada	Falla en el motor de fondo	
46	13%	0%	Diente o inserto o roto	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Profundidad total	
46R	13%	25%	Diente o inserto o roto	Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Problemas en el hueco	
47	100%	100%	Desgaste anular	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Tasa de penetración	
48	0%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	En calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo	
48R	13%	25%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	En calibre	Ninguna	Cambio de ensamble de fondo	
49	13%	13%	Dientes gastados	Hombro/Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Profundidad total	
50	0%	25%	Dientes gastados	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Profundidad total	
51	0%	25%	Diente astillado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Dientes gastados	Cambio de ensamble de fondo	

Continuación Anexo 3										
52	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	1/16 fuera de calibre	Ninguna	Cambio de ensamblaje de fondo		
53	0%	25%	Diente astillado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	4/16 fuera de calibre	Dientes gastados/Boquilla tapada	Presión de la bomba		
54	0%	0%	Nada	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Profundidad total		
55	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Cambio de ensamblaje de fondo		
56	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	En calibre	Ninguna	Profundidad total		
57	0%	13%	Dientes gastados	Hombro/Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Profundidad total		
58	13%	25%	Diente astillado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	1/16 fuera de calibre	Dientes gastados	Cambio de ensamblaje de fondo		
59	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	1/16 fuera de calibre	Diente o inserto roto	Cambio de ensamblaje de fondo		
60	0%	0%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Cambio de ensamblaje de fondo		
60R	0%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Profundidad total		
61	13%	25%	Diente o inserto o roto	Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Dientes gastados	Profundidad total		
62	13%	13%	Dientes gastados	Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente o inserto roto	Profundidad total		
63	0%	13%	Diente astillado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	En calibre	Daño por cuerpo extraño	Cambio de ensamblaje de fondo		
64	13%	13%	Dientes gastados	Todas las filas	El sello es eficaz	En calibre	Daño por cuerpo extraño	Cambio de ensamblaje de fondo		
65	0%	13%	Diente astillado	Fila de calibre	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Profundidad total		
66	0%	0%	Nada	Todas las filas	Broca de cortadores fijos	En calibre	Ninguna	Falla en herramienta de fondo		
66R	13%	13%	Dientes gastados	Hombro	Broca de cortadores fijos	En calibre	Diente astillado	Profundidad total		

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO No 4

**PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS QUE
PERFORAN LA SECCIÓN 12 ¼”, SEGÚN EFICIENCIA POR
CANTIDAD DE BROCAS.**

ANEXO 4.1. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE ALTA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, SECCIÓN 12 ¼”.

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN SECCIÓN 12 ¼”					
ALTA EFICIENCIA					
No. Broca	Pozo	Torque [kibs-ft]	Tasa de Flujo [GPM]	WOB [kibs]	RPM Total
1	208D	0-22,5	600-850	0-40,5	112-221
29	302D	6-19,0	700-880	6-35	159-310
50	362D	14	600-800	10-26	136-220
57	366D	10,00-22	880	0-28	231
61	380V	5,00-11	550-880	10-35	103-185
62	382D	3,00-9	550-880	10-40	134-235
66	384D	6,0-9	550-880	4-30	134-220
66R	384D	10,0-15	700-880	8-40	159-235

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO 4.2. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, SECCIÓN 12 1/4".

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN SECCIÓN 12 1/4"					
EFICIENCIA MEDIA					
No. Broca	Pozo	Torque [kibs-ft]	Tasa de Flujo [GPM]	WOB [kibs]	RPM Total
5	261D	19	830	4-36	252
6	261D	20	730	4-24	230
7	263D	24	860	6-18	269
8	263D	18	780	6-30	251
14	267D	4,0-20	900	2-36	263
15	267D	9,0-14	750	20-40	245
20	281D	22	920	6-25	219
21	281D	22	760	14-22	248
30	303D	6-7,0	700-950	15-39	164-247
31	303D	1-2,0	880-880	20-35	210
32	314D	20-30,0	650-950	2-30	112-185
33	314D	20-32,0	700-850	8-35	172-221
40	341D	8,0-25	600-900	8-28	189
41	341D	22,0-25	810-900	13-25	160
45	355D	22	807	2-35	262
46	355D	24	753	2-28	173
46R	355D	S/D	S/D	S/D	S/D
55	365D	5,00-20	890	2-30	232
56	365D	14,00-18	800	2-35	188

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO 4.3. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, SECCIÓN 12 ¼”.

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN SECCIÓN 12 ¼”					
BAJA EFICIENCIA					
Nro. Broca	Pozo	Torque [klbs-ft]	Tasa de Flujo [GPM]	WOB [klbs]	RPM Total
2	239D	9,0-14	650-850	2-30	136-208
3	239D	12,0-15	700-800	5-30	152-198
4	239D	12,0-15	750	25-30	160-180
26	283D	8-22,0	850	8 - 36	257
27	283D	10-16,0	785	12 - 20	243
28	283D	10-17,0	730	12 - 35	240
34	317H	12-18,0	700-850	4-20	152-216
35	317H	12,0-18	850	12-30	191-206
36	317H	15,0-26	700-850	10-30	176-154
37	340D	22	850	2-25	215
38	340D	24	820	5-35	209
39	340D	22	790	5-30	204
42	352D	25	890	2-25	189
43	352D	14	850	12-25	186
44	352D	20	880	5-25	208
47	360V	0-15,0	960	2-40	196
48	360V	S/D	S/D	S/D	S/D
48R	360V	S/D	S/D	S/D	S/D
49	360V	12-17,0	850	8-22	216
58	373H	12	713	3-25	169
59	373H	12	839	4-40	208
60	373H	15	816	2-35	193
60R	373H	16	735	2-34	189
63	383H	10,00-13	500-880	5-35	125-220
64	383H	8,0-9	700-800	15-40	169-206
65	383H	11,0-20	700-870	5-35	179-227,9

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO 4.4. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, SECCIÓN 12 ¼”.

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN SECCIÓN 12 ¼”					
MUY BAJA EFICIENCIA					
Nro. Broca	Pozo	Torque [kibs-ft]	Tasa de Flujo [GPM]	WOB [kibs]	RPM Total
9	265D	18	850	12-40	241
10	265D	18	850	12-40	241
11	265D	16	750	20-40	235
12	265D	16	750	20-40	235
13	265D	20	740	8-40	232
16	280D	22	850	4-35	267
17	280D	15	770	4-25	243
18	280D	22	800	25-35	256
19	280D	22	745	16-28	244
22	282D	7,0-18	830	8-26	263
23	282D	12,0-22	780	8-30	247
24	282D	14,0-18	750	28-45	245
25	282D	14-22,0	700	10-25	218
51	363D	14,00-19	600-880	10-28	136-220
52	363D	15,00-19	800	35	128-198
53	363D	22,00-25	800	10-35	189-269
54	363D	20,00-22	750	5-20	210

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO No 5

**PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS QUE
PERFORAN LA FORMACIÓN TIYUYACU, SEGÚN
EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS.**

ANEXO 5.1. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE ALTA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, FM. TIYUYACU.

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN FM. TIYUYACU					
ALTA EFICIENCIA					
Nro. Broca	Pozo	Torque [kibs-ft]	Tasa de Flujo [GPM]	WOB [kibs]	RPM Total
1	208D	0-22,5	600-850	0-40,5	112-221
20	281D	22	920	6-25	219
29	302D	6-19,0	700-880	6-35	159-310
30	303D	6-7,0	700-950	15-39	164-247
32	314D	20-30,0	650-950	2-30	112-185
50	362D	14	600-800	10-26	136-220
57	366D	10,00-22	880	0-28	231
61	380V	5,00-11	550-880	10-35	103-185
62	382D	3,00-9	550-880	10-40	134-235
66	384D	6,0-9	550-880	4-30	134-220
66R	384D	10,0-15	700-880	8-40	159-235

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO 5.2. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, FM. TIYUYACU.

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN FM. TIYUYACU					
EFICIENCIA MEDIA					
No. Broca	Pozo	Torque [kibs-ft]	Tasa de Flujo [GPM]	WOB [kibs]	RPM Total
5	261D	19	830	4-36	252
6	261D	20	730	4-24	230
7	263D	24	860	6-18	269
8	263D	18	780	6-30	251
14	267D	4,0-20	900	2-36	263
15	267D	9,0-14	750	20-40	245
34	317H	12-18,0	700-850	4-20	152-216
35	317H	12,0-18	850	12-30	191-206
37	340D	22	850	2-25	215
38	340D	24	820	5-35	209
40	341D	8,0-25	600-900	8-28	189
41	341D	22,0-25	810-900	13-25	160
42	352D	25	890	2-25	189
43	352D	14	850	12-25	186
45	355D	22	807	2-35	262
46	355D	24	753	2-28	173
46R	355D	S/D	S/D	S/D	S/D
51	363D	14,00-19	600-880	10-28	136-220
52	363D	15,00-19	800	35	128-198
55	365D	5,00-20	890	2-30	232
56	365D	14,00-18	800	2-35	188
58	373H	12	713	3-25	169
59	373H	12	839	4-40	208
63	383H	10,00-13	500-880	5-35	125-220
64	383H	8,0-9	700-800	15-40	169-206

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO 5.3. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, FM. TIYUYACU.

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN FM. TIYUYACU					
BAJA EFICIENCIA					
No. Broca	Pozo	Torque [kibs-ft]	Tasa de Flujo [GPM]	WOB [kibs]	RPM Total
2	239D	9,0-14	650-850	2-30	136-208
3	239D	12,0-15	700-800	5-30	152-198
4	239D	12,0-15	750	25-30	160-180
9	265D	18	850	12-40	241
10	265D	18	850	12-40	241
11	265D	16	750	20-40	235
16	280D	22	850	4-35	267
17	280D	15	770	4-25	243
18	280D	22	800	25-35	256
22	282D	7,0-18	830	8-26	263
23	282D	12,0-22	780	8-30	247
24	282D	14,0-18	750	28-45	245
26	283D	8-22,0	850	8 - 36	257
27	283D	10-16,0	785	12 - 20	243
28	283D	10-17,0	730	12 - 35	240
47	360V	0-15,0	960	2-40	196
48	360V	12-17,0	850	8-22	216
48R	360V	S/D	S/D	S/D	S/D
49	360V	S/D	S/D	S/D	S/D

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO No 6

**FLUIDOS DE PERFORACIÓN PARA POZOS CON
BROCAS, SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE
BROCAS, SECCIÓN 12 ¼”.**

**ANEXO 6.1 FLUIDOS DE PERFORACIÓN PARA POZOS CON BROCAS DE ALTA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD,
SECCIÓN 12 1/4".**

Pozo	Unidad	Densidad [ppg]		Viscosidad de Embudo [sec/quart]		PV: Viscosidad Plástica [cPs]		YP: Punto Cedente [lbs/1000ft ²]		Geles [10/10/30]		Sólidos [Lbs/bls]		pH	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
208D	Superior	9,5	9,5	28	29	3	4	6	7	3/8/13	5/9/15	17,50	2,00	9,3	9,3
	Inferior	9,6	10,1	48	52	13	17	9	25	3/10/15	6/10/13	2,50	7,50	9,8	9,4
302D	Sup/Inf	9,7	11,2	39	57	9	22	15	26		S/D	3,00	3,90	9,2	10,0
	Sup/Inf	9,5	11,2	40	62	10	26	18	27		9/18/25	8,00	16,00	10,0	10,8
366D	Sup/Inf	9,2	10,8	42	52	10	18	16	31		S/D	8,75	8,75	8,8	9,4
	Superior	9,8	9,8	32	32	6	8	14	16		S/D	0,00	4,49	7,2	8,5
380V	Inferior	9,8	9,8	32	46	6	15	14	16		S/D	0,00	4,49	9,4	9,5
	Superior	9,8	10,1	31	37	6	12	10	15		S/D	0,00	6,00	8,0	9,5
382D	Inferior	10,1	10,1	33	60	11	24	17	25		S/D	0,00	6,00	8,5	9,5
	Superior	9,7	9,7	38	42	10	14	14	18		S/D	3,10	5,00	9,4	9,7
384D	Superior	9,7	10,0	41	57	14	22	20	26		S/D	4,20	4,80	9,4	9,6
	Inferior	9,7	10,0	41	57	14	22	20	26		S/D	4,20	4,80	9,4	9,6

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO 6.2 FLUIDOS DE PERFORACIÓN PARA POZOS CON BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, SECCIÓN 12 1/4".

Pozo	Unidad	Densidad [ppg]		Viscosidad de Embudo [sec/quart]		PV: Viscosidad Plástica [cPs]		YP: Punto Cedente [lbs/1000ft ²]		Geles [10/10/30]		Sólidos [Lbs/bls]		pH	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
261D	Sup/Inf	10,2	10,2	42	47	14	23	15	23	6/9/11	7,07	10,4	10,7		
263D	Sup/Inf	9,5	10,4	38	50	16	16	16	16	4/10/14	9,31	10,3	10,3		
267D	Sup/Inf	9,5	11,1	29	58	4	8	3	7	6/12/17	5,00	13,0	10,4		
281D	Sup/Inf	9,8	11,3	43	53	12	20	26	18	6/12/17	7,00	14,0	10,2		
303D	Superior	9,8	10,2	31	37	6	12	10	15	S/D	0,00	6,0	8,0	9,5	
	Inferior	10,1	10,1	33	60	11	24	17	25	S/D	0,00	6,0	8,5	9,5	
314D	Superior	9,8	10,2	30	35	6	12	10	15	S/D	0,00	6,0	8,5	9,5	
	Inferior	10,1	10,8	33	55	10	25	15	25	S/D	0,00	6,0	8,5	9,5	
341D	Sup/Inf	9,7	10,9	36	48	10	19	11	18	4/8/11 4/19/27	2,50	17,5	9,3	9,9	
	Superior	9,3	10,0	28	30	5	13	4	12	3/5/9 6/15/21	15,00	22,5	7,0	7,2	
355D	Inferior	10,0	11,3	40	48	12	19	16	21	4/9/13 7/17/25	5,00	7,5	9,9	10,2	
	Sup/Inf	9,5	10,2	28	57	4	19	10	21	S/D	1,00	6,0	7,5	9,7	

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO 6.3 FLUIDOS DE PERFORACIÓN PARA POZOS CON BROCAS DE BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, SECCIÓN 12 1/4".

Pozo	Unidad	Densidad [ppg]		Viscosidad de Embudo [sec/quart]		PV: Viscosidad Plástica [cPs]		YP: Punto Cedente [lbs/1000ft ²]		Geles [10/10/30]		Sólidos [Lbs/bls]		pH	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
239D	Sup/Inf	9,5	11,2	27	42	6	10	9	14	8/15/19	10/28/35	10,0	22,5	8,0	9,0
283D	Sup/Inf	9,6	11,2	32	50	6	20	10	20	7/13/18		6,5	15,5	8,5	9,5
317H	Sup/Inf	9,7	11,4	38	63	10	23	11	24	4/5/6	15/38/49	0,0	17,5	10,2	9,1
340D	Sup/Inf	9,7	13,5	42	60	11	24	14	25	3/8/11	8/21/26	2,5	17,5	1,1	9,5
352D	Superior	9,5	10,1	28	34	5	6	6	11	2/9/12	3/10/14	10,0	17,5	7,1	7,4
	Inferior	10,1	11,2	36	46	10	13	11	18	3/9/12	5/18/22	5,0	15,0	9,6	9,5
360V	Sup/Inf	9,2	11,6	30	62	6	26	12	34	S/D		2,5	17,5	8,5	9,3
373H	Sup/Inf	9,8	13,5	39	56	11	35	13	34	3/6/10	6/24/29	2,5	10,0	9,6	10,0
383H	Sup/Inf	9,7	13,4	38	73	10	27	12	31	S/D		1,0	6,5	8,0	9,5

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO 6.4 FLUIDOS DE PERFORACIÓN PARA POZOS CON BROCAS DE MUY BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, SECCIÓN 12 1/4".

Pozo	Unidad	Densidad [ppg]		Viscosidad de Embudo [sec/quart]		PV: Viscosidad Plástica [cPs]		YP: Punto Cedente [lbs/1000ft ²]		Geles [10/10/30]	Sólidos [Lbs/bls]		pH	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
265D	Sup/Inf	9,5	10,9	43	52	15	19	14	22	7/13/19	4	12,5	10,7	11,0
280D	Sup/Inf	9,2	22,1	29	48	4	20	8	20	6/11/14	4	13,5	8,0	10,7
282D	Sup/Inf	9,5	11,1	32	52	4	17	8	23	8/16/23	4	12,0	8,5	10,4
363D	Sup/Inf	9,6	11,2	42	67	13	29	19	32	10/23/32	4	18,0	10,0	10,9

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO No 7

**TIEMPOS NETOS DE PERFORACIÓN POR BROCAS,
SEGÚN EFICIENCIA POR CANTIDAD DE BROCAS,
FORMACIÓN TIYUYACU.**

ANEXO 7.1 TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE ALTA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, FM. TIYUYACU.

No. Broca	Tipo de Broca	POZO	TIEMPO NETO PARA BROCAS DE ALTA EFICIENCIA EN LA FM. TIYUYACU					Tiempo Total
			Formación Tiyuyacu	Congl. Superior Tiyuyacu	Int. Tiyuyacu	Congl. Inferior Tiyuyacu		
1	PDC	208D	1,97	4,07	15,02	12,82	33,88	
20	PDC	281D	5,50	18,00	N/E	7,50	31,00	
29	PDC	302D	4,28	5,95	25,05	35,53	70,82	
30	PDC	303D	0,82	19,17	N/E	7,40	27,39	
32	PDC	314D	X	X	X	X	45,70	
50	PDC	362D	3,12	6,52	16,89	17,44	43,97	
57	PDC	366D	12,67	6,41	4,80	12,02	59,13	
61	PDC	380V	1,68	3,18	9,72	17,18	31,76	
62	PDC	382D	2,03	24,10	N/E	23,12	49,25	
66	PDC	384D	-	-	N/E	-	-	
66R	PDC		1,82	16,30	N/E	32,35	50,47	
Total de Brocas:			9	9	5	9	10	
Tiempo Mínimo:			0,82	3,18	4,80	7,40	27,39	
Tiempo Máximo:			12,67	24,10	25,05	35,53	70,82	
Tiempo Promedio:			3,77	11,52	14,30	18,37	44,34	

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Anexo 7.2 TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA SEGÚN CANTIDAD, FM. TIYUYACU.

No. Broca	Tipo de Broca	POZO	TIEMPO NETO PARA BROCAS DE EFICIENCIA MEDIA EN LA FM. TIYUYACU					Tiempo Total
			Formación Tiyuyacu	Congl. Superior Tiyuyacu	Int. Tiyuyacu	Congl. Inferior Tiyuyacu		
5	PDC	261D	5,00	19,31	N/E	-	24,31	
6	PDC		-	-	N/E	17,00	17,00	
7	PDC	263D	7,10	4,80	5,20	-	17,10	
8	PDC		-	-	18,47	8,35	26,82	
14	PDC	267D	10,50	23,30	N/E	7,55	41,35	
15	TRIC		-	-	-	17,44	17,44	
34	PDC	317H	2,20	6,67	10,97	2,99	22,83	
35	TRIC		-	-	-	23,12	23,12	
37	PDC	340D	6,68	7,09	13,78	-	27,55	

Continuación Anexo 7.2							
38	PDC		-	-	32,09	7,54	39,63
40	PDC	341D	19,20	10,10	N/E	7,60	36,90
41	TRIC		-	-	N/E	15,15	15,15
42	PDC	352D	20,95	1,35	N/E	20,00	42,30
43	TRIC		-	-	N/E	13,87	13,87
45	PDC	355D	14,74	7,80	14,74	-	37,28
46	PDC		-	-	5,98	15,16	21,14
51	PDC	363D	3,16	6,60	14,30	11,05	35,11
52	TRIC		-	-	-	14,77	14,77
55	PDC	365D	9,36	4,46	22,20	7,58	43,60
56	TRIC		-	-	-	17,97	17,97
58	PDC	373H	3,84	2,74	15,41	7,94	29,93
59	TRIC		-	-	-	16,46	16,46
63	PDC	383H	2,85	3,70	9,95	5,90	22,40
64	TRIC		-	-	-	19,46	19,46
Total de Brocas:			12	12	11	20	24
Tiempo Mínimo:			2,20	1,35	5,20	2,99	13,87
Tiempo Máximo:			20,95	23,30	32,09	23,12	43,60
Tiempo Promedio:			8,80	8,16	14,83	12,85	25,98

Fuente: ARCHIVOS ARCH.
Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Anexo 7.3 TIEMPO NETO DE PERFORACIÓN PARA BROCAS DE BAJA EFICIENCIA SEGÚN CANTIDAD, FM. TIYUYACU.

TIEMPO NETO PARA BROCAS DE BAJA EFICIENCIA EN LA FM. TIYUYACU							
No. Broca	Tipo de Broca	POZO	Formación Tiyuyacu	Congl. Superior Tiyuyacu	Int. Tiyuyacu	Congl. Inferior Tiyuyacu	Tiempo Total
2	PDC	239D	3,11	6,31	34,02	8,66	52,10
3	TRIC		-	-	-	7,50	7,50
4	TRIC		-	-	-	10,07	10,07
9	PDC	265D	9,50	7,70	5,52	-	22,72
10	PDC		-	-	15,95	9,73	25,68
11	TRIC		-	-	-	14,13	14,13
16	PDC	280D	5,10	14,50	-	-	19,60
17	PDC		-	-	13,00	4,55	17,55
18	TRIC		-	-	-	10,30	10,30
22	PDC	282D	7,27	8,05	-	-	15,32
23	PDC		-	-	23,14	4,29	27,43
24	TRIC		-	-	-	11,98	11,98
26	PDC	283D	10,54	9,10	19,45	-	39,09
27	PDC		-	-	9,19	4,38	13,57

Continuación Anexo 7.3							
28	TRIC		-	-	-	10,23	10,23
47	PDC	360V	2,52	7,56	18,76	11,44	40,28
49	PDC		-	-	-	3,92	3,92
Total de Brocas:			6	7	6	6	8
Tiempo Mínimo:			2,52	0,00	2,52	6,31	5,52
Tiempo Máximo:			10,54	14,50	10,54	14,50	34,02
Tiempo Promedio:			6,34	7,60	6,34	8,87	17,38

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Cuyos datos resumidos se presentan a continuación:

Anexo 7.4 TIEMPOS NETOS DE PERFORACIÓN PARA LA FM. TIYUYACU SEGÚN LA EFICIENCIA.

FORMACIÓN TIYUYACU				
Eficiencia	Total de Brocas	Tiempo Mínimo	Tiempo Máximo	Tiempo Promedio
Formación Tiyuyacu				
Alta	9	0,82	12,67	3,77
Media	12	2,20	20,95	8,80
Baja	6	2,52	10,54	6,34
Muy Baja	0	-	-	-
Conglomerado Superior Tiyuyacu				
Alta	9	3,18	24,10	11,52
Media	12	1,35	23,30	8,16
Baja	6	6,31	14,50	8,87
Muy Baja	0	-	-	-
Intercalación de Tiyuyacu				
Alta	5	4,80	25,05	14,30
Media	11	5,20	32,09	14,83
Baja	8	5,52	34,02	17,38
Muy Baja	0	-	-	-
Conglomerado Inferior Tiyuyacu				
Alta	9	7,40	35,53	18,37
Media	20	2,99	23,12	12,85
Baja	13	3,92	14,13	8,55
Muy Baja	0	-	-	-

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO No 8

**TASA DE PENETRACIÓN (ROP) PARA LA FORMACIÓN
TIYUYACU, SEGÚN LA EFICIENCIA POR CANTIDAD DE
BROCAS.**

ROP PARA LA FM. TIYUYACU, SEGÚN LA EFICIENCIA.

FORMACIÓN TIYUYACU				
Eficiencia	Total de Brocas	ROP Mínimo	ROP Máximo	ROP Promedio
Formación Tiyuyacu				
Alta	10	40,00	92,39	70,59
Media	12	40,00	90,00	59,37
Baja	6	35,00	65,59	49,65
Muy Baja	0	-	-	-
Conglomerado Superior Tiyuyacu				
Alta	10	28,00	65,00	40,50
Media	12	21,00	42,65	30,23
Baja	6	25,00	32,65	27,17
Muy Baja	0	-	-	-
Intercalación de Tiyuyacu				
Alta	5	42,45	75,00	60,98
Media	12	22,00	77,58	45,29
Baja	8	22,60	47,00	31,10
Muy Baja	0	-	-	-
Conglomerado Inferior Tiyuyacu				
Alta	10	24,00	53,20	33,05
Media	20	18,98	40,00	25,68
Baja	13	17,38	33,20	24,70
Muy Baja	0	-	-	-

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

ANEXO No 9

**PUNTAJES PARCIAL Y FINAL ASIGNADOS POR BROCA,
SEGÚN LOS ANÁLISIS TÉCNICOS, SECCIÓN 12 ¼”.**

		PUNTAJES (del 1 al 4)						
No. Broca	Calificación IADC	Cantidad de Brocas	Clasificación IADC	Espesor Perforado	Tiempo Neto de Perforación	Tasa de Penetración (ROP)	Total Puntaje	Tipo IADC
1	Tanto brocas Tricónicas, como PDC son aptas para perforar la Sección 12 1/4".	4	2	4	4	3	17,5	M223
2		2	2	4	3	3	14,5	M223
3			2	1		2	10,0	437X
4			2	1		1	9,0	437X
5			3	2		2	2	12,5
6		2		2	1	11,5	M223	
7		3	2	1	3	2	11,1	M323
8			2	2		2	12,5	M223
9		1	2	2	1	2	8,1	M323
10			1	1		2	6,0	S323
11			1	1		1	5,0	X122Y
12			2	1		1	5,8	M123
13			2	1		1	6,1	M323
14		3	2	4	3	3	15,1	M323
15			2	1		1	10,0	517
16		1	2	3	2	3	11,1	M323
17			2	1		2	8,1	M323
18			2	1		1	7,0	517
19			2	1		2	7,8	M123
20		3	2	2	4	3	14,1	M323
21			2	1		4	13,8	M123
22		1	2	3	3	4	13,1	M323
23			2	1		2	9,1	M323
24			2	1		1	8,0	517
25			2	1		3	9,8	M123
26		2	2	3	2	2	11,1	M323
27			2	1		2	9,1	M323
28			2	1		1	8,0	517
29		4	3	3	3	1	14,3	M423
30		3	2	3	4	4	16,5	M223
31			3	1		1	11,5	447W
32		3	2	2	4	2	13,5	M223
33			3	1		3	14,0	S123
34		2	2	1	1	2	8,5	M223
35			3	1		1	8,0	437
36			2	2		1	8,5	M223
37		2	2	2	2	1	9,1	M323
38			2	1		1	8,1	M323
39			2	1		1	8,1	M323

Continuación Anexo 9								
40	Tanto brocas Tricónicas, como PDC son aptas para perforar la Sección 12 1/4".	3	2	4	3	3	14,8	M123
41			2	1		1	10,0	437X
42		2	2	3	3	3	13,5	M223
43			2	1		1	9,0	517
44		3	2	1	3	2	9,8	M123
45			2	4		4	16,5	M223
46		-	2	1	3	2	11,1	M323
46R			-	-		-	-	M323
47		2	2	4	3	3	14,1	M323
48			-	-		-	-	347
48R			-	-		-	-	347
49			2	1		2	10,1	M323
50		4	2	4	3	2	15,5	M223
51		1	2	2	1	2	8,5	M223
52			2	1		1	6,0	437X
53			2	1		1	6,1	M223
54			2	1		1	6,5	M223
55		3	2	4	3	3	15,1	M323
56			2	1		1	10,0	517
57		4	2	2	4	2	14,1	M323
58		1	2	1	1	2	7,1	M323
59			2	1		1	6,0	517
60			2	1		2	7,1	M323
60R			2	1		1	6,1	M323
61		4	3	4	4	4	19,3	M423
62		4	3	4	3	3	17,3	M423
63	2	3	1	1	3	10,3	M423	
64		3	1		1	7,5	447W	
65		3	2		1	9,3	M423	
66	3	3	2	3	4	15,3	M423	
66R		3	2		2	13,3	M423	

Fuente: ARCHIVOS ARCH.

Elaborado por: Briones César/León Ruddy.

Con el resultado del análisis por clasificación IADC basado en eficiencias por cantidad de brocas, se obtiene el valor de la clasificación IADC utilizado en la tabla de resultados global de la siguiente forma: se multiplica el porcentaje de la tabla 3.29 por la eficiencia a la que corresponden. Es decir 4 para Alta Eficiencia, 3 para Eficiencia Media, 2 para Alta Eficiencia, 1 para Muy Baja Eficiencia. Esto con el fin de obtener un valor que represente la probabilidad de ocurrencia del tipo de broca IADC según las eficiencias.