ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TÉCNICA DE CAÑONEO CONVENCIONAL CON EL SISTEMA DE CAÑONEO TIPO ANCLA EN POZOS DE LA CUENCA ORIENTE

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN PETRÓLEOS

MARCO VINICIO BRITO FLORES
marco.britof@hotmail.com

DIRECTORA: ING. MÓNICA CATALINA GUERRERO SANTILLÁN
monic.4@hotmail.com

Quito, Septiembre 2013

DECLARACIÓN

Yo, Marco Vinicio Brito Flores declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis 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.

_____

Marco Vinicio Brito Flores

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Marco Vinicio Brito Flores, bajo mi supervisión.

Ing. Mónica Guerrero Santillán
DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Al Eterno Dios y Señor que me ha traído hasta aquí por amor de su Nombre, Jehová de los Ejércitos.

A mi madre por su lucha incansable, amor inigualable. Gracias mamá por batallar la vida, por ti estoy aquí.

A mi padre por sus consejos sabios y oportunos, y su confianza y apoyo sin igual.

A mis herman@s, por el amor y soporte que han sido y son para mí.

A mis amigos (los casi hermanos), y a todas las personas que de a poco se volvieron importantes para mí.

A todos y cada uno de mis profesores. Gracias por compartir sus conocimientos, y sobre todo su confianza.

A Mónica Guerrero y Mauricio Herrera, más que compañeros, dos grandes amigos.

Finalmente a todo el personal de Baker Hughes Inc. Especialmente al área de Wireline Services.

DEDICATORIA

A mis padres, Gloria y Marco.

A mis herman@s, María Fernanda, Luis Alberto y Michelle Carolina.

A mis abuelos, papá Tobi (Alberto), José Antonio y Carmelina.

Especialmente a mi mamá Tobita (Carmita). Siempre estarás en mi corazón.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN ..... **II**

CERTIFICACIÓN ..... **III**

AGRADECIMIENTOS ..... **IV**

DEDICATORIA ..... **V**

TABLA DE CONTENIDO ..... **VI**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **X**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **XIV**

RESUMEN ..... **XVI**

PRESENTACIÓN ..... **XVIII**

CAPÍTULO 1 ..... **1**

1 TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS DE CAÑONEO **1**

1.1 COMPONENTES DE UN CAÑÓN 2

1.1.1 CONTENEDOR *2*

1.1.2 DETONADOR *3*

1.1.3 CORDÓN DETONANTE *4*

1.1.4 CARGAS MOLDEADAS *5*

1.2 TIPOS DE CAÑONES 11

1.2.1 CAÑONES RECUPERABLES *11*

1.2.2 CAÑÓNES DESECHABLES *12*

1.3 OPERACIÓN DE CAÑONEO 13

1.3.1 DETONACIÓN DE LAS CARGAS MOLDEADAS *13*

1.3.2 PROCESO DE CAÑONEO *14*

1.3.3 DAÑO A LA FORMACIÓN DEBIDO AL CAÑONEO *15*

1.4 CONDICIONES HIDROSTÁTICAS PARA UN CAÑONEO 17

1.4.1 OPERACIÓN SOBRE BALANCE ESTÁTICO *18*

1.4.2 OPERACIÓN BAJO BALANCE ESTÁTICO *19*

1.4.3 CONSIDERACIONES PARA GENERAR UN DIFERENCIAL DE PRESIÓN DURANTE UNA OPERACIÓN DE CAÑONEO *20*
1.5 FACTORES GEOMÉTRICOS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UN CAÑONEO 23
1.5.1 PENETRACIÓN Y DIÁMETRO DEL AGUJERO *24*
1.5.2 DENSIDAD DE CARGAS Y FASE ANGULAR *24*
1.6 INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS DE UN CAÑÓN EN LA PRODUCTIVIDAD DE UN POZO 25
1.6.1 EFECTO DE LA PENETRACIÓN Y DENSIDAD DE CARGA EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD *26*
1.6.2 EFECTO DE LA FASE EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD *27*
1.6.3 JERARQUÍA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS EN EL DISEÑO DE UN CAÑONEO *28*
1.7 SISTEMAS DE CAÑONEO 29
1.7.1 CAÑONEO TRANSPORTADO POR CABLE ELÉCTRICO O WIRELINE (WL) 29
1.7.2 CAÑONEO TRANSPORTADO POR TUBERÍA (TUBING CONVEYED PERFORATING) *32*
1.7.3 CAÑONEO TRANSPORTADO POR TUBERÍA FLEXIBLE O COILED TUBING *34*
1.8 TÉCNICAS DE CAÑONEO 36
1.8.1 TÉCNICA DE CAÑONEO DE BAJO BALANCE DINÁMICO *36*
1.8.2 CAÑONEO TIPO ANCLA *38*

CAPITULO 2 41

2 EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LOS POZOS SELECCIONADOS 41

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS POZOS SELECCIONADOS 42
2.1.1 POZO-1 ..... *42*
2.1.2 POZO-2 ..... *46*
2.1.3 POZO-3 ..... *51*
2.1.4 POZO-4 ..... *56*
2.1.5 POZO-5 ..... *60*

2.1.6 POZO-6 ..... *65*
2.1.7 POZO-7 ..... *69*
2.1.8 POZO-8 ..... *73*
2.1.9 POZO-9 ..... *78*
2.1.10 POZO-10 ..... *82*
2.1.11 POZO-11 ..... *87*
2.1.12 POZO-12 ..... *92*
2.1.13 POZO-13 ..... *96*
2.1.14 POZO-14 ..... *101*
2.2 RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE POZOS SELECCIONADOS 105

CAPITULO 3 107

3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE LOS POZOS CAÑONEADOS CON SISTEMAS CONVECNIONALES Y ONE TRIP 107

3.1 PRESENTACIÓN DE CASOS 107
3.1.1 CASO 1 ..... *107*
3.1.2 CASO 2 ..... *113*
3.1.3 CASO 3 ..... *118*
3.1.4 CASO 4 ..... *123*
3.1.5 CASO 5 ..... *128*
3.1.6 CASO 6 ..... *134*
3.1.7 CASO7 ..... *139*
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE RESULTADOS 144

CAPÍTULO 4 150

4 ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DE CAÑONEO CONVENCIONAL Y ONE TRIP 150

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE COSTOS SISTEMAS DE CAÑONEO 151
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS 156

CAPITULO 5 159

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 159

5.1 CONCLUSIONES 159

5.2 RECOMENDACIONES 162

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 164

ANEXOS 165

ANEXO A: BHA SISTEMAS DE CAÑONEO 166

ANEXO B: ONE TRIP PLANNER..... 170

ANEXO C: REPORTES DE TIEMPO SISTEMAS DE CAÑONEO 177

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: PARTES DE UN CAÑÓN 2
FIGURA 1.2: DETONADOR ELÉCTRICO 3
FIGURA 1.3: DETONADOR DE PERCUSIÓN 4
FIGURA 1.4: ESQUEMA CORDÓN DETONANTE CON CUBIERTA DE NYLON 4
FIGURA 1.5: ELEMENTOS DE UNA CARGA MOLDEADA 5
FIGURA 1.6: CAPACIDAD EXPLOSIVA EN TIEMPO Y TEMPERATURA 9
FIGURA 1.7: CONFIGURACIÓN CARGA DE ALTA PENETRACIÓN 10
FIGURA 1.8: CONFIGURACIÓN CARGA DE AGUJERO GRANDE 10
FIGURA 1.9: ESQUEMA DE CAÑONES RECUPERABLES 11
FIGURA 1.10: ESQUEMA DE CAÑONES DESECHABLES Y SEMIDESECHABLES 12
FIGURA 1.11: DETONACIÓN PROGRESIVA DE UNA CARGA MOLDEADA ... 13
FIGURA 1.12: ESQUE DEL PROCESO DE CAÑONEO 14
FIGURA 1.13: ZONA COMPACTADA GENERADA LUEGO DEL CAÑONEO ... 16
FIGURA 1.14: GEOMETRÍA DE UNA PERFORACIÓN POR CAÑONEO 17
FIGURA 1.15: ESQUEMA DE CAÑONEO SOBRE BALANCEADO 19
FIGURA 1.16: ESQUEMA CAÑONEO BAJO BALANCEADO 20
FIGURA 1.17: LECTURA DE REGISTROS ACÚSTICO Y DENSIDAD PARA ROCAS CONSOLIDADAS Y ROCAS NO CONSOLIDADAS 21
FIGURA 1.18: FACTORES GEOMÉTRICOS DE UN CAÑONEO 23
FIGURA 1.19: ESQUEMA DE PENETRACIÓN Y DIÁMETRO DE UNA PERFORACIÓN 24
FIGURA 1.20: CONFIGURACIÓN DE CARGAS DE ACUERDO A SU FASE 25
FIGURA 1.21: EFECTO DE LA PENETRACIÓN Y DENSIDAD DE CARGAS EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD 26
FIGURA 1.22: EFECTO DE LA FASE ANGULAR EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD 27
FIGURA 1.23: ESQUEMA DE CAÑONEO A TRAVÉS DE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN 31
FIGURA 1.24: ESQUEMA CAÑONEO A TRAVÉS DEL REVESTIDOR 32
FIGURA 1.25: ESQUEMA CAÑONEO A TRANSPORTADO POR TUBERÍA 33

FIGURA 1.26: UNIDAD DE TUBERÍA FLEXIBLE..... 34
FIGURA 1.27: GRÁFICA PRESIÓN VERSUS TIEMPO (CRUSHED ZONE FAILURE)..... 36
FIGURA 1.28: GRÁFICA PRESIÓN VERSUS TIEMPO (CLEAN-OUT SURGE). 37
FIGURA 1.29: ESQUEMA CAÑÓN TIPO ANCLA..... 39
FIGURA 2.1: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-1 (ESCALA 1:200 MD)..... 43
FIGURA 2.2: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-1 (ESCALA 1:200 MD).... 45
FIGURA 2.3: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-2 (ESCALA 1:200 MD)..... 47
FIGURA 2.4: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-2 (ESCALA 1:200 MD).... 50
FIGURA 2.5: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-3 (ESCALA 1:200 MD)..... 52
FIGURA 2.6: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-3 (ESCALA 1:200 MD).... 54
FIGURA 2.7: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-4 (ESCALA 1:200 MD)..... 57
FIGURA 2.8: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-4 (ESCALA 1:200 MD).... 59
FIGURA 2.9: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-5 (ESCALA 1:200 MD)..... 62
FIGURA 2.10: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-5 (ESCALA 1:200 MD).. 63
FIGURA 2.11: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-6 (ESCALA 1:200 MD).... 66
FIGURA 2.12: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-6 (ESCALA 1:200 MD).. 68
FIGURA 2.13: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-7 (ESCALA 1:200 MD).... 70
FIGURA 2.14: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-7 (ESCALA 1:200 MD).. 72
FIGURA 2.15: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-8 (ESCALA 1:200 MD).... 75
FIGURA 2.16: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-8 (ESCALA 1:200 MD).. 77
FIGURA 2.17: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-9 (ESCALA 1:200 MD).... 79
FIGURA 2.18: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-9 (ESCALA 1:200 MD).. 81
FIGURA 2.19: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-10 (ESCALA 1:200 MD).. 84
FIGURA 2.20: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-10 (ESCALA 1:200 MD) 86
FIGURA 2.21: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-11 (ESCALA 1:200 MD).. 89
FIGURA 2.22: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-11 (ESCALA 1:200 MD) 90
FIGURA 2.23: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-12 (ESCALA 1:200 MD).. 93
FIGURA 2.24: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-12 (ESCALA 1:200 MD) 95
FIGURA 2.25: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-13 (ESCALA 1:200 MD).. 98
FIGURA 2.26: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-13 (ESCALA 1:200 MD) 99
FIGURA 2.27: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-14 (ESCALA 1:200 MD) 102

FIGURA 2.28: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-14 (ESCALA 1:200 MD) 104
FIGURA 3.1: CORRELACIÓN POZO-1 CON POZO-2 (ESCALA 1:200 TVD).... 108
FIGURA 3.2: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 1 110
FIGURA 3.3: DAÑO COMPARATIVO CASO 1 112
FIGURA 3.4: CORRELACIÓN POZO-3 CON POZO-4 (ESCALA 1:200 TVD).... 114
FIGURA 3.5: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 2 116
FIGURA 3.6: DAÑO COMPARATIVO CASO 2 117
FIGURA 3.7: CORRELACIÓN POZO-5 CON POZO-6 (ESCALA 1:200 TVD).... 119
FIGURA 3.8: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 3 121
FIGURA 3.9: DAÑO COMPARATIVO CASO 3 122
FIGURA 3.10: CORRELACIÓN POZO-7 CON POZO-8 (ESCALA 1:200 TVD).. 124
FIGURA 3.11: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 4 127
FIGURA 3.12: DAÑO COMPARATIVO CASO 4 128
FIGURA 3.13: CORRELACIÓN POZO-9 CON POZO-10 (ESCALA 1:200 TVD) 129
FIGURA 3.14: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 5 132
FIGURA 3.15: DAÑO COMPARATIVO CASO 5 133
FIGURA 3.16: CORRELACIÓN POZO-11 CON POZO-12 (ESCALA 1:200 TVD) 135
FIGURA 3.17: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 6 137
FIGURA 3.18: DAÑO COMPARATIVO CASO 6 138
FIGURA 3.19: CORRELACIÓN POZO-13 CON POZO-14 (ESCALA 1:200 TVD) 140
FIGURA 3.20: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 7 142
FIGURA 3.21: DAÑO COMPARATIVO CASO 7 143
FIGURA 3.22: DAÑO PROMEDIO SISTEMAS DE CAÑONEO 145
FIGURA 3.23: PRODUCCIÓN-DAÑO SISTEMAS DE CAÑONEO 146
FIGURA 3.24: PRODCUCCIÓN VS. DAÑO POR SISTEMA DE CAÑONEO 147
FIGURA 3.25: PRODUCCIÓN POR ARENAS SISTEMA WIRELINE-ONE TRIP 148
FIGURA 3.26: DAÑO RESULTANTE POR ARENAS SISTEMA WIRELINE-ONE TRIP 149
FIGURA 4.1: RELACIÓN DE COSTOS SISTEMAS DE CAÑONEO 151

FIGURA 4.2: RELACIÓN COSTOS SISTEMAS CAÑONEO (CASO HIPOTÉTICO)..... 152
FIGURA 4.3: TIEMPO DE EJECUCIÓN SISTEMAS DE CAÑONEO 153
FIGURA 4.4: TIEMPO CAÑONEO-PRODUCCIÓN SISTEMAS DE CAÑONEO 154
FIGURA 4.5: COSTOS OPERATIVOS Y DE SERVICIO SISTEMAS DE CAÑONEO..... 155
FIGURA 4.6: RELACIÓN COSTOS SERVICIO-OPERACIÓN SISTEMAS DE CAÑONEO..... 156

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS 8
TABLA 1.2: PRESIÓN DIFERENCIAL PREVIA AL DISPARO 22
TABLA 1.3: JERARQUÍA DE FACTORES GEOMÉTRICOS DE ACUERDO A LA COMPLETACIÓN 28
TABLA 1.4: JERARQUÍA FACTORES GEOMÉTRICOS DE ACUERDO AL TIPO DE FORMACIÓN 29
TABLA 2.1: DATOS PETROFÍSICOS POZO-1 43
TABLA 2.2: RESULTADOS BUILD UP POZO-1 46
TABLA 2.3: PROPIEDADES PETROFÍSICAS POZO-2 48
TABLA 2.4: RESULTADOS BUILD UP POZO-2 51
TABLA 2.5: PROPIEDADES PETROFÍSICAS ARENA U INFERIOR POZO-3 53
TABLA 2.6: RESULTADOS BUILD UP POZO-3 55
TABLA 2.7: DATOS PETROFÍSICOS POZO-4 58
TABLA 2.8: RESULTADOS BUIL UP POZO-4 60
TABLA 2.9: DATOS PETROFÍSICOS POZO-5 61
TABLA 2.10: RESULTADOS BUIL UP POZO-5 65
TABLA 2.11: DATOS PETROFÍSICOS POZO-6 67
TABLA 2.12: RESULTADOS BUILD UP POZO-6 69
TABLA 2.13: DATOS PETROFÍSICOS POZO-7 71
TABLA 2.14: RESULTADOS BUIL UP POZO-7 73
TABLA 2.15: DATOS PETROFÍSICOS POZO-8 75
TABLA 2.16: RESULTADOS BUILD UP POZO-8 78
TABLA 2.17: DATOS PETROFÍSICOS POZO-9 80
TABLA 2.18: RESULTADOS BUIL UP POZO-9 82
TABLA 2.19: DATOS PETROFÍSICOS POZO-10 85
TABLA 2.20: RESULTADOS BUILD UP POZO-10 87
TABLA 2.21: DATOS PETROFÍSICOS POZO-11 88
TABLA 2.22: RESULTADOS BUIL UP POZO-11 91
TABLA 2.23: DATOS PETROFÍSICOS POZO-12 94
TABLA 2.24: RESULTADOS BUILD UP POZO-12 96
TABLA 2.25: DATOS PETROFÍSICOS POZO-13 97

TABLA 2.26: RESULTADOS BUIL UP POZO-13 101
TABLA 2.27: DATOS PETROFÍSICOS POZO-14 103
TABLA 2.28: RESULTADOS BUILD UP POZO-14 105
TABLA 2.29: RESUMEN EVALUACIÓN POZOS SELECCIONADOS 106
TABLA 3.1: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 1 109
TABLA 3.2: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 1 109
TABLA 3.3: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 2 114
TABLA 3.4: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 2 115
TABLA 3.5: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 3 120
TABLA 3.6: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 3 120
TABLA 3.7: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 4 125
TABLA 3.8: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 2 125
TABLA 3.9: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 4 130
TABLA 3.10: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 5 131
TABLA 3.11: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 6 135
TABLA 3.12: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 6 136
TABLA 3.13: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 7 140
TABLA 3.14: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 6 141
TABLA 4.1: RESUMEN COSTOS SISTEMAS DE CAÑONEO 157

RESUMEN

Basado en la necesidad de comunicar la formación con el pozo, la industria petrolera ha desarrollado varias técnicas para conseguirlo. El presente proyecto de titulación considera algunos de los sistemas de cañoneo mayormente utilizados de forma convencional, además del sistema de cañoneo tipo ancla de Baker Hughes denominado One Trip en un análisis comparativo de rendimiento, efectividad y costos que permita tener un panorama global de los sistemas de cañoneo que se utilizan actualmente para cañonear pozos en la cuenca oriente. Este proyecto de titulación ha sido dividido en cinco capítulos, en los cuales de forma detallada, se procura presentar toda la información que sea trascendental y de utilidad para cumplir con los objetivos del proyecto.

El primer capítulo resume toda la teoría detrás del cañoneo partiendo de lo particular a lo general. En este capítulo se describe de forma general los tipos de cañones, pasando por explosivos, detonadores, hasta sistemas y técnicas de cañoneo, finalizando con la técnica One Trip.

El segundo capítulo describe detalladamente los 14 pozos seleccionados de la cuenca oriente, tomando en cuenta los registros a hoyo abierto, es decir todo lo relacionado a petrofísica; así como también cementación, cañoneo y build up de cada pozo.

El tercer capítulo muestra la correlación de los pozos seleccionados teniendo en cuenta la arena, el espesor, y el sistema de cañoneo. De forma medular en este capítulo se muestra el análisis de cada sistema de cañoneo tomando como premisa todos los datos mostrados en el capitulo dos, principalmente producción y daño de formación.

El cuarto capítulo presenta relaciones de costos porcentuales, y un ejemplo hipotético de costos que cada uno de los sistemas de cañoneo mencionados en el presente proyecto pudiera tener. Se considera el costo del servicio y costo de la

operación, es decir tomando en cuenta costos como alquiler de taladro, catering, personal del taladro, etc.

El quinto capítulo resume en conclusiones y recomendaciones los datos válidos obtenidos al final del proyecto, haciendo énfasis en cada uno de los sistemas de cañoneo. De la misma forma se añaden lecciones aprendidas y posibles nuevos alcances del presente proyecto de titulación.

PRESENTACIÓN

Durante la vida operativa de un pozo, la fase de cañoneo es una de las más críticas dentro de la etapa de completación y terminación del mismo ya que constituye el primer contacto del pozo y el reservorio.

En la cuenca oriente, dependiendo de la compañía operadora y de la formación, se utilizan varios de los más conocidos sistemas de cañoneo convencional, y en los últimos años la técnica de cañoneo tipo ancla, apuntando siempre a la reducción de daño a la formación debido al cañoneo, reducir costos e incrementar el rendimiento natural del reservorio reflejado en la producción.

A través de la selección de pozos de la cuenca oriente, los cuales han sido cañoneados con el sistema TCP, wireline o tipo ancla; que al ser evaluados y analizados pre y post-cañoneo, se determina la efectividad en reducción de daño y producción de cada sistema de cañoneo.

Al final del análisis se ofrece un nuevo panorama que permita tomar decisiones con respecto a la implementación de uno u otro sistema, teniendo en cuenta a la vez los costos operativos asociados, y cual es la relación entre cada uno de los sistemas; que en definitiva repercutirá con la vida operativa del pozo en corto, mediano y largo plazo al intervenir o no en lo posterior con operaciones de reacondicionamiento del pozo.

CAPÍTULO 1
TEORÍA GENERAL DE LOS SISTEMAS DE CAÑONEO

Una vez que un pozo ha sido perforado, evaluado a través de registros eléctricos, revestido y debidamente cementado; es necesario poner en producción dicho pozo. El principal inconveniente de la puesta en producción de un pozo terminado es el cemento y revestidor que no permiten comunicar los fluidos contenidos en la roca reservorio hacia el pozo.

La etapa de cañoneo de un pozo es una de las operaciones más críticas y decisivas en la vida operativa del mismo, ya que después de meses de planeamiento del pozo, perforación y completación; todo se resume al instante en el que el pozo empezará a producir.

Históricamente se han desarrollado varias técnicas a través de las cuales es posible poner en producción un pozo, creando espacios o agujeros de cierto diámetro en el revestidor y profundidad en la formación para lograr un flujo de fluidos sin restricciones hacia el pozo; y es esta técnica la que actualmente se conoce como cañoneo.

La industria petrolera ha desarrollado varios métodos para llevar a cabo la operación de cañoneo, de tal forma que se ajusten a las características del pozo y formación, logrando así que se reduzca en lo posible el daño a la formación debido a las cargas y fluidos de terminación utilizados, así como también superar la región dañada de la formación causada durante la perforación del pozo; paralelamente reduciendo tiempos de operación los que se traducen finalmente en disminución de costos operacionales.

La técnica de cañoneo más utilizada en la industria petrolera consiste en la utilización de cargas explosivas distribuidas dentro de una carcasa metálica o cañón, las que direccionadas correctamente permiten crear una comunicación

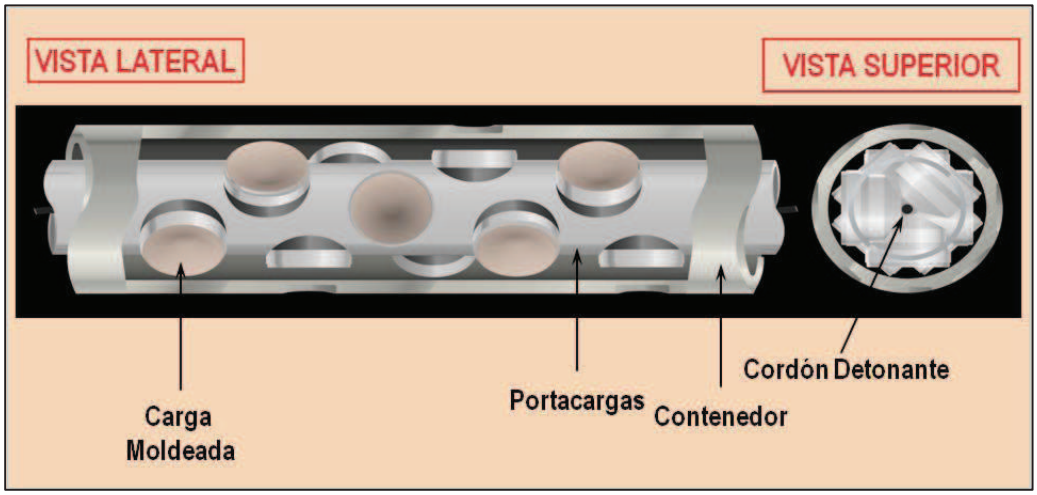
entre la formación contenedora de fluidos y el pozo, superando barreras principales tales como el cemento y el revestidor.

Un correcto diseño del sistema de cañoneo (selección de cargas, densidad de disparos, etc.); seguido de correctas consideraciones con respecto al tipo de formación, sea esta consolidada, o no consolidada, determinará el futuro productivo, y la necesidad de futuras y costosas intervenciones al pozo.

1.1 COMPONENTES DE UN CAÑÓN

Existe una gran variedad de cañones ampliamente utilizados en la industria petrolera, pero todos están principalmente constituidos por un contenedor, detonador, cordón detonante y cargas moldeadas. (**FIGURA 1.1**).

FIGURA 1.1: PARTES DE UN CAÑÓN



Fuente: Baker Hugues, *Wireline Services*

1.1.1 CONTENEDOR

El contenedor es la parte metálica o tubería que transporta las cargas explosivas. Al contenedor también se lo conoce como porta cargas, y será el primer obstáculo que la carga deberá superar hasta abrirse paso hacia la formación.

1.1.2 DETONADOR

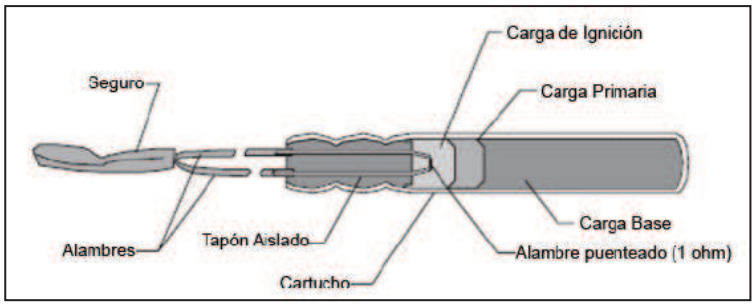
El detonador es el dispositivo que inicia todo el proceso de detonación de las cargas moldeadas. Para un éxito en la ejecución del cañoneo, el explosivo del detonador debe estar en contacto con el explosivo del cordón detonante.

Para las aplicaciones de cañoneo existen dos tipos de detonador: eléctricos y de percusión.

1.1.2.1 Detonadores eléctricos

Los detonadores eléctricos son dispositivos que permiten iniciar la detonación de las cargas en cañones transportados por cable eléctrico. Se los conoce comúnmente como dispositivos electro-explosivos (**FIGURA 1.2**).

FIGURA 1.2: DETONADOR ELÉCTRICO

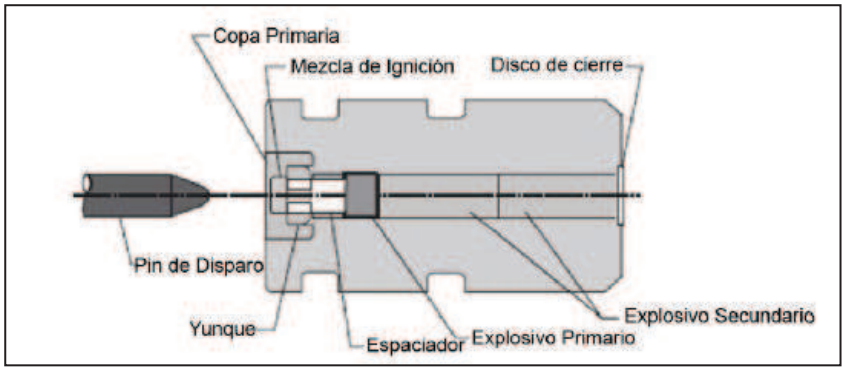


Fuente: Halliburton

1.1.2.2 Detonadores de percusión

Los detonadores de percusión permiten el accionamiento del cañoneo a través de un golpe que lo genera un pin (“gatillo” de disparo a una sección muy sensible del detonador, provocando una reacción de los explosivos (**FIGURA 1.3**).

FIGURA 1.3: DETONADOR DE PERCUSIÓN

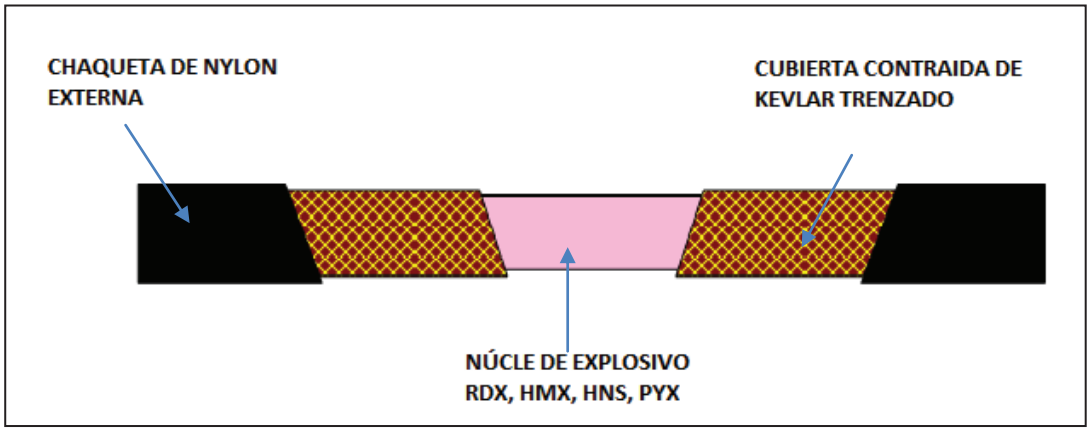


Fuente: Halliburton

1.1.3 CORDÓN DETONANTE

El cordón detonante es un sistema explosivo que permite el accionamiento de las cargas moldeadas de forma secuencial a lo largo de todo el cañón. Se encuentra recubierto para protegerlo de fluidos, abrasión y maltrato (**FIGURA 1.4**). El recubrimiento puede ser de nylon o plomo, donde la exposición a la temperatura será hasta 375°F para nylon y temperaturas mayores a 375°F para plomo. La efectividad de un cordón detonante radica en su velocidad de detonación que está en el orden de 6 000 m/s. Su vida útil puede ser de hasta 5 años.

FIGURA 1.4: ESQUEMA CORDÓN DETONANTE CON CUBIERTA DE NYLON

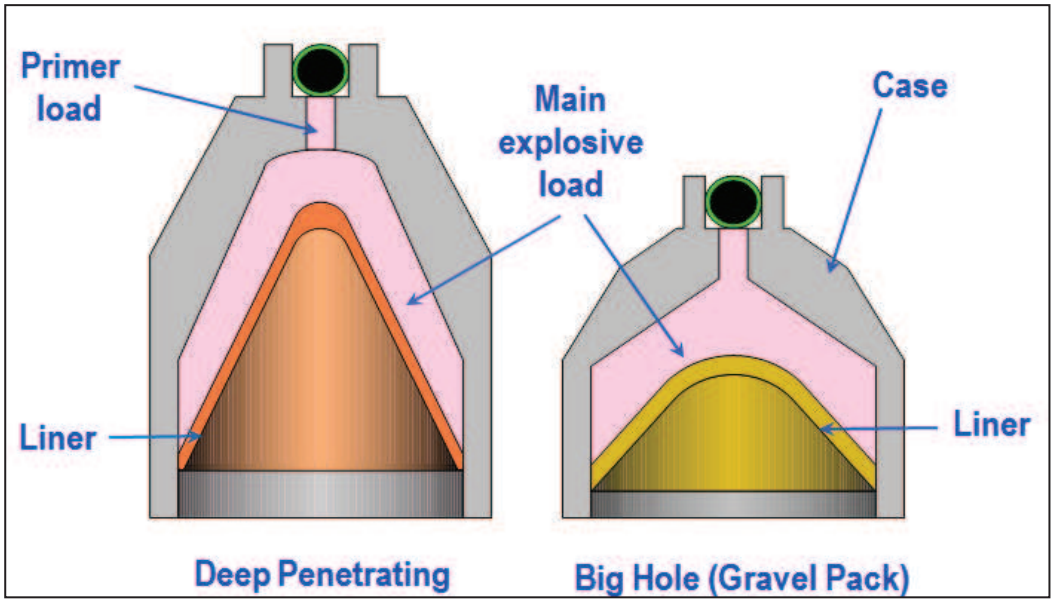


Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

1.1.4 CARGAS MOLDEADAS

Las cargas moldeadas son un compuesto de varios elementos, que juntos generan una explosión, logrando así perforar el revestidor, cemento y formación. Una carga moldeada puede generar una onda de presión de hasta 5 millones de psi. Los elementos que forman parte de una carga moldeadas son: carga explosiva iniciadora, carga explosiva principal, contenedor, liner o cubierta y perforación para cordón detonante (**FIGURA 1.5**).

FIGURA 1.5: ELEMENTOS DE UNA CARGA MOLDEADA



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

Cada uno de estos elementos cumple una función determinada que se describe a continuación:

- **Carga explosiva iniciadora:** También conocido como “primer”, es un explosivo de alta sensibilidad, la que a través del cordón detonante, inicia la detonación de la carga.
- **Carga explosiva principal:** Es el explosivo propiamente dicho, y su detonación provocará la penetración en el revestidor, cemento y formación.
- **Contenedor:** El contenedor permite retener la fuerza de la detonación para direccionarla en forma de chorro. El material del que este fabricado y la disposición del liner determinará la forma del chorro.

- **Liner o cubierta:** El liner es un revestimiento de forma cónica que está en el centro de la carga. El ángulo que tenga el liner, sea mayor o menor; determinará una mayor o menor penetración.
- **Cavidad para cordón detonante:** Esta cavidad permite instalar el cordón detonante para así iniciar la explosión.

En la industria petrolera, se utilizan una gran variedad de cargas, las mismas que son seleccionados de acuerdo a sus características como rendimiento, temperatura de ignición, entre otras. La correcta selección y funcionamiento de la carga es de crucial importancia; un error en su funcionamiento o selección no garantizará un cañoneo efectivo, por lo que operaciones de reacondicionamiento del pozo serán necesarias, incrementando los costos de operación y reduciendo el potencial del pozo.

Cada carga utilizada posee una certificación conocida como carta API de explosivos, la que es avalada por el Instituto Americano del Petróleo (API), en la que se registra su desempeño en lo que respecta a penetración, diámetro de hoyo, etc. así como las condiciones bajo las cuales se realiza la prueba.

Las pruebas para cada carga se realizan en bloques de concreto cuyas características varían de acuerdo al tipo de carga.

Por ejemplo, la carta API de la carga 4539 Predator ZX, que es una carga moldeada con 39 g. de explosivo HMX, carcasa de acero, fase de disparo de 60°, a 5 disparos por pie; detalla que la prueba se realizó en un bloque de concreto de 16 535 lb de cemento, 33 120 lb de arena y 8 753 lb de agua, con un tiempo de fraguado de 29 días. El bloque fue revestido con un casing de 7 pulgadas de diámetro externo, 32 lb/ft de peso y grado L-80.

1.1.4.1 Explosivos

Los explosivos más utilizados en operaciones de cañoneo en la industria petrolera son los siguientes: RDX, HMX, HNS, y PYX. Cada uno de ellos responde de forma diferente a la temperatura y presión a la que estén expuestos (**TABLA 1.1**).

1.1.4.1.1 RDX

El explosivo RDX es una composición de ciclotrimetileno-trinitramina. También conocido como Ciclonita o Hexógeno. La especificación del RDX es de 325 °F (163 °C) durante 1 hora. Por lo general, es de color rosa cuando se usa en cordones detonantes y gris en cargas moldeadas.

1.1.4.1.2 HMX

El explosivo HMX es una composición de ciclotetrametileno-tetranitramina. La especificación del HMX es de 400 °F (204 °C) por 1 hora y es generalmente blanco. Tiene la misma capacidad explosiva y sensibilidad a la iniciación que el RDX, pero cuesta aproximadamente el doble.

1.1.4.1.3 HNS

El explosivo HNS es un compuesto denominado Hexanitroestilbeno. Está especificado a 500 °F (260 °C) por 1 hora. Generalmente es amarillo. El HNS tiene aproximadamente el 80% de la capacidad explosiva del RDX y es menos sensible a la iniciación, pero cuesta unas 35 veces más.

1.1.4.1.4 PYX

El explosivo PYX se nombra químicamente como 2,6 Bis Picrilamino -3,5 - dinitropiridina. La especificación del PYX es de 520 °F (271 °C) por 1 hora. El PYX suele ser de color amarillo. Tiene alrededor del 80% de la capacidad explosiva del RDX, pero es menos sensible a la iniciación y cuesta unas 37 veces más.

TABLA 1.1: PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

EXPLOSIVO	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (ft/s)	TEMPERATURA MÁXIMA DE EXPOSICIÓN POR HORA (°F/hr)	PRESIÓN DE DETONACIÓN (MM psi)	DENSIDAD (g/cm3)	COLOR
RDX (Royal Demolition Explosive)	28 709	330	5	1.82	Rosado
HMX (High Melting Explosive)	29 857	410	5.7	1.9	Blanco
HNS (Hexanitrostilbeno)	24 967	535	3.5	1.75	Amarillo
PYS (Picrilaminodinitropiridina)	24 623	565	7.7	1.77	Amarillo intenso

Fuente: Baker Hughes

Elaborador por: Marco Brito Flores

1.1.4.2 Caracterización de los explosivos

Los explosivos pueden caracterizarse de acuerdo a su sensitividad o su estabilidad.

1.1.4.2.1 Sensitividad

La sensitividad es una medida de la energía mínima, presión o potencia requerida para iniciar un explosivo. A través de este factor es posible conocer con qué facilidad la carga puede detonarse. La sensitividad se puede catalogar hacia el impacto o hacia la chispa.

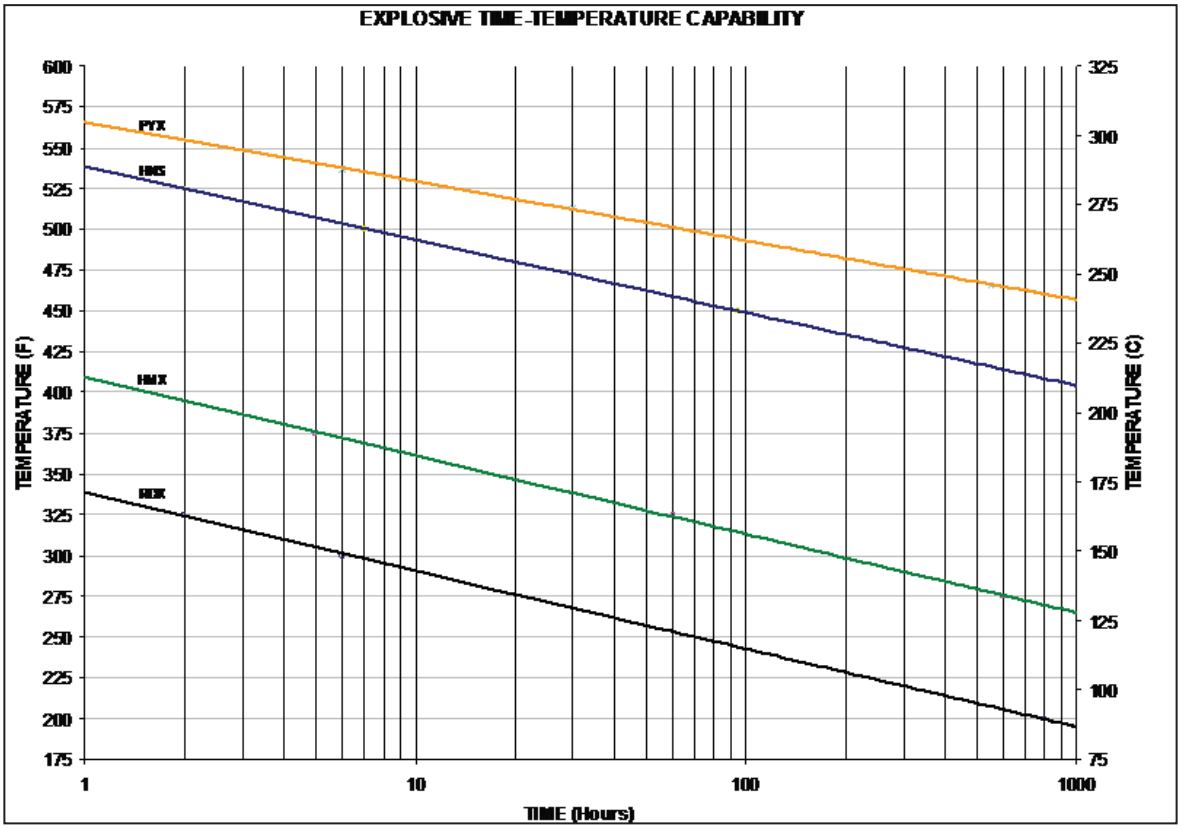
a. **Al impacto:** Es la altura mínima de la cuál puede dejarse caer un peso sobre el explosivo para que éste detone.
b. **A la chispa:** Es la cantidad de energía que debe tener una chispa para detonar un explosivo.

1.1.4.2.2 Estabilidad

La estabilidad se refiere a la capacidad de un explosivo para perdurar por largos periodos de tiempo o para soportar altas temperaturas sin descomponerse o resultar afectado.

Los explosivos usados en el cañoneo deben tener una alta estabilidad para que puedan ser almacenados por distintos intervalos de tiempo y que al ser expuestos a las condiciones de temperatura del pozo estos puedan operar de forma efectiva.

FIGURA 1.6: CAPACIDAD EXPLOSIVA EN TIEMPO Y TEMPERATURA



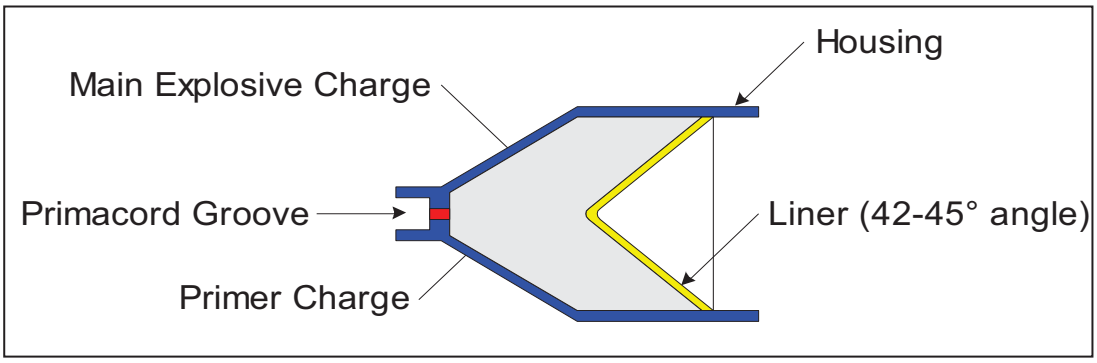
Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

En la **FIGURA 1.6** se presentan las condiciones de temperatura a las que debe estar sometido una carga para no perder su estabilidad. Por ejemplo el explosivo RDX puede estar sometido a una temperatura de 225 °F por un periodo máximo de 200 horas.

1.1.4.2.3 Rendimiento de una carga

Una carga puede tener varios resultados al ser detonada de acuerdo a la forma que se manejen ciertos parámetros de diseño. Los principales resultados de una carga serán provocar una alta penetración o un hoyo grande.

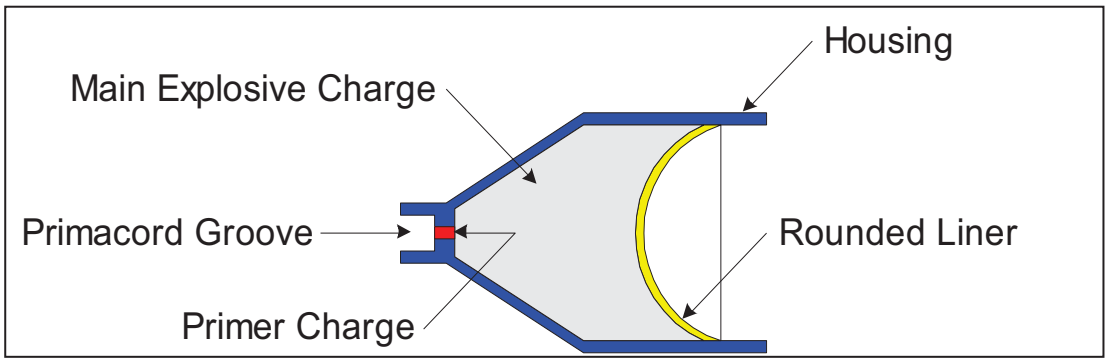
FIGURA 1.7: CONFIGURACIÓN CARGA DE ALTA PENETRACIÓN



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

En la **FIGURA 1.7** se puede observar la configuración de una carga de alta penetración (Deep Penetration), la cual al ser detonada resulta en un agujero de entrada de pequeño diámetro (0.25 a 0.5 pulgadas), pero con una alta profundidad de penetración (13 a 43 pulgadas).

FIGURA 1.8: CONFIGURACIÓN CARGA DE AGUJERO GRANDE



Fuente: Baker Hughes, Wireline Services

En la **FIGURA 1.8** se muestra la configuración de una carga de agujero grande la que al ser detonada resulta en un agujero de entrada con un diámetro

pronunciado (0.5 a 1.125 pulgadas) pero con una reducida profundidad en la penetración (5 a 8 pulgadas)

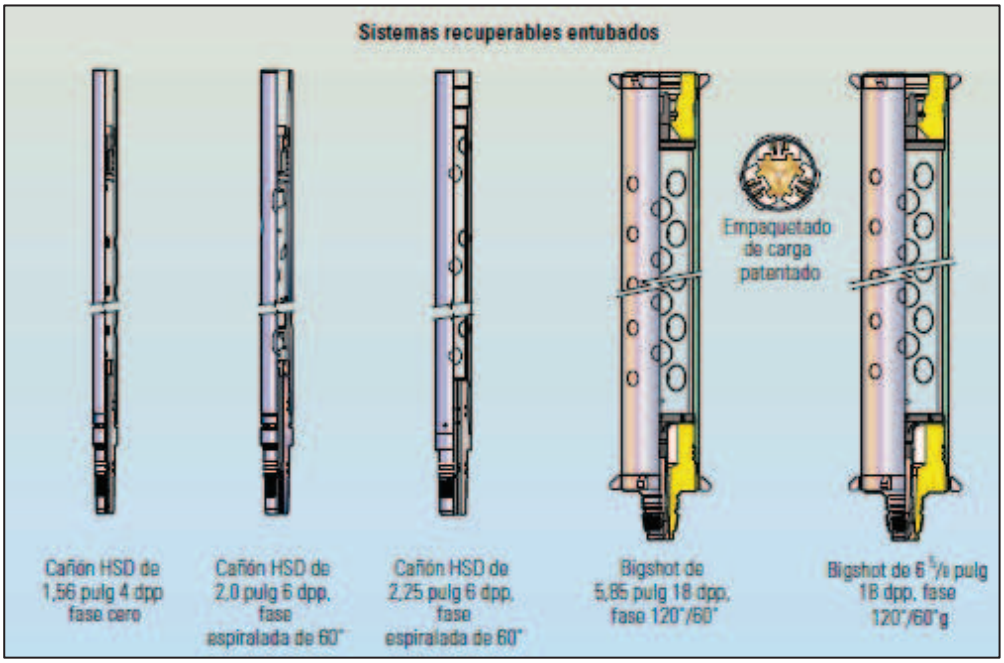
1.2 TIPOS DE CAÑONES

En la industria petrolera, las operaciones de cañoneo utilizan una variedad de cañones, los que pueden ser transportados por cable o tubería y son seleccionados de acuerdo a las necesidades o condiciones de los pozos. Los cañones pueden ser: recuperables, desechables y semidesechables.

1.2.1 CAÑONES RECUPERABLES

Los sistemas recuperables entubados, con cargas no expuestas (**FIGURA 1.9**) son transportados por cable de acero, tubería de producción o sartas de perforación, los residuos provenientes del cañoneo; es decir, explosivos y lámina portadora son recuperados, logrando así que la basura en el pozo sea prácticamente nula. Al no estar expuestas las cargas a la presión y ambiente del pozo, se pueden realizar operaciones de cañoneo en ambientes más severos.

FIGURA 1.9: ESQUEMA DE CAÑONES RECUPERABLES



Fuente: Schlumberger

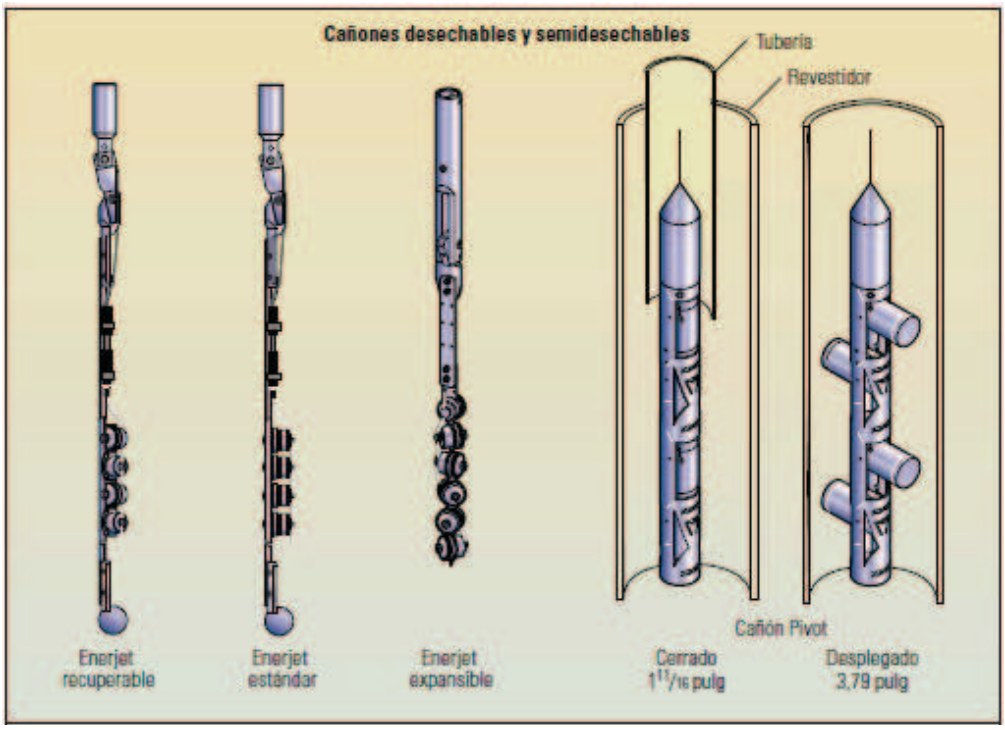
1.2.2 CAÑÓNES DESECHABLES

Los cañones desechables se caracterizan porque los residuos de las cargas, cordón detonante, y el sistema portador (Lámina, alambre, uniones de cargas) permanecen en el pozo luego de la detonación. Una ventaja es que al no estar contenidas las cargas dentro de un tubo, pueden ser de mayor tamaño con lo que se obtiene una mayor penetración. Este cañón no posee una entubación que recubra las cargas, sino que estas bajan expuestas a la presión y temperatura de fluidos contenidos en el pozo, generando una desventaja debido a que esto limita la operación.

1.2.2.1 CAÑONES SEMIDESECHABLES

Muy similar al sistema de cañones desechables, solo que en esta ocasión, luego de la detonación de las cargas, se recupera el porta cargas.

FIGURA 1.10: ESQUEMA DE CAÑONES DESECHABLES Y SEMIDESECHABLES



Fuente: Schlumberger

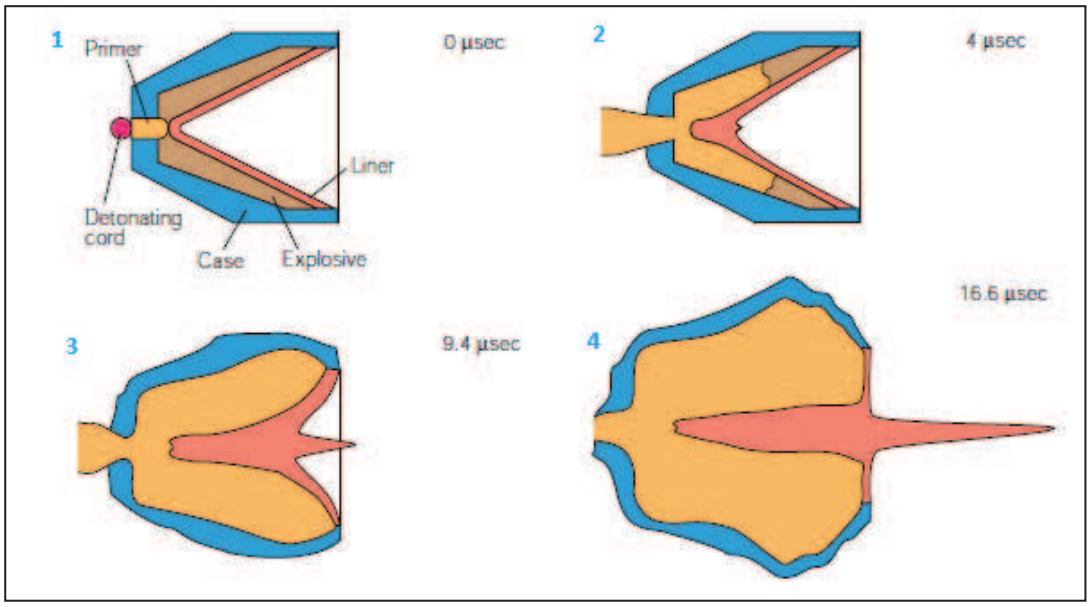
1.3 OPERACIÓN DE CAÑONEO

La operación de cañoneo, como se mencionó anteriormente tiene como último fin crear una comunicación que permitirá el flujo de los fluidos desde la formación hacia el pozo, por lo que se concentrará así, la atención a lo que sucede en la carga una vez detonado y en la formación una vez que ha sido cañoneada.

1.3.1 DETONACIÓN DE LAS CARGAS MOLDEADAS

Una vez que el detonador ha sido accionado a través del cordón detonante empezará una secuencial detonación de las cargas moldeadas, proceso que durará solo unos cuantos microsegundos (**FIGURA 1.11**).

FIGURA 1.11: DETONACIÓN PROGRESIVA DE UNA CARGA MOLDEADA



Fuente: Schlumberger

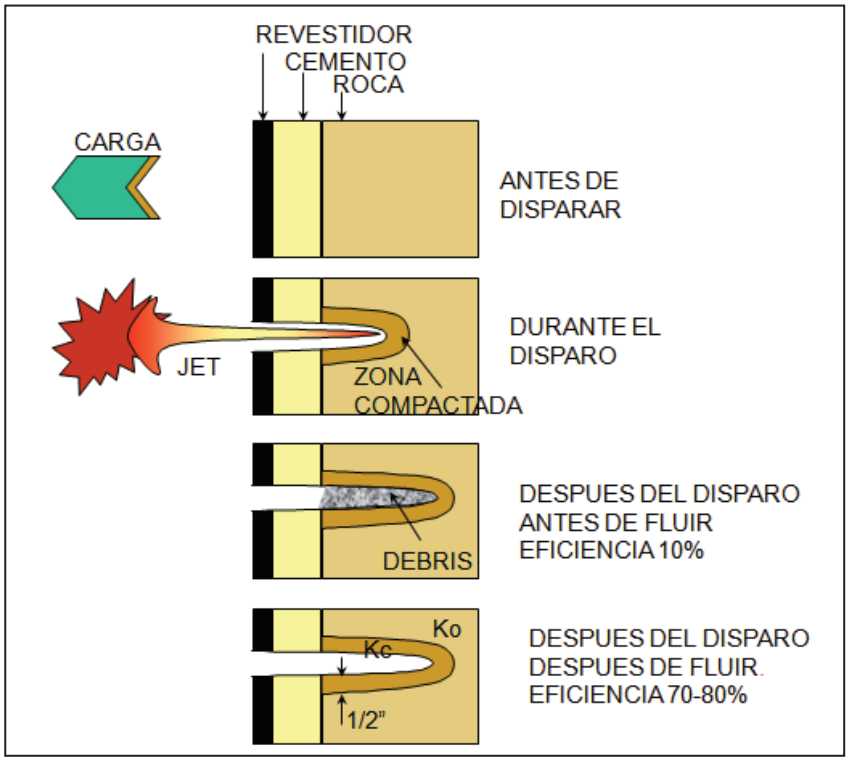
En la **FIGURA 1.11**, se puede ver que se tiene inicialmente la carga moldeada con todas sus partes. A los 4 microsegundos después de la detonación, se observa ya una deformación del liner y una expansión de la carga explosiva. A los 9.4 microsegundos, ya se ha añadido una deformación a la carcasa de la carga moldeada, y aun más expansión de la carga explosiva. Además ya se ven pequeños rasgos de lo que conformará el jet perforador. A los 16.6

microsegundos la detonación de la carga moldeada está en su máximo punto explosivo, con un disparo perfectamente formado.

1.3.2 PROCESO DE CAÑONEO

El proceso de cañoneo consiste a más de la detonación de la carga moldeada, en la perforación del revestidor, cemento y formación (**FIGURA 1.12**), dejando así la perforación por la cual fluirá el fluido contenido en la formación hacia el pozo. El número de estas perforaciones estará determinado por el número de cargas contenidas en el cañón, densidad de disparo y fase de disparo.

FIGURA 1.12: ESQUE DEL PROCESO DE CAÑONEO



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

Así en la **FIGURA 1.12**, podemos observar las condiciones de la completación del pozo y formación al realizar el disparo. Inicialmente no hay ninguna alteración a las condiciones de la formación; revestidor, cemento y formación; es decir están intactas.

Una vez realizado el disparo, vemos como el jet producido por la carga moldeada ha perforado el revestidor, el cemento y la formación. Tal es la acción del explosivo sobre la roca que genera una zona compactada. La zona compactada es una mezcla de roca pulverizada y algo de material explosivo, contenido dentro de la perforación a manera de residuos.

Después del disparo se puede visualizar una zona de los denominados “debris” o residuos, material que en su mayoría es residuo del explosivo utilizado para el cañoneo. Antes de que el fluido empiece a fluir hacia el pozo, este material está alojado en la perforación; y será retenido hasta que el pozo inicie su producción.

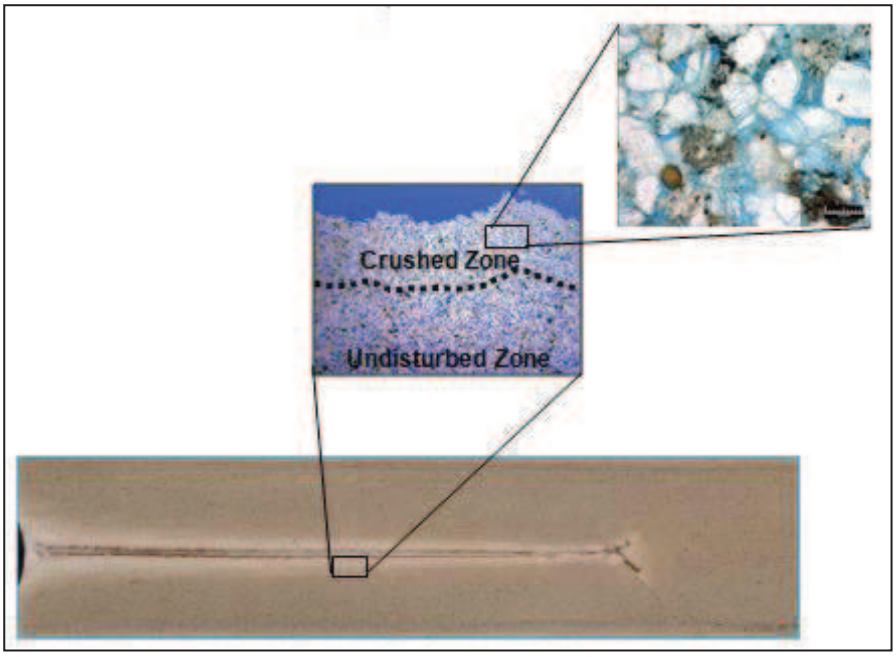
Al iniciarse la producción del pozo, en las proximidades de la perforación formada por el cañoneo en la formación, se habrá producido una alteración de la permeabilidad de la formación. La alteración resultará en una reducción de la permeabilidad inicial de la formación. El espesor de esta zona es de aproximadamente ½ pulgada. A toda esta alteración de permeabilidad en la formación debida al cañoneo, se conoce como daño a la formación por cañoneo.

1.3.3 DAÑO A LA FORMACIÓN DEBIDO AL CAÑONEO

Como es conocido, la formación productora durante el proceso de perforación, y completación sufre algunas alteraciones a sus condiciones de porosidad y permeabilidad inicial por influencia del fluido de perforación, cemento y fluido de control.

La operación de cañoneo también produce un daño a la roca, que genera una restricción al flujo debido a la reducción de la permeabilidad en la zona compactada (**FIGURA 1.13**), generando una restricción al flujo. La zona compactada (crushed zone), es el primer obstáculo a superar para una producción efectiva luego del cañoneo, ya que generalmente la permeabilidad de la misma es de entre el 10 % de la permeabilidad de la zona virgen. En dicha zona, también se produce una caída de presión, la que afecta principalmente a la producción del pozo.

FIGURA 1.13: ZONA COMPACTADA GENERADA LUEGO DEL CAÑONEO



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

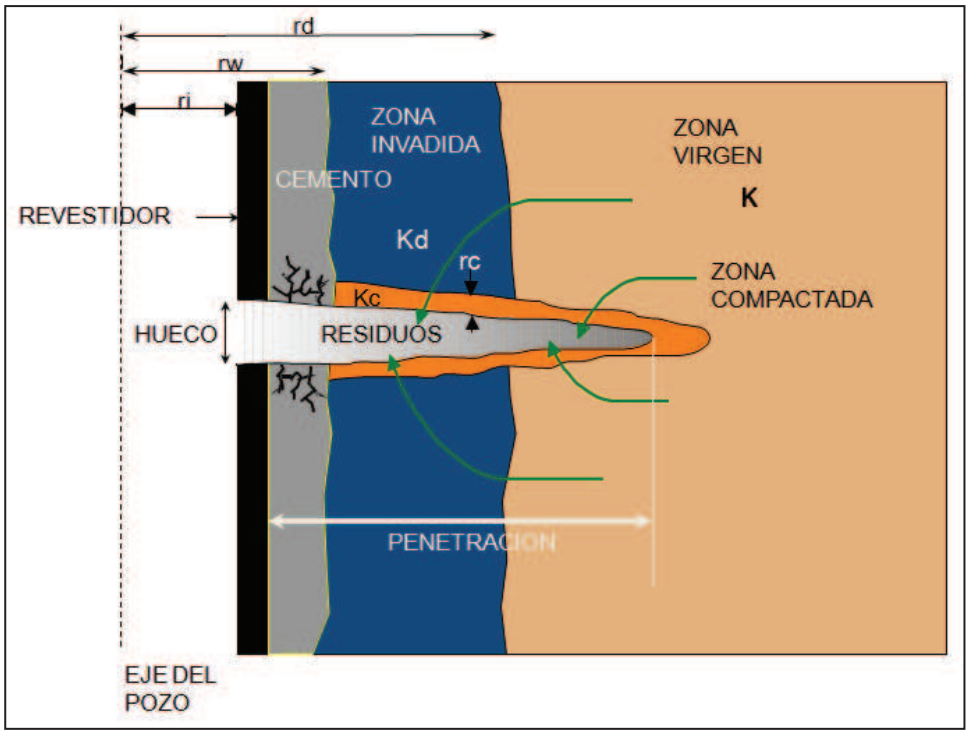
El daño a la formación debido al cañoneo se genera debido a la gran cantidad de calor y presión que la carga moldeada genera. El calor de la carga pulveriza la roca, y la presión que ejerce el disparo de la carga, empuja la roca pulverizada hacia las paredes de la perforación formada por al cañoneo. Es decir que la roca que antes ocupaba el espacio de la perforación, debe ir a algún lugar debido a que no hay pérdida de masa. A más de la roca pulverizada, el cañoneo produce algunos residuos provenientes de las cargas moldeadas, como residuos de explosivo, de metal, etc. que también se acumulan en la perforación formada por el cañoneo (**FIGURA 1.14**).

Esta masa de roca y residuos de la carga se acumulan en las paredes de la perforación producto del cañoneo, y son estos los que limitan el flujo de fluidos hacia el pozo, por lo tanto es necesario reducir al máximo la influencia de estos materiales en la producción del pozo.

Varios métodos han sido desarrollados para reducir el efecto de esta zona compactada en la producción del pozo. Entre las operaciones de mitigación del daño a la formación debido al cañoneo se encuentra la inyección de ácidos, u

otros aditivos. También se han sido desarrollado condiciones de presión diferencial en el pozo para realizar el cañoneo que permitan eliminar de forma eficiente los materiales acumulados en la perforación.

FIGURA 1.14: GEOMETRÍA DE UNA PERFORACIÓN POR CAÑONEO



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

1.4 CONDICIONES HIDROSTÁTICAS PARA UN CAÑONEO

En la medida que los sistemas de cañoneo se han ido desarrollando, también lo han hecho las condiciones bajo las cuales se realiza la operación de cañoneo. Estas condiciones de cañoneo se refieren a las condiciones de presión diferencial que podrían generarse con la ayuda del fluido de control.

La columna de fluido de control que se encuentra en el interior del pozo, manejada convenientemente puede generar dos condiciones de presión diferencial con la que se puede realizar la operación de cañoneo que son:

- Sobre Balance Estático
- Bajo Balance Estático

Estas dos condiciones han sido desarrolladas tanto para mantener la seguridad de la operación de cañoneo, como para mejorar la efectividad del cañoneo y mitigar el daño a la formación debido al cañoneo.

1.4.1 OPERACIÓN SOBRE BALANCE ESTÁTICO

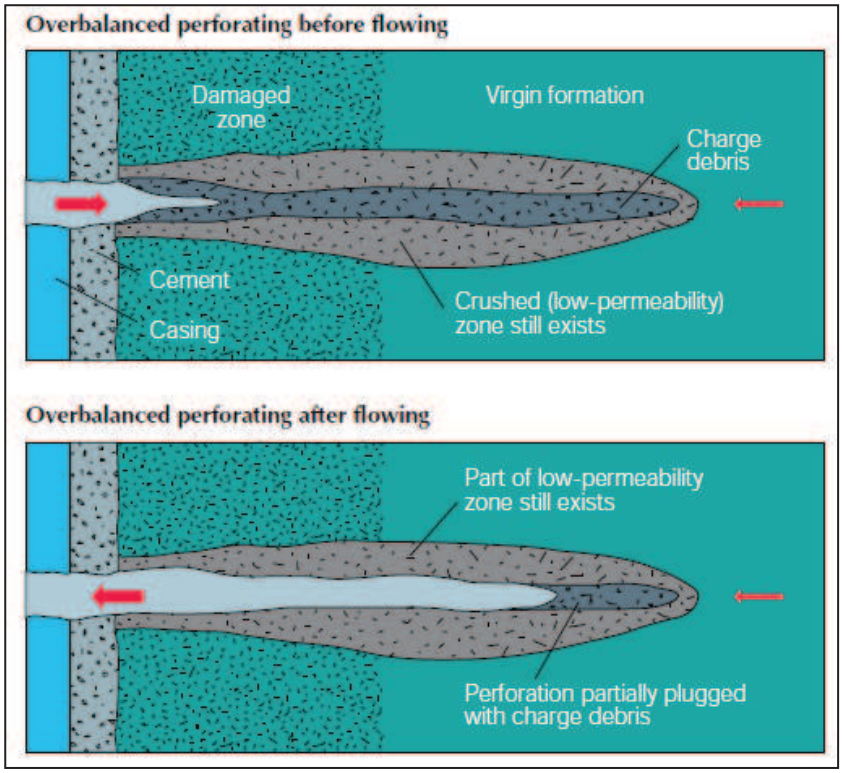
En una operación de sobre balance, se controla la altura de la columna de fluido de control en el interior del pozo, de tal forma que la presión hidrostática sea mayor a la presión del reservorio. (Ph. > Pr.).

La condición de sobre balance se realiza principalmente cuando el sistema de cañoneo es bajado al pozo con cable eléctrico.

Una condición de sobre balance garantizará que cuando se realice el cañoneo, los fluidos presurizados del reservorio no provoquen una reacción de “soplo” hacia la superficie del cañón utilizado, una vez que los fluidos empiecen a ascender a la superficie.

Al utilizar esta condición de cañoneo, la mitigación al daño a la formación debido al cañoneo es baja, ya que la roca pulverizada y los residuos del explosivo permanecen aún después de que el pozo empiece a fluir (**FIGURA 1.15**); esto es debido a que una vez que se ha realizado el cañoneo, el fluido de control al tener una mayor presión hidrostática que la formación, ingresa a las perforaciones, reteniendo los residuos.

FIGURA 1.15: ESQUEMA DE CAÑONEO SOBRE BALANCEADO



Fuente: Schlumberger

1.4.2 OPERACIÓN BAJO BALANCE ESTÁTICO

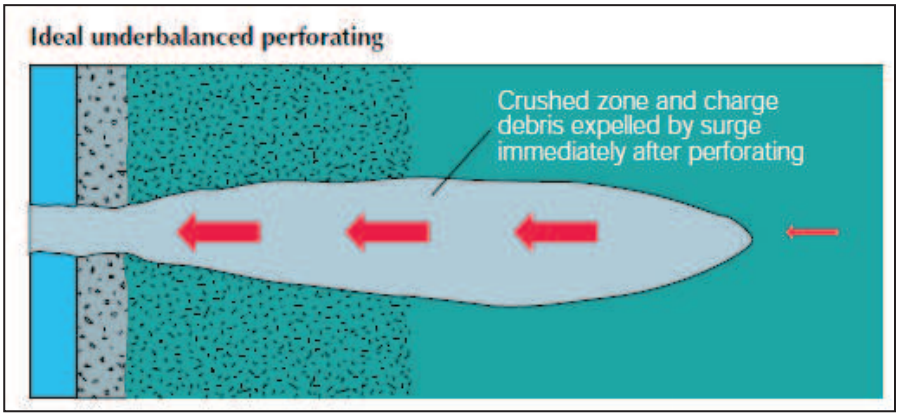
La operación de cañoneo en condición de bajo balance estático, se opone totalmente a la de sobre balance. Para este caso, la columna de fluido de control dentro del pozo generará una presión hidrostática menor a la presión del reservorio (Ph. < Pr).

La condición de bajo balance estático es utilizada en operaciones donde el cañón es bajado al pozo utilizando tubería de producción (TCP), ya que el tener el cañón asegurado a la línea de tubería de producción, no hay riesgo de un efecto de "soplo" sobre el cañón si el pozo empezara a fluir.

La condición de bajo balance estático es más efectiva que la de sobre balance en lo que a limpieza de residuos y reducción de daño a la formación debido al cañoneo se refiere.

La condición de bajo balance estático durante el cañoneo permite que los residuos de roca y de explosivo sean removidos inmediatamente después del cañoneo por los fluidos contenidos en la formación (**FIGURA 1.16**), ya que como se ha mencionado, esta condición tiene un diferencial de presión a favor de la formación. En esta condición la producción del pozo será mejor que en una condición de sobre balance, mas si el diferencial de presión a favor del reservorio es excesiva, no se tendrán buenos resultados, terminando en casos de arenamiento de la formación.

FIGURA 1.16: ESQUEMA CAÑONEO BAJO BALANCEADO



Fuente: Schlumberger

1.4.3 CONSIDERACIONES PARA GENERAR UN DIFERENCIAL DE PRESIÓN DURANTE UNA OPERACIÓN DE CAÑONEO

Para poder determinar un valor efectivo de diferencial de presión el momento de realizar el cañoneo se debe tener en cuenta algunos elementos que intervienen en la operación, tales como:

1.4.3.1 Grado de consolidación

El grado de consolidación de una roca se refiere a si los granos que componen la roca están fuertemente conectados o no. Si una roca tiene granos poco adheridos entre sí, entonces se dice que es una roca poco consolidada; por el contrario si

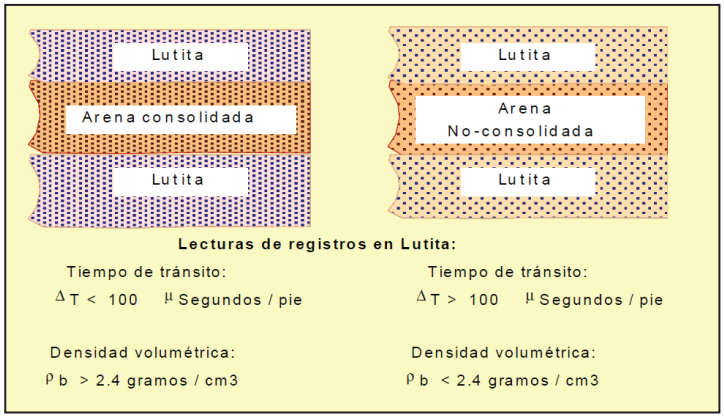
una roca tiene sus granos muy adheridos entre sí, entonces se dice que es una roca muy consolidada.

En la práctica, para poder determinar el grado de consolidación de una forma rápida y efectiva, se utilizan los registros eléctricos de evaluación de formaciones; especialmente el registro acústico y registro de densidad.

A través del registro acústico, por la velocidad en la que viajan las ondas acústicas, es posible saber si una formación es consolidada o no. Si las lutitas adyacentes a una formación productora tienen tiempos de tránsito (Δt) menores a 100 μs/ft, se dice que la formación es consolidada. Si el valor de tiempo de transito excede los 100 μs/ft, entonces se dice que la formación es no consolidada. Por otro lado, a través del registro de densidad, se considera que una formación es consolidada si las lutitas adyacentes a una formación productora, tienen una densidad volumétrica (ρb) ≥ 2.4 g/cm^3. Si el valor de densidad volumétrica es inferior a 2.4 g/cm^3, entonces estaremos frente a una formación no consolidada.[1]

En la **FIGURA 1.17** vemos expuesto los dos casos de formación consolidada y formación no consolidada, medido a través de registro acústico y de densidad.

FIGURA 1.17: LECTURA DE REGISTROS ACÚSTICO Y DENSIDAD PARA ROCAS CONSOLIDADAS Y ROCAS NO CONSOLIDADAS



Fuente: PEMEX

[1] Guía de Diseño para Disparos de Producción, PEMEX, pág. 6-8.

1.4.3.2 Permeabilidad de la formación y fluidos contenidos en la roca

La permeabilidad de la roca y los fluidos contenidos en la misma influirán en el grado de presión diferencial que se pueda aplicar a favor de la formación el momento de un cañoneo. Las consideraciones con respeto a diferencial de presión a favor de la formación que pueda aplicarse en función de su permeabilidad y fluidos contenidos se muestran a continuación en la **TABLA 1.2**:

TABLA 1.2: PRESIÓN DIFERENCIAL PREVIA AL DISPARO

FLUIDO	CRUDO	GAS
PERMEABILIDAD	Presión diferencial a favor de la formación [psi]	
ALTA K > 100 md	200 - 600	1000 - 2000
BAJA K < 100 md	1000 - 2000	2000 - 6000

Fuente: PEMEX, *Guía de Diseño para Disparos de Producción*

Elaborado por: Marco Brito Flores

1.4.3.3 Presión de colapso de tuberías y equipo

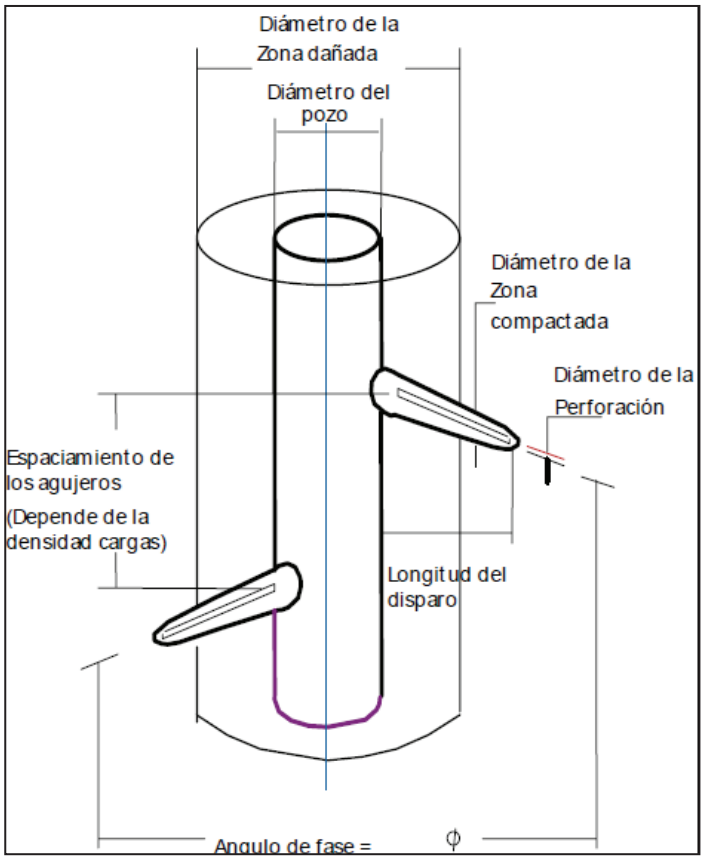
La presión de colapso de la tubería de revestimiento, es un parámetro fundamental a considerar el momento de determinar un desbalance de presión entre la formación y la columna de fluido de control. Generar un desbalance en presión a favor de la formación excesivo, que supere la presión de colapso de la tubería de revestimiento, provocaría un daño cuantioso al pozo, haciendo necesario una intervención, e incluso provocaría un abandono del pozo, o al menos de la sección afectada. Se considera un factor de seguridad del 20% para la tubería de revestimiento, es decir que se podrá provocar un desbalance a favor de la formación cuyo valor máximo será igual al 80% de la presión de colapso de la tubería de revestimiento.

También es necesario considerar otros elementos, tal es así el tipo de cemento, los packers utilizados, y cualquier otro equipo que se encuentre en el fondo del pozo.

1.5 FACTORES GEOMÉTRICOS QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UN CAÑONEO

La geometría con la que son realizadas las perforaciones a través del cañoneo (**FIGURA 1.16**) determinará la producción del pozo, por lo que un correcto diseño de estos factores geométricos es de gran importancia.

FIGURA 1.18: FACTORES GEOMÉTRICOS DE UN CAÑONEO



Fuente: PEMEX, *Guía de Diseño para Disparos de Producción*

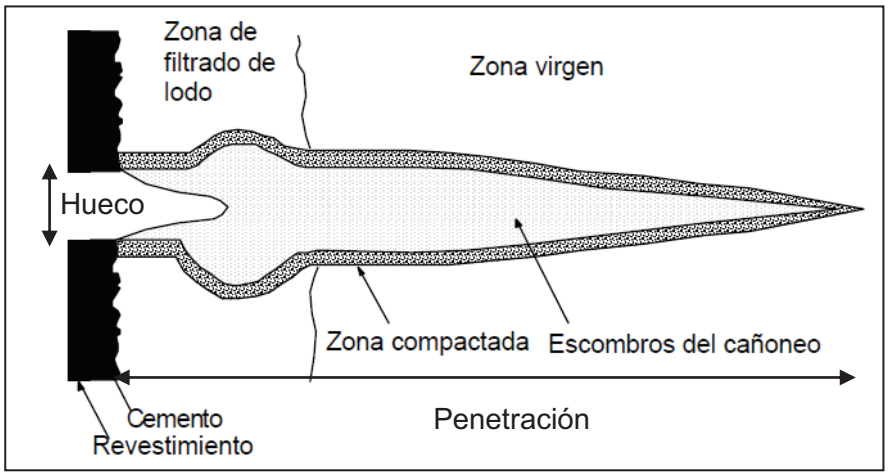
1.5.1 PENETRACIÓN Y DIÁMETRO DEL AGUJERO

La penetración es un factor geométrico que estará en función del tipo de carga seleccionada y del número de disparos por pie que esté configurado.

La penetración debe ser tal que supere básicamente el revestidor, cemento y formación; y de forma más avanzada que supere la zona invadida por fluidos de perforación, llegando hasta la zona virgen.

El diámetro del agujero se refiere al realizado por el cañoneo tanto en el revestidor, como cemento y formación. Como se aprecia en la **FIGURA 1.17**, la longitud de la perforación es la penetración, y el diámetro de la perforación es la que se muestra tanto en la zona de revestidor, como en la formación.

FIGURA 1.19: ESQUEMA DE PENETRACIÓN Y DIÁMETRO DE UNA PERFORACIÓN



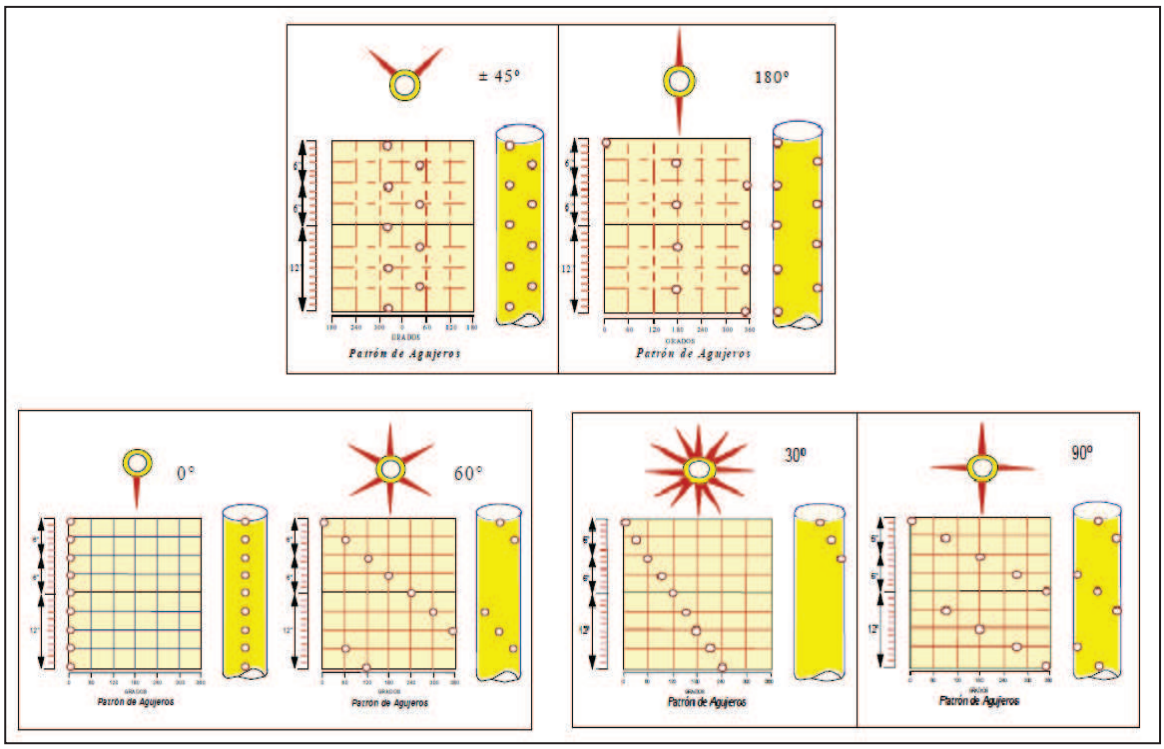
Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

1.5.2 DENSIDAD DE CARGAS Y FASE ANGULAR

La densidad de cargas se refiere al número de cargas contenidas en un cañón por unidad de longitud. En algunos casos se considera número de cargas por pie, mientras que en otros casos número de cargas por metro.

La fase angular se refiere a la magnitud de ángulo existente entre carga y carga. Los ángulos pueden ser de 0°, 30°, 45°, 60°, 90° y 180°. (**FIGURA 1.20**).

FIGURA 1.20: CONFIGURACIÓN DE CARGAS DE ACUERDO A SU FASE



Fuente: PEMEX, *Guía de Diseño para Disparos de Producción*

1.6 INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS DE UN CAÑÓN EN LA PRODUCTIVIDAD DE UN POZO

La productividad de un pozo puede estar afectada por varios elementos que intervienen el momento de un cañoneo, ya sea por daño a la formación, desbalance diseñado, tipo de cañones, y los factores geométricos de un cañón.

La productividad de un pozo puede ser determinada a través del conocido Índice de Productividad (IP), a través de la Ecuación 1.1:

$$J = IP = \frac{q}{Pr - Pwf} \qquad (\mathbf{1.1.})$$

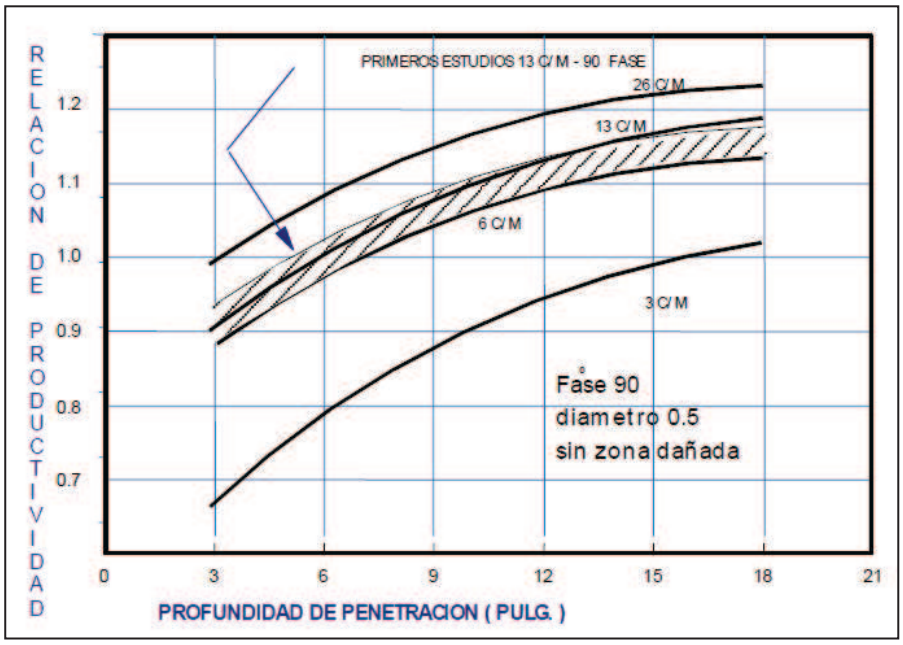
El índice de productividad de una sección puede resultar difícil de determinar, por lo tanto el efecto del diseño del sistema de disparo como son la penetración, fase, densidad, diámetro del agujero, etc. se puede determinar utilizando la Relación de Productividad, como se muestra en la Ecuación 1.2:

$$RP = \frac{Producción\ de\ una\ zona\ revestida\ y\ cañoneada}{Producción\ de\ la\ misma\ zona\ en\ hueco\ abierto} \qquad (1.2)$$

1.6.1 EFECTO DE LA PENETRACIÓN Y DENSIDAD DE CARGA EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD

El efecto de la penetración y la densidad de cargas es muy relevante el momento de realizar un diseño de cañoneo. De acuerdo a la **FIGURA 1.21**, es muy pronunciado en las primeras pulgadas de penetración.

FIGURA 1.21: EFECTO DE LA PENETRACIÓN Y DENSIDAD DE CARGAS EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD



Fuente: PEMEX, *Guía de Diseño para Disparos de Producción*

También se puede observar que por sobre las 6 pulgadas la tendencia es menor pero es evidente la importancia de la penetración para mejorar la relación de productividad.

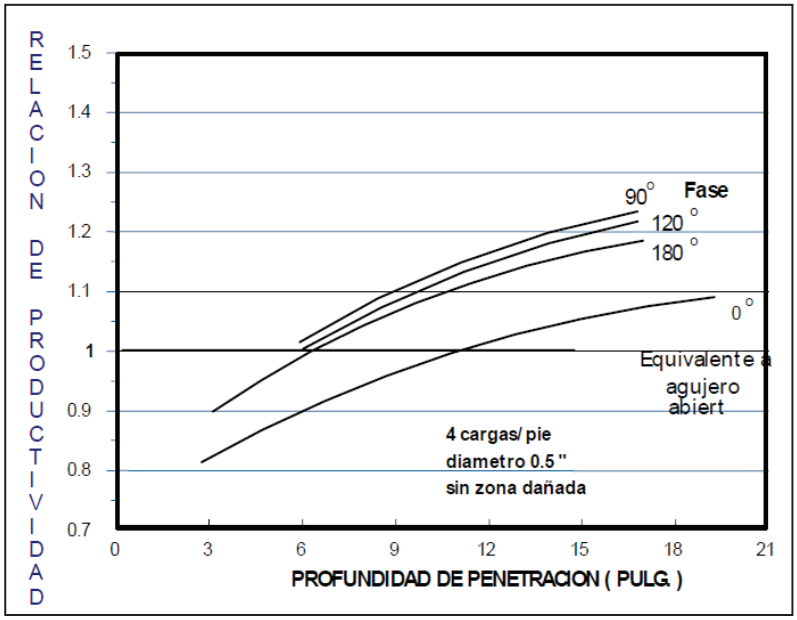
La densidad de cargas influye también en la Relación de Productividad (RP), de tal forma que para una densidad de 3 cargas/m (1 carga por pie), es necesaria una penetración de 16 pulgadas para obtener una RP de 1.0; mientras que para una densidad de 13 c/m (4 cargas por pie), se necesitan solo 6 pulgadas.

1.6.2 EFECTO DE LA FASE EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD

Considerar la fase angular entre perforaciones sucesivas en un cañón es un factor importante para determinar la productividad del pozo.

La **FIGURA 1.22** muestra una reducción de un 10 - 12 % en la Relación de Productividad para sistemas de 0° y 90° con una misma penetración.

FIGURA 1.22: EFECTO DE LA FASE ANGULAR EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD



Fuente: PEMEX, *Guía de Diseño para Disparos de Producción*

Suponiendo que se use un sistema de 0° de fase, con una penetración de 6 pulgadas, se obtiene una Relación de Productividad de 0.9 de la gráfica, mientras que para un sistema de 90° se obtiene una Relación de Productividad de 1.02; esto representa una diferencia del 11% en la Relación de Productividad.

1.6.3 JERARQUÍA DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS EN EL DISEÑO DE UN CAÑONEO

Al hablar de jerarquía de los factores geométricos de un cañón, se refiere a la prioridad que se dé a cada uno de los factores geométricos, es decir la penetración, densidad de cargas, fase angular entre cargas y diámetro del agujero.

La prioridad que demos a un factor o a otro dependerá principalmente de tipo de completación que se tenga, y del tipo de formación a cañonear. En la **TABLA 1.3** y **TABLA 1.4**, se observa la prioridad de cada factor geométrico de acuerdo a la completación del pozo y tipo de formación; donde 1 es la mayor prioridad y 4 la menor prioridad.

TABLA 1.3: JERARQUÍA DE FACTORES GEOMÉTRICOS DE ACUERDO A LA COMPLETACIÓN

FACTORES GEOMETRICOS	TIPOS DE COMPLETACIÓN		
	FORM. CONSOLIDADA		FORM. NO CONSOLIDADA
	FLUJO NATURAL	ESTIMULACIÓN	CONTROL DE ARENA
Densidad de disparos	1	1	1
Diámetro del agujero	4	1	2
Fase	3	2	3
Penetración	2	3	4

Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

Elaborador por: Marco Brito Flores

TABLA 1.4: JERARQUÍA FACTORES GEOMÉTRICOS DE ACUERDO AL TIPO DE FORMACIÓN

FACTORES GEOMÉTRICOS	PERM. ISOTRÓPICA	PERM. ANISOTRÓPICA		FRACTURAS NATUALRES	DAÑO EN EL POZO
		CAUSAS VARIAS	ARCILLA LAMINAR		
Densidad de disparos	2	1	1	3	2
Diámetro del agujero	4	3	4	4	4
Fase	3	4	3	2	3
Penetración	1	2	2	1	1

Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

Elaborado por: Marco Brito Flores

1.7 SISTEMAS DE CAÑONEO

Los sistemas de cañoneo pueden clasificarse en forma general de acuerdo al método utilizado para bajar el cañón frente a la formación, y son:

- Cañoneo transportado por cable eléctrico o Wireline (WL).
- Cañoneo transportado por tubería o Tubing Conveyed Perforating (TCP).
- Cañoneo Transportado por tubería flexible o Coiled Tubing (CTCP).

1.7.1 CAÑONEO TRANSPORTADO POR CABLE ELÉCTRICO O WIRELINE (WL)

Este sistema de cañoneo utiliza cable eléctrico para transportar los cañones frente a la cara de la formación a ser cañoneada. El cable eléctrico se encuentra en superficie dentro de un camión o unidad wireline. Esta operación se puede realizar utilizando un taladro de perforación o un taladro de reacondicionamiento.

Una configuración típica del BHA (Bottom Hole Assembly) del cañoneo con cable eléctrico se muestra en el **ANEXO A.1.**

1.7.1.1 Ventajas de cañoneo con cable eléctrico (Wireline)

Al realizar la operación de cañoneo utilizando cable eléctrico se obtienen algunas ventajas que se mencionan a continuación:

- Reducción de tiempos de operación.
- Es menos costoso para intervalos pequeños.
- Los cañones no están expuestos a altas temperaturas por largos periodos (permite usar explosivos para bajas temperaturas que son comúnmente menos costosos).
- No requiere necesariamente una torre de perforación.
- Capaz de realizar un cañoneo selectivo de varias zonas.

1.7.1.2 Desventajas del cañoneo con cable eléctrico (Wireline)

- No apto para grandes intervalos.
- Peso del cañón limitado a 2 500 lb.
- Requiere de múltiples corridas para perforar grandes intervalos.
- No permite el cañoneo en condiciones de bajo balance estático.
- Depende de la desviación del pozo (máximo 65 grados de desviación).

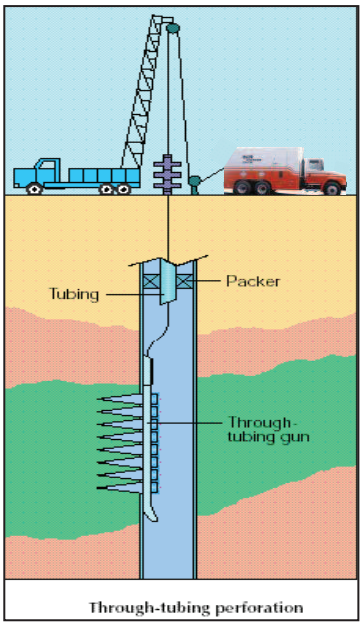
1.7.1.3 Aplicaciones del cañoneo con cable eléctrico o wireline

1.7.1.3.1 Cañoneo a través de tubería de producción (Through Tubing Perforating)

Este sistema de cañoneo consiste en introducir el cañón a través de la tubería de producción instalada en el pozo. El cañón se baja hacia el interior del pozo utilizando cable eléctrico (**FIGURA 1.23**). La limitante de este sistema es que el diámetro del cañón debe ser menor al diámetro interno de la tubería de producción, lo que obliga a la utilización de cargas más pequeñas, provocando así una baja penetración en la formación. Este sistema es utilizado mayormente en operaciones de reacondicionamiento de pozos productores o inyectores; y son

económicamente preferidos porque en un solo viaje puede realizar la operación de cañoneo sin la necesidad de retirar la completación del pozo.

FIGURA 1.23: ESQUEMA DE CAÑONEO A TRAVÉS DE LA TUBERÍA DE PRODUCCIÓN

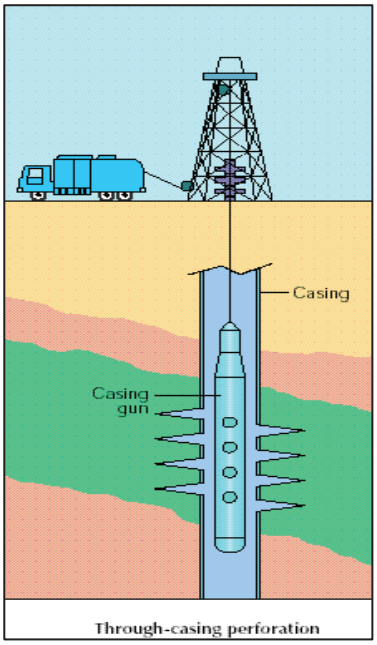


Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

1.7.1.3.2 Cañoneo a través del revestidor (Through Casing Perforating)

Este sistema de cañoneo, es muy similar al descrito anteriormente, solo que esta vez no hay tubería de producción dentro del pozo (**FIGURA 1.24**), por lo que el diámetro interno del revestidor es el único limitante en lo que al diámetro del cañón corresponde. De forma análoga al sistema anterior, en este sistema el cañón se baja al pozo utilizando cable eléctrico, el cañón puede ser más largo y a la vez de mayor diámetro comparado con el caso anterior, incrementando la profundidad de las perforaciones en la formación. Una desventaja es que el cañoneo debe realizarse en sobre-balance, para evitar que las grandes presiones de los fluidos de formación hagan que el cañón sea desplazado hacia la superficie.

FIGURA 1.24: ESQUEMA CAÑONEO A TRAVÉS DEL REVESTIDOR



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

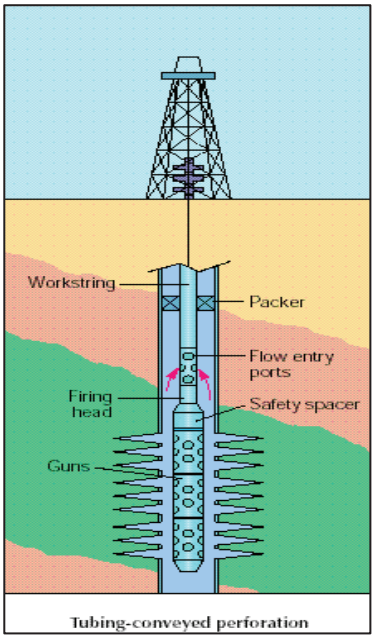
1.7.2 CAÑONEO TRANSPORTADO POR TUBERÍA (TUBING CONVEYED PERFORATING)

Este sistema de cañoneo, a diferencia de los dos anteriores, no utiliza cable eléctrico para transportar los cañones, sino que utiliza tubing o tubería de producción para transportar cañones de mayor longitud y de mayor diámetro (**FIGURA 1.25**). Al no tener cable eléctrico, su accionamiento o detonación puede ser mecánica o hidráulica, ya que el interior de la tubería de producción se llena con fluido de control.

Operativamente este sistema permite realizar menos viajes que un sistema con cable eléctrico cuando los intervalos a cañonear son grandes, por lo que económicamente resulta más conveniente; a más que permite reducir los daños a la formación debido al cañoneo, ya que su ejecución se realiza en una condición de bajo balance (dinámico y/o estático).

Una configuración típica del BHA (Botton Hole Assembly) de un cañoneo con TCP se muestra en el **ANEXO A.2**.

FIGURA 1.25: ESQUEMA CAÑONEO A TRANSPORTADO POR TUBERÍA



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

1.7.2.1 Ventajas del cañoneo transportado por tubería (TCP)

- Puede cañonear cualquier longitud de intervalo en un solo viaje.
- Puede cañonear zonas múltiples en condición de bajo balance estático al mismo tiempo.
- Mayor desempeño en cañones de gran longitud.
- El control del pozo se realiza a través de packers y tubing.
- Varios métodos para verificar la profundidad requerida.
- Potencialmente más baratos para intervalos largos.
- No tiene límites con lo que respecta en desviación del pozo.

1.7.2.2 Desventajas del cañoneo transportado por tubería (TCP)

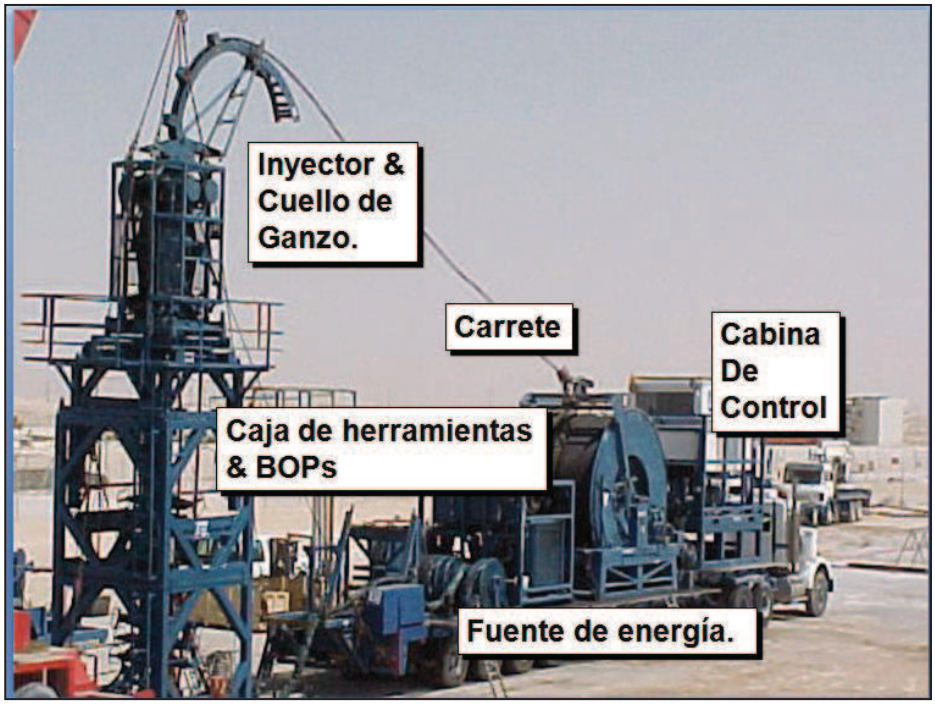
- Es costoso para intervalos cortos, ya que incrementa tiempos de operación.
- Se requiere de una torre de workover o perforación.

- Se necesitan explosivos más costosos comparados con el sistema wireline, ya que los explosivos de TCP son más resistentes a altas temperaturas.

1.7.3 CAÑONEO TRANSPORTADO POR TUBERÍA FLEXIBLE O COILED TUBING

Este sistema de cañoneo utiliza la denominada tubería flexible para bajar el cañón al pozo. Esta tubería flexible se encuentra enrollada en un tambor el cual está instalada en una unidad o camión de tubería flexible; el mismo tiene una serie de componentes que al combinarse con el taladro de reacondicionamiento, permite conducir los cañones al frente de la formación a ser cañoneada (**FIGURA 1.26**).

FIGURA 1.26: UNIDAD DE TUBERÍA FLEXIBLE



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

El cañoneo a través de este método permite una mayor capacidad y flexibilidad que los sistemas Wireline o TCP.

Comúnmente, este sistema utiliza tuberías con diámetros que van de 1 pulgada a 3 ½ pulgadas; siendo las mayormente utilizadas las de 1 ¼ a 2 pulgadas. Con

cualquiera de estas configuraciones, se pueden alcanzar hasta los 24 000 ft de profundidad.

Este sistema ha mostrado tener mayor rigidez y fuerza al momento de ser utilizado en operaciones de cañoneo; lo que permite soportar mayores fuerzas de compresión y de tensión comparado con el sistema de cable eléctrico antes mencionado. Por otro lado este sistema es más eficiente al momento de realizar una operación de cañoneo en pozos altamente desviados o pozos horizontales y cuando los cañones a ser bajados al pozo sean de mayor longitud y peso.

Este tipo de sistema permite realizar operaciones de cañoneo en condiciones de bajo balance, permitiendo que la reducción del daño por cañoneo sea mitigado en un alto porcentaje.

Existen dos formas de accionar un cañón transportado por coiled tubing. La primera es a través de un detonador eléctrico, cuando cable eléctrico es bajado en el interior de la tubería flexible, conjuntamente con el cañón. La segunda forma es a través de un detonador activado por presión hidráulica con fluido que se encuentra en el interior de la tubería flexible.

1.7.3.1 Ventajas del cañoneo transportado por tubería flexible (CTCP)

- Puede continuamente circular fluido y mover la tubería.
- Disminuye los tiempos de operación con un mínimo de operadores.
- Puede ser corrido en pozos horizontales.

1.7.3.2 Desventajas del cañoneo transportado por tubería flexible (CTCP)

- Se puede utilizar para intervalos pequeños a medianos.
- Soporta menor esfuerzo por tensión que un TCP.
- Altas pérdidas de presión por fricción al circular.

1.8 TÉCNICAS DE CAÑONEO

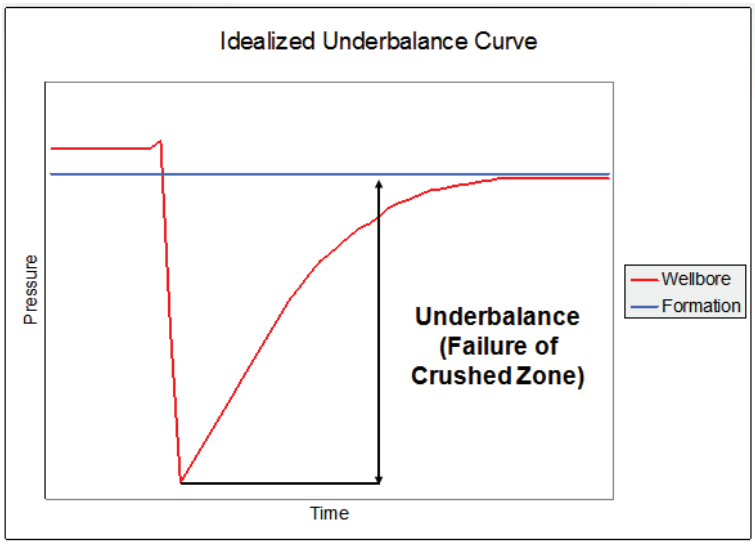
Las técnicas de cañoneo utilizan los sistemas de cañoneo para bajar los cañones al fondo del pozo y posteriormente aplicando una técnica de cañoneo específica realizar el cañoneo como tal. Las técnicas que serán mencionadas en esta sección son:

- Técnica de cañoneo de bajo balance dinámico
- Técnica de cañoneo tipo ancla (One Trip)

1.8.1 TÉCNICA DE CAÑONEO DE BAJO BALANCE DINÁMICO

Esta técnica consiste en crear bajo balance dinámico, condición que es generada de forma inmediata, pero solamente temporal en el pozo para tener un incremento en la limpieza de las perforaciones sin la necesidad de establecer una condición tradicional de bajo balance estático.

FIGURA 1.27: GRÁFICA PRESIÓN VERSUS TIEMPO (CRUSHED ZONE FAILURE)

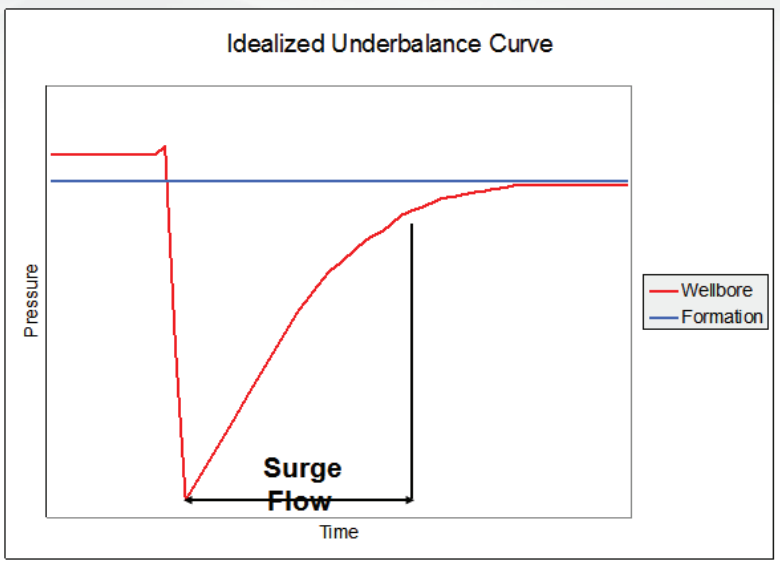


Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

El bajo balance se logra a través del uso de volúmenes internos que se adicionan en el ensamblaje del cañoneo para influenciar la presión del pozo y del flujo.

La técnica consta de dos etapas que son: Falla de la zona compactada (Crushed Zone Failure) y Flujo de limpieza (Clean-out surge). Los resultados de presión de ambas etapas se muestran en las siguientes figuras:

FIGURA 1.28: GRÁFICA PRESIÓN VERSUS TIEMPO (CLEAN-OUT SURGE)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline services*

Estas figuras muestran como se genera un desbalance de gran diferencial a favor de la formación, lo cual reduce críticamente el espesor de la zona compactada, eliminando las restricciones al flujo y llevando al daño por cañoneo a ser cercano a cero; donde la zona compactada (crushed zone) es mínima. Luego la presión al interior de las perforaciones se restablece, hasta igualar la de la formación.

1.8.1.1 Aplicaciones de la técnica de cañoneo bajo balance dinámico.

La técnica de cañoneo bajo balance dinámico se acopla perfectamente a los sistemas de:

- Wireline
- Tubing conveyed perforating
- Coiled tubing

Y de las misma forma es apto para ser corrido en todo tipo de pozos, ya sea en pozos verticales, de alta desviación y pozos horizontales. En lo que a longitud de intervalo cañoneado, es aconsejable utilizar esta técnica para grandes intervalos.

1.8.1.2 Ventajas de la técnica de cañoneo bajo balance dinámico

- Máximiza el flujo de las perforaciones resultantes del cañoneo.
- Mejora la inyectividad del pozo.
- Reduce el daño y residuos debido al cañoneo.
- Previene el arenamiento del cañón.
- Simplifica la preparación del pozo, eliminando la necesidad de grandes presiones de desbalance estático.

1.8.2 CAÑONEO TIPO ANCLA

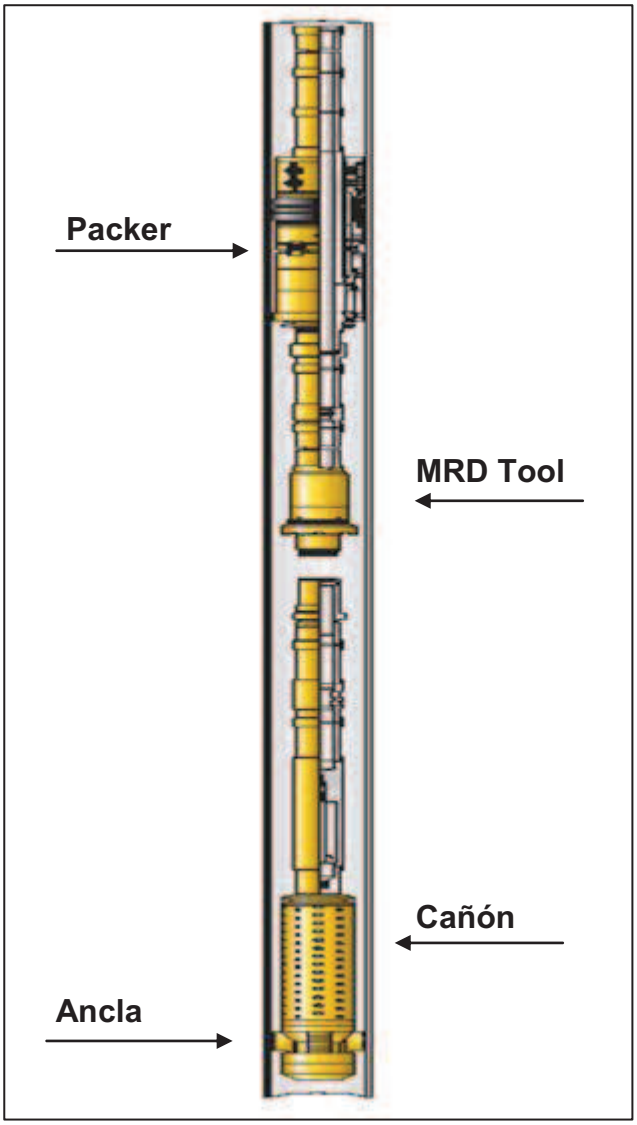
El sistema de cañoneo tipo ancla está en uso en la industria petrolera desde alrededor del año de 1980, sufriendo una serie de modificaciones a lo largo del tiempo, y desde entonces ha sido ampliamente utilizado en diferentes operaciones de cañoneo por su efectividad y combinación con operaciones conjuntas.

El desarrollo del sistema tipo ancla se debe a la necesidad de reducir costos operativos a largo plazo y principalmente reducir el tiempo de contacto del fluido de terminación con la formación luego del cañoneo.

Se denomina tipo ancla, ya que este sistema baja el cañón al pozo con cable eléctrico o tubería de producción; y una vez allí el cañón es anclado frente a la zona a ser cañoneada. (**FIGURA 1.29**).

Sin embargo el sistema medular en esta técnica de cañoneo se encuentra en su cabeza de disparo denominada MK II, que se detallara más adelante.

FIGURA 1.29: ESQUEMA CAÑÓN TIPO ANCLA



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

Además de lo antes mencionado, este sistema tipo ancla permite realizar algunas operaciones conjuntas a la par con el cañoneo. Con este sistema es posible anclar los cañones en el fondo, e instalar de forma inmediata un sistema BES (Bombeo Electrosumergible). Una vez que la bomba este instalada, se realiza una presurización del pozo, con alrededor de 2500 psi en superficie, presión que acciona el sistema hidráulico de detonación de la cabeza de disparo MK II, el cual consiste en un resorte interno que se descomprime por el flujo interno de un aceite. Esta descompresión, la cual es calculada en base a la viscosidad de dicho aceite y la temperatura de la formación, puede tardar de 10-25 horas; tiempo que

es utilizado para vaciar el pozo utilizando la bomba BES y así generar el desbalance deseado antes de la detonación de las cargas.

A diferencia del sistema convencional TCP o Wireline, el sistema tipo ancla no requiere controlar el pozo una vez que ha sido cañoneado, lo que reduce en gran medida la exposición del reservorio al fluido de matado del pozo, eliminando así cualquier posibilidad de generar un nuevo daño a la formación debido a la reinvasión de fluidos. El BHA utilizado en el cañoneo con esta técnica se muestra en el **ANEXO A.3.**

CAPITULO 2
EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LOS POZOS SELECCIONADOS

Para el presente estudio, se han seleccionado 14 pozos de la cuenca oriente; 7 pozos que han cañoneados y puestos en producción a través del sistema tipo ancla (One Trip), y otros 7 pozos cañoneados y posteriormente puestos en producción con un sistema convencional ya sea TCP o wireline.

Los pozos seleccionados han sido tomados de algunos campos de la cuenca oriente ecuatoriana, pero que por motivos de confidencialidad no se mencionará el nombre del pozo como tal, sino que se utilizará nombres que permitan identificar cada pozo con respecto a la técnica de cañoneo utilizada.

Para la evaluación de los pozos se ha tomado en cuenta la unidad/formación de la cual producen dichos pozos, condiciones de cemento, producción de los pozos, daño a la formación en los pozos donde ha sido tomado build up, y condiciones bajo las cuales el cañoneo ha sido realizado.

En los casos donde el cañoneo ha sido efectuado con el sistema tipo ancla, por motivo de la completación del pozo, no ha sido posible realizar una prueba build up, por lo que para suplir tal valiosa información, se utilizará la información de las memorias de las bombas electrosumergibles para realizar estimaciones de los valores de daño (S) y presión de fondo fluyente (Pwf).

El objetivo de este capítulo es presentar la información recopilada de los pozos seleccionados que permita determinar cuál es el estado de dichos pozos antes y después del cañoneo, de tal manera que se pueda posteriormente determinar la eficiencia de las técnicas de cañoneo en estudio, sea tipo ancla o convencional (TCP o Wireline).

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS POZOS SELECCIONADOS

2.1.1 POZO-1

El Pozo-1 se perforó en el mes de diciembre del año 2012 con una profundidad total de 10752 pies MD, y se registró a hoyo abierto con herramienta LWD desde los 9260 pies hasta los 10740 pies (MD), donde se obtuvo curvas de gamma ray, resistividad y densidad-neutrón.

Luego de su cementación, el pozo fue evaluado a hueco entubado con registro CBL-VDL, para posteriormente realizar el cañoneo utilizando la técnica de cañoneo tipo ancla (One Trip).

2.1.1.1 Registro a hoyo abierto

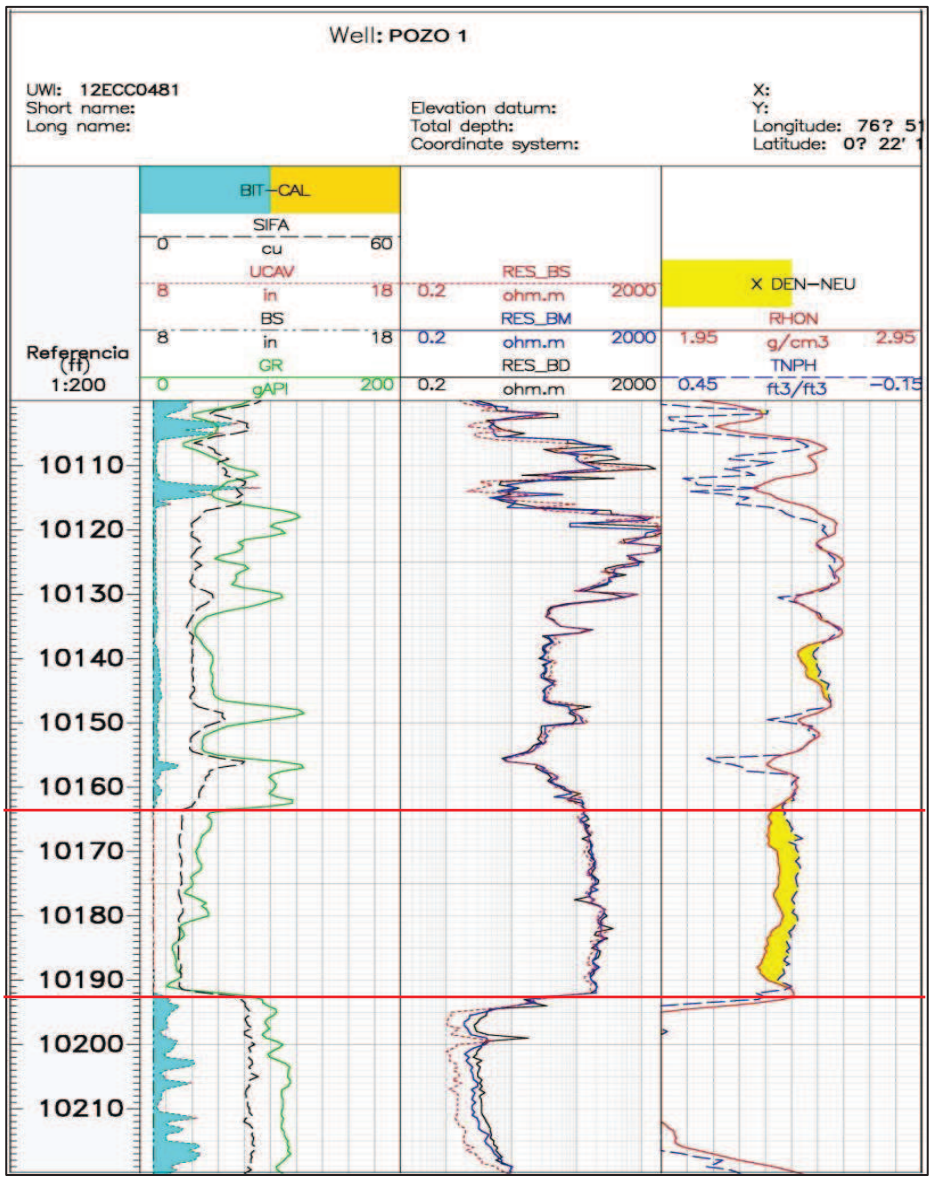
El registro a hoyo abierto del Pozo-1, fue tomado con herramienta LWD (Logging While Drilling), debido a que por características de construcción del pozo, no fue posible correr los registros eléctricos convencionales utilizando el sistema de wireline.

La evaluación de este pozo se enfoca en la sección de 10163 pies a los 10192 pies. El intervalo prospectivo es un cuerpo de 29 pies de espesor (**FIGURA 2.1**), en el que se observa un valor de gamma ray entre 35-40 API, un valor de resistividad profunda de aproximadamente 150 ohm.m, y una densidad promedio de alrededor de 2.37 g/cm^3.

Utilizando toda la información obtenida con el registro a hueco abierto, se ha estimado que la sección que fue cañoneada se encuentra en la arenisca U inferior, cuya porosidad tiene una tendencia de incremento hacia la base, alcanzando valores de hasta 18%, con un promedio de 16%.

La información petrofísica más importante que se obtuvo del registro a hoyo abierto se resume en la **TABLA 2.1**.

FIGURA 2.1: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-1 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

TABLA 2.1: DATOS PETROFÍSICOS POZO-1

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
U INFERIOR	29	0.16	0.85	0.1

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.1.2 Registro de cementación

El registro de cementación del Pozo-1 se realizó en el mes de diciembre del 2012, donde se obtuvieron curvas principalmente de CBL y VDL; y curvas propias de la compañía de servicios que corrió el registro de cemento.

De acuerdo a la **FIGURA 2.2**, en el que se muestra el registro de cementación, se puede observar en la pista dos y tres el registro CBL y VDL, respectivamente. La zona de interés para la evaluación del cemento es de 10163 pies a 10192 pies (MD).

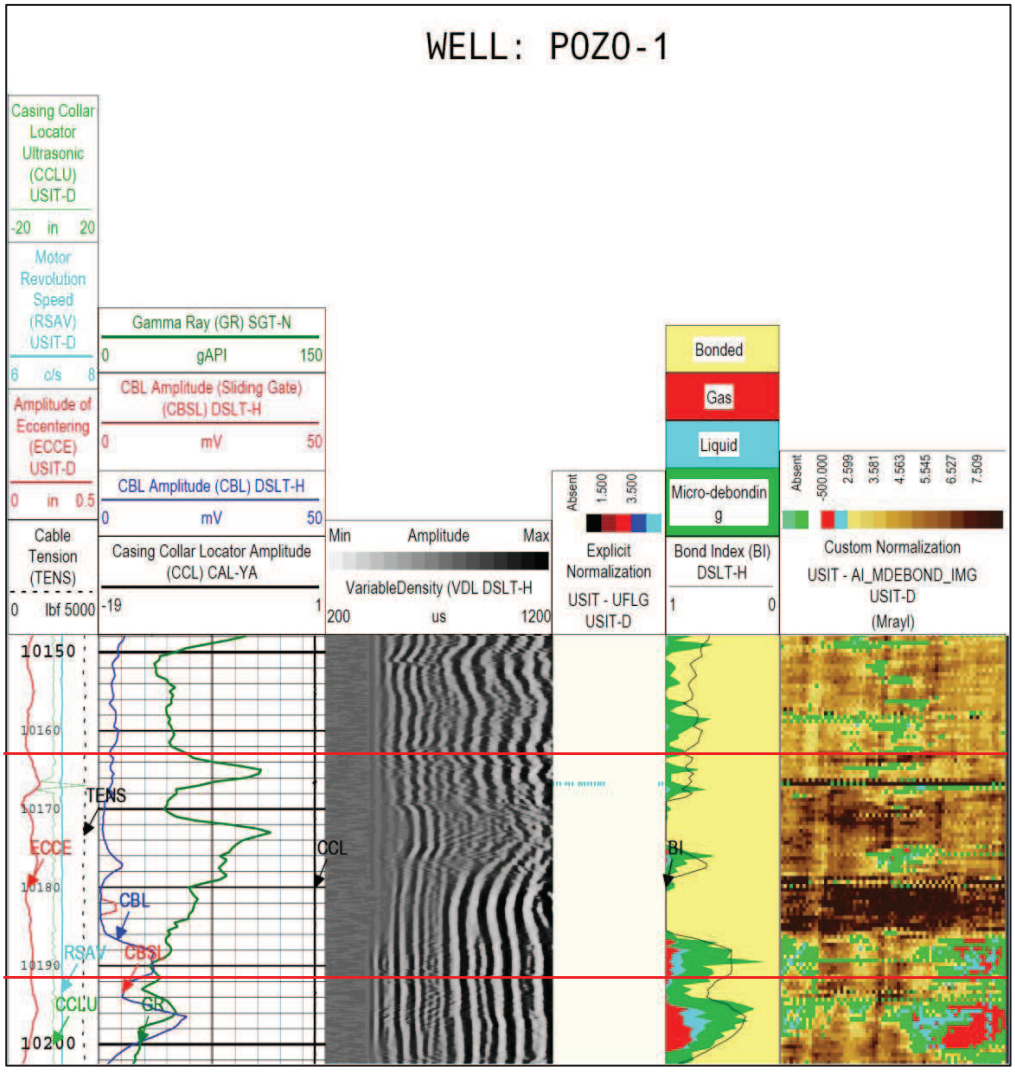
El registro CBL muestra un valor en milivoltios menor a 5 mV a lo largo de los primeros 22 pies; y es en sus últimos 7 pies que se puede apreciar que el registro CBL varía en su valor por encima de 10 milivoltios que como es conocido, representa una condición de cementación en la interfase casing-cemento poco confiable o de baja calidad[2], sin embargo toda la sección en general se encuentra con una buena adherencia en tal interfase. En estos últimos pies, también hay indicios de una canalización; situación que podría resultar desfavorable para la producción.

Para la evaluación de la adherencia en la interfase cemento-formación, se utiliza el registro VDL, el que se encuentra en la tercera pista del registro de cementación del Pozo-1 (**FIGURA 2.2**). Para este caso, se puede observar que existen ondas acústicas de casing muy pequeñas, siendo más notorias las ondas acústicas provenientes de la formación, lo que indica una cupla acústica favorable a lo largo del casing y cemento, lo que en definitiva corresponde a una buena cementación en la interfase cemento-formación. Las ondas de casing son más notorias en los últimos 7 pies, misma sección descrita en el registro CBL como zona de poca adherencia con lo que a cementación respecta; sin embargo se realizó el trabajo de cañoneo en esta zona que tiene un sello hidráulico 10 pies por sobre la zona de interés y alrededor de 20 pies por debajo de la zona de interés, que es en definitiva lo que se busca en un trabajo de cementación regular.

[2] Valor recomendado por compañías operadora.

En consecuencia se considera que por lo evaluado, la cementación en este pozo es aceptable, y no se espera ningún problema el momento del cañoneo.

FIGURA 2.2: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-1 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Schlumberger

2.1.1.3 Cañoneo

El Pozo-1 fue cañoneado utilizando el sistema tipo ancla en el intervalo (10163' – 10192') MD, en condiciones de bajo balance estático (Pr>Ph), con un valor de ΔP aproximado de 500 psi a favor de la formación.

El cañoneo se realizó con cañones de 4 ½ pulgadas de diámetro exterior, a 5 dpp (disparos por pie) con cargas moldeadas HMX de alta penetración.

Los valores y cálculos de los parámetros utilizados durante el cañoneo a través de la técnica tipo ancla, se muestran en lo que se ha denominado One Trip Planner, que se muestra en el **ANEXO B.1** para este pozo.

2.1.1.4 Prueba de Build Up

Luego de realizarse el cañoneo con el sistema tipo ancla, el pozo empezó a producir a través del sistema de bombeo electrosumergible, inmediatamente después del accionamiento de las cargas. Dada las condiciones de completación del pozo, no fue posible cerrar el pozo para realizar pruebas de build up, por lo que se utilizó la información de la memoria de la bomba electrosumergible para estimar valores de S y Pwf. Los datos obtenidos a través de la memoria de la bomba se muestran en la **TABLA 2.2**, que se muestra a continuación:

TABLA 2.2: RESULTADOS BUILD UP POZO-1

Pr [psi]	1200
k [md]	100
Skin	-2.05
Pwf [psi]	1149.8
Q [BPPD]	860

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Realizado por: Marco Brito Flores

2.1.2 POZO-2

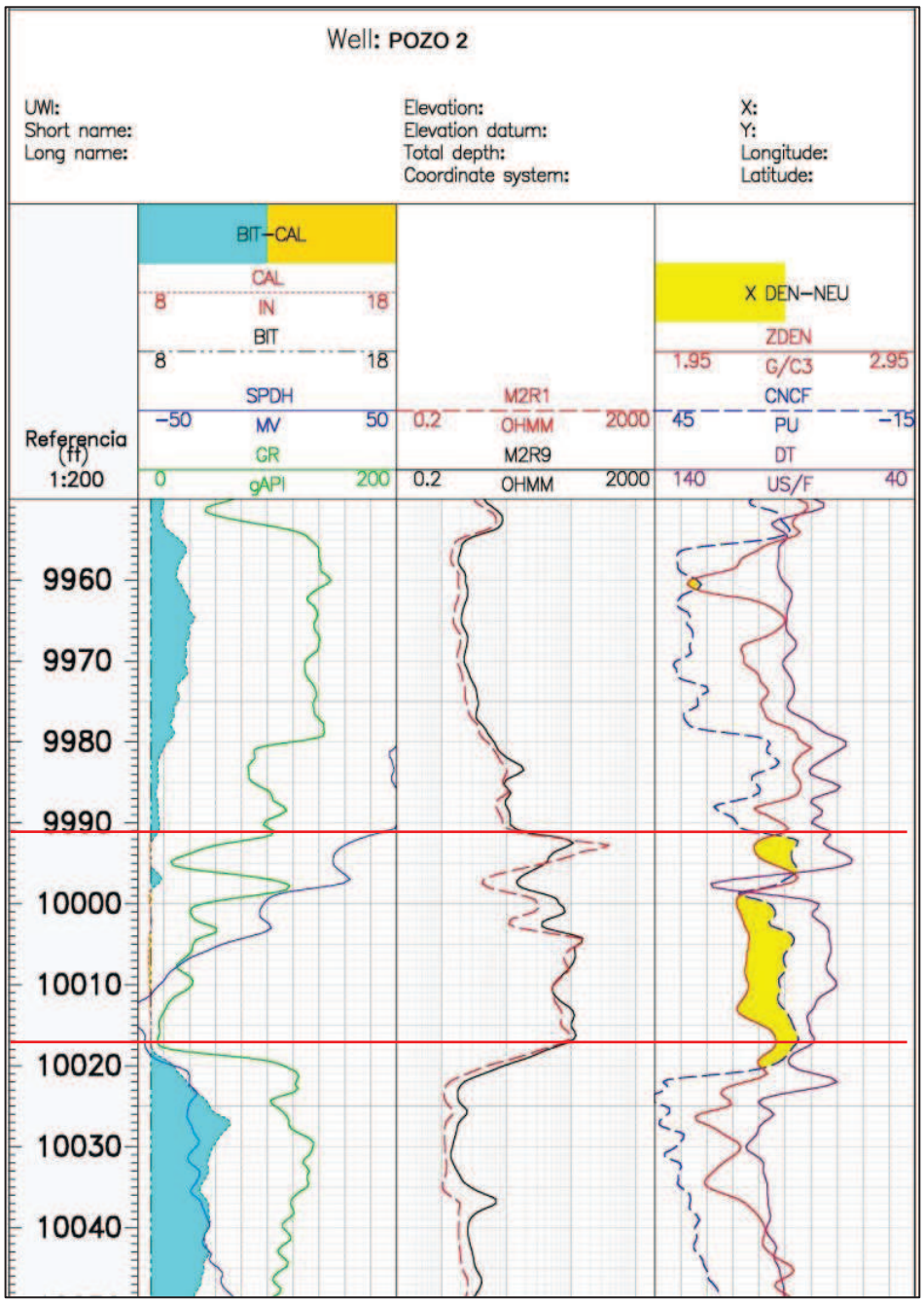
El Pozo-2 se perforó en el mes de agosto del 2011, alcanzado una profundidad total de 10564 pies (MD). Los objetivos principales de este pozo se centraron en los reservorios Napo U y Hollín. En esta sección, el presente estudio se concentra en la arenisca U.

En el mismo mes de agosto se corrieron registros a hoyo abierto en el pozo, desde los 9200 pies hasta los 10500 pies (MD), obteniendo curvas de gamma ray, resistividad, densidad-neutrón, entre otras.

2.1.2.1 Registro a hoyo abierto

La evaluación del registro a hoyo abierto está enfocada en el intervalo de 9992 pies hasta los 10018 pies (MD), correspondiente a la arenisca U inferior.

FIGURA 2.3: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-2 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

La sección en este estudio (**FIGURA 2.3**), resultó ser un cuerpo de 26 pies, en la que se observa un valor promedio de gamma ray de 38 API, una resistividad profunda de 90 ohm.m, y una densidad de 2.35 g/cm^3.

La zona en estudio se presenta como un cuerpo arenoso bien definido con una pequeña intercalación de lutita en la zona superior.

En el análisis petrofísico se presenta como una zona de interés al ser roca reservorio y como intervalo neto de pago, en donde se observa una porosidad de 20% en la zona más alta, y una porosidad de 15% hasta la zona más baja, con un promedio de alrededor de 15.3%.

Los resultados de la evaluación petrofísica se presentan en la **TABLA 2.3**, que se muestra a continuación:

TABLA 2.3: PROPIEDADES PETROFÍSICAS POZO-2

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
U INFERIOR	26	15.3	0.88	0.153

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Realizado por: Marco Brito Flores

2.1.2.2 Registro de cementación

El registro de cementación del Pozo-2 se realizó al final del mes de agosto del 2011, donde se obtuvieron curvas principalmente de CBL y VDL; y mapa de cemento SBT (Segmented Bonded Tool), curva propia de la compañía Baker Hughes.

De acuerdo a la **FIGURA 2.4** en la que se muestra el registro de cementación, se puede observar en la segunda y cuarta pista el registro CBL y VDL, respectivamente. La zona de interés para la evaluación del cemento es de 9992 ft a 10018 ft (MD).

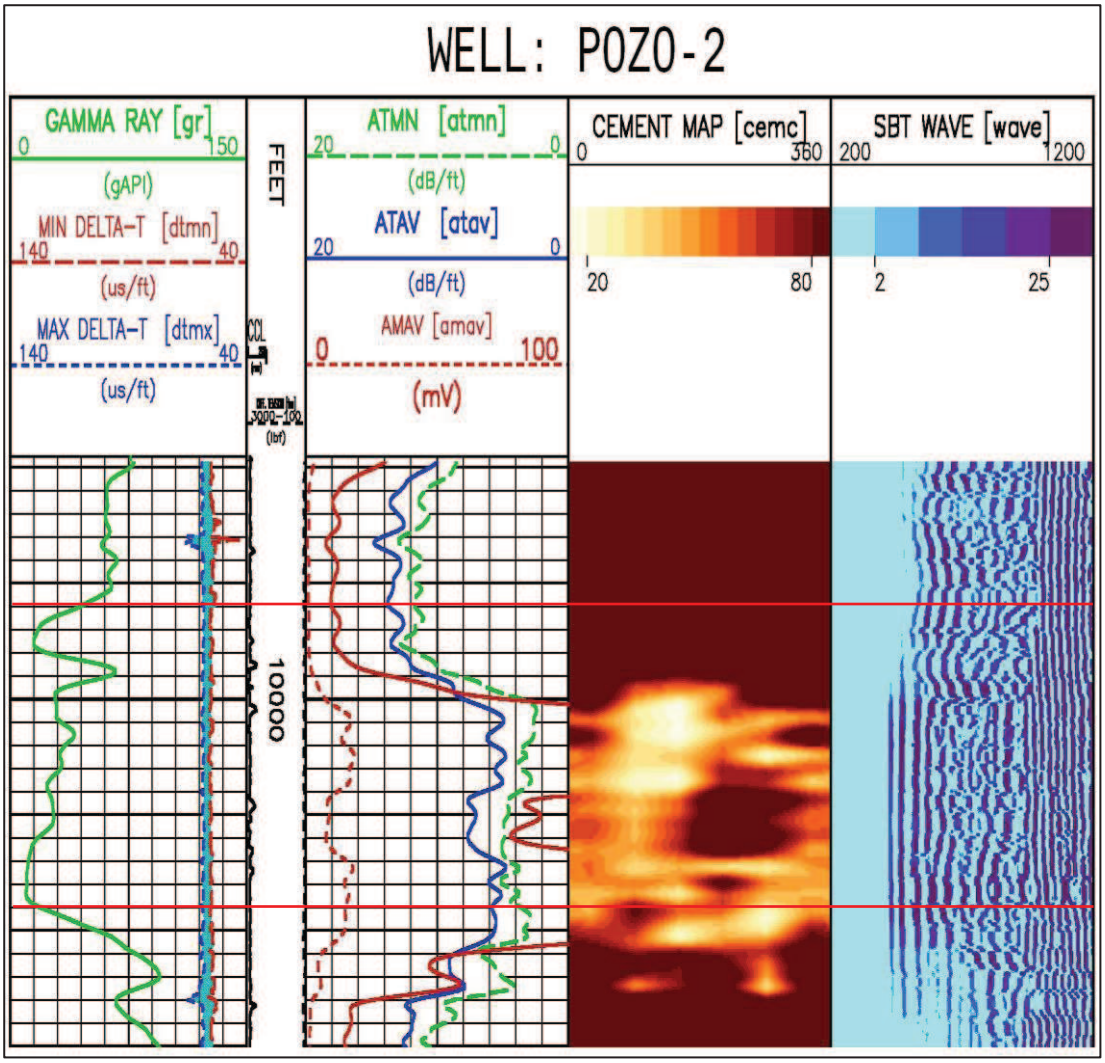
La evaluación de la cementación se enfoca en los 26 pies de espesor de la zona de interés a ser cañoneada. De acuerdo al registro CBL, podemos observar como los 8 primeros pies tienen una respuesta de la herramienta de alrededor de 1 o 2 mV. Los 18 pies restantes hasta la base de la zona de interés, se puede observar que el registro CBL registra un promedio de 15 mV. Como se mencionó anteriormente, un valor superior a 10 mV es un indicador de que la cementación en la interfase casing-cemento tiene ciertos problemas de adherencia; incluso si se centra la evaluación de acuerdo a registro SBT, que se encuentra en la tercera pista, vemos que la imagen deja ver ciertos espacios libres de cemento (color amarillo) en medio del cemento ya fraguado (color ladrillo).

Para la evaluación de la cementación en la interfase cemento-formación, se utiliza el registro VDL, el que se encuentra en la cuarta pista del registro de cementación del Pozo-2. De la misma forma, se toma en cuenta los primeros 8 pies del intervalo debido a que estos primeros pies muestran una cementación en la interfase cemento-formación con buena adherencia. Se reflejan ondas acústicas provenientes de la formación y prácticamente ninguna onda proveniente del casing.

En los siguientes 16 pies de la zona de interés, la adherencia cemento-formación ya no es suficientemente buena, hay ondas acústicas provenientes del casing, lo que indica que no hay comunicación con la formación, lo cual resulta en poca adherencia cemento-formación.

Finalmente se debe considerar que tanto por sobre como por debajo de la zona de interés, existe una buena cementación lo que garantiza un sello hidráulico, por lo que posibles problemas durante la producción serían evitados.

FIGURA 2.4: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-2 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

2.1.2.3 Cañoneo

El Pozo-2 fue cañoneado utilizando la técnica TCP en el intervalo de 9992 pies a 10018 pies MD, en condiciones de bajo balance hidrostático (Pr>Ph), con un valor de ΔP aproximado de 450-600 psi a favor de la formación.

El cañoneo se realizó con cañones de 4 ½ pulgadas de diámetro exterior, a 5 dpp (disparos por pie) con cargas moldeadas de alta penetración.

2.1.2.4 Prueba de Build up

Luego de poner en producción, y posteriormente a la instalación de un sistema BES, se utiliza la información de sensor de fondo de la bomba para poder realizar una prueba de restauración de presión o Build up.

De la prueba de build up, se resumen los siguientes datos relevantes en la **TABLA 2.4**.

TABLA 2.4: RESULTADOS BUILD UP POZO-2

Pr [psia]	1619
k [md]	278.9
Skin	0.02
Pwf [psia]	1163.7
Q [BPPD]	111

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.3 POZO-3

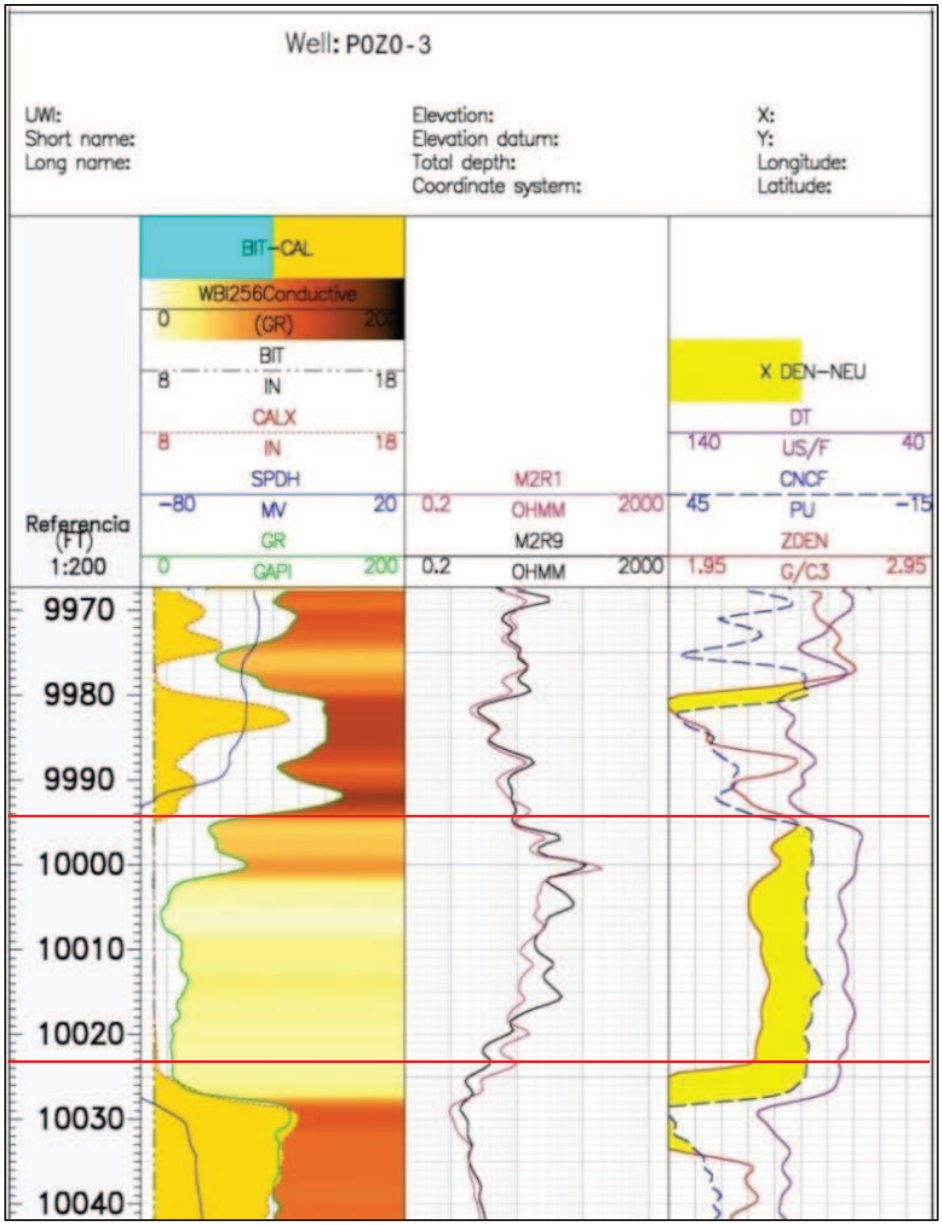
El Pozo-3 se terminó de perforar en el mes de diciembre del 2011 con una profundidad total de 10570 pies (MD). Inmediatamente después se corrieron registros a hoyo abierto, obteniendo curvas principalmente de gamma ray, resistividad y densidad-neutrón; considerándose como objetivo principal la arenisca U inferior de la formación Napo.

Posteriormente en el mismo mes de diciembre, se corrieron registros a hoyo entubado para determinar calidad de la cementación y así finalmente, se realizó el cañoneo utilizando la técnica tipo ancla para poner a producir el pozo a través del sistema de bombeo electrosumergible (BES).

2.1.3.1 Registro a hoyo abierto

El registro a hoyo abierto se enfoca en la sección de 9995 pies hasta los 10024 pies (MD), sección correspondiente a la arenisca U inferior, de la formación Napo. Se puede observar en el registro (**FIGURA 2.5**), que la zona en estudio se presenta como un cuerpo de 29 pies, con valores de gamma ray de 22.5 API, resistividad de 50 ohm.m, y una densidad de 2.41 g/cm^3.

FIGURA 2.5: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-3 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Del análisis petrofísico a esta sección, se ve un cuerpo arenoso bien definido, sin intercalaciones de lutitas en toda la zona de interés o zona de pago. La porosidad es uniforme en toda la sección con un promedio de 16.2%.

Finalmente, luego de considerar todos los parámetros evaluados para el registro a hoyo abierto del Pozo-3, la **TABLA 2.5** resume los datos más relevantes a considerar para la arena productora en estudio.

TABLA 2.5: PROPIEDADES PETROFÍSICAS ARENA U INFERIOR POZO-3

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
U INFERIOR	29	16.2	0.85	0.143

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

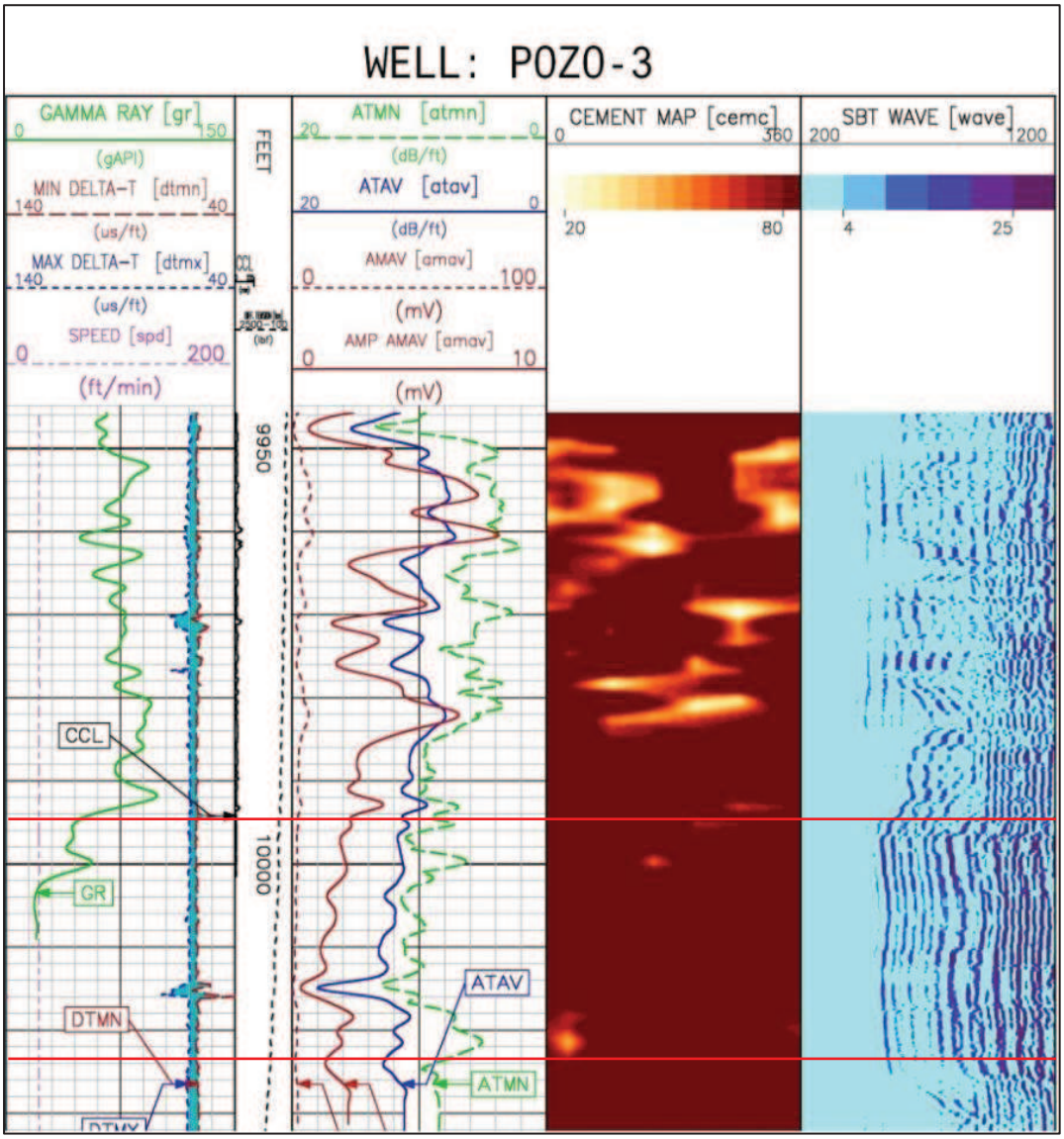
2.1.3.2 Registro de cementación

Luego de correr las herramientas de registro de cementación en el Pozo-3, se obtuvieron curvas principalmente de CBL y VDL; y una imagen de SBT, curva que como se ha mencionado, es propia de la compañía Baker Hughes.

La **FIGURA 2.6** muestra el registro de cementación realizado al Pozo-3, y se puede observar en la segunda y cuarta pista el registro CBL y VDL, respectivamente. La zona de interés para la evaluación del cemento es de 9995 pies hasta los 10024 pies (MD).

El registro de CBL muestra una respuesta de la herramienta en la zona más alta de alrededor de 2 mV, y en la zona más baja incluso de menos que 1 mV, con un promedio aproximado de 1.1 mV. Estos valores en el registro CBL nos dan un indicio de una cementación realmente efectiva, con una adherencia casing-cemento altamente confiable. También mirando la imagen de la tercera pista del registro de cemento, la que muestra zonas libres de cemento casi nulas (color ladrillo).

FIGURA 2.6: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-3 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

El registro VDL que se muestra en la cuarta pista, muestra a lo largo de toda la zona de interés prácticamente cero ondas acústicas provenientes de casing, por lo tanto las ondas que están registradas son las provenientes de la formación, lo que indica una alta comunicación entre el casing, cemento y formación, dándonos la idea de una adherencia cemento-formación realmente efectiva.

En consecuencia, se puede asegurar que el trabajo de cementación del pozo se realizó correctamente, sin pérdida de cemento en la zona permeable y porosa de

interés, la que no presentaría mayor inconveniente el momento del cañoneo y mucho menos en la producción.

2.1.3.3 Cañoneo

El Pozo-3 fue cañoneado a finales del mes de dicembre del 2011 utilizando la técnica de cañoneo tipo ancla en el intervalo de 9995 pies hasta 10024 pies (MD). El cañoneo fue realizado en una condición de bajo balance estático (Pr>Ph), con un ΔP a favor de la formación de 500 psi.

En el diseño del cañoneo se consideró cargas de alta penetración, cuyo cañón se encontraba configurado para realizar 5 ddp (disparos por pie) a 60 grados de desfase.

2.1.3.4 Prueba de Build up

Para realizar la toma de datos de build up en el Pozo-3, se utilizó los datos del sensor de fondo de la bomba electrosumergible debido a la forma de completación del pozo.
Del sensor de fondo, se resumen los siguientes datos relevantes:

TABLA 2.6: RESULTADOS BUILD UP POZO-3

Pr [psi]	1663
k [md]	200
Skin	0.346
Pwf [psi]	1147.5
Q [BPPD]	1203

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.4 POZO-4

El Pozo-4 se terminó de perforar el mes de septiembre del 2011 con una profundidad total de 10936 pies (MD). Una vez terminada la operación de perforación, se corrieron registros eléctricos a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, donde se obtuvieron principalmente curvas de gamma ray, resistividad y densidad – neutrón.

A continuación de su evaluación, el pozo fue cementado y registrado a hoyo entubado para determinar la calidad del cemento, y finalmente se realizó la operación de cañoneo utilizando el sistema wireline convencional.

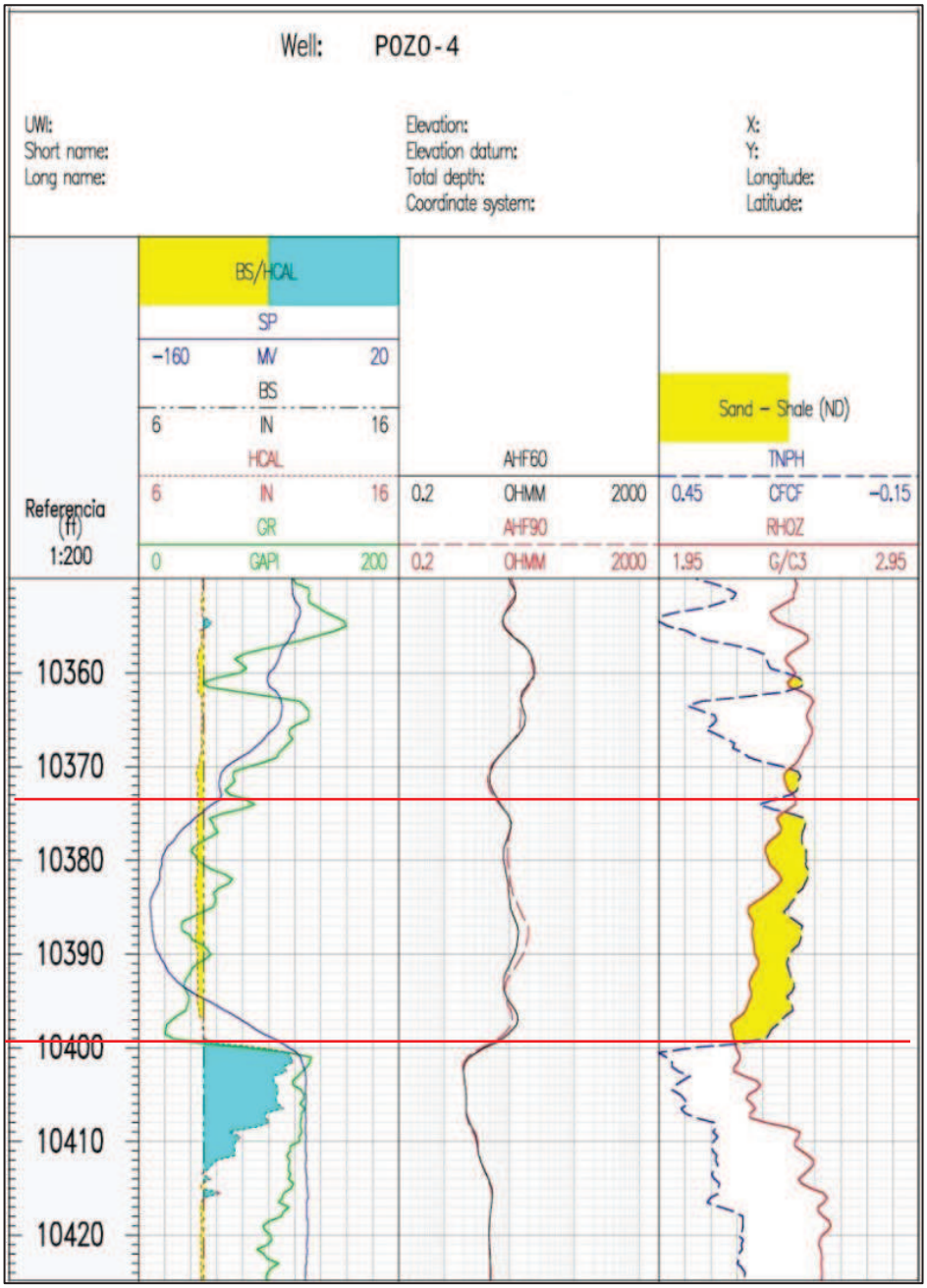
2.1.4.1 Registro a hoyo abierto

El registro a hoyo abierto se corrió en el Pozo-4 en el mismo mes de septiembre, en la zona correspondiente a los 10152 pies hasta los 10915 pies (MD). El cuerpo arenoso de mayor interés se encuentra en la zona de 10374 pies hasta los 10400 pies (MD), el cual resultó ser de aproximadamente 26 pies de espesor.

En la **FIGURA 2.7**, se puede observar que el registro gamma ray muestra un valor de promedio aproximado de 43 API, valor que nos permite pensar en que se trata de una arenisca.

Lo que corresponde a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad relativamente somera de aproximadamente 100 ohm.m y una resistividad profunda de aproximadamente 130 ohm.m, diferencia que nos permite corroborar lo visto en el gamma ray, ya que aparentemente tenemos un perfil de invasión, por eso la diferencia de resistividades. La densidad promedio de la roca está alrededor de 2.36 g/cm^3.

FIGURA 2.7: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-4 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Los 26 pies de espesor presentan una porosidad menor en la zona más alta, la cual tiene un ligero incremento en la zona más baja, siendo su porosidad promedia de alrededor de 17.5%. La **TABLA 2.7** resume los datos más relevantes:

TABLA 2.7: DATOS PETROFÍSICOS POZO-4

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
U INFERIOR	26	17.3	0.78	0.16

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborador por: Marco Brito Flores

2.1.4.2 Registro de cementación

En el registro de cementación del Pozo-4, se obtuvieron curvas de CBL y VDL, además de una imagen de SBT.

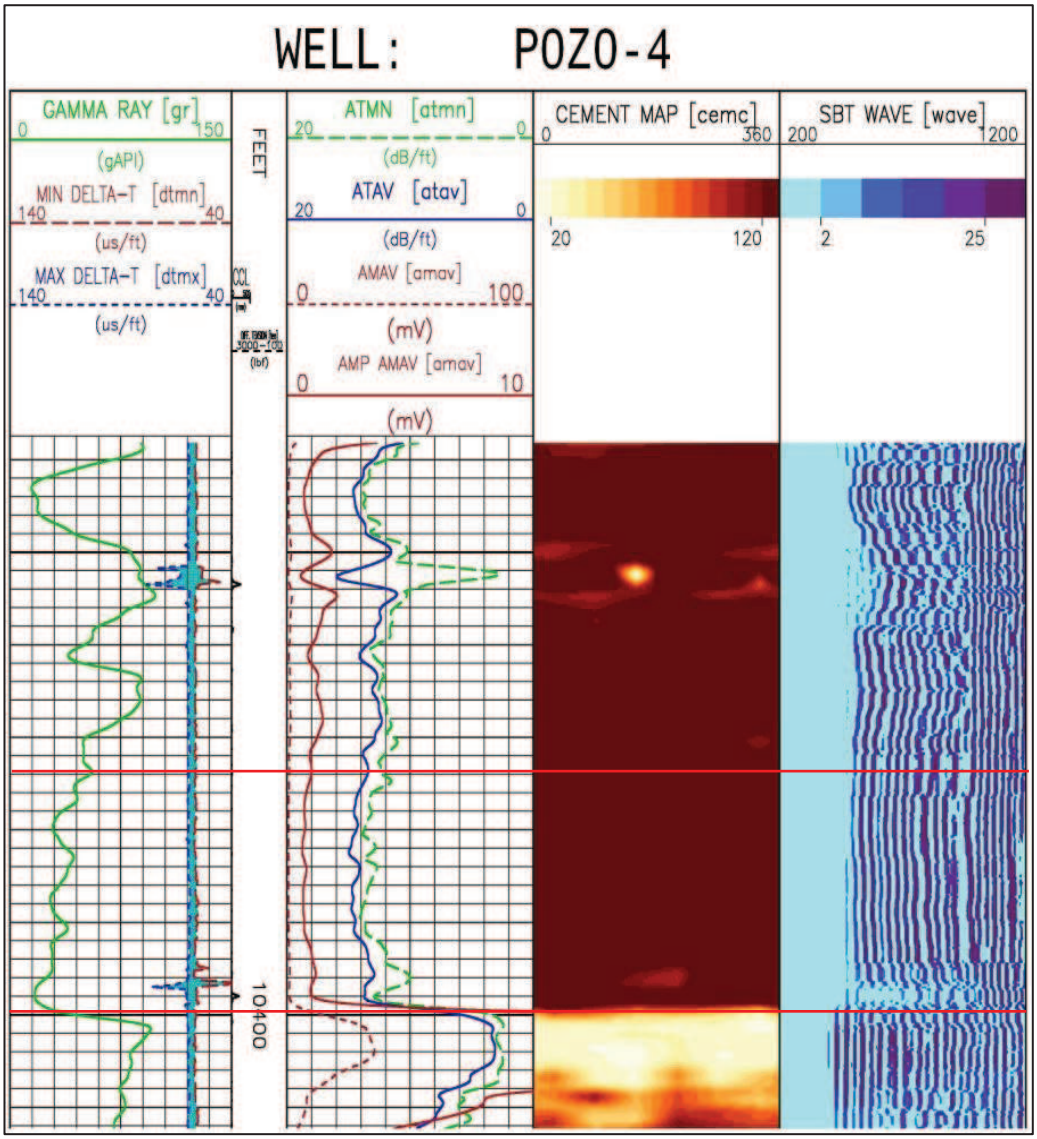
La **FIGURA 2.8** muestra el registro de cementación realizado al Pozo-4, y se puede observar en la segunda y cuarta pista el registro CBL y VDL respectivamente. La zona de interés para la evaluación del cemento es de 10374 pies hasta los 10400 pies (MD).

El registro de CBL muestra una respuesta de la herramienta uniforme durante todo el intervalo de interés de 1 mV. Este bajo registro en milivoltios, da muestra del grado de adherencia en la interfase casing-cemento, así como también la efectividad de la cementación en esta región. El mapa de cemento SBT, que se encuentra en la tercera pista del registro de cementación, permite corroborar la evaluación. La imagen no muestra indicios de aire, o espacios sin cemento en el intervalo de interés.

En lo que respecta al registro VDL, la mayor cantidad de ondas acústicas registradas en el intervalo de interés corresponden a ondas provenientes de la formación. Esta información da claros indicios de una impedancia acústica reducida a lo largo del casing y cemento, por lo que la adherencia cemento-formación es de gran calidad.

Después de esta evaluación, se considera que la cementación en este pozo se ha realizado correctamente, sin presentar mayores inconvenientes; por lo que es de esperar que durante el cañoneo no haya mayores inconvenientes.

FIGURA 2.8: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-4 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

2.1.4.3 Cañoneo

El Pozo-4 fue cañoneado en los últimos días del mes de septiembre del 2011 utilizando el sistema TCP conjuntamente con la técnica de bajo balance dinámico, en el intervalo de 10374 pies a 10400 pies (MD) correspondiente a la arenisca U inferior, utilizando cargas de alta penetración Extra DP HMX, dispuestas en el cañón a 5 ddp, con una fase de 60 grados.

El desbalance hidrostático estuvo en el orden de 600 psi a favor de la formación, mientras que el desbalance dinámico se encontró en el orden de 1500 a 1700 psi a favor de la formación.

El pozo inicia su producción a inicios del mes de octubre del 2011, y se mantiene en producción constante por alrededor de dos meses.

2.1.4.4 Prueba de Build up

En el mes de noviembre del 2011, el Pozo-4 es cerrado para iniciar una prueba de restauración de presión en la arenisca U inferior, que se encuentra en el intervalo de 10374 pies a 10400 pies (MD).

El pozo fue evaluado utilizando una bomba jet 10-J, y la interpretación se la realizó con el software Saphir v4.12.07.

De la prueba de build up, se resumen los siguientes datos relevantes mostrados en la **TABLA 2.8**, que se muestra a continuación.

TABLA 2.8: RESULTADOS BUIL UP POZO-4

Pr [psia]	1765
k [md]	63.8
Skin	4.44
Pwf [psia]	590
Q [BPPD]	331

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.5 POZO-5

El Pozo-5 se terminó de perforar a finales del mes de noviembre del 2012, con una profundidad de 10400 pies (MD). A inicios del mes de diciembre del 2012, se

corren registros a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad, densidad-neutrón y sónico.

A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación, y finalmente es cañoneado utilizando la técnica tipo ancla y puesto a producir.

2.1.5.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-5 se corrieron registros a hoyo abierto en el mes de diciembre del 2012, en la zona correspondiente a los 8950 pies hasta los 10390 pies (MD). En el intervalo de 9021 pies a 9034 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de aproximadamente 13 pies de espesor.

En la **FIGURA 2.9** se puede observar que el registro de gamma ray muestra un valor de 30 API, valor muy común en sistemas arenosos.

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad somera promedio de 320 ohm.m y una resistividad profunda promedio de 273 ohm.m. La separación de ambas resistividades nos indica la presencia de un perfil de invasión, que permite asumir que se trata de una zona permeable.

Finalmente se puede mencionar la densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.30 g/cm^3. Los 13 pies de espesor presentan una porosidad uniforme y constante en toda su longitud. La porosidad promedio es de alrededor de 17.4%. La **TABLA 2.9** resume los datos más relevantes.

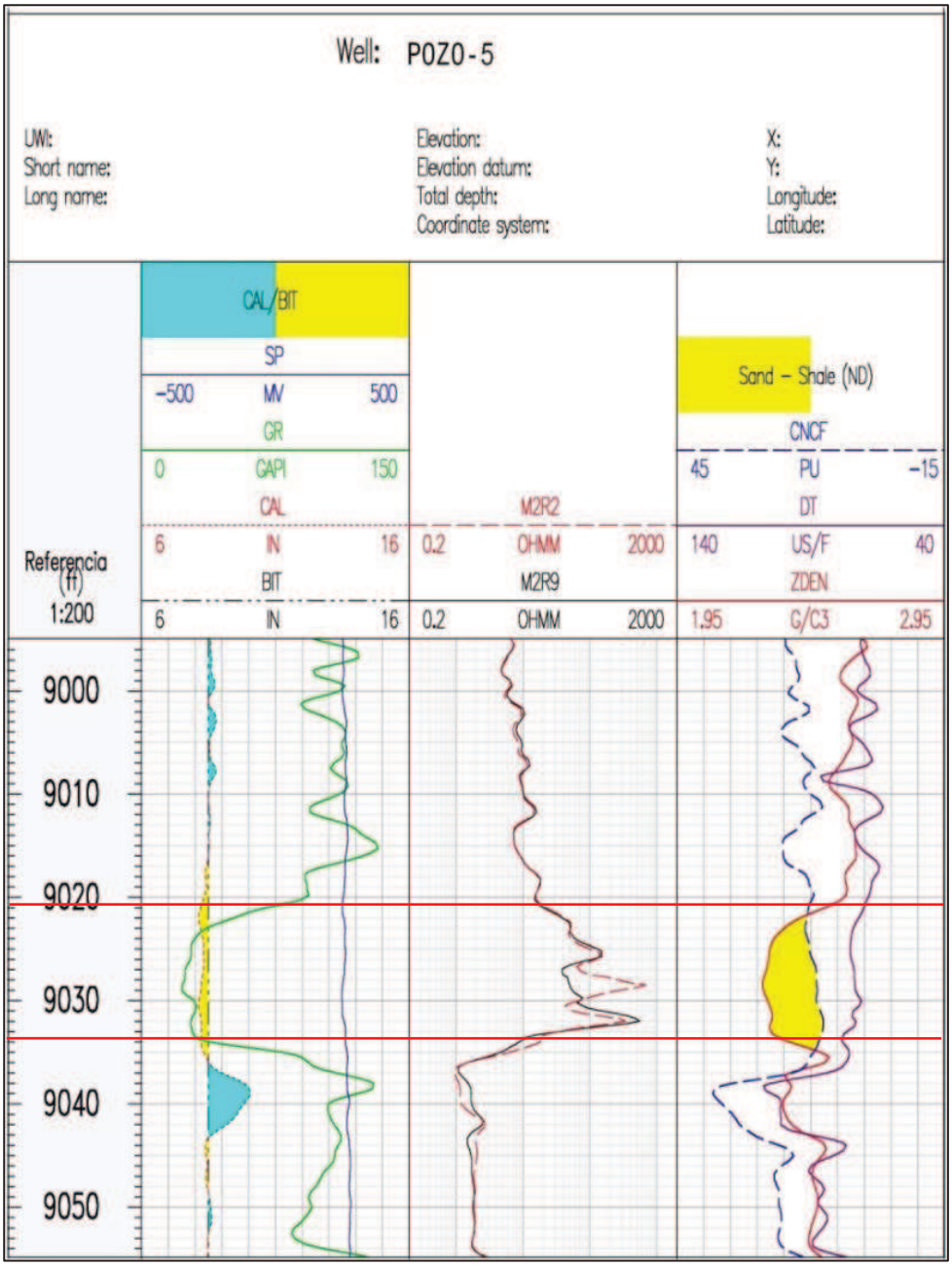
TABLA 2.9: DATOS PETROFÍSICOS POZO-5

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
BASAL TENA	13	17.4	0.82	0.086

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborador por: Marco Brito Flores

FIGURA 2.9: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-5 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

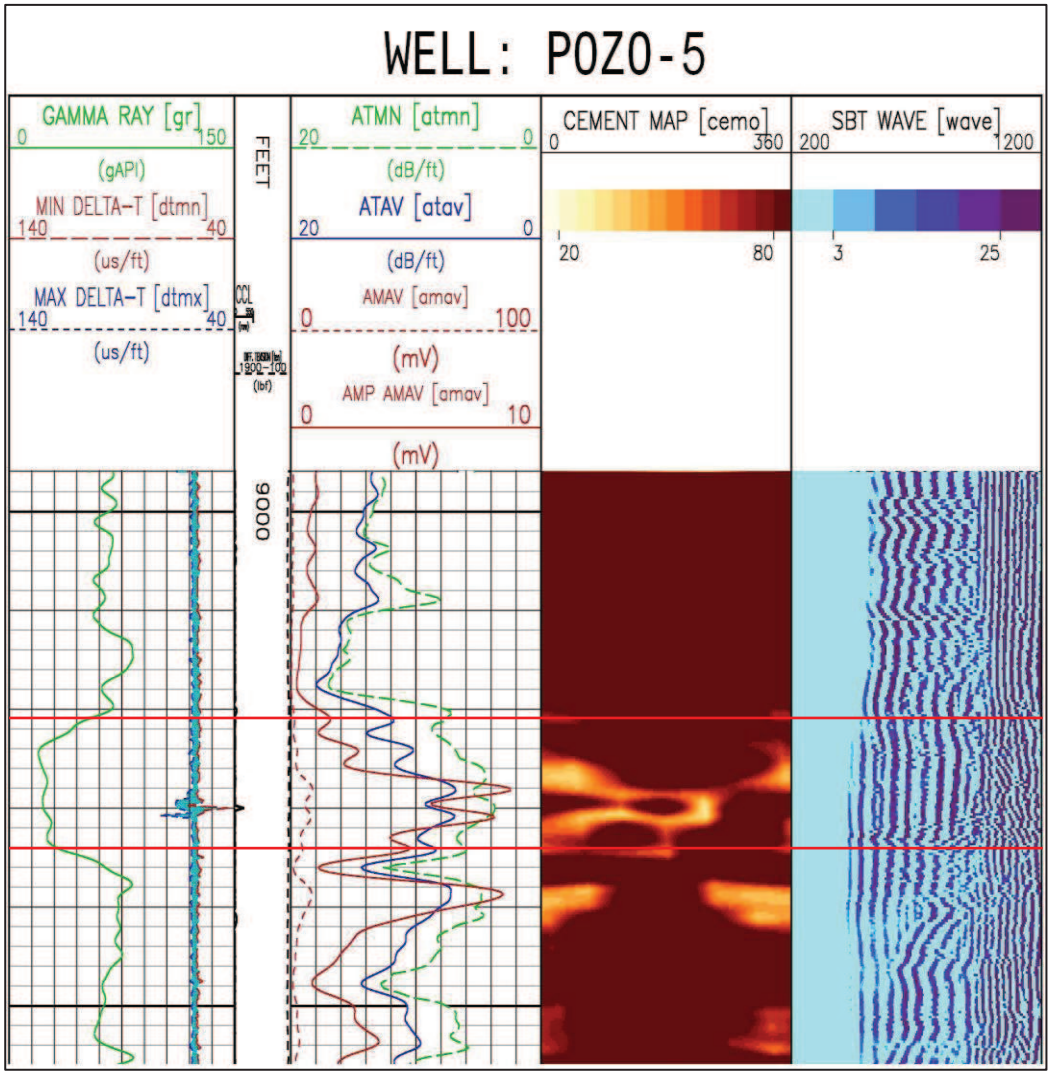
Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

2.1.5.2 Registro de cementación

El registro de cemento se corrió en el Pozo-5 a mediados del mes de diciembre del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL; y una curva o mapa de cemento SBL (Segmented Bonded Log), propias de la compañía Baker

Hughes, que fue la que realizó el registro de cementación para este pozo, en el intervalo de 9021 pies a 9034 pies (MD).

FIGURA 2.10: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-5 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

Analizando la cementación entre el casing y la formación, utilizamos el CBL que se encuentra en la segunda pista del registro de cemento (**FIGURA 2.10**), donde se puede ver que en la zona de interés el valor en milivoltios en la zona más alta es de 2 mV, en la parte media de 6.2 mV, y en la parte baja de aproximadamente 2.6 mV; por lo tanto se puede considerar que la cementación en esta zona es aceptable.

La evaluación de cementación entre el casing y la formación se la realiza a través del registro VDL, que se encuentra en la cuarta pista del registro de cemento; y se puede apreciar como las ondas acústicas en la zona de interés son atenuadas por exclusivamente por el casing, muy probablemente debido a que la formación es de baja a mediana velocidad de transmisión de la onda acústica, pero también posiblemente por presencia de costra de lodo en la zona permeable, provocando así una regular cementación cemento-formación.

La evaluación muestra un trabajo de cementación que no compromete ningún trabajo posterior, como es el caso de cañoneo, con buen sello hidráulico sobre y bajo la zona de interés.

2.1.5.3 Cañoneo

El Pozo-5 fue cañoneado el 15 de diciembre del 2012 en el intervalo de interés que va de 9021 pies hasta los 9034 pies (MD) correspondiente a la arenisca Basal Tena, utilizando la técnica de cañoneo tipo ancla con cañones de 4 ½ pulgadas, cargas Extra DP HMX de alta penetración, configuradas a una fase de 60 grados, y distribuidas en el cañón a 5 dpp, bajo la condición de bajo balance estático con un ΔP de 600 psi.

Los principales parámetros considerados para el diseño del cañoneo se muestran en el One Trip Planner (**ANEXO B.2**).

Luego del cañoneo, y después de analizar la información del sensor de la bomba BES, se determinó que el cañoneo fue realizado exitosamente con un desbalance de 770 psi a favor de la formación; es decir 170 psi por encima del valor diseñado inicialmente.

2.1.5.4 Prueba de build up

Luego de realizarse el cañoneo con el sistema tipo ancla, el pozo empezó a producir a través del sistema de bombeo electrosumergible. La prueba de build up

se suple utilizando la información del sensor de la bomba eléctrosumergible, y los datos más relevantes son:

TABLA 2.10: RESULTADOS BUIL UP POZO-5

Pr [psi]	1230
k [md]	1100
Skin	4.87
Pwf [psi]	708.8
Q [BPPD]	850

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.6 POZO-6

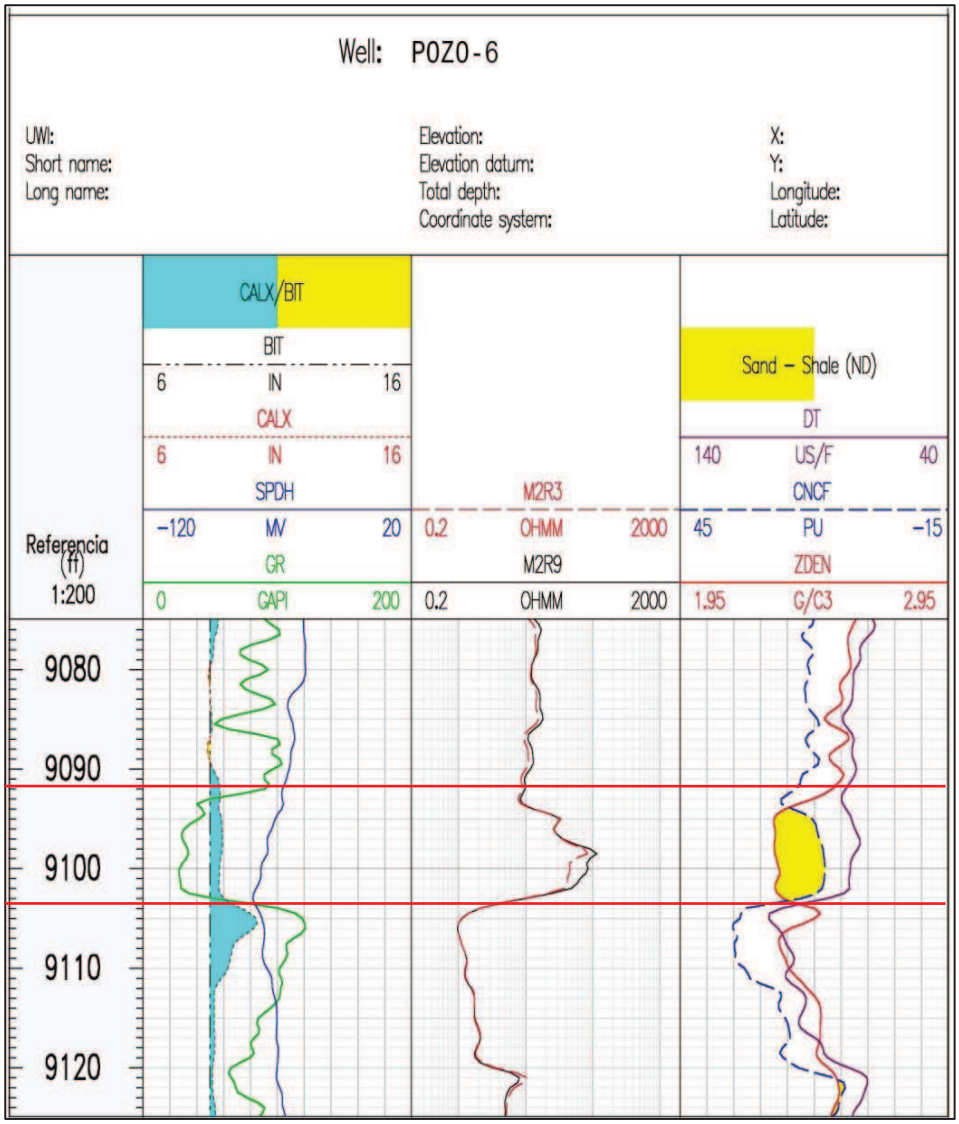
El Pozo-6 se terminó de perforar en los primeros días del mes de marzo del 2012 con una profundidad total de 10440 pies (MD). Posteriormente en el mismo mes de marzo del 2012, se corren registros a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad, densidad-neutrón y sónico.

A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación; y finalmente es cañoneado utilizando el sistema wireline, y puesto a producir a mediados del mes de marzo del 2012.

2.1.6.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-6 se corrieron registros a hoyo abierto a mediados del mes de diciembre del 2012, en la zona correspondiente a los 9023 pies hasta los 10423.25 pies (MD). En el intervalo de 9092 pies a 9104 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de aproximadamente 12 pies de espesor. La **FIGURA 2.11** muestra la respuesta del equipo de registros frente a dicho cuerpo arenoso. Se puede observar que el registro de gamma ray muestra un valor de 35 API.

FIGURA 2.11: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-6 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad somera promedio de 300 ohm.m y una resistividad profunda promedio de 600 ohm.m. La separación de ambas resistividades nos indica la presencia de un perfil de invasión.

Finalmente se puede mencionar la densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.33 g/cm^3. Los 12 pies de espesor presentan una

porosidad uniforme y constante en toda su longitud. La porosidad promedio es de alrededor de 19%.

De la evaluación petrofísica se puede concluir que este cuerpo arenoso corresponde a la arenisca Basal Tena de la formación Tena, cuyos datos más relevantes se muestran en la **TABLA 2.11**, que se muestra a continuación:

TABLA 2.11: DATOS PETROFÍSICOS POZO-6

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
BASAL TENA	12	19	0.80	0.14

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

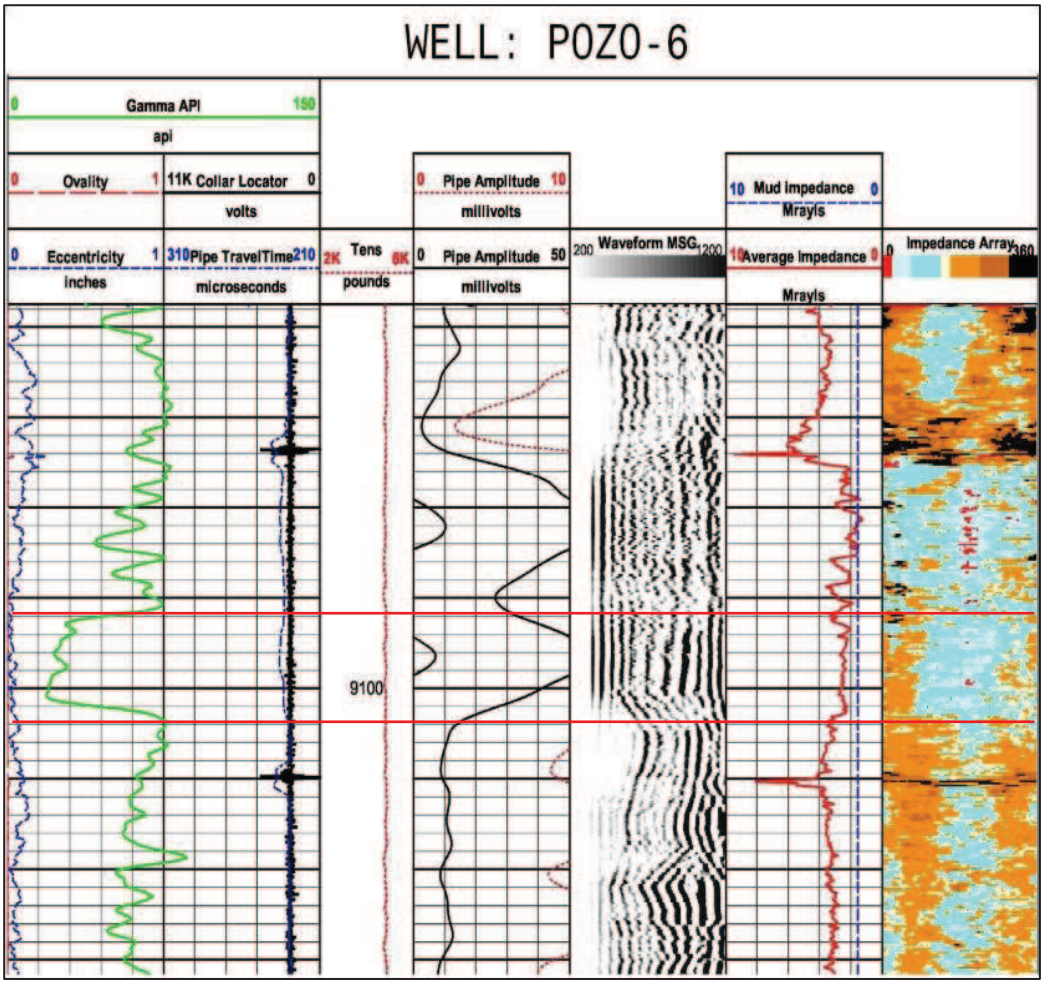
2.1.6.2 Registro de cemento

El registro de cemento se corrió en el Pozo-6 en el mismo mes de diciembre del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL; y curvas propias de la compañía que realizó el trabajo.

Analizando la cementación entre el casing y la formación, de acuerdo a la curva de CBL que se encuentra en la tercera pista del registro de cemento (**FIGURA 2.12**), en la región de 9092 pies a 9104 pies (MD), se puede apreciar que el valor de CBL tiene un valor que oscila entre los 40 a 60 mV, un valor muy por sobre el valor aceptable de cementación de 10 mV. El alto valor en milivoltios apreciado corresponde a la respuesta de casing libre, es decir sin cemento.

La ausencia de cemento en esa región es corroborada por el registro VDL que se puede ver en la quinta pista del registro de cemento; en el que frente a la arena de interés se puede observar ondas acústicas de retorno del casing. Este tipo de ondas se producen comúnmente por una cupla acústica no favorable, debida al espacio de fluido de completación entre el casing y la formación.

FIGURA 2.12: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-6 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Halliburton

La cementación es considerada aceptable, debido a que se tiene un sello hidráulico por cemento. Alrededor de 10 pies más debajo de la zona de interés, se puede apreciar un cemento de mejor calidad, alrededor de 10 mV en el registro CBL, y lo mismo sucede 20 pies por encima de la zona de interés.

2.1.6.3 Cañoneo

El Pozo-6 se cañoneó utilizando el sistema wireline en el intervalo de 9092 pies a 9104 pies (MD) correspondiente a la arenisca Basal Tena, utilizando cargas de alta penetración Extra DP HMX de 39 g, dispuestas en el cañón a 5 ddp, con una fase de 60 grados.

2.1.6.4 Prueba de build up

El Pozo-6 fue eventualmente cerrado para realizar pruebas de restauración de presión utilizando la información del sensor de la bomba eléctrosumergible, y los datos más relevantes son:

TABLA 2.12: RESULTADOS BUILD UP POZO-6

Pr [psi]	1211
k [md]	950
Skin	20.5
Pwf [psi]	690
Q [BPPD]	302

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.7 POZO-7

El Pozo-7 se terminó de perforar a mediados del mes de octubre del 2012, con una profundidad de 10736 pies (MD).En el mismo mes de octubre, se corren registros a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad, densidad-neutrón y DT.

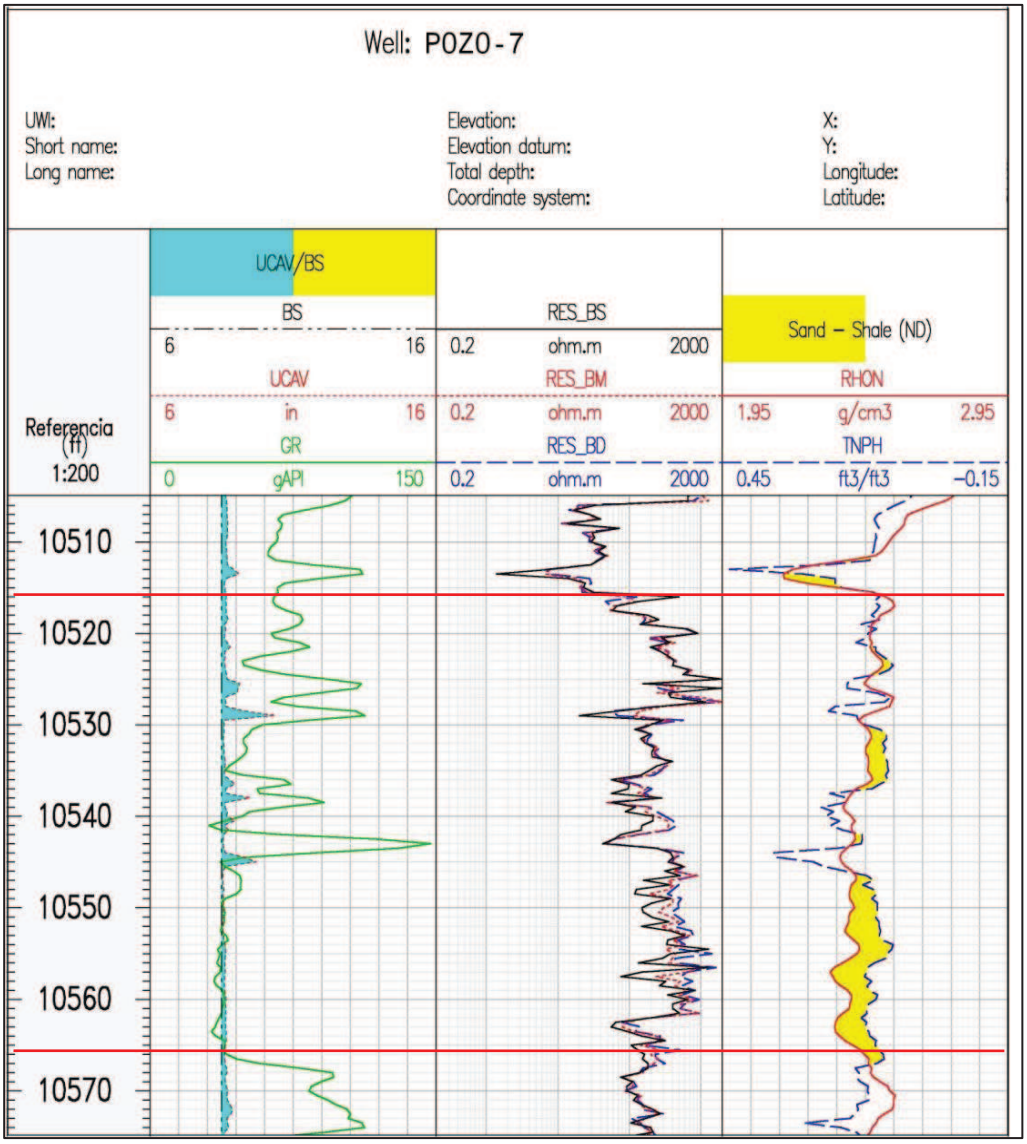
A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación, y finalmente es cañoneado utilizando la técnica tipo ancla y puesto a producir.

2.1.7.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-7 se corrieron registros a hoyo abierto en la zona correspondiente a los 8374 pies hasta los 10662 pies (MD). En el intervalo de 10516 pies a 10566 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de aproximadamente 50 pies de espesor.

La **FIGURA 2.13** muestra la respuesta del equipo de registros eléctricos frente a la zona de interés antes mencionada.

FIGURA 2.13: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-7 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Se puede observar un cuerpo arenoso con intercalaciones de lutita donde el gamma ray en la zona limpia tiene un valor de 38 API.

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad somera promedio de 300 ohm.m y una resistividad profunda promedio de 550

ohm.m. La separación de ambas resistividades nos indica la presencia de un perfil de invasión.

Finalmente se puede mencionar la densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.40 g/cm^3. Los 50 pies de espesor presentan una porosidad uniforme y constante en toda su longitud. La porosidad promedio es de alrededor de 13.5%. La **TABLA 2.13** resume los datos más relevantes.

TABLA 2.13: DATOS PETROFÍSICOS POZO-7

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
HOLLIN SUPERIOR	50	13.5	0.767	0.269

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborador por: Marco Brito Flores

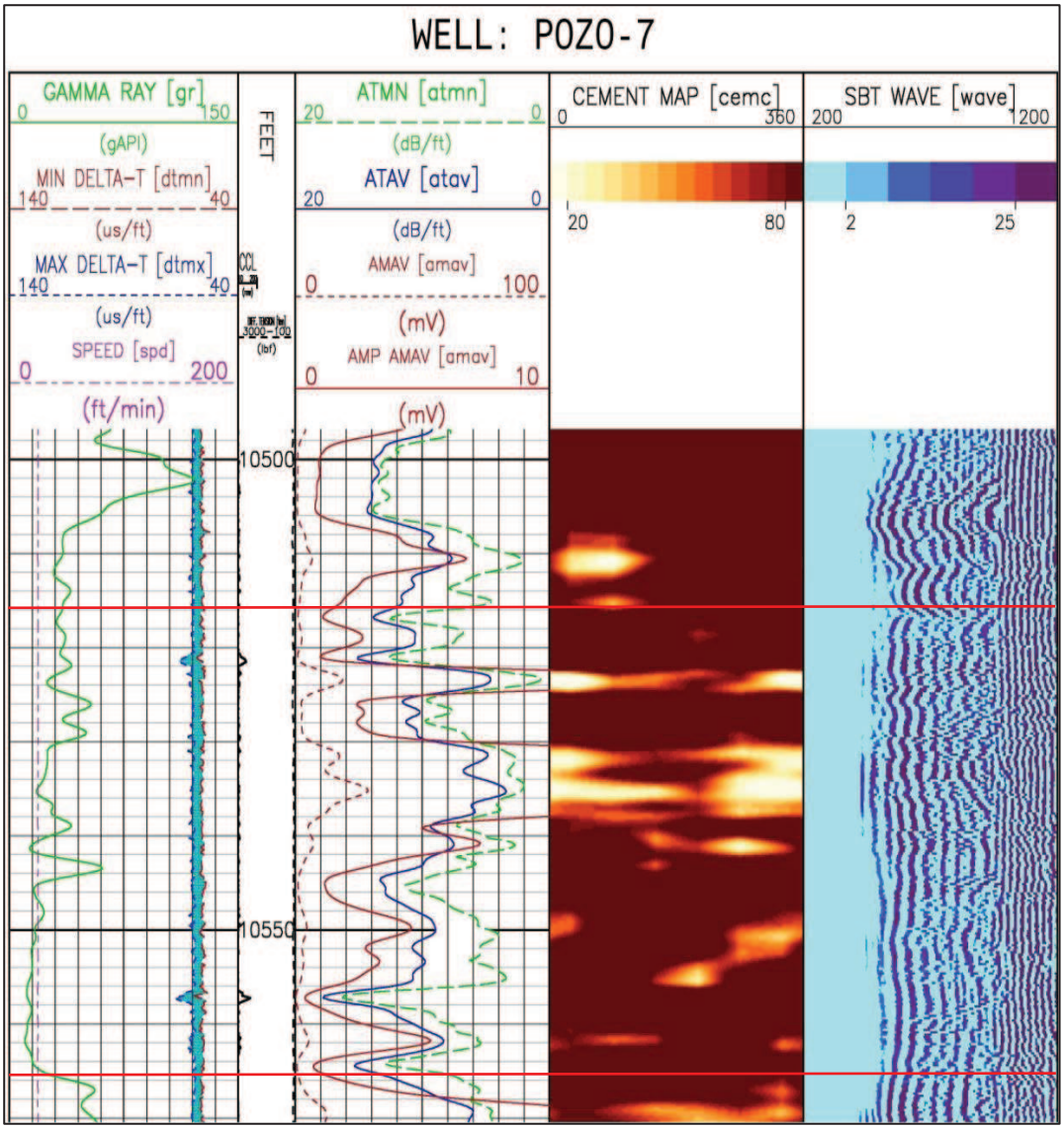
2.1.7.2 Registro de cementación

El registro de cemento se corrió en el Pozo-7 a finales del mes de octubre del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL; y una curva o mapa de cemento SBL, en el intervalo de 10516 pies a 10566 pies (MD), el mismo que es propio de la compañía Baker Hughes, que fue la compañía que realizó el registro de cementación para este pozo.

Analizando la cementación en la zona casing-cemento utilizamos el registro CBL que se encuentra en la segunda pista del registro de cemento (**FIGURA 2.14**), se puede ver una respuesta de la herramienta CBL con un valor de 0.5 a 2 mV; lo que permite hablar de una buena adherencia en la zona casing-cemento.

De parte del registro VDL, se observa retornos de ondas acústicas provenientes de la formación, con mínimas señales de ondas acústicas de casing. Esta respuesta permite inferir una adherencia cemento formación favorable. Por otro lado teniendo el mapa de cemento SBL, la cantidad de posibles espacios libres de cemento es reducida.

FIGURA 2.14: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-7 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

2.1.7.3 Cañoneo

El Pozo-7 fue cañoneado el 29 de octubre del 2012 en el intervalo de interés antes mencionado 10516 pies hasta los 10566 pies (MD) correspondiente a la arenisca Hollín Superior, utilizando la técnica de cañoneo tipo ancla con cañones de 4 ½ pulgadas, cargas Extra DP HMX de alta penetración, configuradas a una fase de 60 grados, y distribuidas en el cañón a 5 dpp, bajo la condición de bajo balance estático con un ΔP de 800 psi.

Los principales parámetros considerados para el diseño del cañoneo se muestran en el One Trip Planner (**ANEXO B.3**).

2.1.7.4 Prueba de build up

Luego de realizarse el cañoneo con el sistema tipo ancla, el pozo empezó a producir a través del sistema de bombeo electrosumergible. La prueba de build up se suple utilizando la información del sensor de la bomba eléctrosumergible, y los datos más relevantes son:

TABLA 2.14: RESULTADOS BUIL UP POZO-7

Pr [psi]	3600
k [md]	38
Skin	-0.93
Pwf [psi]	3475
Q [BPPD]	760

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.8 POZO-8

El Pozo-8 se terminó de perforar en los primeros días del mes de febrero del 2012, con una profundidad total de 11163 pies (MD). Posteriormente, se corren registros a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad, densidad-neutrón y DT.

A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación; y finalmente es cañoneado utilizando el sistema wireline, y puesto a producir a mediados del mes de febrero del 2012.

2.1.8.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-8 se corrieron registros a hoyo abierto en los primeros días del mes de febrero del 2012, en la zona correspondiente a los 9598 pies hasta los 11163 pies (MD). En el intervalo de 10950 pies a 10984 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de aproximadamente 34 pies de espesor.

La
FIGURA 2.15 muestra la respuesta de los registros eléctricos frente a dicho cuerpo arenoso. Se puede observar que el registro de gamma ray muestra un valor entre 60 a 80 API. Se aprecia una deflexión en la curva de potencial espontáneo SP, la que permite corroborar que se encuentra frente a un cuerpo permeable y poroso.

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad somera promedio de 20 a 25 ohm.m y una resistividad profunda promedio de 35 ohm.m[3]. La separación de ambas resistividades nos indica la presencia de un perfil de invasión.

Finalmente se puede mencionar la densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.65 g/cm^3. Los 34 pies de espesor presentan una porosidad uniforme y constante en toda su longitud. La porosidad promedio es de alrededor de 12%.

De la evaluación petrofísica se puede concluir que este cuerpo arenoso corresponde a la arenisca Hollin Superior, cuyos datos más relevantes se muestran en la **TABLA 2.15**, que se muestra a continuación:

[3] Las resistividades en Hollín Superior son bajas debido a que en esa zona hay presencia de glauconita. Un efecto de la glauconita es la reducción de las resistividades medidas por la herramienta.

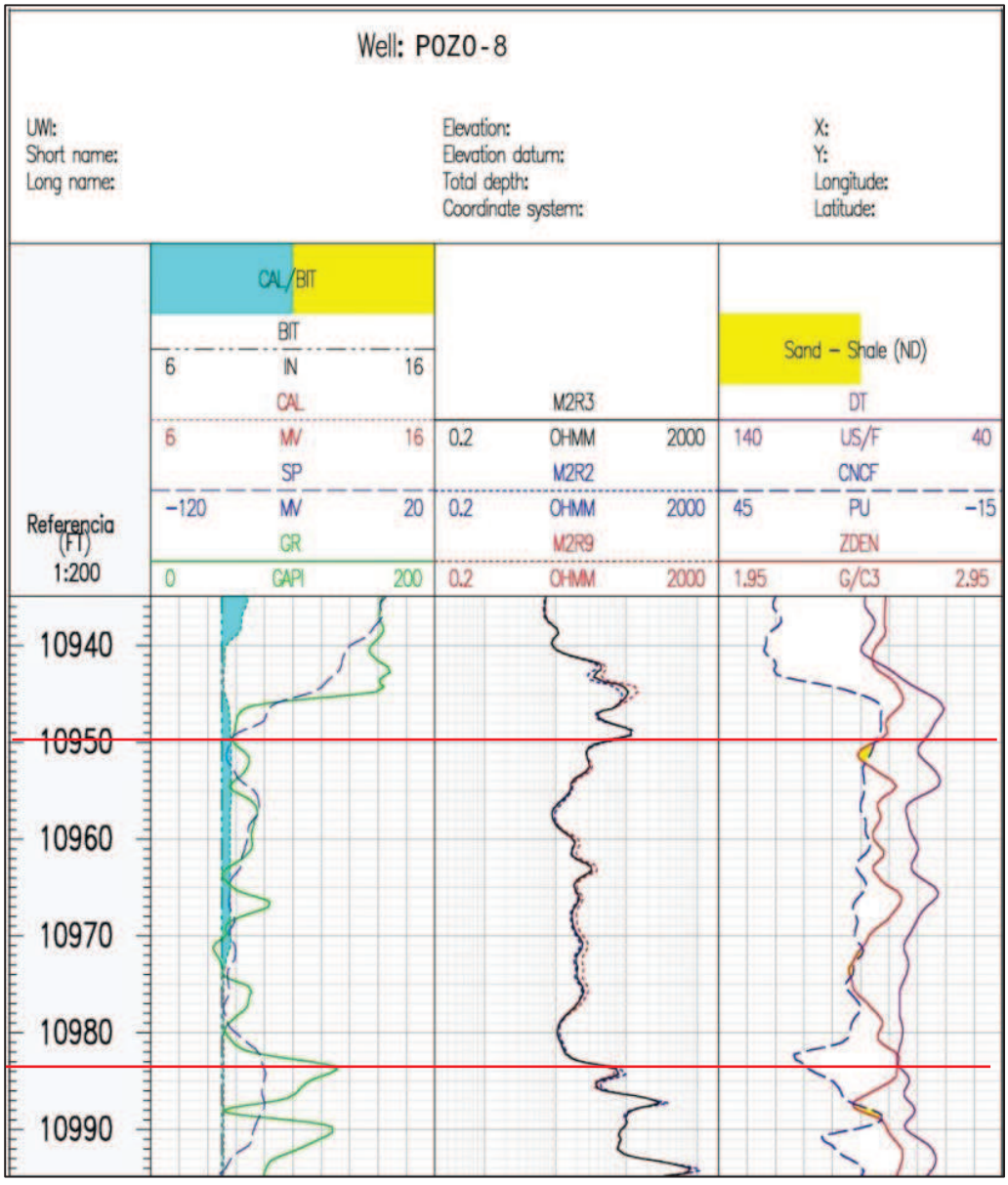
TABLA 2.15: DATOS PETROFÍSICOS POZO-8

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
HOLLÍN SUPERIOR	34	12	0.761	0.42

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

FIGURA 2.15: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-8 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

2.1.8.2 Registro de cemento

El registro de cemento se corrió en el Pozo-8 el 12 de febrero del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL; y además de curvas propias de la compañía que realizó el trabajo, en este caso Halliburton.

Utilizando la curva de CBL, que se encuentra en la tercera pista del registro de cemento (**FIGURA 2.16**), para determinar la adherencia en la interfase casing-cemento, en el intervalo de 10950 pies a 10984 pies (MD), se puede apreciar que el valor de CBL tiene una magnitud que oscila entre los 2 y 6 mV. Este valor registrado por el CBL, permite determinar una adherencia efectiva entre casing y cemento, ya que se encuentra por debajo de los recomendados 10 mV.

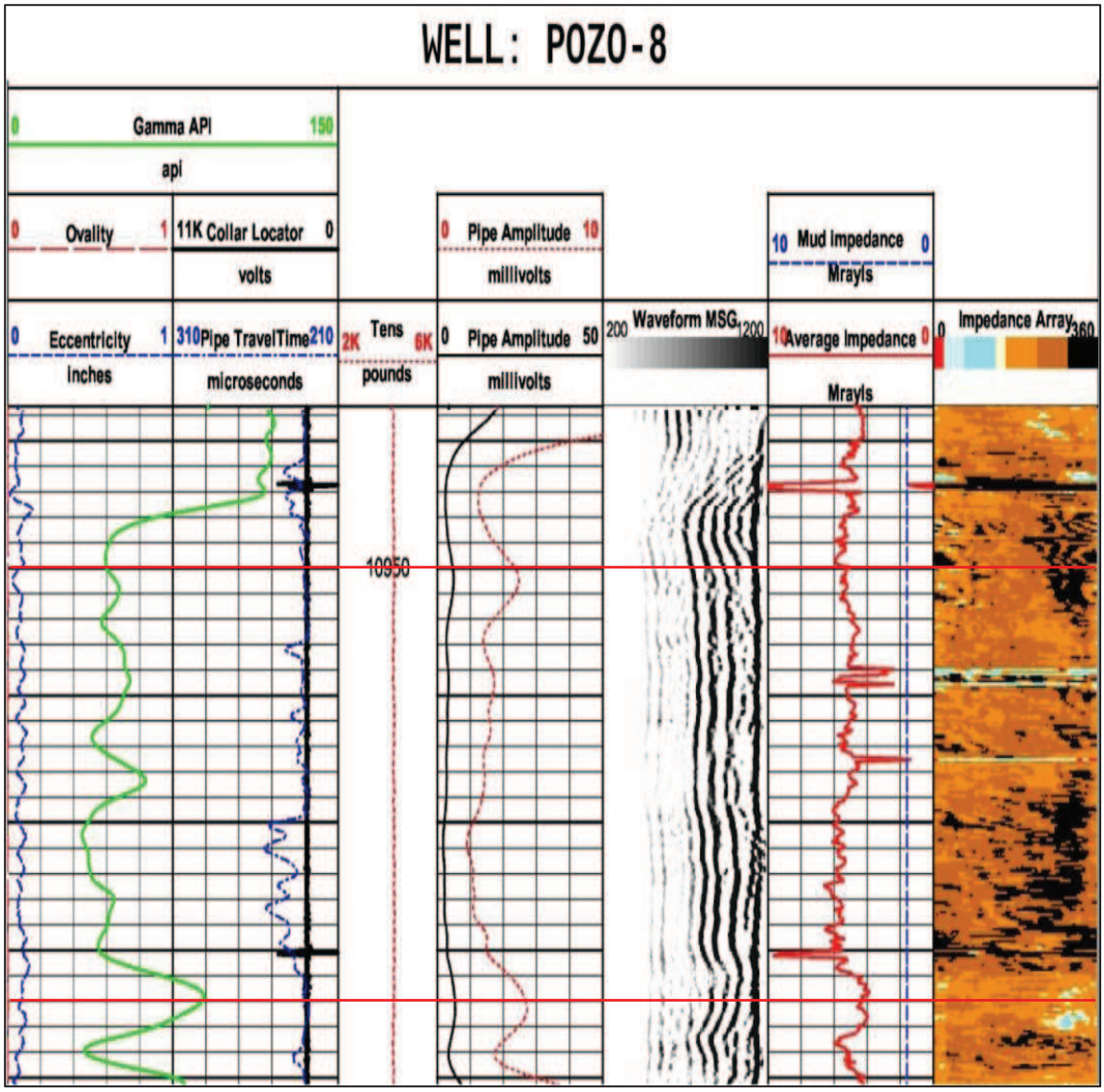
Por otro lado, para verificar la adherencia entre el cemento y la formación, se utiliza el registro VDL, que se encuentra en la cuarta pista del registro de cemento.

Durante todo el intervalo de interés, se puede notar claramente un retorno de ondas acústicas provenientes de la formación, lo que permite inferir que la adherencia en la interfase casing-cemento es bastante buena. Por el retorno de ondas de la formación vistas en el registro se puede hablar de una buena adherencia en la interfase casing-formación.

Finalmente no se observa ninguna presencia de canalización durante todo el intervalo, por lo tanto se podría decir que existe el sello hidráulico que se busca alcanzar con la cementación.

Al final de la evaluación del cemento, se concluye que en la zona de interés en estudio se encuentra con una buena cementación, y no se esperaría algún inconveniente el momento del cañoneo.

FIGURA 2.16: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-8 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Halliburton

2.1.8.3 Cañoneo

El Pozo-8 se cañoneo utilizando el sistema wireline en el intervalo de 10950 pies a 10984 pies (MD) correspondiente a la arenisca Hollín Superior, utilizando cañones de 4 ½ pulgadas, cargas de alta penetración Extra DP HMX de 39 g, dispuestas en el cañón a 5 ddp, con una fase de 60 grados.

2.1.8.4 Prueba de build up

La prueba de build up se suple utilizando la información del sensor de la bomba eléctrosumergible, y los datos más relevantes son:

TABLA 2.16: RESULTADOS BUILD UP POZO-8

Pr [psi]	4004
k [md]	40.56
Skin	18.38
Pwf [psi]	1175
Q [BPPD]	370

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.9 POZO-9

El Pozo-9 en los primeros días del mes de enero del 2013, con una profundidad de 10680 pies (MD). Posterior a la perforación del pozo, se corren registros eléctricos a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad, densidad-neutrón.

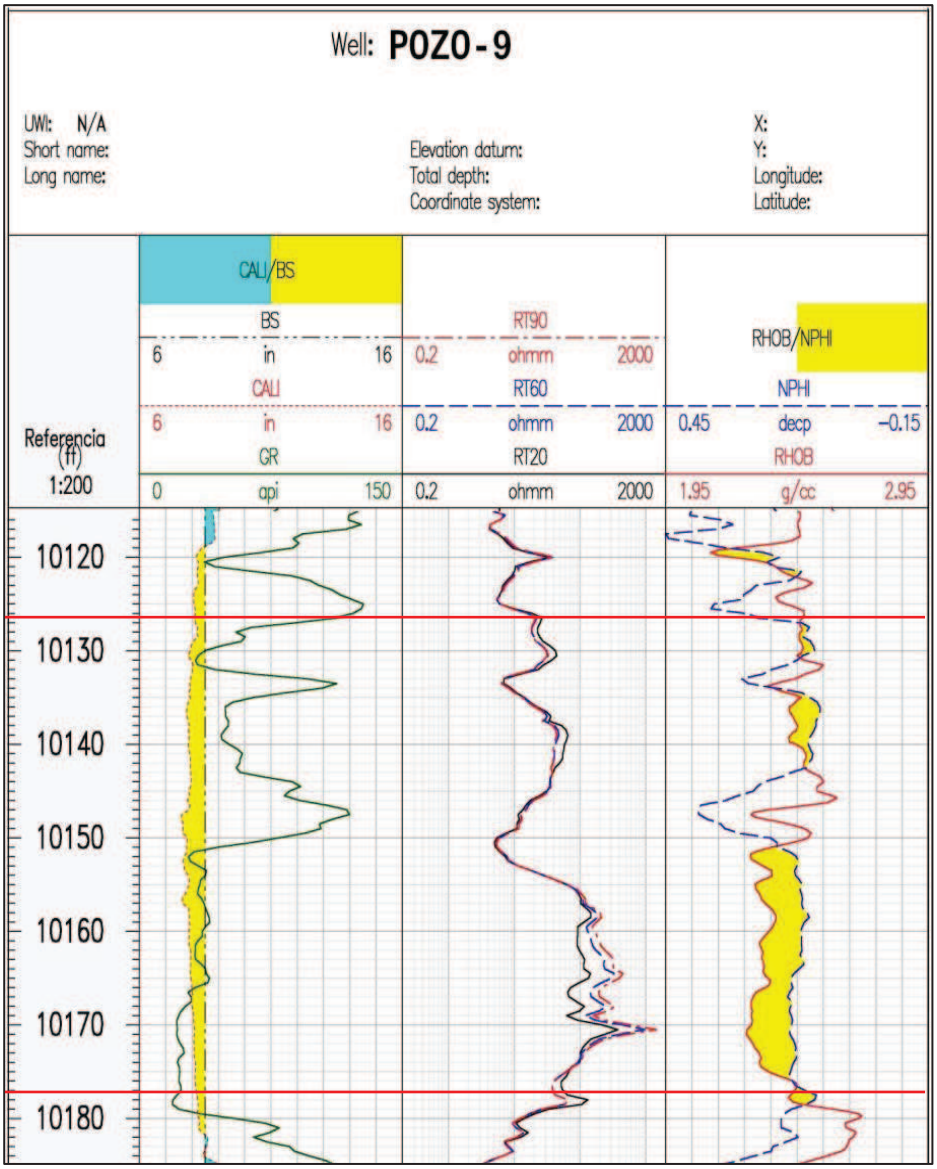
A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación, y finalmente es cañoneado utilizando la técnica tipo ancla y puesto a producir.

2.1.9.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-9 se corrieron registros a hoyo abierto en la zona correspondiente a los 8436 pies hasta los 10550 pies (MD). En el intervalo de 10127 pies a 10178 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de aproximadamente 51 pies de espesor.

La **FIGURA 2.17** muestra la respuesta de los registros eléctricos frente a la zona de interés antes mencionada. A simple vista se puede apreciar como en esta zona de interés aparentemente existen dos secciones, sin embargo es una misma formación productora. El registro de gamma ray muestra un valor de 22.5 a 37.5 API en la zona más limpia de la arena, mientras que en la parte superior se registra un valor de 63.75 API como promedio. Los valores más altos de gamma ray ubicados en la zona alta de la arena podrían estar relacionados por secciones de arcilla.

FIGURA 2.17: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-9 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad promedio de 40 ohm.m para la zona más alta de la arena. Para la zona más baja se registra una resistividad somera de 100 ohm.m y una resistividad profunda promedio de 250 ohm.m. La separación de ambas resistividades nos indica la presencia de un perfil de invasión.

Finalmente se puede mencionar la densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.38 g/cm^3. Con respecto a la porosidad, en la parte más baja tiene alrededor de 18% de y en la más alta de 14%. La porosidad promedio es de alrededor de 17%. La **TABLA 2.17** resume los datos más relevantes.

TABLA 2.17: DATOS PETROFÍSICOS POZO-9

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
U INFERIOR	51	17	0.89	0.083

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborador por: Marco Brito Flores

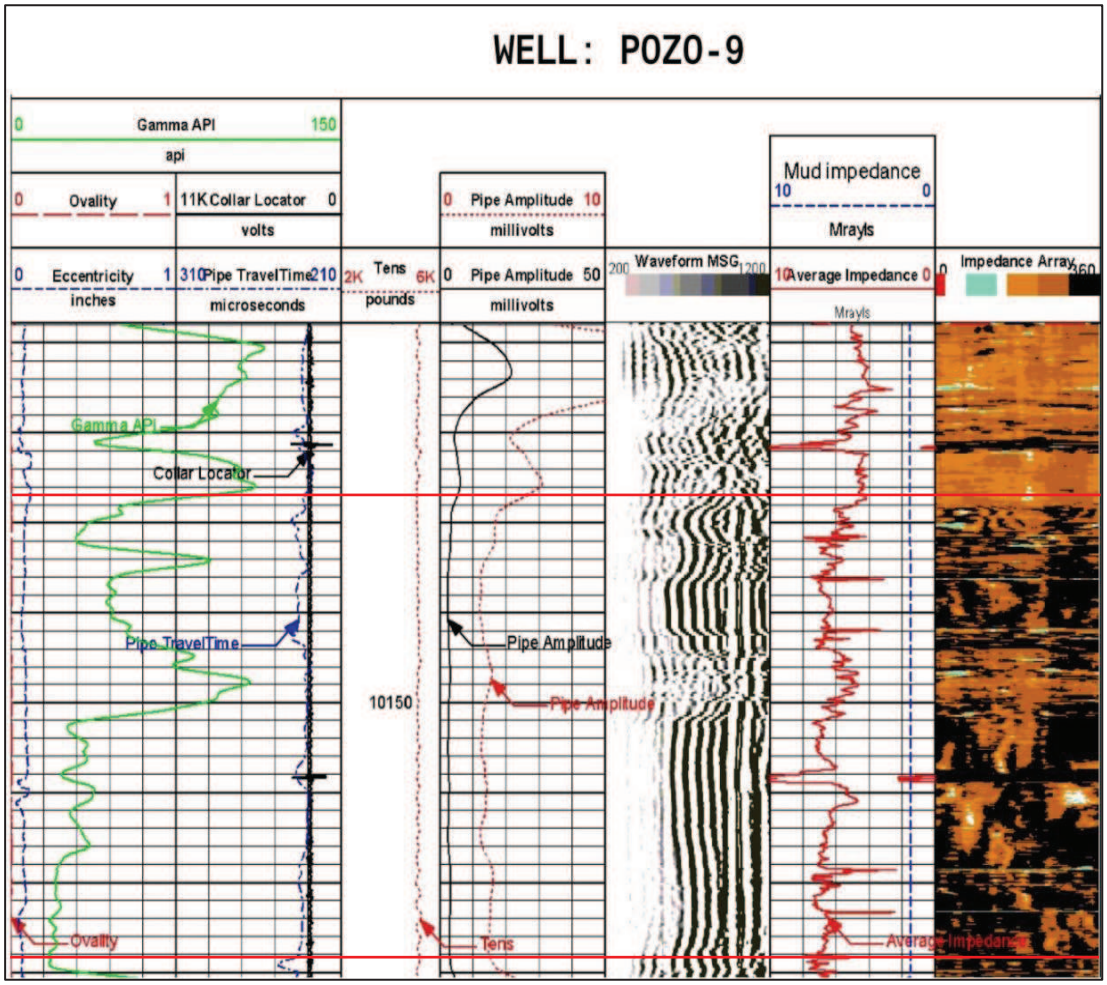
2.1.9.2 Registro de cementación

El registro de cemento se corrió en el Pozo-9 el 7 de enero del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL; y además algunas otras curvas más, propias de la compañía Halliburton que fue quien realizó el registro.

El intervalo de interés que se considera en el análisis de la cementación se encuentra de 10127 pies a 10178 pies (MD).

De acuerdo al registro CBL, que se encuentra en la tercra pista del registro de cemento (**FIGURA 2.18**), se puede ver una respuesta de la herramienta con un valor de 4 mV; lo que permite hablar de una buena adherencia en la interfase casing-cemento.

FIGURA 2.18: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-9 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Halliburton

En la sección del registro VDL, se observa principalmente retornos de ondas acústicas provenientes de la formación. De cierta forma existe la presencia de algunos espacios sin presencia de cemento. La respuesta de la herramienta de registro permite inferir una adherencia cemento-formación favorable.

No hay evidencia de la posible presencia de canalización, o algún otro problema asociado a un mal trabajo de cementación, por lo que se lleva a cabo el cañoneo sin mayores inconvenientes potenciales.

2.1.9.3 Cañoneo

El Pozo-9 fue cañoneado el 18 de enero del 2013 en el intervalo de interés ya conocido de 10127 pies hasta los 10178 pies (MD) correspondiente a la arenisca U inferior, utilizando la técnica de cañoneo tipo ancla con cañones de 4 ½ pulgadas, cargas Extra DP HMX de alta penetración, configuradas a una fase de 60 grados, y distribuidas en el cañón a 5 dpp, bajo la condición de bajo balance estático con un ΔP de 1000 psi.

Los principales parámetros considerados para el diseño del cañoneo se muestran en el One Trip Planner (**ANEXO B.4**).

2.1.9.4 Prueba de build up

Luego de realizarse el cañoneo con el sistema tipo ancla, el pozo empezó a producir a través del sistema de bombeo electrosumergible. La prueba de build up se suple utilizando la información del sensor de la bomba eléctrosumergible, y los datos más relevantes son:

TABLA 2.18: RESULTADOS BUIL UP POZO-9

Pr [psi]	1475
k [md]	130
Skin	1.75
Pwf [psi]	925
Q [BPPD]	791

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.10 POZO-10

El Pozo-10 se terminó de perforar alrededor del 15 de julio del 2012, con una profundidad total de 10565 pies (MD). En días posteriores se corren registros

eléctricos a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad y densidad-neutrón.

A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación; y finalmente es cañoneado utilizando el sistema wireline a finales del mes de julio del 2012.

2.1.10.1 Registro a hoyo abierto

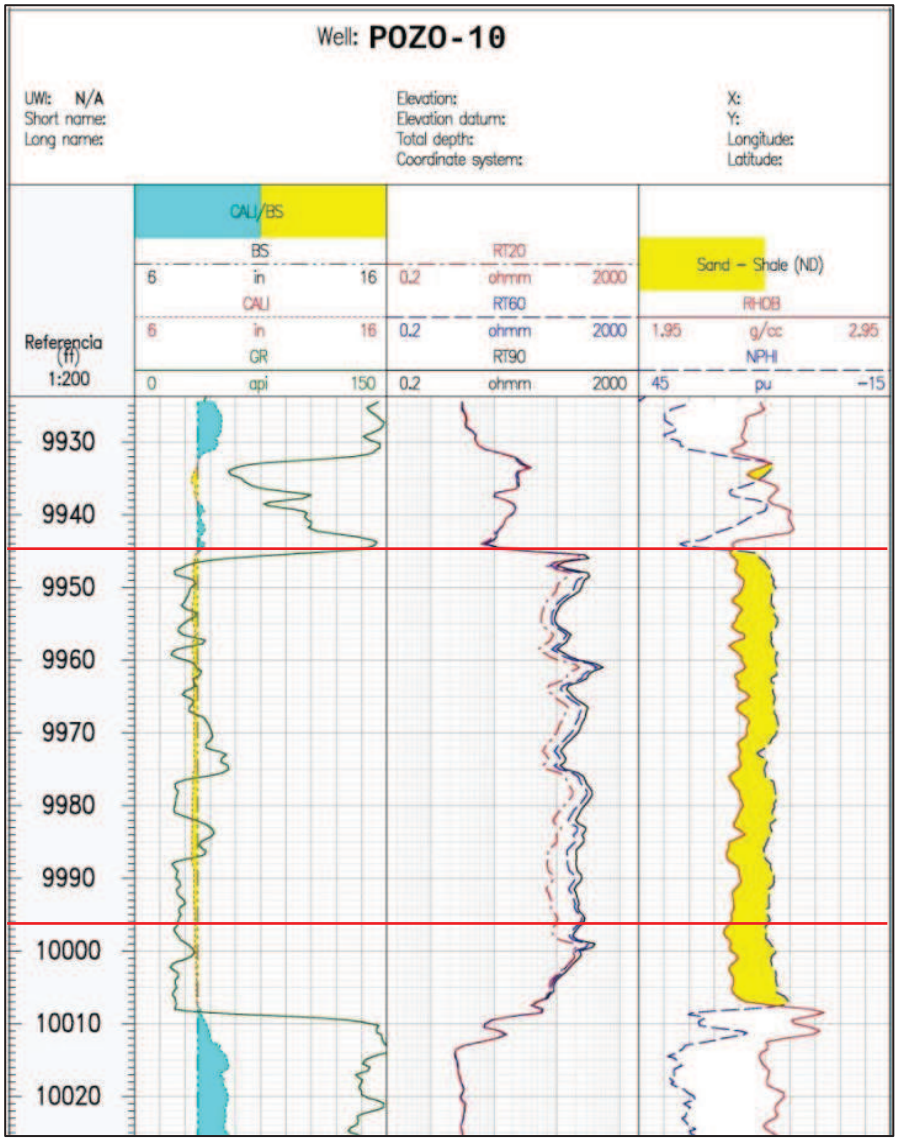
En el Pozo-10 se corrieron registros a hoyo abierto el 20 de julio del 2012, en la zona correspondiente a los 9084 pies hasta los 10058 pies (MD). En el intervalo de 9945 pies a 10008 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de 63 pies de espesor, sin embargo el cañoneo se realizó desde 9945 a 9997 pies (MD); y será de este intervalo del que se realice la evaluación.

La **FIGURA 2.19** muestra la respuesta de los registros frente a dicho cuerpo arenoso. Se puede observar que el registro de gamma ray muestra un valor promedio de 30 API, dándonos la idea de que se encuentra en una región correspondiente a una arenisca. En la misma pista se puede observar la respuesta de caliper, registro que muestra la presencia de costra de lodo, lo que permite inferir que se está frente a una zona permeable.

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad somera promedio de 100 ohm.m y una resistividad profunda promedio de 280 ohm.m. La separación de las resistividades nos indica la presencia de un perfil de invasión en la zona de interés.

Finalmente se puede mencionar la densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.35 g/cm^3. Los 63 pies de espesor presentan una porosidad uniforme y constante en toda su longitud de 18%.

FIGURA 2.19: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-10 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

En este caso también se podría mencionar el contenido de arcillas en la zona de interés que por la forma del gamma ray resultaría ser bajo, aproximadamente 15%.

Así, finalmente y considerando la previa evaluación petrofísica, se puede concluir que este cuerpo arenoso corresponde a la arenisca U Inferior, de la formación Napo. Los datos más relevantes para esta zona se muestran en la **TABLA 2.19** que se muestra a continuación:

TABLA 2.19: DATOS PETROFÍSICOS POZO-10

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
U INFERIOR	52	18	0.88	0.07

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

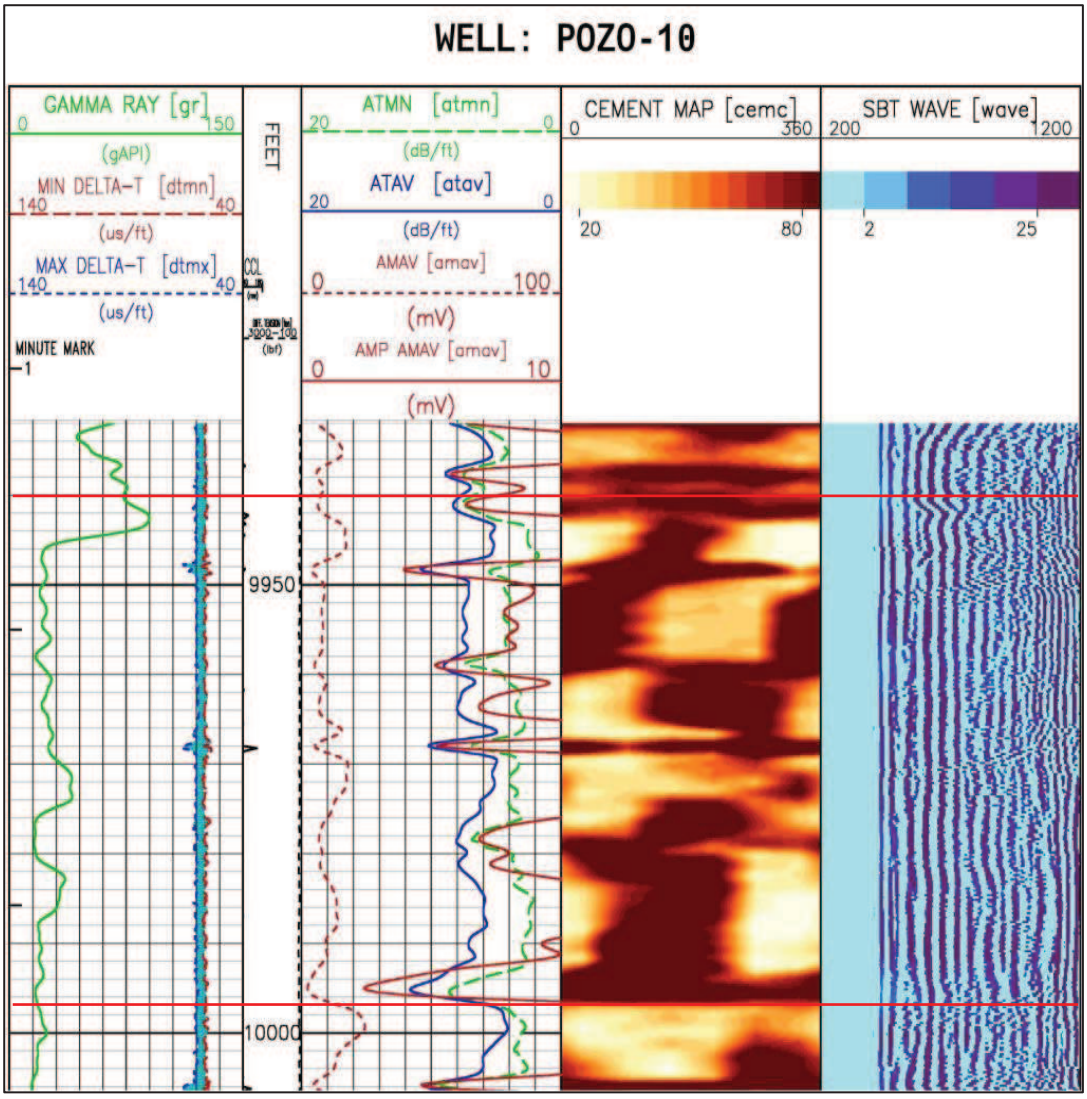
2.1.10.2 Registro de cemento

El registro de cemento se corrió en el Pozo-10 el 27 de julio del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL; y curvas propias de la compañía que realizó el trabajo, en este caso Baker Hughes.

Utilizando la curva de CBL, que se encuentra en la segunda pista del registro de cemento (**FIGURA 2.20**), para determinar la adherencia en la interfase casing-cemento, en el intervalo de 9945 pies a 9997 pies (MD), se puede apreciar que el valor de CBL tiene una magnitud promedia de 10 mV. Al encontrarse el valor del registro precisamente en el límite superior aceptable, se puede considerar una adherencia regular en la interfase mencionada, y de cierta forma aceptable.

Por otro lado, para verificar la adherencia entre el cemento y la formación, se utiliza el registro VDL, que se encuentra en la cuarta pista del registro de cemento. Durante todo el intervalo de interés, se puede notar precisamente un retorno de ondas acústicas nada visibles provenientes de la formación, pero se notan retornos de ondas de casing de la misma forma, y muy marcadas. Esta presencia tanto de ondas provenientes de casing como de la formación, nos indica que a pesar de existir una comunicación entre el casing y la formación esta no es del todo buena, muy seguramente porque existen lugares donde el cemento no está haciendo un buen sello hidráulico, además se puede considerar el tiempo de fraguado o que el cemento se haya contaminado.

FIGURA 2.20: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-10 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

De acuerdo al mapa de cemento SBT que se encuentra en la tercera pista, es posible notar que existen lugares alrededor del casing, donde el cemento no está procurando adherencia entre el cemento y la formación.

La cementación no es del todo buena, no hay un sello hidráulico aparente pero sin embargo la compañía operadora realizó el cañoneo en la zona de interés.

2.1.10.3 Cañoneo

El Pozo-10 se cañoneo utilizando el sistema wireline en el intervalo de 9945 a 9997 pies (MD) correspondiente a la arenisca U inferior, utilizando cañones de 4 ½ pulgadas, cargas de alta penetración Extra DP HMX de 39 g, dispuestas en el cañón a 5 ddp, con una fase de 60 grados.

2.1.10.4 Prueba de build up

Luego de cierto tiempo de producción continua del Pozo-10, se lo cerró para realizar prueba de restauración de presión para poder determinar presión de reservorio, daño y otros valiosos datos como los presentados a continuación:

TABLA 2.20: RESULTADOS BUILD UP POZO-10

Pr [psi]	1480
k [md]	250
Skin	26.2
Pwf [psi]	514
Q [BPPD]	373

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.11 POZO-11

El Pozo-11 terminó de perforar en los últimos días del mes de noviembre del 2012, con una profundidad de 10797 pies (MD). Posterior a la perforación del pozo, se corren registros a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad, densidad-neutrón.

A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación, y finalmente es cañoneado utilizando la técnica tipo ancla y puesto a producir.

2.1.11.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-11 se corrieron registros a hoyo abierto en la zona correspondiente a la sección de 8524 pies hasta los 10680 pies (MD). En el intervalo de 10716 pies a 10736 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de aproximadamente 20 pies de espesor.

La **FIGURA 2.21** muestra la respuesta de los registros eléctricos frente a la zona de interés. En una primera instancia, aparentemente la zona de interés parecía no representar un cuerpo poroso considerable, sin embargo esto puede darse debido al contenido mineralógico de la roca, y otros factores geológicos.

El registro de gamma ray muestra un valor de 80 API, lo que nos da un claro indicio de una formación con un contenido de arcilla considerable, el cual será corroborado al determinar el Vsh (volumen de arcilla).

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad promedio de 32 ohm.m aproximadamente. Un perfil de invasiones no se muestra claramente, sino únicamente en la mitad del intervalo de interés.

La densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.51 g/cm^3. Con respecto a la porosidad, se puede considerar una porosidad promedio para toda la zona de 14%.

De esta forma, podemos determinar que este cuerpo arenoso pertenece a la arenisca Hollín Superior de la cuenca oriente. La **TABLA 2.21** resume los datos más relevantes.

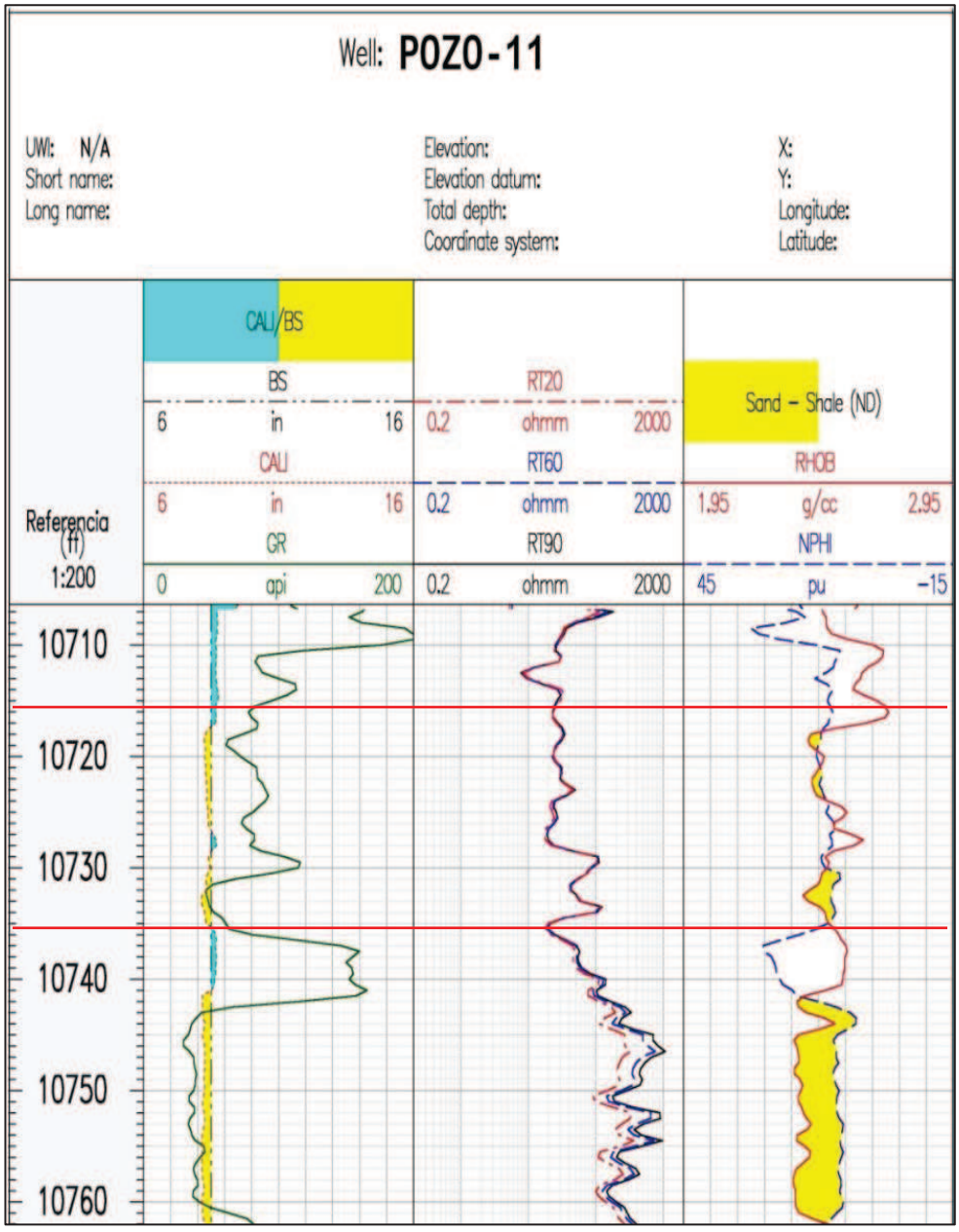
TABLA 2.21: DATOS PETROFÍSICOS POZO-11

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
HOLLÍN SUPERIOR	20	14	0.74	0.27

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborador por: Marco Brito Flores

FIGURA 2.21: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-11 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

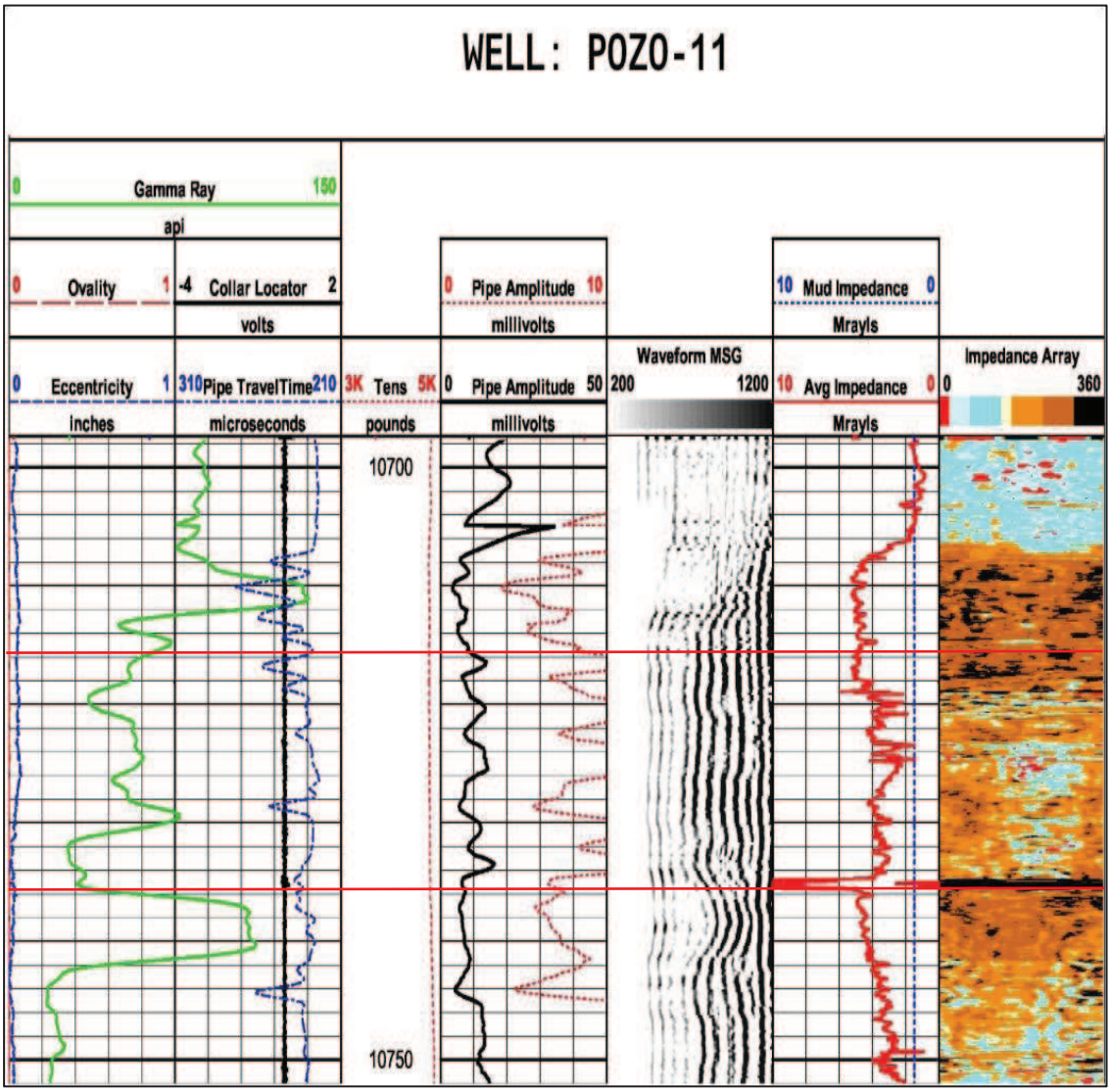
2.1.11.2 Registro de cementación

El registro de cemento se corrió en el Pozo-11 el 28 de noviembre del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL en el intervalo de 10716 pies a 10736 pies (MD); y algunas otras curvas más propias de la compañía Halliburton que fue quien realizó el registro, en el mismo intervalo.

De acuerdo al registro CBL, que se encuentra en la tercera pista del registro de cemento (**FIGURA 2.22**), se puede ver una respuesta de la herramienta con un valor promedio de 10 mV; valor que está al límite superior de tolerancia para considerar una buena adherencia en la interfase casing-cemento.

En la sección del registro VDL, cuarta pista, se nota claramente ondas acústicas provenientes de la formación, con algunas señales de ondas acústicas provenientes de casing, sin embargo están presentes. Esto permite estimar que una comunicación entre el casing y la formación está presente, así que la adherencia del cemento con la formación es favorable.

FIGURA 2.22: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-11 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Halliburton

De cierta forma existe la presencia de algunos espacios sin presencia de cemento, e incluso pequeñas señales de posible presencia de gas, mostrado por el registro de imagen de la última pista de color rojo. En definitiva con la cementación se ha logrado realizar el sello hidráulico necesario para que luego del cañoneo no existan problemas en zonas por sobre la zona de interés o por bajo la zona de interés.

2.1.11.3 Cañoneo

El Pozo-11 fue cañoneado el 29 de noviembre del 2013 en el intervalo de interés ya conocido de 10716 pies hasta los 10736 pies (MD) correspondiente a la arenisca Hollín Superior, utilizando la técnica de cañoneo tipo ancla con cañones de 4 ½ pulgadas, cargas Extra DP HMX de alta penetración, configuradas a una fase de 60 grados, y distribuidas en el cañón a 5 dpp, bajo la condición de bajo balance estático con un ΔP de 800 psi. Los principales parámetros considerados para el diseño del cañoneo se muestran en el One Trip Planner (**ANEXO B.5**).

2.1.11.4 Prueba de build up

Luego de realizarse el cañoneo con el sistema tipo ancla, el pozo empezó a producir a través del sistema de bombeo electrosumergible. La prueba de build up se suple utilizando la información del sensor de la bomba eléctrosumergible, y los datos más relevantes se muestran en la **TABLA 2.22**.

TABLA 2.22: RESULTADOS BUIL UP POZO-11

Pr [psi]	3704
k [md]	30
Skin	-4.8
Pwf [psi]	2530
Q [BPPD]	660

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.12 POZO-12

El Pozo-12 se terminó de perforar el 19 de enero del 2013, con una profundidad total de 10866 pies (MD). Posterior a esta operación se corren registros a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad, densidad-neutrón y DT.

A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación; y finalmente es cañoneado utilizando el sistema wireline a mediados del mes de enero del 2013.

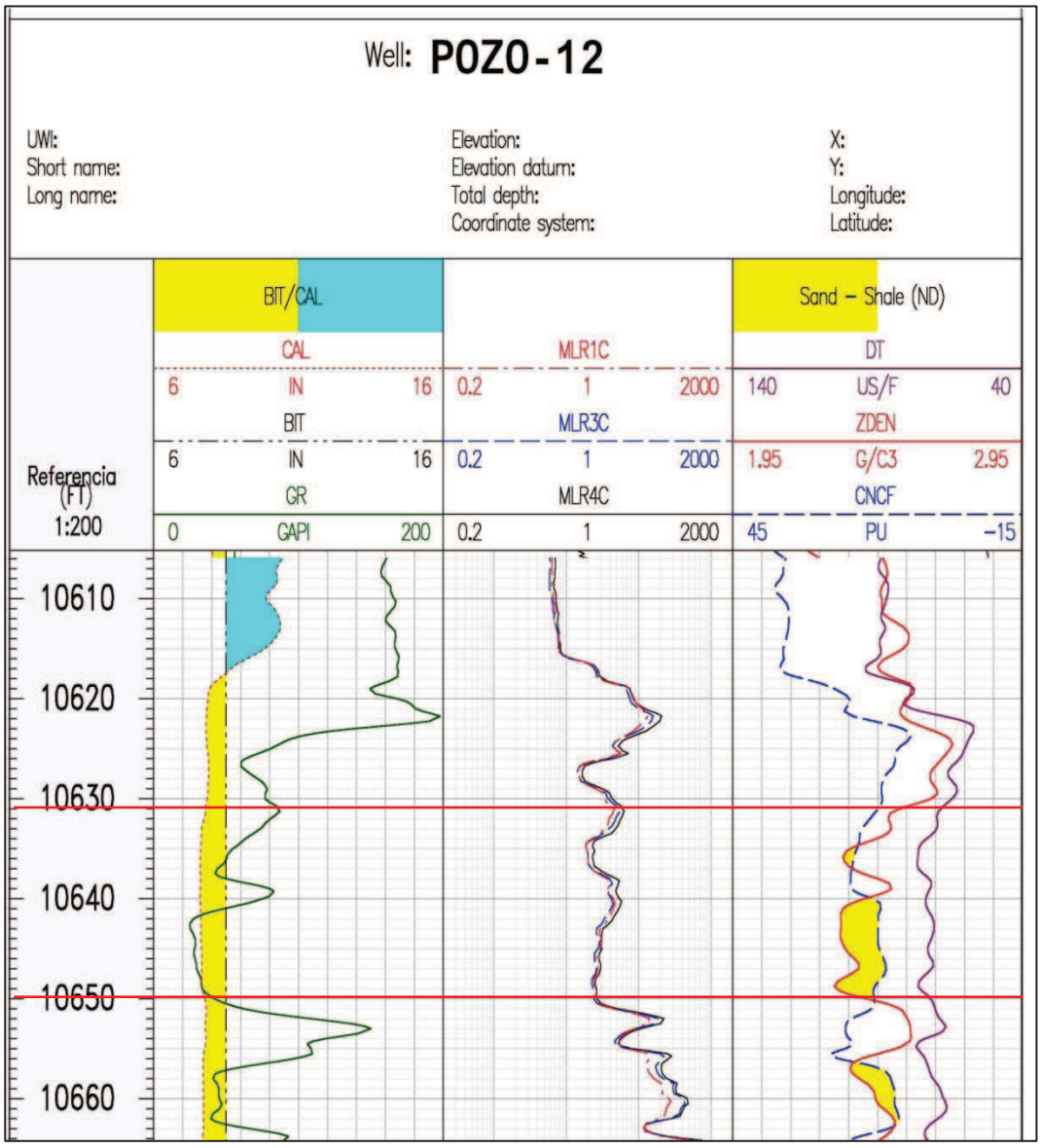
2.1.12.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-12 se corrieron registros a hoyo abierto el 10 de enero del 2013, en la zona correspondiente a los 9384 pies hasta los 10750 pies (MD). En el intervalo de 10631 pies a 10650 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de 19 pies de espesor, perteneciente a la arenisca Hollín Superior.

La **FIGURA 2.23** muestra el registro a hoyo abierto frente al cuerpo arenoso mencionado anteriormente. El registro de caliper muestra la presencia de una costra de lodo, lo que permite suponer la presencia de una zona permeable. Se puede observar que el registro de gamma ray muestra un valor de 30 API en la parte más baja y de 60 API en la parte más alta de la arena, lo que habla de presencia de arcilla en la parte superior, mientras que es más limpia en la parte inferior. En fin el promedio de gamma ray es de 70 API.

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad somera promedio de 27 ohm.m y una resistividad profunda promedio de 37 ohm.m. La separación de las resistividades nos indica la presencia de un perfil de invasión en la zona de interés.

FIGURA 2.23: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-12 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Finalmente se puede mencionar la densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.35 g/cm^3. Los 19 pies de espesor presentan una porosidad uniforme y constante en toda su longitud. La porosidad promedio es de alrededor de 16%. En este caso también se podría mencionar el contenido de arcillas en la zona de interés que por la forma del gamma ray resultaría ser relativamente alto, con un promedio de 30%.

Así, finalmente y considerando la previa evaluación petrofísica, se puede concluir que este cuerpo arenoso corresponde a la arenisca Hollín Superior, de la formación Hollín. Los datos más relevantes para esta zona se muestran en la **TABLA 2.23** que se muestra a continuación:

TABLA 2.23: DATOS PETROFÍSICOS POZO-12

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
HOLLÍN SUPERIOR	19	16	0.735	0.28

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.12.2 Registro de cemento

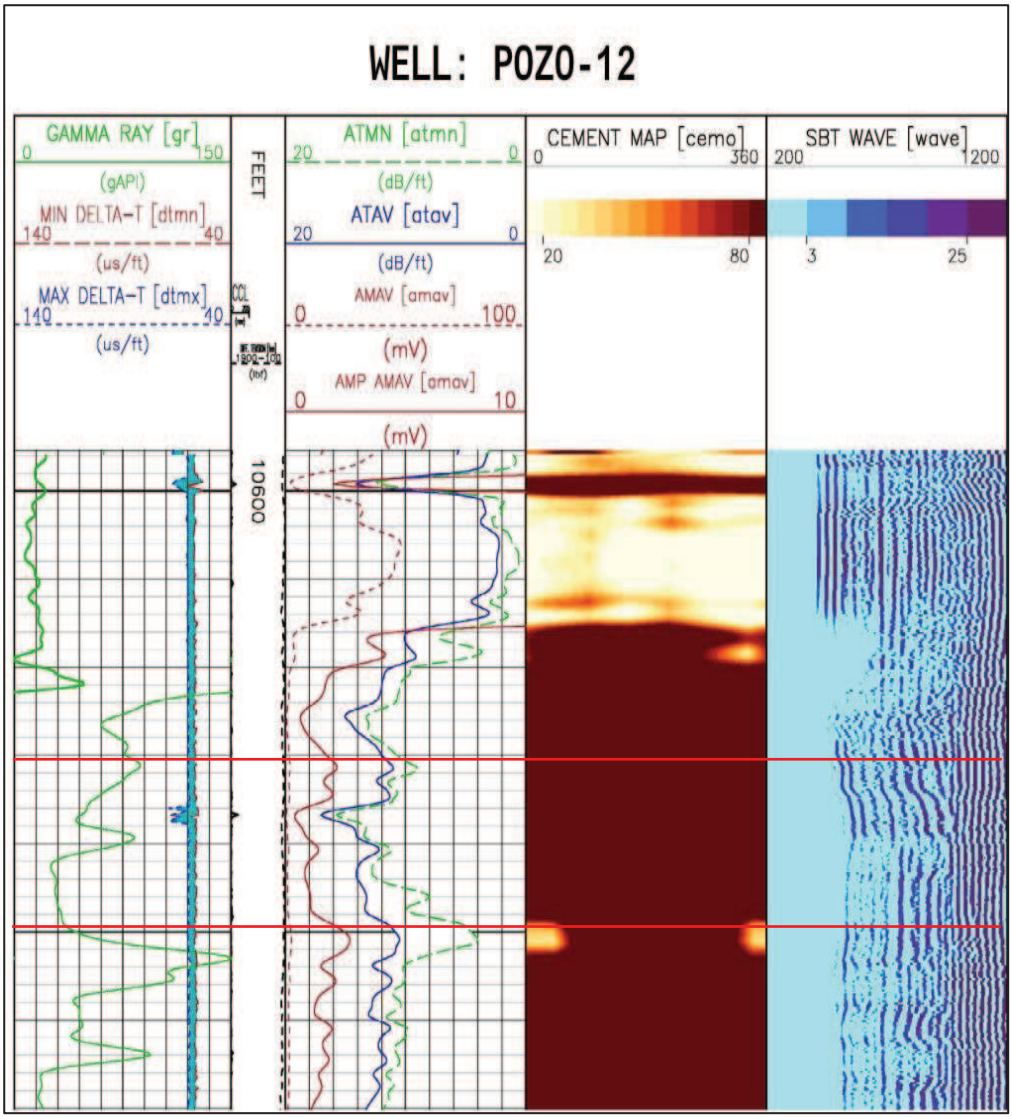
El registro de cemento se corrió en el Pozo-12 el 16 de enero del 2013, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL; y curvas propias de la compañía que realizó el trabajo, en este caso Baker Hughes.

Utilizando la curva de CBL, que se encuentra en la segunda pista del registro de cemento (**FIGURA 2.24**), para determinar la adherencia en la interfase casing-cemento, en el intervalo de 10631 pies a 10650 pies (MD), se puede apreciar que el valor de CBL tiene una magnitud promedia de 1.5 mV. Este valor del registro da claros indicios de una buena adherencia en la interfase mencionada.

Por otro lado, para verificar la adherencia entre el cemento y la formación, se utiliza el registro VDL, que se encuentra en la cuarta pista del registro de cemento.

Claramente se puede apreciar ondas acústicas provenientes de la formación en su mayoría, y nulas ondas acústicas provenientes de casing. La intensidad con la que las ondas de formación se notan permite aseverar una buena comunicación de la onda desde la fuente hasta la formación, afirmando así el hecho de una buena cementación y adherencia en la interfase cemento-formación.

FIGURA 2.24: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-12 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

De acuerdo al mapa de cemento SBT que se encuentra en la tercera pista, se nota la totalidad de presencia de cemento tanto por sobre como por bajo la zona de interés, garantizando así un sello hidráulico efectivo.

Finalmente no se observa señales de posibles canalizaciones, o algún otro problema asociado a mala cementación, por lo que se considera a este trabajo de cementación efectivo y bueno para la zona de interés.

2.1.12.3 Cañoneo

El Pozo-12 se cañoneo utilizando el sistema wireline en el intervalo de 10631 a 10650 pies (MD) correspondiente a la arenisca Hollín Superior, utilizando cañones de 4 ½ pulgadas, cargas de alta penetración Extra DP HMX de 39 g, dispuestas en el cañón a 5 ddp, con una fase de 60 grados.

2.1.12.4 Prueba de build up

Luego de cierto tiempo de producción continua del Pozo-12, se lo cerró para realizar prueba de restauración de presión para poder determinar presión de reservorio, daño y otros valiosos datos como los presentados a continuación:

TABLA 2.24: RESULTADOS BUILD UP POZO-12

Pr [psi]	4000
k [md]	40
Skin	12.3
Pwf [psi]	930
Q [BPPD]	365

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.13 POZO-13

El Pozo-13 terminó de perforar el 15 octubre del 2012, con una profundidad de 10694 pies (MD). Posterior a la perforación del pozo, se corren registros a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad y densidad-neutrón.

A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación, y finalmente es cañoneado utilizando la técnica tipo ancla y puesto a producir.

2.1.13.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-13 se corrieron registros a hoyo abierto en la zona correspondiente a la sección de 8243 pies hasta los 10580 pies (MD). En el intervalo de 10322 pies a 10356 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de aproximadamente 34 pies de espesor.

La **FIGURA 2.25** muestra la respuesta de los registros eléctricos frente a la zona de interés. A primera vista se puede decir que es una zona con presencia de arcilla en ciertas zonas.

El registro de gamma ray muestra un valor de 47.5 API, lo que nos da un claro indicio de una formación aparentemente no limpia, con un contenido de arcilla considerable.

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad somera promedio de 33.3 ohm.m, y una resistividad profunda promedio de 38 ohm.m aproximadamente. Se puede apreciar un perfil de invasiones en esta zona, por lo que una zona permeable y porosa está presente.

La densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.39 g/cm^3. Con respecto a la porosidad, se puede considerar una porosidad promedio para toda la zona de 18%.

Así, finalmente se concluye que este cuerpo arenoso corresponde a la arenisca T Inferior, cuyos datos más relevantes se resumen en la **TABLA 2.25**.

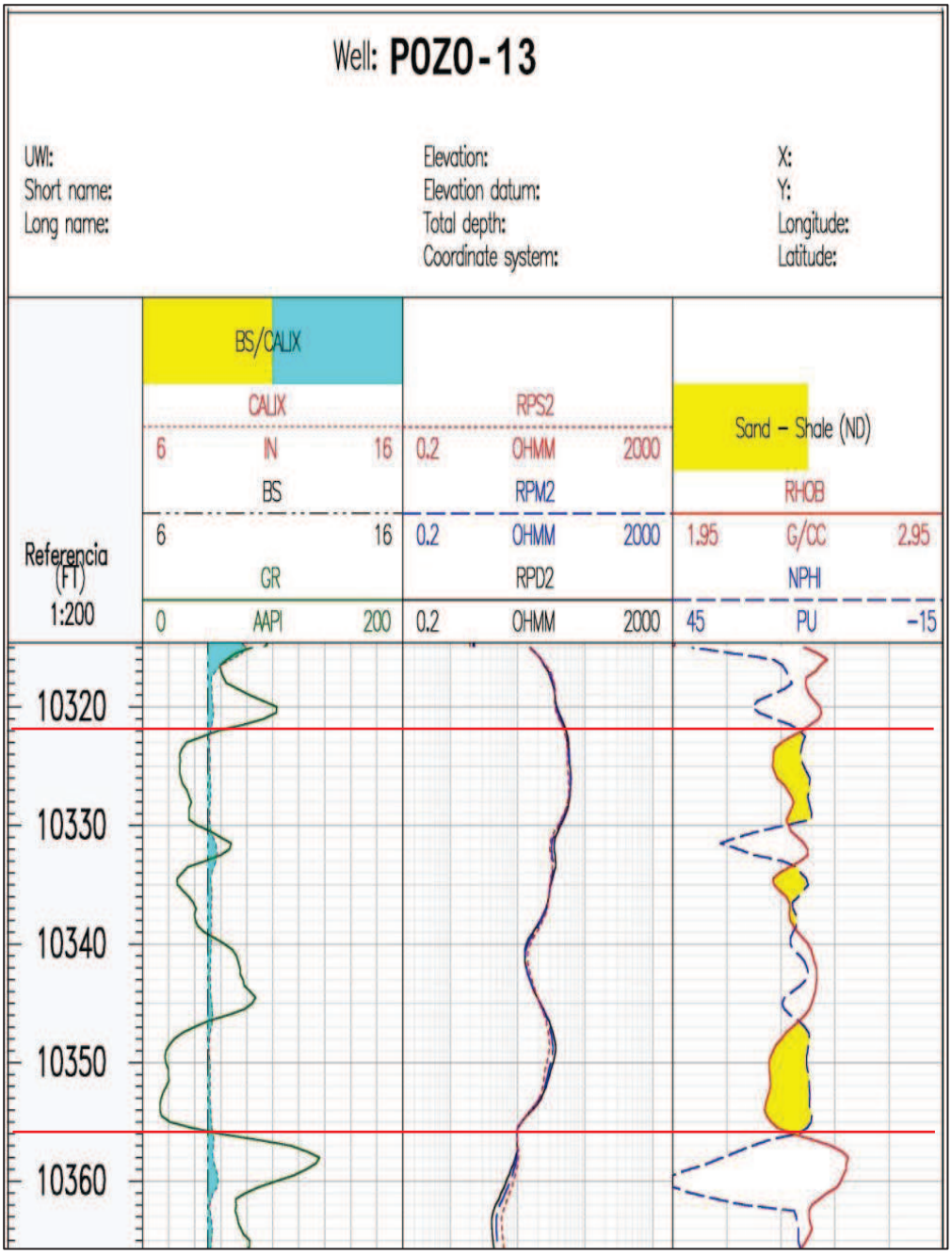
TABLA 2.25: DATOS PETROFÍSICOS POZO-13

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
T INFERIOR	34	18	0.67	0.20

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborador por: Marco Brito Flores

FIGURA 2.25: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-13 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

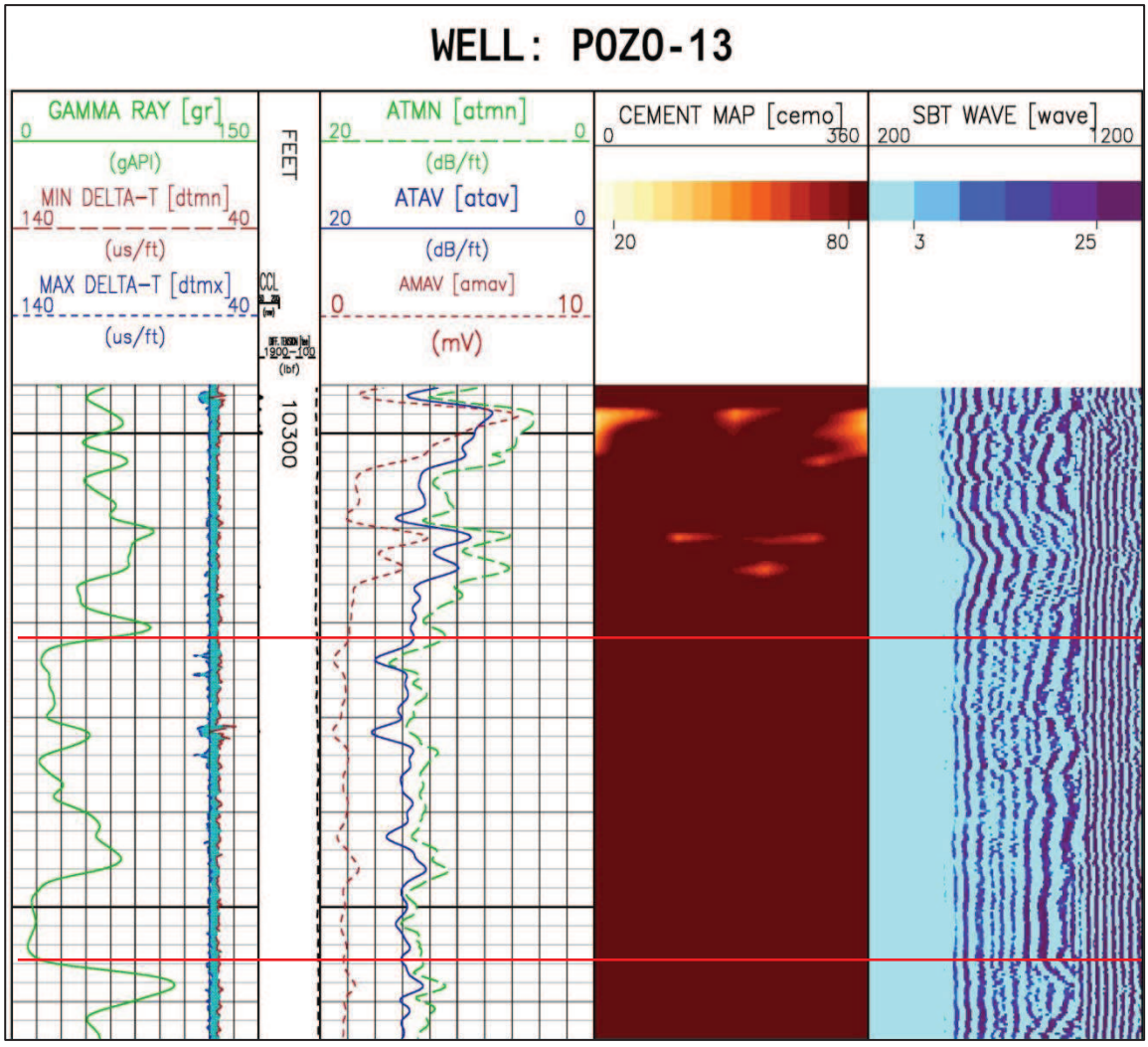
2.1.13.2 Registro de cementación

El registro de cemento se corrió en el Pozo-13 el 20 de octubre del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL, en el intervalo de 10322 pies

a 10356 pies (MD); y además algunas otras curvas propias de la compañía Baker Hughes, que fue quien realizó el registro de cemento.

De acuerdo al registro CBL, que se encuentra en la segunda pista del registro de cemento (**FIGURA 2.26**), se puede ver una respuesta de la herramienta con un valor promedio de 2.15 mV; dando una clara idea de una buena adherencia casing-cemento en toda la zona de interés, con pequeños posibles espacios sin cemento en la parte superior.

FIGURA 2.26: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-13 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

En la sección del registro VDL, cuarta pista, se notan exclusivamente ondas acústicas provenientes de la formación, lo que corrobora lo presentado en el

registro CBL. La adherencia en la interfase cemento-formación se considera favorable.

De acuerdo al mapa de cemento SBL, tercera pista, no hay presencia de espacios sin cemento en la zona de interés, con excepción de la parte superior donde hay evidencia de pequeños espacios posiblemente de fluido de completación.

En definitiva con la cementación ha logrado realizar el sello hidráulico necesario para que luego del cañoneo no existan problemas en zonas por sobre la zona de interés o por bajo la zona de interés.

2.1.13.3 Cañoneo

El Pozo-13 fue cañoneado el 20 de octubre del 2013 en el intervalo de interés ya conocido de 10322 pies hasta los 10356 pies (MD) correspondiente a la arenisca T Inferior, utilizando la técnica de cañoneo tipo ancla con cañones de 4 ½ pulgadas, cargas Extra DP HMX de alta penetración, configuradas a una fase de 60 grados, y distribuidas en el cañón a 5 dpp, bajo la condición de bajo balance estático con un ΔP de 600 psi. Los principales parámetros considerados para el diseño del cañoneo se muestran en el One Trip Planner (**ANEXO B.6**).

2.1.13.4 Prueba de build up

Luego de realizarse el cañoneo con el sistema tipo ancla, el pozo empezó a producir a través del sistema de bombeo electrosumergible. La prueba de build up se suple utilizando la información del sensor de la bomba eléctrosumergible, y los datos más relevantes se muestran en la **TABLA 2.22**.

TABLA 2.26: RESULTADOS BUIL UP POZO-13

Pr [psi]	1200
k [md]	210
Skin	-2.97
Pwf [psi]	742.26
Q [BPPD]	1045

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.14 POZO-14

El Pozo-14 se terminó de perforar alrededor del 24 de septiembre del 2012, con una profundidad total de 11068 pies (MD). Luego a esta operación se corren registros a hoyo abierto en la sección de 8 ½ pulgadas, obteniéndose curvas principalmente de gamma ray, resistividad y densidad-neutrón.

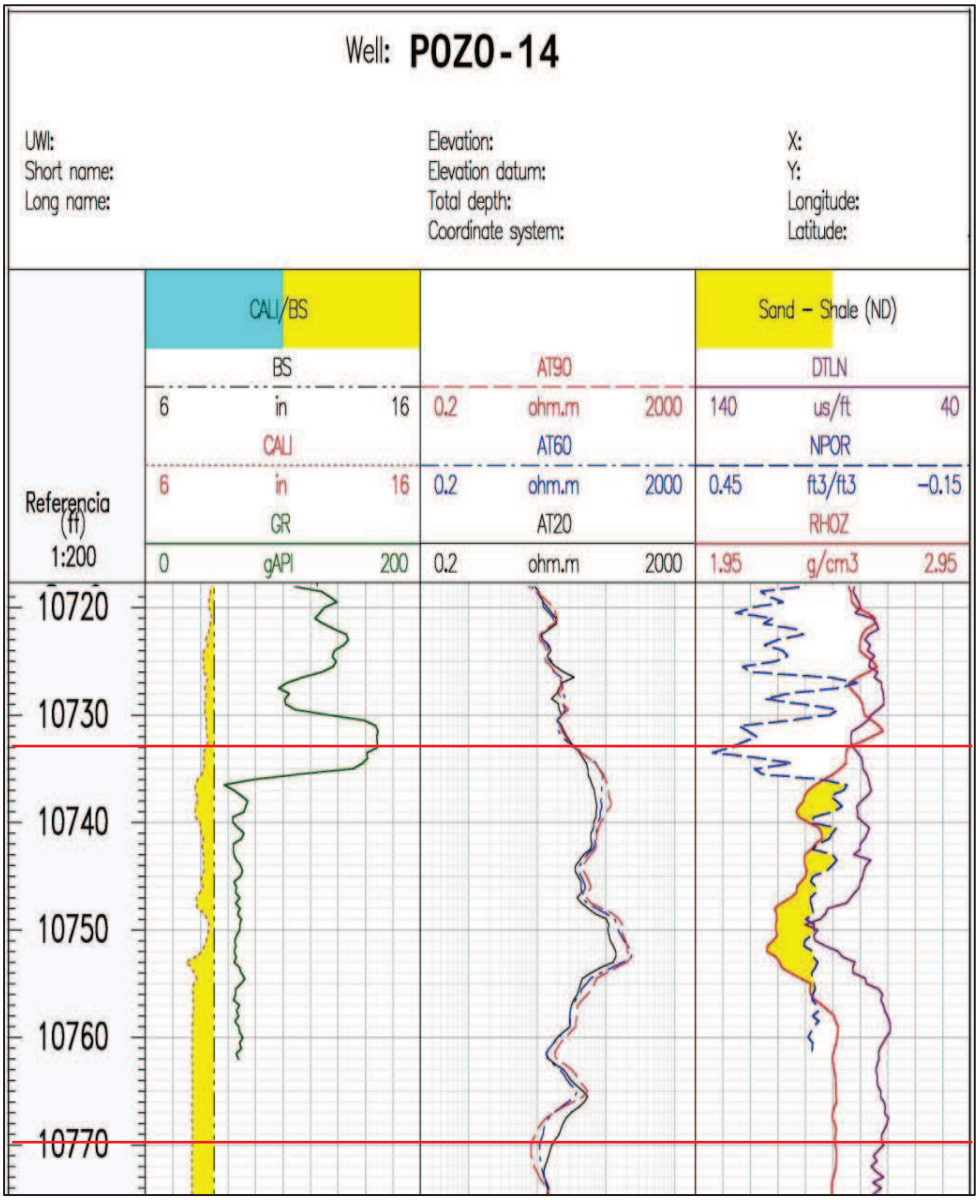
A continuación, luego de ser cementado, el pozo es registrado a hoyo entubado, para determinar calidad de la cementación; y finalmente es cañoneado utilizando el sistema wireline a finales del mes de septiembre del 2012.

2.1.14.1 Registro a hoyo abierto

En el Pozo-14 se corrieron registros a hoyo abierto el 24 de septiembre del 2012, en la zona correspondiente a los 8693 pies hasta los 10848 pies (MD). En el intervalo de 10733 pies a 10770 pies (MD) se registra un cuerpo arenoso de interés de 37 pies de espesor, perteneciente a la arenisca T inferior.

La **FIGURA 2.27** muestra el registro a hoyo abierto frente a la zona de interés. Inicialmente se puede ver que el registro de caliper muestra la presencia de una costra de lodo, lo que permite suponer la presencia de una zona permeable y porosa. Se puede observar que el registro de gamma ray muestra un valor promedio de 45.5 API. Este valor en gama ray generalmente representa a sistemas arenosos con presencia de arcillas.

FIGURA 2.27: REGISTRO A HOYO ABIERTO POZO-14 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Con respecto a las resistividades, podemos observar que se tiene una resistividad somera promedio de 55 ohm.m en la parte superior y de 70 ohm.m en la parte inferior; y una resistividad profunda promedio de 70 ohm.m en la parte superior y 150 ohm.m en la parte inferior de la zona de interés. Es clara la separación de las resistividades, lo que da indicios de la presencia de un perfil de invasión en la zona de interés.

Finalmente se puede mencionar la densidad promedio de todo el cuerpo arenoso, que aproximadamente es de 2.375 g/cm^3. La mayor parte de la zona de interés muestra una porosidad alrededor de 15%.

En este caso también se podría mencionar el contenido de arcillas en la zona de interés que por la forma del gamma ray resultaría ser igual o menor al 15%.

Así, finalmente y considerando la previa evaluación petrofísica, se puede concluir que este cuerpo arenoso corresponde a la arenisca T Inferior, de la formación Napo de la cuenca oriente. Los datos más relevantes para esta zona se muestran en la **TABLA 2.27**.

TABLA 2.27: DATOS PETROFÍSICOS POZO-14

UNIDAD	ESPESOR [ft]	ϕ [%]	So	VSh
T INFERIOR	37	15	0.62	0.169

Fuente: Base de datos Baker Hughes

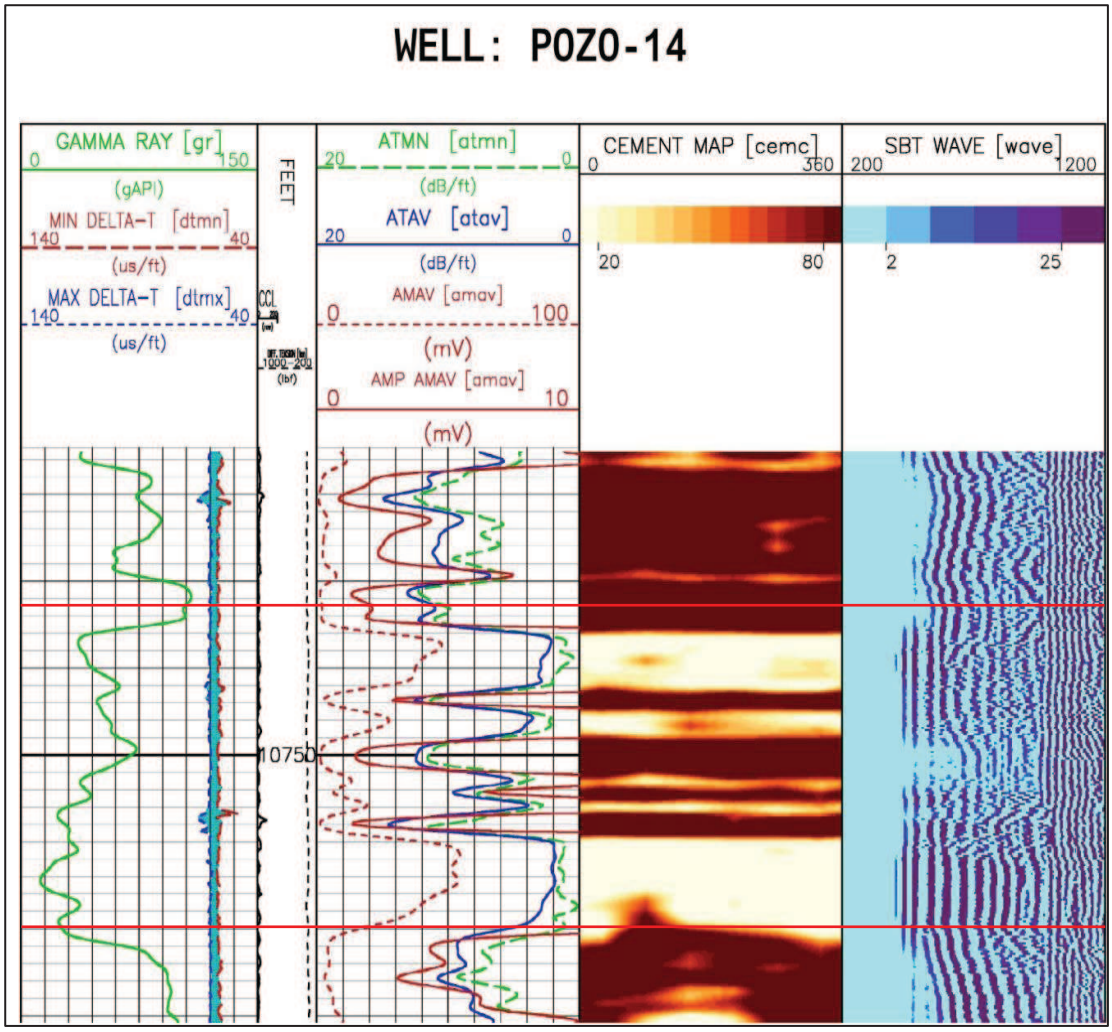
Elaborado por: Marco Brito Flores

2.1.14.2 Registro de cemento

El registro de cemento se corrió en el Pozo-14 el 30 de septiembre del 2012, obteniéndose curvas convencionales de CBL y VDL; y curvas propias de la compañía que realizó el trabajo, en este caso Baker Hughes.

Utilizando la curva de CBL, que se encuentra en la segunda pista del registro de cemento (**FIGURA 2.28**), para determinar la adherencia en la interfase casing-cemento, en el intervalo de 10733 pies a 10770 pies (MD), se puede apreciar que el valor de CBL tiene una magnitud muy variante durante todo el intervalo desde 5 mV hasta 40 mV. Toda esta variación da indicios de una pobre cementación en pequeños intervalos dentro de la zona de interés.

FIGURA 2.28: REGISTRO DE CEMENTACIÓN POZO-14 (ESCALA 1:200 MD)



Fuente: Baker Hughes, *Wireline Services*

Por otro lado, para verificar la adherencia entre el cemento y la formación, se utiliza el registro VDL, que se encuentra en la cuarta pista del registro de cemento. Es de esperarse que debido a la respuesta del CBL, en este registro se aprecien zonas donde la atenuación de ondas acústicas no sea efectiva. En la mitad del intervalo se puede apreciar ondas provenientes del casing, seguidos por ondas de formación. En la parte superior como inferior de la zona de interés hay una mayor evidencia de una buena adherencia, se nota particularmente ondas de formación. De acuerdo al mapa de cemento SBT que se encuentra en la tercera pista, la cementación tiene secciones de buena adherencia y otras de pobre adherencia; lo que corrobora lo visto en el registro CBL y VDL.

El registro de cementación presente, no se realizó con presión, por lo que evidenciar presencia de microanillos no resulta posible. Particularmente la cementación es pobre en la zona de interés, pero la compañía operadora resolvió cañonear la zona.

2.1.14.3 Cañoneo

El Pozo-14 se cañoneo utilizando el sistema wireline en el intervalo de 10733 a 10770 pies (MD) correspondiente a la arenisca T Inferior, utilizando cañones de 4 ½ pulgadas, cargas de alta penetración Extra DP HMX de 39 g, dispuestas en el cañón a 5 ddp, con una fase de 60 grados.

2.1.14.4 Prueba de build up

Luego de realizarse el cañoneo con el sistema tipo ancla, el pozo empezó a producir a través del sistema de bombeo electrosumergible. La prueba de build up se suple utilizando la información del sensor de la bomba eléctrosumergible.

TABLA 2.28: RESULTADOS BUILD UP POZO-14

Pr [psi]	1400
k [md]	160
Skin	31.3
Pwf [psi]	413
Q [BPPD]	315

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

2.2 RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DE POZOS SELECCIONADOS

Una vez que se ha realizado la evaluación de los pozos seleccionados, es de considerar los datos más relevantes que intervienen en la operación de cañoneo y que al final trascienden en los resultados obtenidos luego del cañoneo sea cual

fuese la técnica o sistema. Todos los pozos fueron cañoneados con cargas Extra DP HMX de 39g, dispuestos en cañones de 4 ½ pulgadas a 5 DPP en una fase de 60°. Los datos que se obtuvieron de la evaluación se presentan a continuación, tomando en cuenta el tipo de formación, características petrofísicas, cementación, técnica o sistema de cañoneo; así como también producción y daño. Toda la información recolectada luego de la evaluación de los pozos seleccionados se encuentra en **TABLA 2.29**.

TABLA 2.29: RESUMEN EVALUACIÓN POZOS SELECCIONADOS

POZO	ARENISCA	H[ft]	PR [psi]	Φ [%]	K [md]	VSH[%]	SO[%]	CONDICIÓN CEMENTO	CAÑONEO	Q [BPPD]	S
1	U Inferior	29	1200	16	100	10	85	Media	OT	860	-2.05
2	U Inferior	26	1619	15.3	278.9	15.3	88	Media	TCP	111	0.02
3	U Inferior	29	1663	16.2	200	14.3	85	Alta	OT	1203	0.346
4	U Inferior	26	1765	17.3	63.8	16	78	Alta	TCP	331	4.44
5	Basal Tena	13	1230	17.4	1100	8.6	82	Media	OT	850	4.87
6	Basal Tena	12	1211	19	950	14	80	Pobre	WL	302	20.5
7	Hollín Superior	50	3600	13.5	38	29.6	62	Media	OT	760	-0.93
8	Hollín Superior	34	4004	12	40.56	42	59.8	Alta	WL	370	18.38
9	U Inferior	51	1475	17	130	8.3	89	Media	OT	791	1.75
10	U Inferior	52	1480	18	250	7	88	Pobre	WL	373	26.2
11	Hollín Superior	20	3704	14	30	27	56.1	Media	OT	660	-4.8
12	Hollín Superior	19	4000	16	40	28	55.3	Alta	WL	365	12.3
13	T Inferior	34	1200	18	210	20	67	Alta	OT	1045	-2.97
14	T Inferior	37	1400	15	160	16.9	62	Pobre	WL	315	31.3

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

CAPITULO 3
ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EFICIENCIA DE LOS POZOS CAÑONEADOS CON SISTEMAS CONVECNIONALES Y ONE TRIP

Una vez que ha sido presentada la evaluación de los parámetros que están estrechamente relacionados con la operación de cañoneo de los 14 pozos seleccionados, se realiza el análisis de las parejas de pozos teniendo en cuenta las técnicas de cañoneo utilizadas; es decir un pozo cañoneado con la técnica tipo ancla (One Trip), y otro pozo cañoneado con TCP o Wireline; considerando la cercanía entre pozos, y la misma arena productora.

La parte medular del proyecto consiste en que partiendo del análisis, se pueda obtener información relevante que permita determinar el rendimiento de cada técnica de cañoneo en función de la reducción del daño, y producción del pozo.

La correlación de los pozos se realizó utilizando el software BHI TECHLOG 2011, tomando las profundidades de cada intervalo cañoneado en profundidad vertical verdadera (TVD), para de esta forma obtener información relevante que permita obtener resultados útiles post-cañoneo.

3.1 PRESENTACIÓN DE CASOS

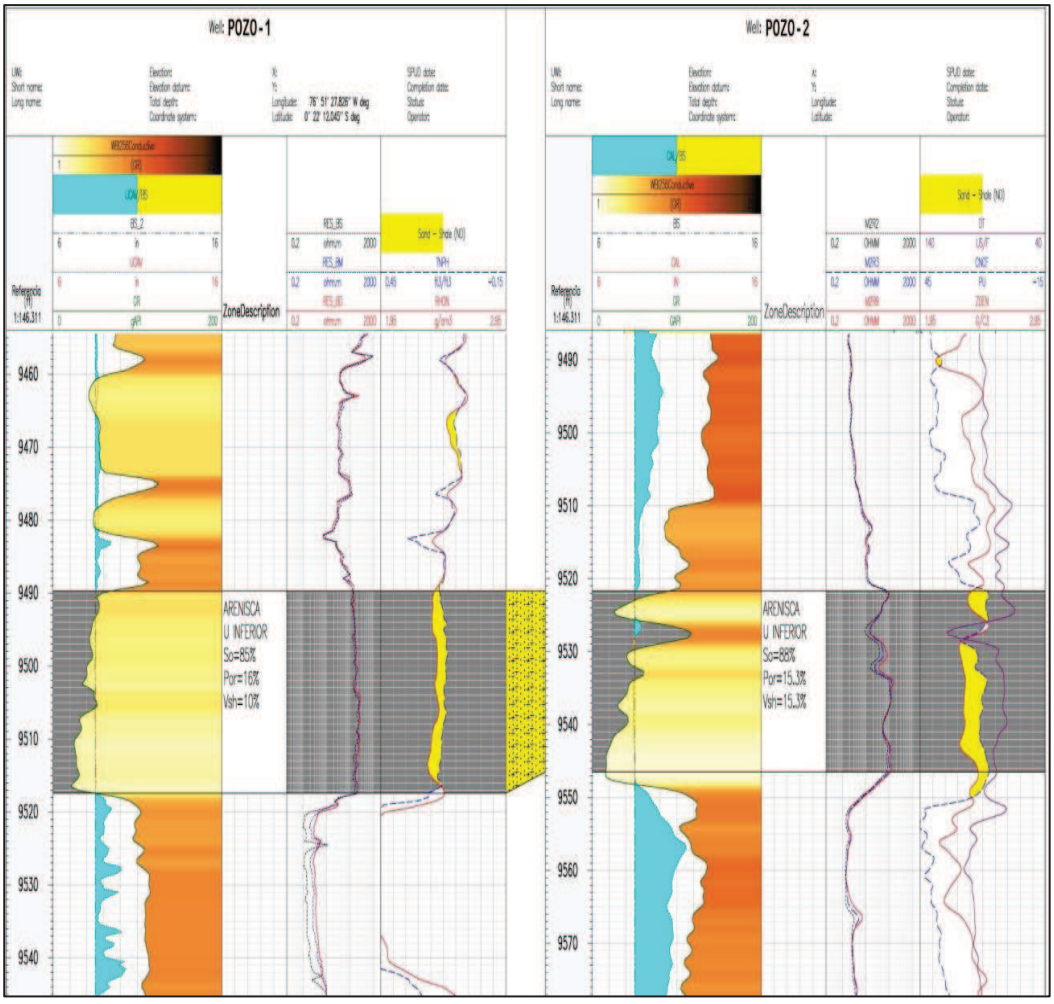
3.1.1 CASO 1

3.1.1.1 CORRELACIÓN 1: POZO-1 CON POZO-2

El Pozo-1 se cañoneó utilizando la técnica tipo ancla (One Trip), teniendo como objetivo la arenisca U inferior. La zona cañoneada representa un cuerpo arenoso de 29 pies (MD). El Pozo-2 se cañoneó utilizando el sistema TCP, teniendo como objetivo la arenisca U inferior. La zona cañoneada fue de 26 pies de espesor (MD).

La **FIGURA 3.1** muestra la correlación de la zona cañoneada para cada pozo respectivamente. De los datos petrofísicos podemos observar en primera instancia que los dos cuerpos presentan un espesor similar en profundidad vertical verdadera. Para el Pozo-1 se tiene 27 pies de espesor, resistividad total de 150 ohm.m, porosidad del 16% y densidad de 2.37 g/cm^3; mientras que para el Pozo-2 se tiene 24 pies de espesor, resistividad total de 90 ohm.m, porosidad de 15.3% y densidad de 2.35 g/cm^3. Ambos intervalos corresponden a la arenisca U Inferior.

FIGURA 3.1: CORRELACIÓN POZO-1 CON POZO-2 (ESCALA 1:200 TVD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Considerando que los pozos son cercanos, a la vez se puede inferir que a lo largo de la arenisca U Inferior, la tendencia hacia el Pozo-2 es de ir reduciendo su

espesor, simultáneamente que se nota un incremento de material arcilloso en la misma dirección.

En definitiva, se procura garantizar que al tener dos cuerpos arenosos con propiedades petrofísicas similares, sea posible realizar una comparación de las técnicas de cañoneo utilizadas de tal forma que se obtengan resultados válidos en lo que respecta a producción y posteriormente a daño a la formación.

Toda la información relevante de cada formación se resume en la **TABLA 3.1**, que se presenta a continuación:

TABLA 3.1: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 1

UNIDAD	ESPESOR [ft]	φ [%]	k [mD]	So	VSh
U INFERIOR	27	16	100	0.85	0.1
U INFERIOR	24	15.3	279	0.88	0.153

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

3.1.1.2 RESULTADOS POST-CAÑONEO

Una vez correlacionadas las formaciones cañoneadas, se puede presentar información tal como producción y daño de cada formación, que permita el análisis post-cañoneo tal y como se observa en la **TABLA 3.2**:

TABLA 3.2: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 1

POZO	UNIDAD	PRESIÓN DE FORMACIÓN [PSI]	TÉCNICA DE CAÑONEO	Q [BPPD]	Skin
POZO-1	ARENISCA U INFERIOR	1200	ONE TRIP (ANCLA)	860	-2.05
POZO-2	ARENISCA U INFERIOR	1619	TCP	111	0.02

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Para una presión de formación de 1200 psi, con la técnica de cañoneo denominada One Trip o tipo ancla, se logra una producción de 860 BPPD, con un valor de daño de -2.05.

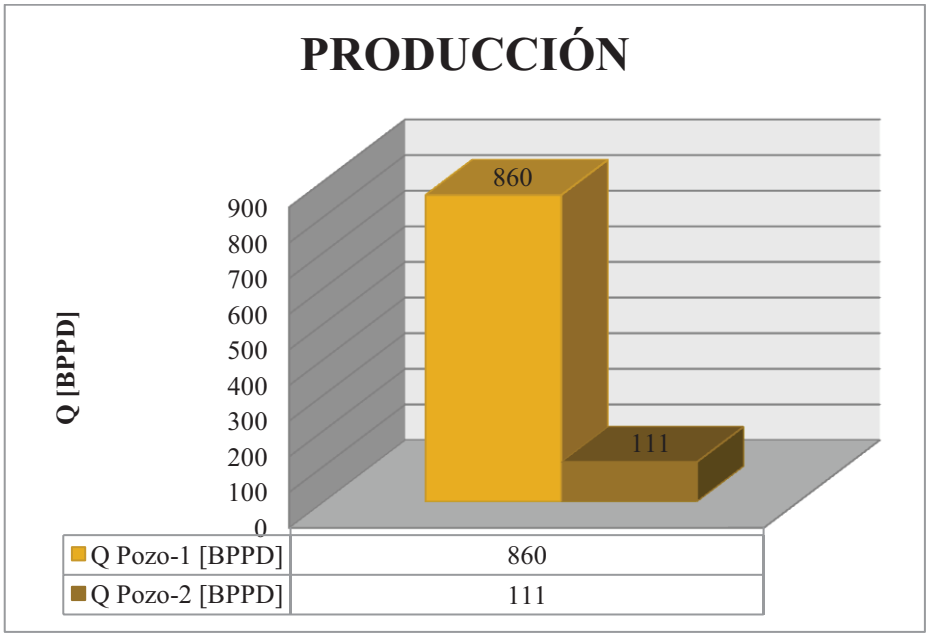
Por otro lado, para una presión de formación de 1619 cañoneado con el sistema TCP, se logra una producción de 111 BPPD y un valor de daño a la formación de 0.02.

El análisis de estos resultados permitirá ver los efectos de cada técnica o sistema de cañoneo luego de ser utilizado bajo formaciones que se asemejen lo mejor posible.

3.1.1.3 ANÁLISIS

De acuerdo a la **TABLA 3.2**, se puede observar que la técnica denominada One Trip ha logrado comunicar la formación con el pozo, aportando un aproximado de 860 BPPD.

FIGURA 3.2: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 1



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Lo que más llama la atención es el valor del daño que si bien es un valor cualitativo, nos indica que la formación para el Pozo-1 se encuentra estimulada ya que es un valor negativo. Esta aparente estimulación resulta en grandes beneficios en cuanto a producción.

En la misma tabla, se puede observar que para la formación cañoneada con el sistema TCP, del mismo modo se ha logrado comunicar la formación con el pozo, permitiendo ser producidos 111 BPPD. El valor de daño es cercano a cero, lo que quiere decir que se encuentra cercano al potencial productivo natural de la arena.

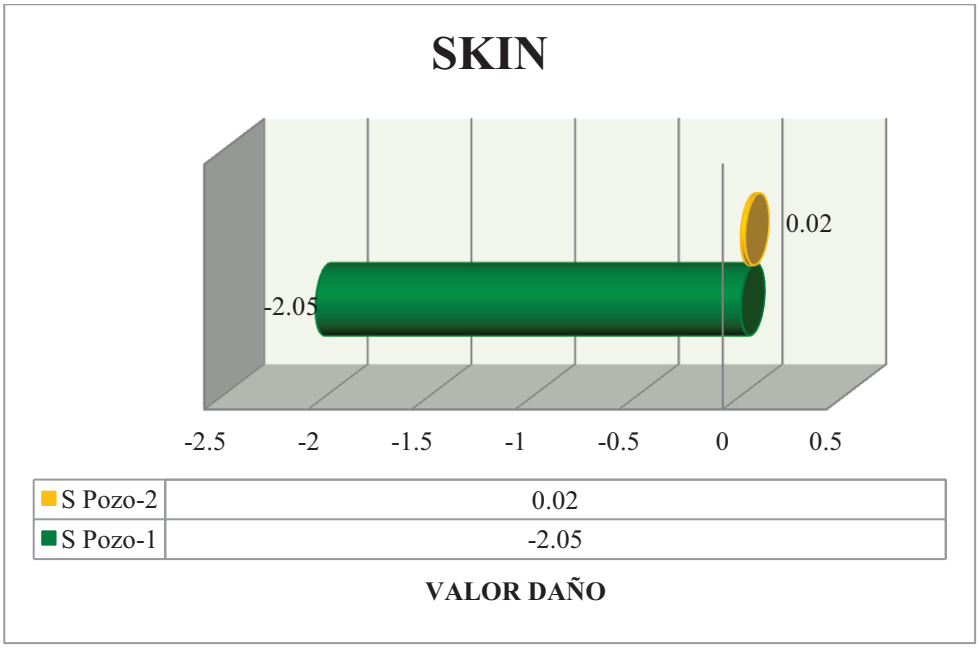
La **FIGURA 3.2** muestra comparativamente las producciones de ambos pozos. En este caso el pozo cañoneado con el sistema tipo ancla, Pozo-1, presenta una mayor producción comparativamente con el Pozo-2. Esta alta producción del Pozo-1 podría tener su causa en la limpieza de las perforaciones, que acompañada de una menor reducción de la permeabilidad y la presión de formación, minimiza cualquier restricción de flujo cercana a las paredes del pozo. Es de notar que a pesar de que el Pozo-1 tiene una menor permeabilidad y menor presión de formación, la producción resulta ser 87% más que la del Pozo-2.

Por otra parte, la **FIGURA 3.3** muestra comparativamente el valor de daño a la formación luego del cañoneo.

Recordando que valores negativos de daño representan formaciones “estimuladas” y valores positivos de daño representan formaciones, valga la redundancia, “dañadas”; se ve que la formación cañoneada con la técnica One Trip se encuentra “estimulada”, y la formación cañoneada con el sistema TCP se encuentra “dañada”.

El daño o skin de -2.05 posiblemente está ligado a que debido a que en la técnica tipo ancla se detonan los cañones, el pozo inmediatamente empieza a producir, sin necesidad de controlar el pozo como en el caso del sistema TCP, de esta manera se reduce el tiempo de exposición de la formación a fluidos de control y por lo tanto a la invasión de dichos fluidos.

FIGURA 3.3: DAÑO COMPARATIVO CASO 1



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Adicionalmente el bajo balance alcanzado, permite una limpieza efectiva, expulsando todo residuo sea de roca o de explosivo generado el momento de la detonación, por lo tanto, los residuos de la zona compactada son removidos casi en su totalidad.

El daño o skin de 0.02 podría ser resultado de la operación como tal del cañoneo; como se sabe, en el sistema TCP luego de detonadas las cargas, en la mayoría de los casos, se controla el pozo con fluido de control o agua de matado por algunas horas, lo que de cierta forma reduce la efectividad de la limpieza de las perforaciones obtenido debido al bajo balance. Para el Pozo-2, a pesar de tener una mayor permeabilidad, la producción no resulta significativa, lo que permite inferir una reducción de la permeabilidad de la formación debido al daño.

De esta forma, y para este caso, el sistema tipo ancla (One Trip) utilizado en el Pozo-1, ha mostrado ser más efectivo con respecto a limpieza de perforaciones y reducción de daño se refiere, afirmación a la que se llega a partir del valor de daño; y en producción. La vida productiva del Pozo-1 tenderá a ser mayor, y

requerirá de intervenciones en un periodo mayor al Pozo-2, de la misma forma la recuperación de la inversión será en un menor periodo, pero eso se analizará más adelante.

3.1.2 CASO 2

3.1.2.1 CORRELACIÓN 2: POZO-3 CON POZO-4

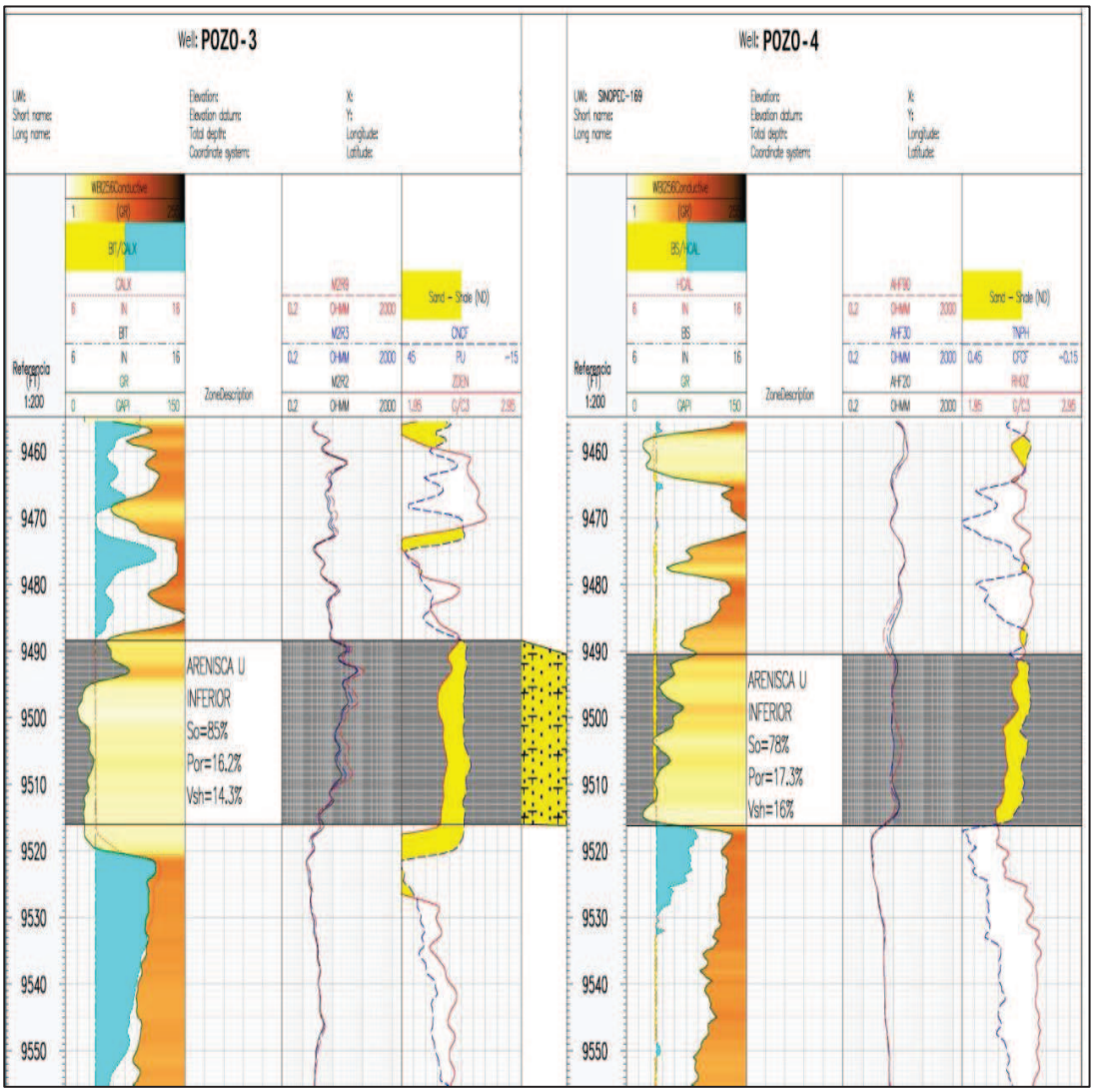
El Pozo-3 se cañoneó utilizando la técnica tipo ancla (One Trip), teniendo como objetivo la arenisca U inferior. La zona cañoneada representa un cuerpo arenoso de 29 pies (MD). El Pozo-4 se cañoneó utilizando el sistema TCP con desbalance dinámico, teniendo como objetivo la arenisca U inferior. La zona cañoneada fue de 26 pies de espesor (MD).

La correlación para este caso se muestra en la **FIGURA 3.4** en la que se puede observar en primera instancia que los dos cuerpos presentan un espesor similar, y si se le presta más atención se puede notar que incluso se encuentran prácticamente en la misma profundidad. Para el Pozo-3 se tiene 27 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad total de 50 ohm.m, porosidad del 16.2% y densidad de 2.41 g/cm^3; mientras que para el Pozo-4 se tiene 25.5 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad total de 130 ohm.m, porosidad de 17.3% y densidad de 2.36 g/cm^3. Ambos intervalos corresponden a la arenisca U Inferior.

De la arenisca U Inferior en estudio, presentado en este caso, se puede apreciar como el estrato tiene una reducción en espesor conforme nos aceramos al Pozo-4, a la vez que incrementa la cantidad de arcilla asociada a la arenisca; todo esto de una forma relativa.

En consecuencia, luego de lo anteriormente presentado, ambos cuerpos arenosos resultan comparativamente similares en sus características petrofísicas, lo que permite ponerlos frente a frente para el análisis de las técnicas de cañoneo utilizadas en cada una de las formaciones cañoneadas.

FIGURA 3.4: CORRELACIÓN POZO-3 CON POZO-4 (ESCALA 1:200 TVD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

La tabla muestra las propiedades petrofísicas de las secciones en estudio para este caso, y se presentan a continuación:

TABLA 3.3: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 2

UNIDAD	ESPESOR [ft]	φ [%]	k [mD]	So	VSh
U INFERIOR	27	16.2	200	0.85	0.143
U INFERIOR	25.5	17.3	63.8	0.78	0.16

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

3.1.2.2 RESULTADOS POST-CAÑONEO

Para esta pareja de pozos que se encuentran correlacionados, es importante presentar los resultados post-cañoneo teniendo en cuenta cada sistema o técnica de cañoneo. Dicha información se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 3.4: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 2

POZO	UNIDAD	PRESIÓN DE FORMACIÓN [PSI]	TÉCNICA DE CAÑONEO	Q [BPPD]	Skin
POZO-3	ARENISCA U INFERIOR	1663	ONE TRIP (ANCLA)	1203	0.346
POZO-4	ARENISCA U INFERIOR	1765	TCP	331	4.44

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Para una presión de formación de 1663 psi, con la técnica de cañoneo denominada One Trip o tipo ancla, se logra una producción de 1203 BPPD, con un valor de daño de 0.346

Por otro lado, para una presión de formación de 1765 cañoneado con el sistema TCP, se logra una producción de 331 BPPD y un valor de daño a la formación de 4.44.

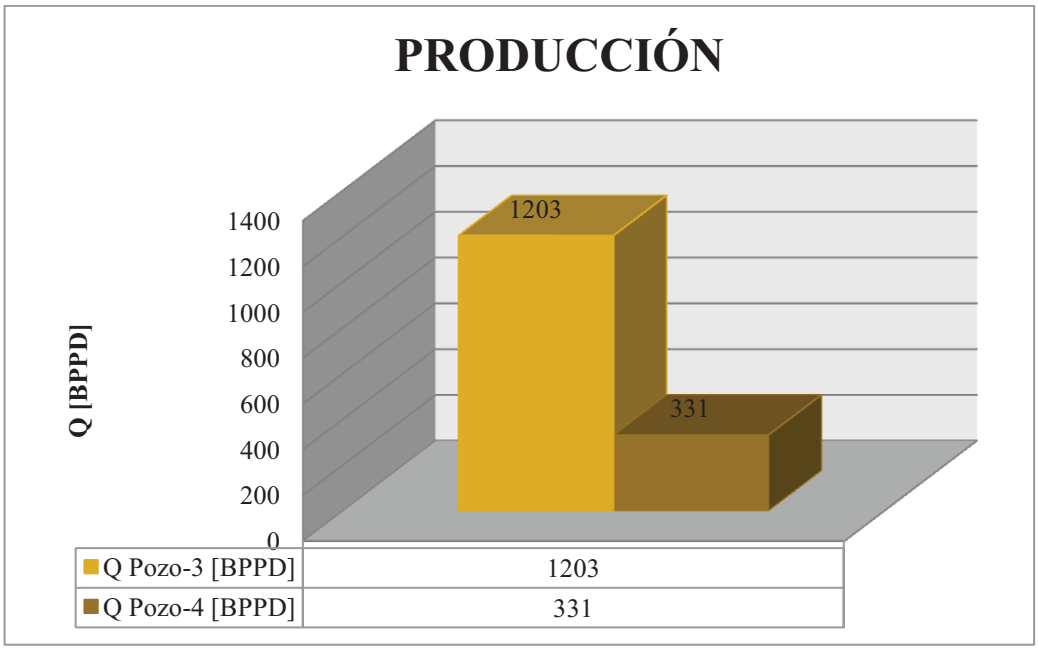
El análisis de estos resultados permitirá ver los efectos de cada técnica o sistema de cañoneo luego de ser utilizado bajo formaciones que se asemejen lo mayor posible.

3.1.2.3 ANÁLISIS

De acuerdo a la **TABLA 3.4**, se puede observar que la técnica denominada One Trip o tipo ancla ha logrado comunicar la formación con el pozo, aportando un

aproximado de 1203 BPPD, un valor de producción considerablemente alto para la arenisca U inferior en la cuenca oriente.

FIGURA 3.5: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 2



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

A más de la producción del pozo, se puede observar un valor de daño cercano a cero, lo que nos habla de una alta eficiencia en la limpieza de las perforaciones y por lo tanto reducción del daño a la formación provocado durante la etapa de completación del pozo.

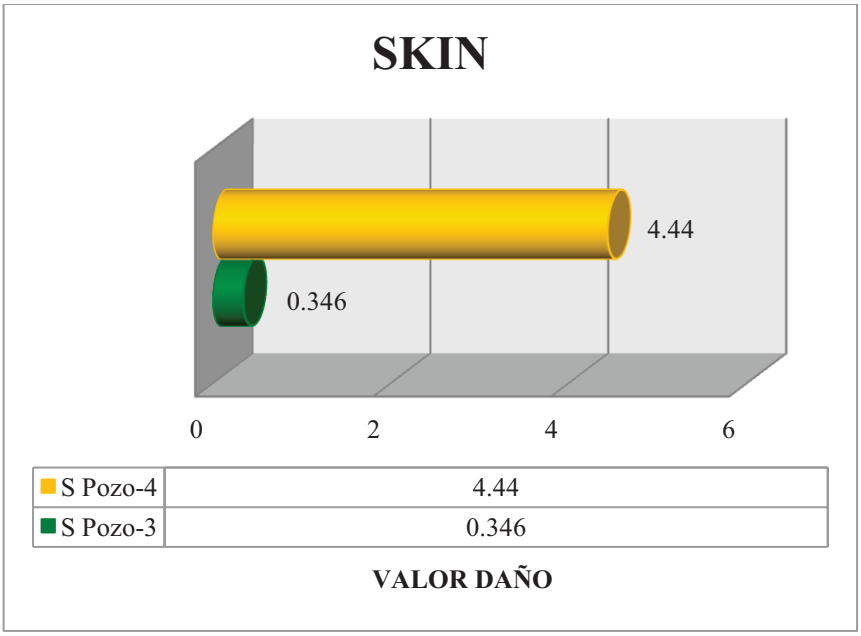
Para el otro trabajo de cañoneo, el cual se realizó con el sistema TCP, del mismo modo se ha logrado comunicar la formación con el pozo, permitiendo ser producidos 331 BPPD. La formación presenta un valor de daño o skin de 4.44, valor cualitativo que podría dar indicios de una formación con posibles taponamientos de gargantas porales, baja limpieza de perforaciones y reducción a la permeabilidad.

La **FIGURA 3.5** muestra comparativamente las producciones de ambos pozos para este caso. Se ve claramente que el pozo cañoneado con el sistema tipo

ancla (One Trip), es decir el Pozo-3, tiene una producción 4 veces mayor con respecto al Pozo-4, aproximadamente 72.5% por encima del mismo. Esta alta producción del Pozo-3 está asociada posiblemente en primera instancia, a una limpieza de las perforaciones producidas por el cañoneo, sea por el bajo desbalance utilizado, y por la reducción a la exposición de la formación a fluidos de control, lo que consecuentemente mitiga la reducción de la permeabilidad de la formación debido al daño.

Por otra parte la **FIGURA 3.6** muestra el valor de daño a la formación resultante luego del cañoneo de forma comparativa. El valor de daño para el Pozo-3 resultó ser de 0.346, mientras que para el Pozo-4 de 4.44. Sin lugar a dudas el Pozo-3, es decir el que se cañoneo utilizando el sistema tipo ancla, muestra un menor valor de daño. Este menor valor de daño puede estar relacionado por la no presencia de un fluido de control luego del cañoneo, adicionalmente por el efecto del desbalance estático bajo el cual se realizó el cañoneo. Adicionalmente es de considerar que la presión del reservorio al experimentar un diferencial de presión el momento del cañoneo, desalojando todo residuo causado.

FIGURA 3.6: DAÑO COMPARATIVO CASO 2



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

El valor de daño resultante en el sistema TCP, a pesar de también haber sido realizada en condición de bajo balance, es mayor probablemente porque no se consideró al BHA del cañoneo como permanente, lo que indicaría que alrededor de 15 horas la formación estuvo expuesta a fluido de matado, y este por su presión hidrostática compactó ciertos diminutos residuos de roca.

En consecuencia para este caso, el sistema tipo ancla (One Trip) utilizado en el Pozo-3, ha mostrado ser más efectivo en lo que respecta a producción con un 72.5% mayor al Pozo-4, y un valor de daño a la formación cercana a cero. El Pozo-3 necesitaría intervenciones en un tiempo posterior al Pozo-4.

3.1.3 CASO 3

3.1.3.1 CORRELACIÓN 3: POZO-5 CON POZO-6

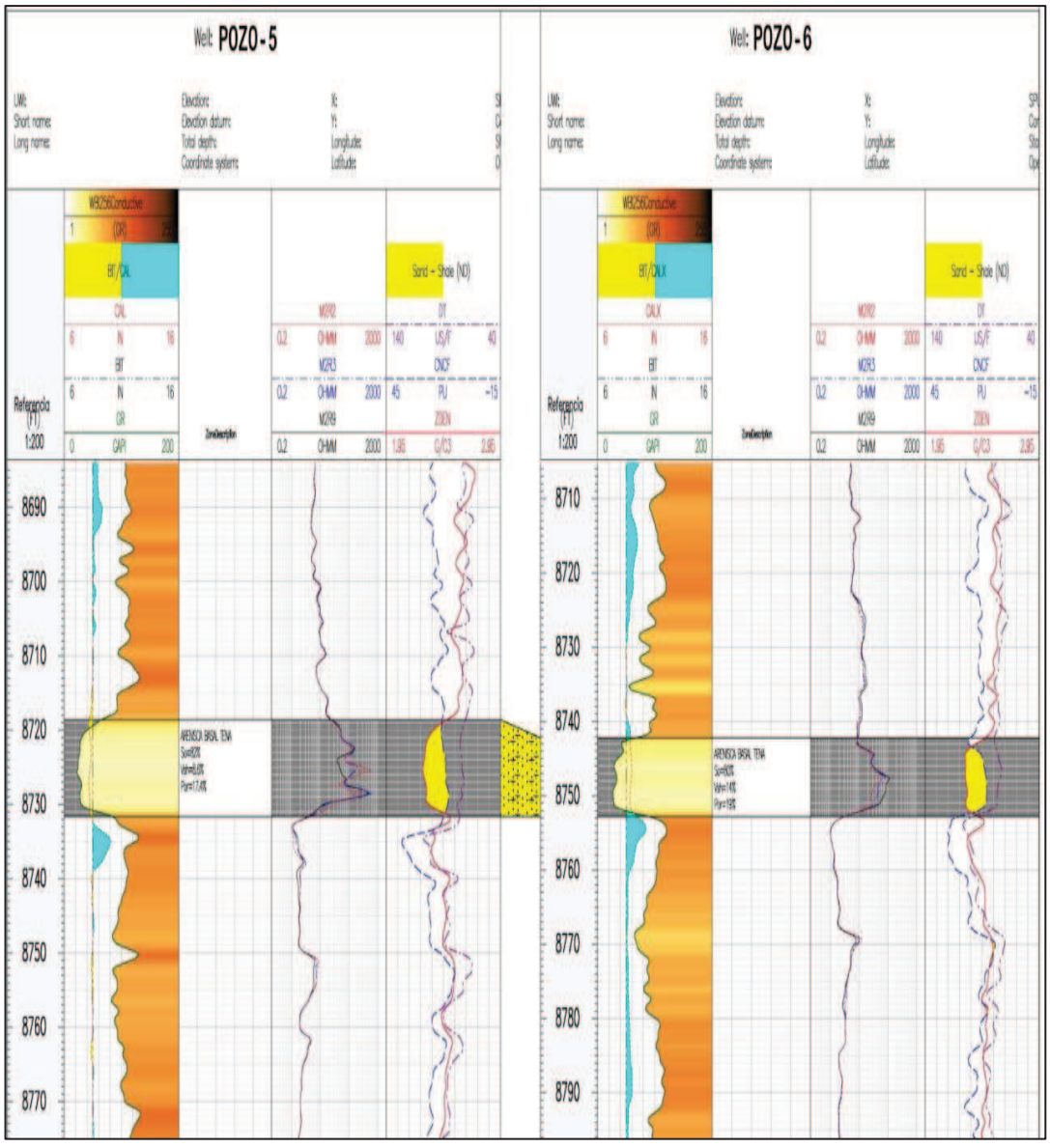
El Pozo-5 se cañoneó utilizando la técnica tipo ancla (One Trip), teniendo como objetivo la arenisca Basal Tena. La zona cañoneada representa un cuerpo arenoso de 13 pies (MD). El Pozo-6 se cañoneó utilizando el sistema wireline, teniendo como objetivo la arenisca Basal Tena. La zona cañoneada fue de 12 pies de espesor (MD).

La correlación para este caso se muestra en la **FIGURA 3.7** en la que se puede observar de forma inicial una ligera diferencia en lo que a espesor se refiere y de forma detallada se puede notar que la arena perteneciente al Pozo-6 se encuentra aproximadamente 20 pies por debajo de la correspondiente al Pozo-5.

Para el Pozo-5 se tiene 13 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad de 273 ohm.m, porosidad del 17.4% y densidad de 2.30 g/cm^3; mientras que para el Pozo-6 se tiene 10.5 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad de 600 ohm.m, porosidad de 19% y densidad de 2.33 g/cm^3. Ambos intervalos corresponden a la arenisca Basal Tena. Cabe mencionar que para este caso la profundidad MD y TVD, son similares ya que se tratan de pozos tipo “S” y los intervalos de interés están en la sección vertical final del pozo.

De la arenisca Basal Tena en estudio presentada en este caso, se puede apreciar como el estrato tiene una reducción en espesor conforme se aproxima al Pozo-6; a la vez que incrementa la cantidad de arcilla asociada a la arenisca.

FIGURA 3.7: CORRELACIÓN POZO-5 CON POZO-6 (ESCALA 1:200 TVD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

En consecuencia, luego de lo anteriormente presentado, ambos cuerpos arenosos resultan comparativamente similares en sus características petrofísicas, lo que permite ponerlos frente a frente para el análisis de las técnicas de cañoneo

utilizadas en cada una de las formaciones cañoneadas. La **TABLA 3.5** muestra las propiedades petrofísicas de las secciones en estudio para este caso.

TABLA 3.5: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 3

UNIDAD	ESPESOR [ft]	φ [%]	k [mD]	So	VSh
BASAL TENA	13	17.4	1100	0.82	0.086
BASAL TENA	10.5	19	950	0.80	0.14

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

3.1.3.2 RESULTADOS POST-CAÑONEO

Para esta pareja de pozos que se encuentran correlacionados, es importante presentar los resultados post-cañoneo debido a que es necesario tener en cuenta cada sistema o técnica de cañoneo, y cuál fue el comportamiento del reservorio luego del mismo. Dicha información se presenta en la **TABLA 3.6**

Para una presión de formación de 1230 psi, con la técnica de cañoneo denominada One Trip o tipo ancla, se logra una producción de 850 BPPD, con un valor de daño de 4.87. Por otro lado, para una presión de formación de 1211 cañoneado con el sistema wireline, se logra una producción de 302 BPPD y un valor de daño a la formación de 20.5.

TABLA 3.6: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 3

POZO	UNIDAD	PRESIÓN DE FORMACIÓN [PSI]	TÉCNICA DE CAÑONEO	Q [BPPD]	Skin
POZO-3	ARENISCA BASAL TENA	1230	ONE TRIP (ANCLA)	850	4.87
POZO-4	ARENISCA BASAL TENA	1211	WL	302	20.5

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

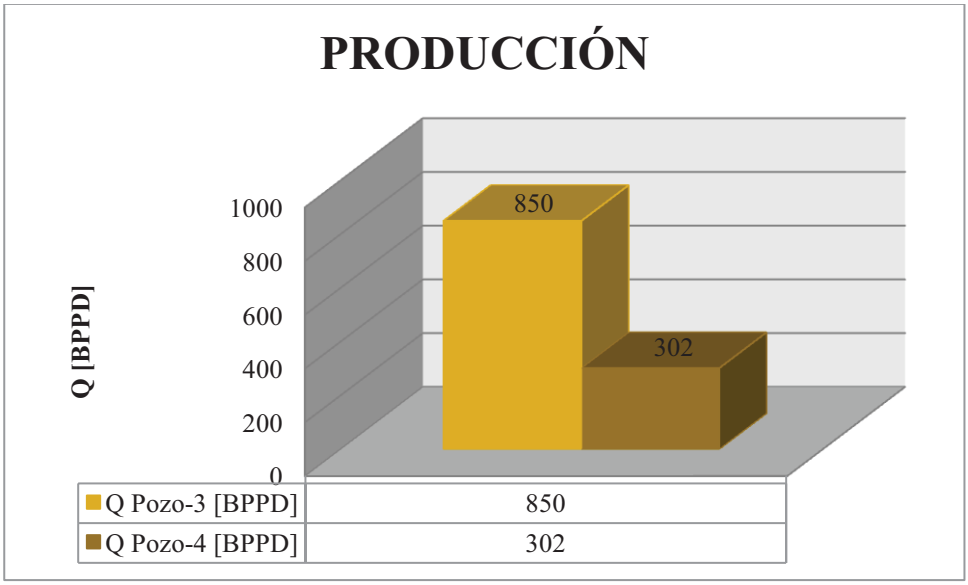
El análisis de estos resultados permitirá ver los efectos de cada técnica o sistema de cañoneo luego de ser utilizado en formaciones que se asemejen lo mayor posible.

3.1.3.3 ANÁLISIS

De acuerdo a la **TABLA 3.6**, se puede observar que la técnica denominada One Trip ha logrado comunicar la formación con el pozo, aportando un aproximado de 850 BPPD. A más de la producción del pozo, podemos observar un valor de daño de 4.87, menor que el logrado con el sistema wireline.

Para el otro trabajo de cañoneo, el cual se realizó con el sistema wireline, del mismo modo se ha logrado comunicar la formación con el pozo, permitiendo ser producidos 302 BPPD. La formación presenta un valor de daño o skin de 20.5, valor que si bien es cualitativo, nos habla de una formación dañada en gran medida; sin embargo se hace énfasis en la producción ya que es un valor más "visible". La **FIGURA 3.8** muestra comparativamente las producciones de ambos pozos para este caso.

FIGURA 3.8: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 3



Fuente: Base de datos Baker Hughes

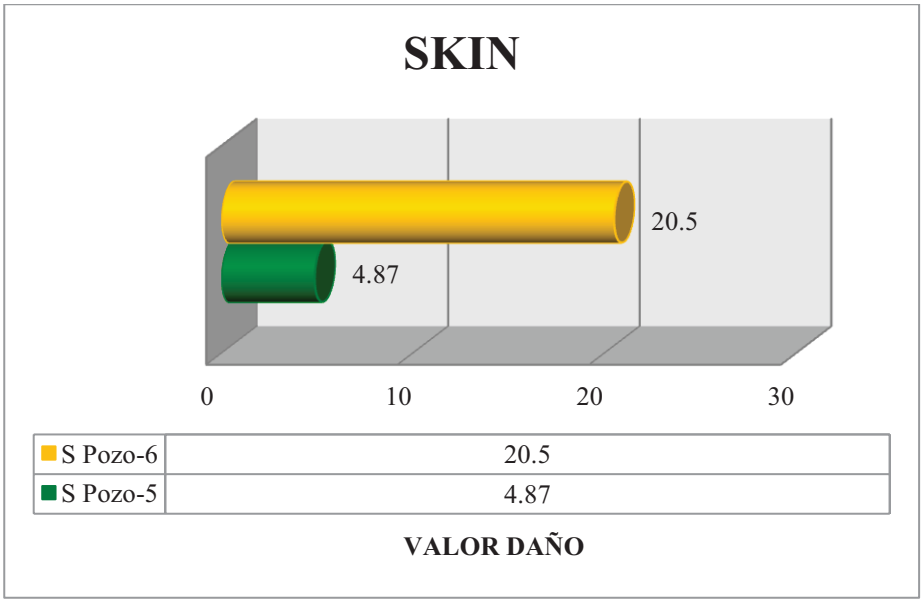
Elaborado por: Marco Brito Flores

Se ve nuevamente que el pozo cañoneado con el sistema tipo ancla (One Trip), es decir el Pozo-5, tiene una producción de aproximadamente 64% por encima del Pozo-6. Esta mayor producción en el Pozo-5 puede llevar a cuestionar el valor de daño presentado por la compañía operadora, creyendo que el valor de daño sea realmente menor; pero como se mencionó anteriormente, el valor agregado al sistema de cañoneo estará dado por la producción.

Por otra parte la **FIGURA 3.9** muestra el valor de daño a la formación resultante luego del cañoneo de forma comparativa con los valores de daño ya antes reportados. En este caso la diferencia del valor de daño entre los pozos resulta significativa, situación que no se presentó con el sistema TCP; por tanto se podría empezar a inferir sobre la eficacia del sistema wireline.

El daño de 20.5 indica un mayor daño a la formación comparado con la formación cañoneada con el sistema tipo ancla en lo que a magnitud se refiere. Este mucho mayor valor de daño puede ser causado por la forma como se realizó el cañoneo, ya que en el sistema wireline no se considera ningún efecto de bajo balance, sino que al contrario se lo realiza en sobre balance.

FIGURA 3.9: DAÑO COMPARATIVO CASO 3



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

El fluido de matado utilizado para controlar el pozo luego del cañoneo, posiblemente es el que cause una muy baja limpieza de las perforaciones causando taponamiento de gargantas porales, lo que consecuentemente reduce la permeabilidad, y finalmente reduciendo así en gran medida el potencial natural del pozo.

En conclusión para este caso, el sistema tipo ancla (One Trip) utilizado en el Pozo-5, ha mostrado una vez más ser superior en lo que respecta a producción con un 64% mayor al Pozo-6, y un valor de daño a la formación de 4.87. Se esperaría que el Pozo-5 presente una mayor rentabilidad a largo plazo.

3.1.4 CASO 4

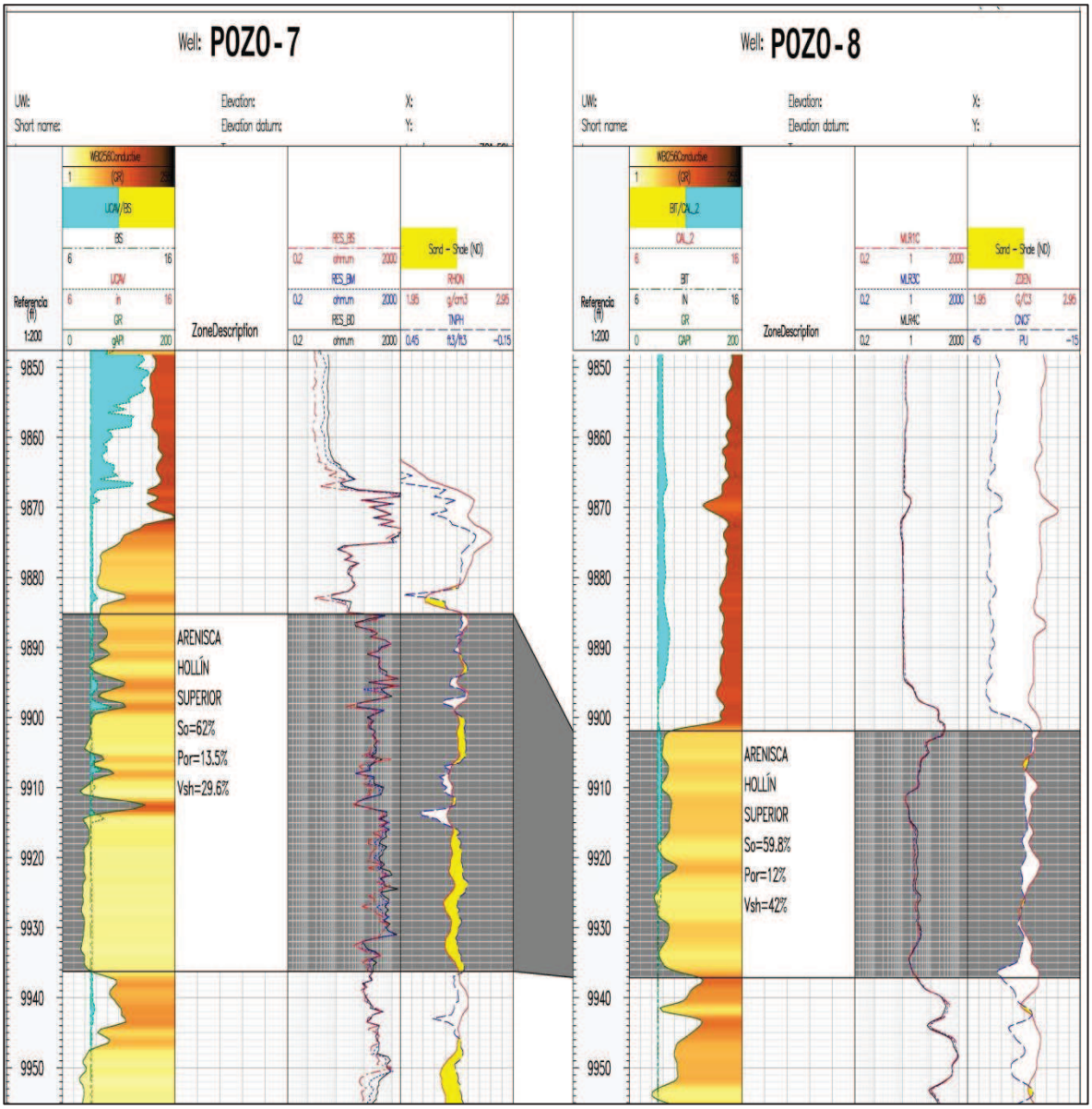
3.1.4.1 CORRELACIÓN 4: POZO-7 CON POZO-8

El Pozo-7 se cañoneó utilizando la técnica tipo ancla (One Trip), teniendo como objetivo la arenisca Hollín Superior. La zona cañoneada representa un cuerpo arenoso de 50 pies (MD). El Pozo-8 se cañoneó utilizando el sistema wireline, teniendo como objetivo la arenisca Hollín Superior. La zona cañoneada fue de 35 pies de espesor (MD).

La correlación para este caso se muestra en la **FIGURA 3.10**. A diferencia de los casos anteriores, en este se nota que los espesores no son tan similares; esto debido a la forma como varía la arena a lo largo del campo al cual pertenecen, y lo que se espera tener es una pareja de formaciones lo más similares posibles.

Para el Pozo-7 se tiene 50 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad total de 380 ohm.m, porosidad del 13.5% y densidad de 2.40 g/cm^3; mientras que para el Pozo-8 se tiene 35 pies de espesor en profundidad verdadera, resistividad total de 38 ohm.m, porosidad de 12% y densidad de 2.65 g/cm^3. Ambos intervalos corresponden a la arenisca Hollín Superior.

FIGURA 3.10: CORRELACIÓN POZO-7 CON POZO-8 (ESCALA 1:200 TVD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Como se mencionaba anteriormente, la reducción del espesor de la arena Hollín Superior a medida que se está más cerca del Pozo-8, e incremento de material arcilloso asociado es notorio.

En este caso se busca tener una correlación de la arenisca Hollín Superior, que en primera instancia parecería no ser posible, sin embargo lo que se pretende es tener principalmente las mismas formaciones con petrofísica similar.

La **TABLA 3.7** muestra las propiedades petrofísicas de las secciones en estudio para este caso, y se presentan a continuación:

TABLA 3.7: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 4

UNIDAD	ESPESOR [ft]	φ [%]	k [mD]	So	VSh
HOLLÍN SUPERIOR	50	13.5	38	0.62	0.296
HOLLÍN SUPERIOR	34	12	40.56	0.598	0.48

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

3.1.4.2 RESULTADOS POST-CAÑONEO

Para esta pareja de pozos que se encuentran correlacionados, es importante presentar los resultados post-cañoneo teniendo en cuenta cada sistema o técnica de cañoneo. Dicha información se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 3.8: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 2

POZO	FORMACIÓN	PRESIÓN DE FORMACIÓN [PSI]	TÉCNICA DE CAÑONEO	Q [BPPD]	Skin
POZO-7	ARENISCA HOLLÍN SUPERIOR	3600	ONE TRIP (ANCLA)	760	-0.93
POZO-8	ARENISCA HOLLÍN SUPERIOR	4004	WL	360	18.38

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Para una presión de formación de 3600 psi, con la técnica de cañoneo denominada One Trip o tipo ancla, se logra una producción de 760 BPPD, con un valor de daño de -0.93

Por otro lado, para una presión de formación de 4004 cañoneado con el sistema wireline, se logra una producción de 360 BPPD y un valor de daño a la formación de 18.38.

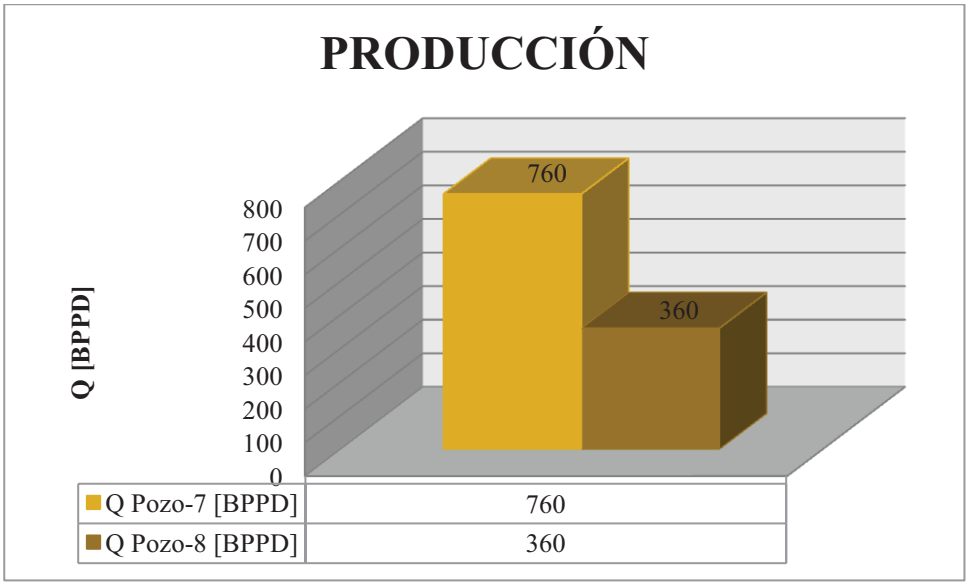
3.1.4.3 ANÁLISIS

De acuerdo a la **TABLA 3.8**, se puede observar que la técnica denominada One Trip o tipo ancla ha logrado comunicar la formación con el pozo, aportando un aproximado de 760 BPPD. A más de la producción del pozo, se puede observar un valor de daño de -0.93, lo que nos habla de una formación "estimulada" relacionada a una alta eficiencia en la limpieza de las perforaciones y por lo tanto reducción del daño a la formación provocado durante toda la realización del pozo.

En lo que respecta al cañoneo con el sistema wireline, del mismo modo se ha logrado comunicar la formación con el pozo, permitiendo ser producidos 360 BPPD. La formación presenta un valor de daño o skin de 18.38, valor cualitativamente alto, y es la tendencia en formaciones cañoneadas con el sistema wireline; sin embargo se vuelve a hacer hincapié en que el mejor indicador es la producción.

La **FIGURA 3.11** muestra comparativamente las producciones de ambos pozos para este caso. Se observa una vez más que, y sin lugar a dudas, el pozo cañoneado con el sistema tipo ancla (One Trip), es decir el Pozo-7, tiene una producción mayor al doble con respecto al Pozo-8, aproximadamente 53% por encima del mismo. Esta alta producción del Pozo-7, nuevamente, podría estar relacionada con la limpieza de las perforaciones realizadas por el cañoneo, que sumada al bajo balance alcanzado durante la succión de la bomba ESP, permite que el potencial productivo del pozo expulse todo material de roca o explosivo; sin permitir una reducción en la permeabilidad principalmente.

FIGURA 3.11: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 4



Fuente: Base de datos Baker Hughes

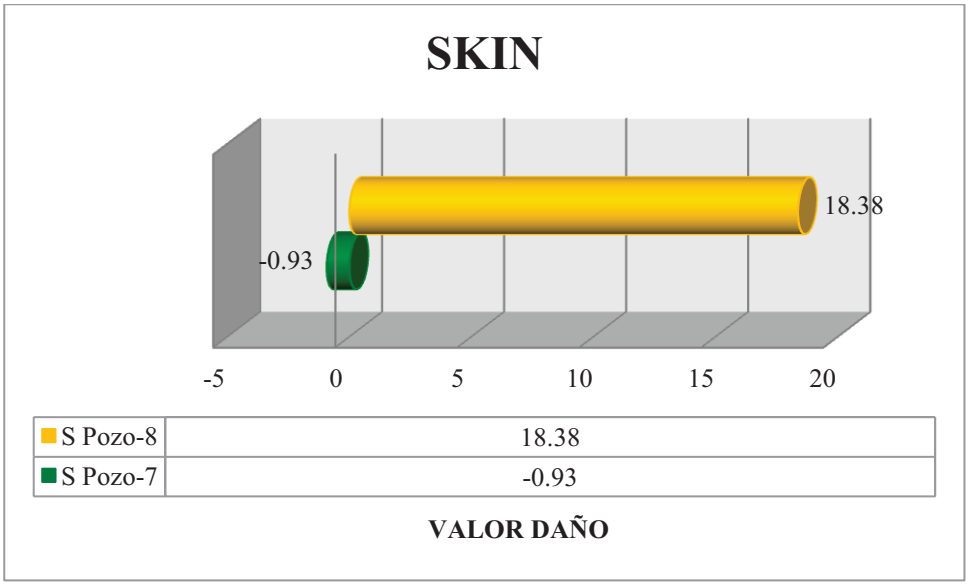
Elaborado por: Marco Brito Flores

Para el análisis del valor de daño, el enfoque se encuentra en la **FIGURA 3.12**, la cual muestra el valor de daño a la formación resultante luego del cañoneo de forma comparativa. El valor de daño para el Pozo-7 resultó ser de -0.93, mientras que para el Pozo-8 de 18.38.

Por cuarta ocasión, el cañoneo donde se ha utilizando el sistema tipo ancla, muestra un menor valor de daño, el cual da indicios de una formación, como se dijo ya, “estimulada”. No hay fluido de control que ejerza una presión hidrostática sobre las perforaciones, siendo el potencial del reservorio quien está presente durante todo el trabajo de cañoneo; esto podría explicar el bajo e inclusive negativo valor del daño.

Luego de la perturbación producida en el reservorio por el cañoneo, en bajo balance hidrostático, permitiría que la permeabilidad en los alrededores de los túneles cañoneados se mantuviera cercana a la original de la roca (zona virgen).

FIGURA 3.12: DAÑO COMPARATIVO CASO 4



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

En el caso del sistema wireline de cañoneo utilizado en el Pozo-8, una vez más presenta un valor de daño considerable, que si bien es cierto es solo un indicador cualitativo, es un fundamento más para realmente considerar el uso de este sistema a no ser que sea con un análisis técnico-económico; a la vez que da indicios de la importancia en la aplicación de un desbalance a favor de la formación, y así evitar nuevas intervenciones a lo largo de la vida productiva del pozo, al menos en lo que respecta en el corto plazo.

Finalmente, se considera que el sistema tipo ancla (One Trip) utilizado en el Pozo-7 ha mostrado ser más efectivo en lo que respecta a producción con un 53% mayor al Pozo-8, y en reducción de daño con un valor de daño a la formación negativo, -0.93.

3.1.5 CASO 5

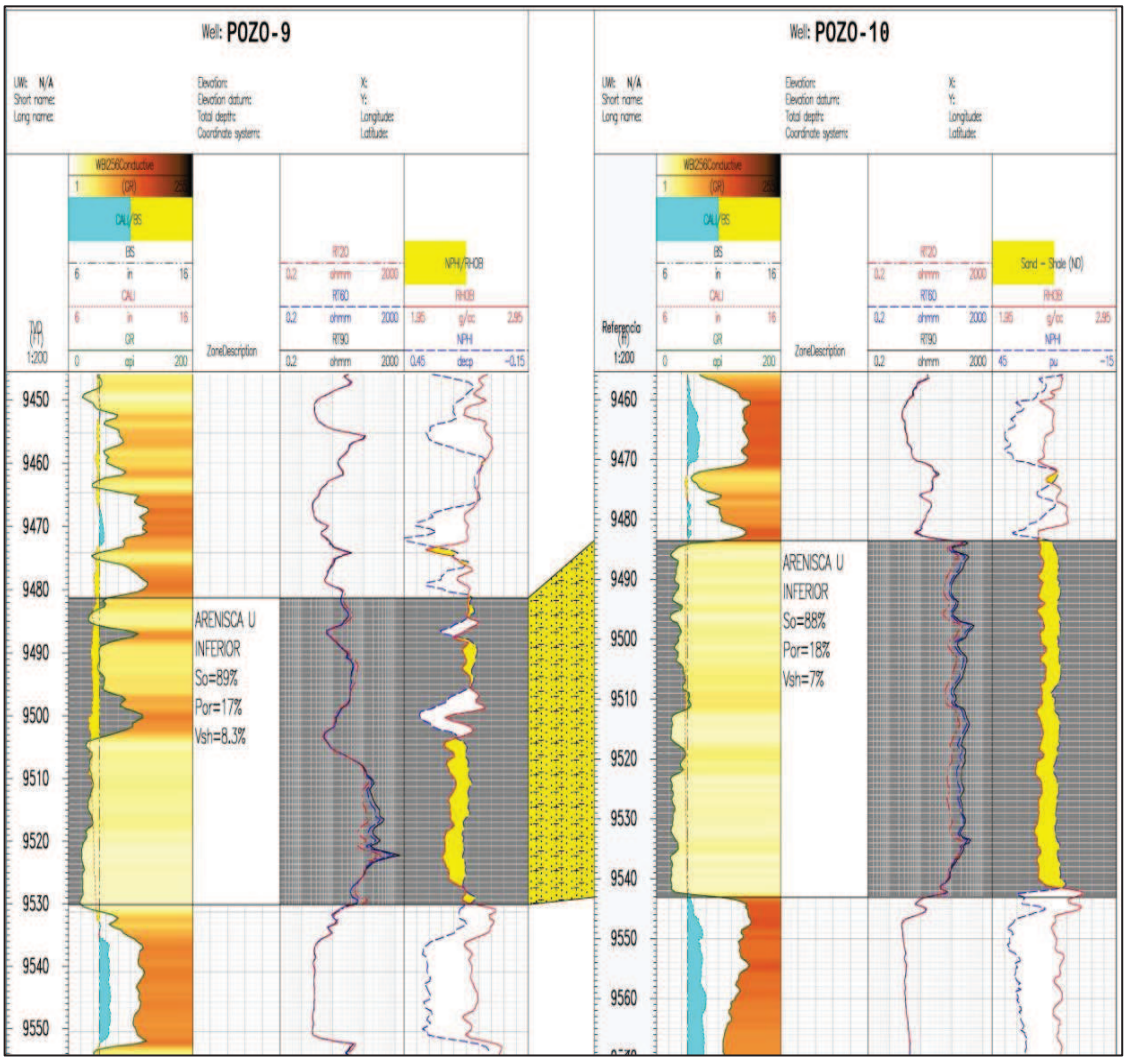
3.1.5.1 CORRELACIÓN 5: POZO-9 CON POZO-10

El Pozo-9 se cañoneó utilizando la técnica tipo ancla (One Trip), teniendo como objetivo la arenisca U Inferior. La zona cañoneada representa un cuerpo arenoso

de 51 pies (MD). El Pozo-10 se cañoneó utilizando el sistema wireline, teniendo como objetivo la arenisca U Inferior. La zona cañoneada fue de 52 pies de espesor (MD).

La correlación para este caso se muestra en la **FIGURA 3.13**. A primera vista lo que se puede apreciar es que ambas formaciones varían, especialmente en contenido de arcilla asociada a la formación; pero la evaluación petrofísica muestra valores similares en lo que respecta a porosidad, contenido de arcilla e incluso saturación de petróleo.

FIGURA 3.13: CORRELACIÓN POZO-9 CON POZO-10 (ESCALA 1:200 TVD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

Para el Pozo-9 se tiene 51 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad total de 250 ohm.m, porosidad del 17% y densidad de 2.38 g/cm^3; mientras que para el Pozo-10 se tiene 52 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad total de 280 ohm.m, porosidad de 18% y densidad de 2.25 g/cm^3. Ambos intervalos corresponden a la arenisca U Inferior.

A diferencia de los cuatro casos anteriores, en este caso la tendencia de la formación es de aumentar su espesor y reducir la cantidad de arcilla, en la medida que se aproxima al Pozo-10, el cañoneado con el sistema wireline. Toda esta información dependerá de la ubicación de los pozos en el campo y adquirirá valor técnico al realizarse un análisis estructural de las arenas.

La tabla muestra las propiedades petrofísicas de las secciones en estudio para este caso, y se presentan a continuación:

TABLA 3.9: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 4

UNIDAD	ESPESOR [ft]	φ [%]	k [mD]	So	VSh
U INFERIOR	51	17	130	0.89	0.083
U INFERIOR	52	18	250	0.88	0.07

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

3.1.5.2 RESULTADOS POST-CAÑONEO

Para esta pareja de pozos que se encuentran correlacionados, es importante presentar los resultados post-cañoneo teniendo en cuenta cada sistema o técnica de cañoneo. Dicha información se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 3.10: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 5

POZO	UNIDAD	PRESIÓN DE FORMACIÓN [PSI]	TÉCNICA DE CAÑONEO	Q [BPPD]	Skin
POZO-9	ARENISCA U INFERIOR	1475	ONE TRIP (ANCLA)	791	1.75
POZO-10	ARENISCA U INFERIOR	1480	WL	373	26.2

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

En este caso, para una presión de formación de 1475 psi, con la técnica de cañoneo denominada One Trip o tipo ancla, se logra una producción de 791 BPPD, con un valor de daño de 1.75.

Por otro lado, para una presión de formación de 1480 psi cañoneado con el sistema wireline, se logra una producción de 373 BPPD y un valor de daño a la formación de 26.2.

Al analizar estos resultados, se logrará ver los efectos de cada técnica o sistema de cañoneo luego de ser utilizado bajo formaciones que se asemejen lo mayor posible, motivo por el cual han sido correlacionadas.

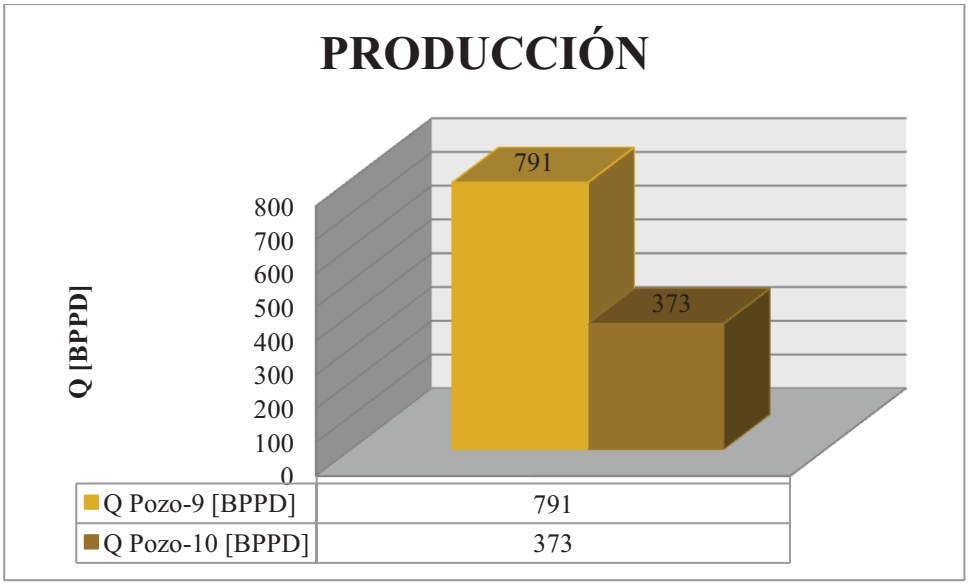
3.1.5.3 ANÁLISIS

Valiéndonos de la información presentada en la **TABLA 3.10**, se puede observar que la técnica denominada One Trip o tipo ancla ha logrado comunicar la formación con el pozo, aportando un aproximado de 791 BPPD. A más de la producción del pozo, se puede observar un valor de daño de 1.75, valor de daño que da una idea de lo sucedido durante el cañoneo en las perforaciones. Este valor es mucho menor que el obtenido en el Pozo-10, donde se utilizó el sistema wireline.

En lo que respecta al cañoneo con el sistema wireline, del mismo modo se ha logrado comunicar la formación con el pozo, permitiendo ser producidos 373 BPPD. La formación presenta un valor de daño o skin de 26.2, valor cualitativamente muy alto, pero como se ha venido viendo, es la tendencia en las formaciones cañoneadas con el sistema wireline. Con estos datos ya algunas conclusiones empiezan a ser consideradas.

Fijándonos en la **FIGURA 3.14**, se muestra comparativamente las producciones de ambos pozos para este caso, luego del cañoneo. Por quinta vez consecutiva se nota la mayor producción en el pozo cañoneado con el sistema tipo ancla (One Trip), es decir el Pozo-9, el cual tiene una producción de aproximadamente 53% mayor al Pozo-10.

FIGURA 3.14: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 5



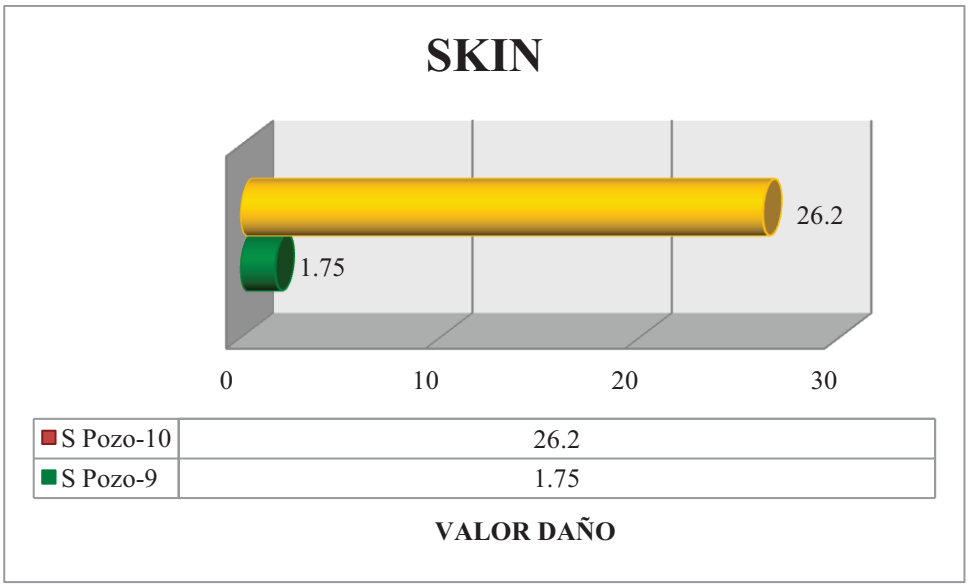
Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Esta alta producción del Pozo-9 ya da una clara idea de lo antes mencionado, limpieza de las perforaciones de forma eficiente, reducción de la permeabilidad en la zona dañada mínima, y aprovechamiento de la presión de reservorio en gran porcentaje. La producción será al igual que en los casos anteriores, el parámetro palpable de la eficiencia del cañoneo y es en el que se hará más énfasis.

En valor de daño para cada pozo se muestra en la **FIGURA 3.15**, en la que se ve el valor de daño a la formación resultante luego del cañoneo de forma comparativa. El valor de daño para el Pozo-9 resultó ser de 1.75, mientras que para el Pozo-10 de 26.2. Se nota una vez más la gran diferencia en el valor de daño reportado para cada formación. Las causas siguen siendo las mismas que en casos anteriores, el bajo balance y la producción inmediata luego del cañoneo en el Pozo-9, One Trip, incrementa el desempeño del reservorio.

FIGURA 3.15: DAÑO COMPARATIVO CASO 5



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

En el caso del sistema wireline utilizado en el Pozo-10, el alto valor de daño reportado, da una idea de los efectos de este sistema sobre la formación, el cual reduce notablemente el potencial productivo del pozo.

El cañoneo con la técnica One Trip o tipo ancla muestra valores considerables de rendimiento y eficiencia. En los siguientes dos casos se comprobará de la misma forma el desempeño de este trabajo de cañoneo.

3.1.6 CASO 6

3.1.6.1 CORRELACIÓN 6: POZO-11 CON POZO-12

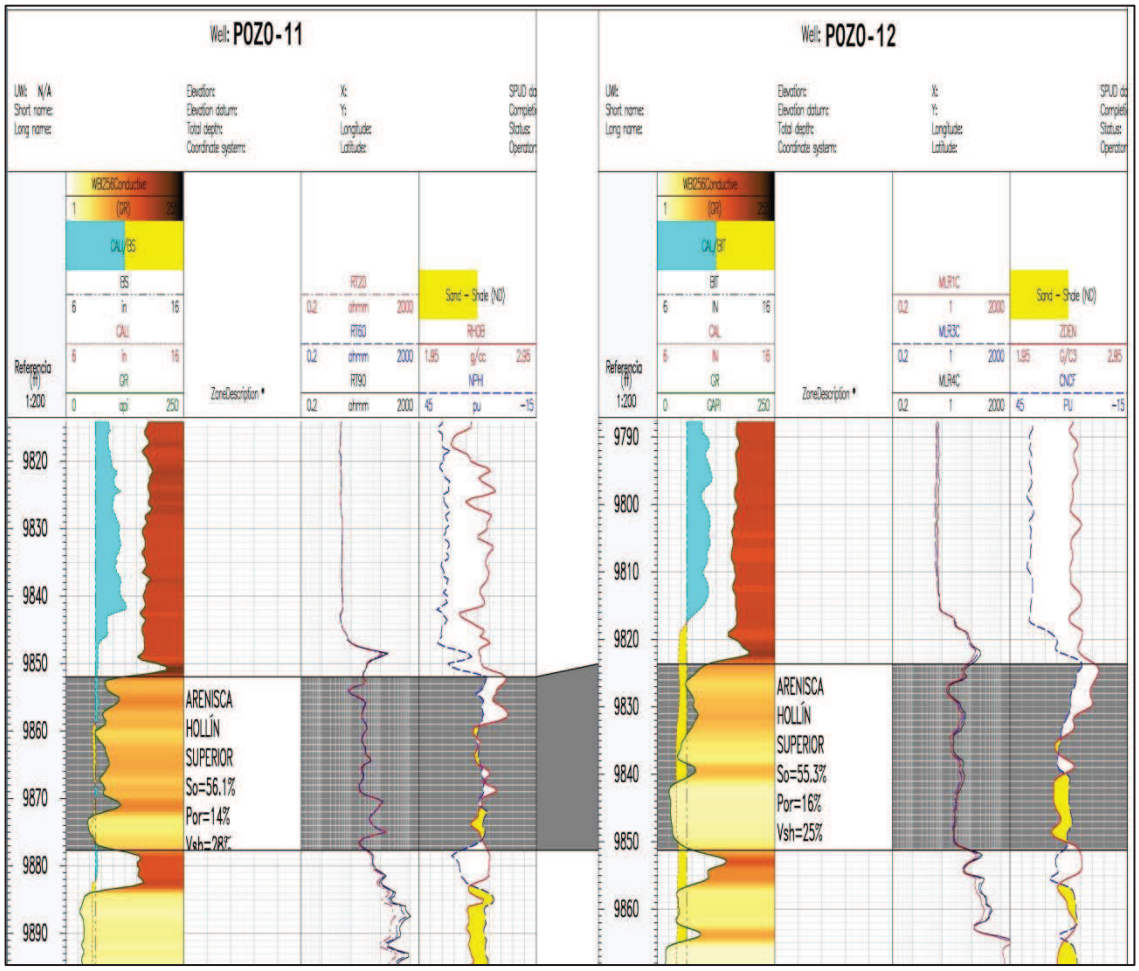
El Pozo-11 se cañoneó utilizando la técnica tipo ancla (One Trip), teniendo como objetivo la arenisca Hollín Superior. La zona cañoneada representa un cuerpo arenoso de 20 pies (MD), considerando el intervalo cañoneado. El Pozo-12 se cañoneó utilizando el sistema wireline, teniendo como objetivo la arenisca Hollín Superior. La zona cañoneada fue de 19 pies de espesor (MD), considerando el intervalo cañoneado.

Continuando con la correlación, de acuerdo a la **FIGURA 3.16** se observan ciertas similitudes entre ambas arenas, y la evaluación petrofísica permitirá determinar si son tan similares como se presentan. El objetivo de la correlación hasta este punto y en adelante, es poder tener un escenario hipotético en el cual se pueda de cierta forma simular como si a una misma arena se la cañoneara con las diferentes técnicas o sistemas de cañoneo en el mismo intervalo.

Para el Pozo-11 se tiene 20 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, al igual que en la profundidad medida, resistividad total de 32 ohm.m, porosidad del 14% y densidad de 2.51 g/cm^3; mientras que para el Pozo-12 se tiene 18 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad total de 37 ohm.m, porosidad de 16% y densidad de 2.35 g/cm^3. Ambos intervalos corresponden a la arenisca Hollín Superior.

Por otra parte, en lo que respecta a las arenas, se nota que confome se hace una aproximación al Pozo-12, es decir el cañoneado con wireline, la formación Hollín Superior incrementa su espesor a la vez que disminuye el porcentaje en contenido de arcilla; es decir se repite lo sucedido en los primeros cuatro casos analizados. Algo particular de esta correlación es la muy similar profundidad a la que se encuentran. La arena del Pozo-12 inicia 30 pies por encima de la arena del Pozo-11, esto debido a algún sistema estructural en la zona, que con la información actual no se podría detallar.

FIGURA 3.16: CORRELACIÓN POZO-11 CON POZO-12 (ESCALA 1:200 TVD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

La tabla muestra las propiedades petrofísicas de las secciones en estudio para este caso, y se presentan a continuación:

TABLA 3.11: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 6

UNIDAD	ESPESOR [ft]	φ [%]	k [mD]	So	VSh
HOLLÍN SUPERIOR	20	14	30	0.561	0.27
HOLLÍN SUPERIOR	18	16	40	0.553	0.28

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

3.1.6.2 RESULTADOS POST-CAÑONEO

Para esta pareja de pozos que se encuentran correlacionados, es importante presentar los resultados post-cañoneo teniendo en cuenta cada sistema o técnica de cañoneo. Dicha información se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 3.12: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 6

POZO	UNIDAD	PRESIÓN DE FORMACIÓN [PSI]	TÉCNICA DE CAÑONEO	Q [BPPD]	Skin
POZO-11	ARENISCA HOLLÍN SUPERIOR	3704	ONE TRIP (ANCLA)	660	-4.8
POZO-12	ARENISCA HOLLÍN SUPERIOR	4000	WL	365	12.3

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

En este caso, para una presión de formación de 3704 psi, con la técnica de cañoneo denominada One Trip o tipo ancla, se logra una producción de 660 BPPD, con un valor de daño de -4.8.

Por otro lado, para una presión de formación de 4000 psi cañoneado con el sistema wireline, se logra una producción de 365 BPPD y un valor de daño a la formación de 12.5

Se realizará el correspondiente análisis en lo que a producciones y daño a la formación respecta en la formación en estudio.

3.1.6.3 ANÁLISIS

Para este caso la **TABLA 3.12**, la cual contiene toda la información post-cañoneo, se puede observar que la técnica denominada One Trip o tipo ancla ha logrado comunicar la formación con el pozo, aportando un aproximado de 660 BPPD. A

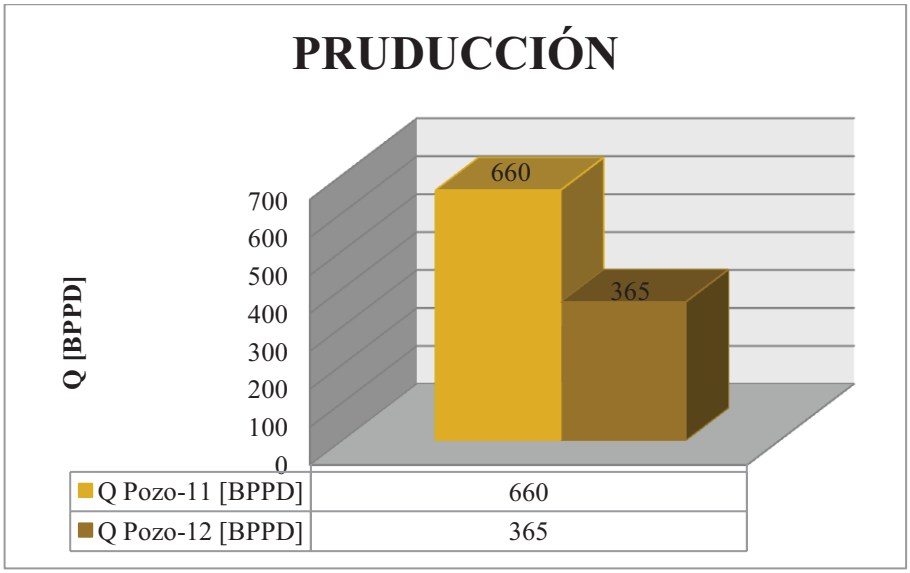
más de la producción del pozo, se puede observar un valor de daño de -4.8, el que da la idea de un reservorio “estimulado” luego del cañoneo, resultante de una limpieza de perforaciones efectiva. El ΔP por el bajo balance en este pozo fue de 800 psi.

En lo que respecta al cañoneo con el sistema wireline, del mismo modo se ha logrado comunicar la formación con el pozo, permitiendo ser producidos 365 BPPD. La formación presenta un valor de daño o skin de 12.3, que también da una idea de las condiciones de las perforaciones las cuales pudieron tener una limpieza de media a baja.

La producción del pozo está estrechamente relacionada con el daño de la formación y es lo que se muestra en la

FIGURA 3.17, en la que se presenta comparativamente las producciones de ambos pozos para este caso luego del cañoneo. Se ve claramente que el Pozo-11, el cañoneado con el sistema One Trip, presenta una mayor producción respecto al Pozo-12, alrededor de un 45% mayor.

FIGURA 3.17: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 6



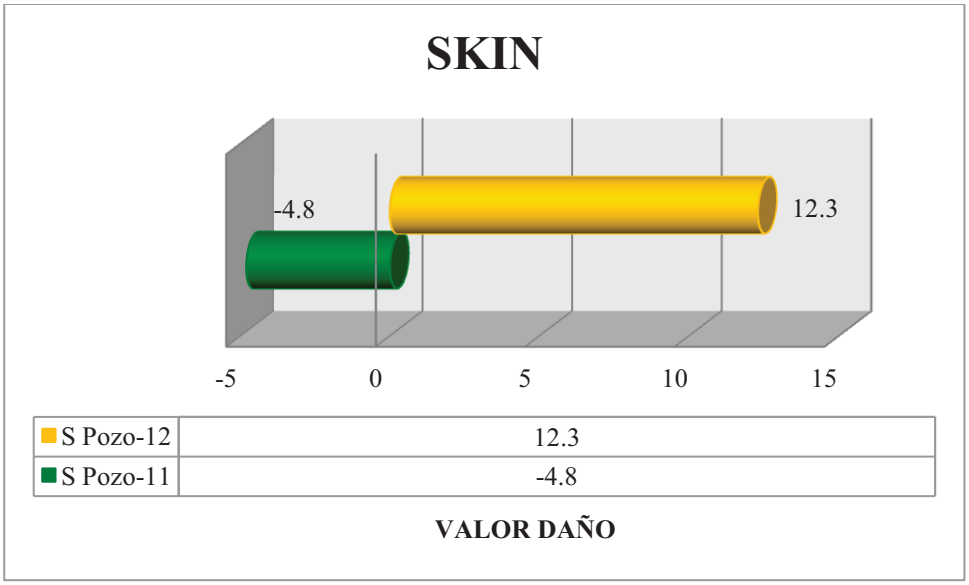
Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

La alta producción del Pozo-11 se encuentra relacionada directamente con el daño de la formación, que para este caso representa una formación estimulada.

De forma análoga se muestra en la **FIGURA 3.15** el valor de daño a la formación resultante luego del cañoneo de forma comparativa. El valor de daño para el Pozo-11 resultó ser de -4.8, mientras que para el Pozo-11 de 12.3. Se nota una vez más la gran diferencia en el valor de daño reportado para cada pozo. Las causas siguen siendo las mismas que en casos anteriores, el bajo balance y la producción inmediata luego del cañoneo en el Pozo-11, One Trip, incrementa el desempeño del reservorio porque limpia todo residuo de roca o explosivo que podría causar una reducción de la permeabilidad.

FIGURA 3.18: DAÑO COMPARATIVO CASO 6



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Por otro lado, lo resultante en daño en la formación cañoneada con wireline está relacionado con su relativamente baja producción. El valor de 12.3 en daño deja en evidencia de lo que comúnmente sucede con la formación luego del cañoneo con este sistema.

Finalmente, se considera que debido a lo obtenido en el análisis, el cañoneo con la técnica One Trip o tipo ancla ha resultado ser de mayor rendimiento y eficiencia al menos en el campo de lo operativo.

3.1.7 CASO7

3.1.7.1 CORRELACIÓN 7: POZO-13 CON POZO-14

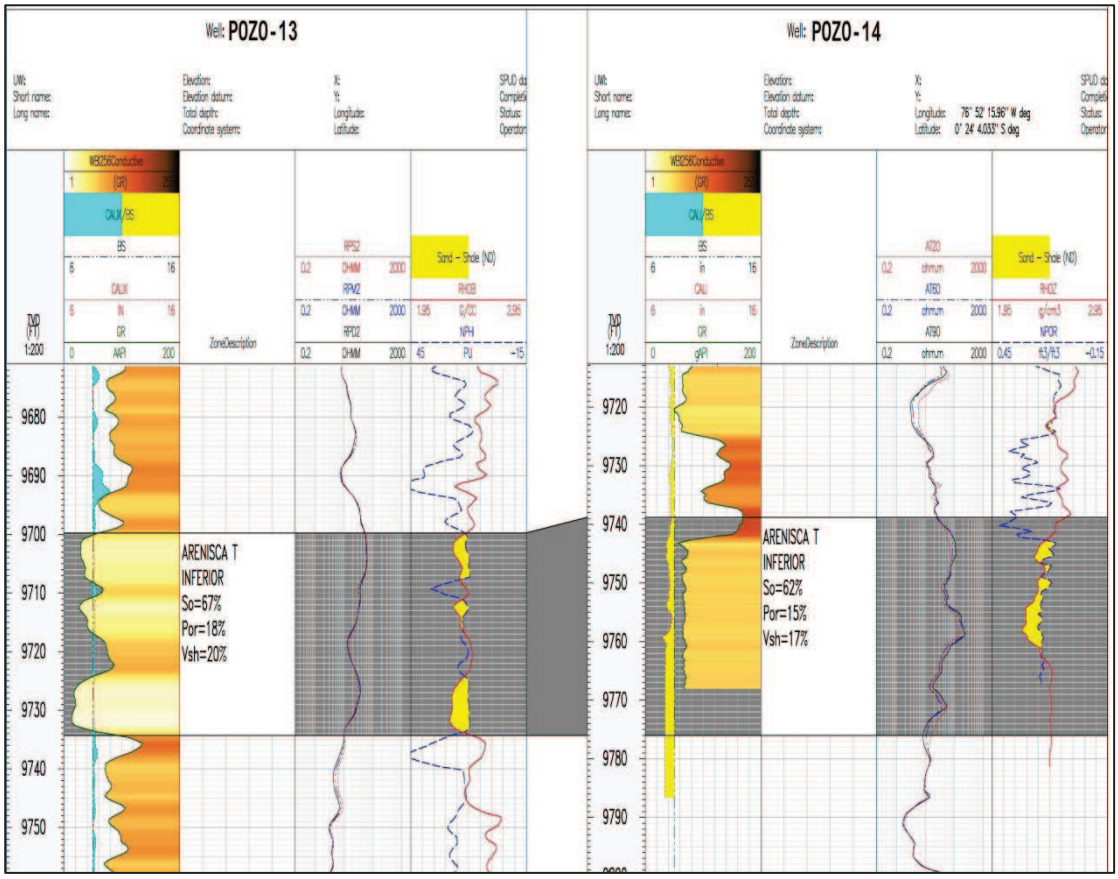
El Pozo-13 se cañoneó utilizando la técnica tipo ancla (One Trip), teniendo como objetivo la arenisca T Inferior. La zona cañoneada representa un cuerpo arenoso de 34 pies (MD). El Pozo-14 se cañoneó utilizando el sistema wireline, teniendo como objetivo la arenisca T Inferior. La zona cañoneada fue de 37 pies de espesor (MD). Lamentablemente la herramienta de registros eléctricos no alcanzó la totalidad de la profundidad correspondiente a la sección de 8 ½ pulgadas, por lo que la información recolectada en la zona del cañoneo fue reducida; por lo tanto se utilizó la información de gamma ray del registro de cemento realizado posteriormente en el pozo (**FIGURA 2.26**, Capítulo 2)

La correlación se muestra en **FIGURA 3.19**, que si bien resulta difícil de forma visual, se utilizará todos los valores calculados, como porosidad, contenido de lutitas, etc. partiendo del hecho de que se trata de la misma formación de la cuenca oriente, T inferior. Los espesores reportados anteriormente son similares, pero se puede decir que a medida que la formación se acerca al Pozo-14, hay un aumento de espesor a la vez que disminuye el contenido de lutitas. Las porosidades son similares del mismo modo.

Para el Pozo-13 se tiene 33 pies de espesor en profundidad vertical verdadera, resistividad total de 38 ohm.m, porosidad del 18% y densidad de 2.39 g/cm^3; mientras que para el Pozo-14 36 pies de espero en profundidad vertical verdadera, resistividad total de 75 ohm.m, porosidad de 15% y densidad de 2.375 g/cm^3. Ambos intervalos corresponden a la arenisca T Inferior; así finalmente, de forma estructural, se puede decir que la arenisca cañoneada en el Pozo-14 inicia aproximadamente 40 pies por debajo de la arenisca cañoneada en el Pozo-13. En

términos geológicos se puede considerar una formación continua a lo largo de la cuenca, sin variaciones drásticas; situación que permite la realización de una mejor y fácil correlación, no solo en este caso sino también en todos los anteriores.

FIGURA 3.19: CORRELACIÓN POZO-13 CON POZO-14 (ESCALA 1:200 TVD)



Fuente: Compañía Operadora

Elaborado por: Marco Brito Flores, *Wireline Services-BHI Techlog 2012*

La tabla muestra las propiedades petrofísicas de las secciones en estudio para este caso, y se presentan a continuación:

TABLA 3.13: PROPIEDADES PETROFÍSICAS CASO 7

UNIDAD	ESPESOR [ft]	φ [%]	k [mD]	So	VSh
T INFERIOR	33	18	210	0.67	0.20
T INFERIOR	36	15	160	0.62	0.169

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

3.1.7.2 RESULTADOS POST-CAÑONEO

Para esta pareja de pozos que se encuentran correlacionados, es importante presentar los resultados post-cañoneo teniendo en cuenta cada sistema o técnica de cañoneo. Dicha información se presenta en la siguiente tabla:

TABLA 3.14: INFORMACIÓN POST-CAÑONEO CASO 6

POZO	UNIDAD	PRESIÓN DE FORMACIÓN [PSI]	TÉCNICA DE CAÑONEO	Q [BPPD]	Skin
POZO-13	ARENISCA T INFERIOR	1200	ONE TRIP (ANCLA)	1045	-2.97
POZO-14	ARENISCA T INFERIOR	1400	WL	315	31.3

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

En este caso, para una presión de formación de 1200 psi, con la técnica de cañoneo denominada One Trip o tipo ancla, se logra una producción de 1045 BPPD, con un valor de daño de -2.97.

Por otro lado, para una presión de formación de 1400 psi cañoneado con el sistema wireline, se logra una producción de 315 BPPD y un valor de daño a la formación de 31.3

Se realizará el correspondiente análisis en lo que a producciones y daño a la formación respecta en la formación en estudio.

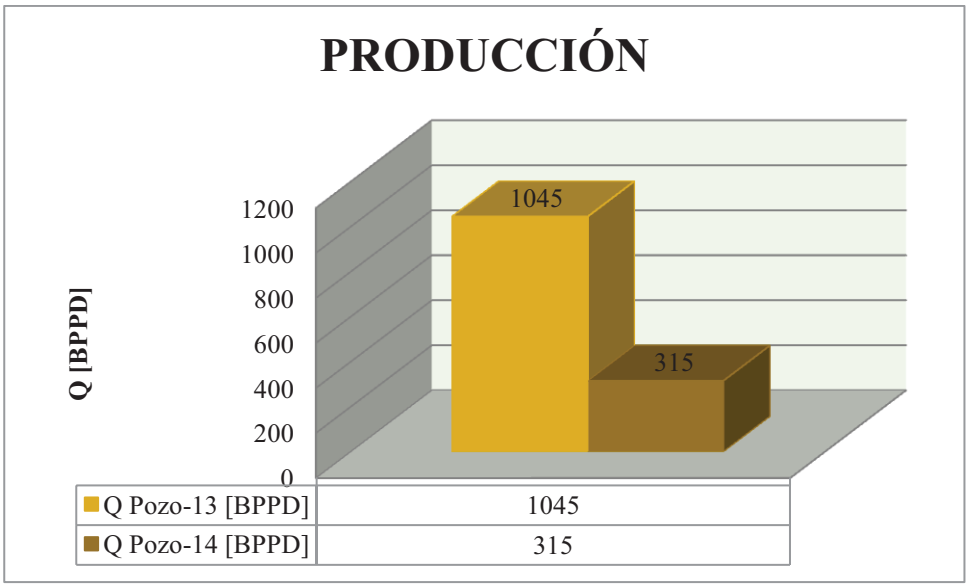
3.1.7.3 ANÁLISIS

Para este caso en la **TABLA 3.14**, la cual contiene toda la información post-cañoneo, se puede observar que la técnica denominada One Trip o tipo ancla ha logrado comunicar la formación con el pozo, aportando un aproximado de 1045 BPPD. A más de la produción del pozo, se puede observar un valor de daño de

-2.97, valor representativo de un reservorio estimulado. La reducción del daño por la limpieza de las perforaciones en este caso ha sido de gran impacto. El ΔP por el bajo balance que se utilizó en este pozo fue de aproximadamente 600 psi.

En lo que respecta al cañoneo con el sistema wireline, del mismo modo se ha logrado comunicar la formación con el pozo, permitiendo ser producidos 315 BPPD. La formación presenta un valor de daño o skin de 31.3.

FIGURA 3.20: PRODUCCIONES COMPARATIVAS CASO 7



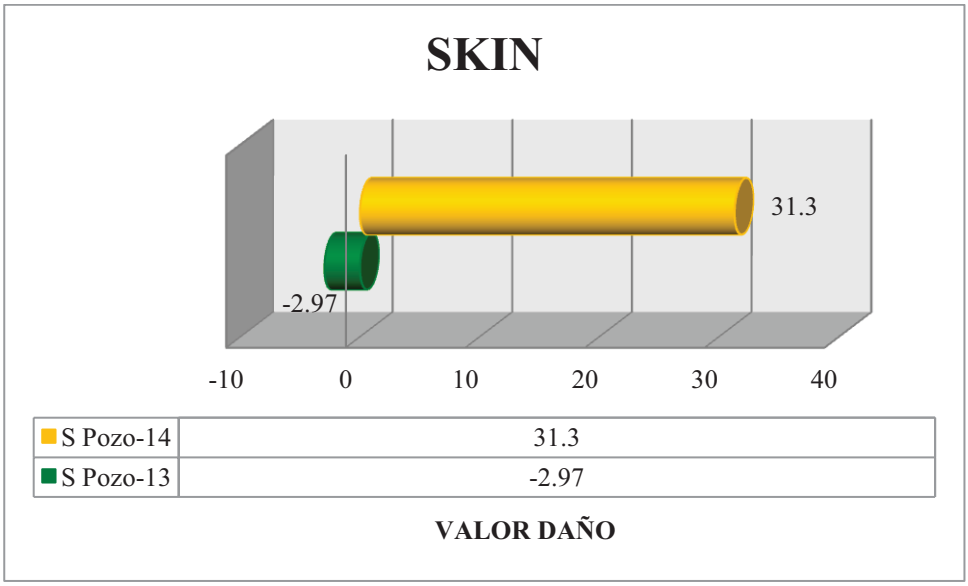
Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

La gráfica comparativa de las producciones se encuentra en la **FIGURA 3.20**, en la que se presenta las producciones de ambos pozos para este caso luego del cañoneo. Se ve claramente que en el Pozo-13, el cañoneado con el sistema One Trip, presenta una mayor producción respecto al Pozo-14, alrededor de tres veces por encima de la producción del mismo, es decir un 70% más. Esta alta producción del Pozo-13 se encuentra relacionada directamente con el daño de la formación, que para este caso representa una formación estimulada. A más de lo mencionado, la presión de formación presentaría una menor caía en la zona dañada, por tanto hay un mayor aprovechamiento del potencial natural productivo del pozo.

Para el caso del análisis del valor de daño, se ha graficado en la **FIGURA 3.21** los valores de daño obtenidos luego del cañoneo. El valor de daño para el Pozo-13 resultó ser de -2.97, mientras que para el Pozo-14 de 31.3. En este último análisis se repite el caso del valor de daño cuando se ha cañoneado con el sistema wireline. La reducción de la permeabilidad, que como se mencionó en capítulos anteriores, tiende a ser próxima al 20% la permeabilidad total, la caída de presión en la zona de daño es mucho mayor que la que posiblemente se pueda tener en el Pozo-13, esto debido al valor de daño registrado. Por la presión de formación registrada en el Pozo-14 se esperaría una producción similar a la del Pozo-13, pero esto solo deja en evidencia el cuidado que se debe tener con la formación el momento del cañoneo.

FIGURA 3.21: DAÑO COMPARATIVO CASO 7



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

La técnica One Trip, por el desbalance alcanzado, y la limpieza de las perforaciones como factores no únicos, pero ciertamente principales, ha permitido la reducción efectiva del daño a la formación debido al cañoneo, y de cierta forma la reducción de la permeabilidad seguramente resultará aun menor; y así de esta forma se obtiene ventaja de las condiciones del reservorio; y es así que se considera que debido a lo obtenido en el análisis, el cañoneo con la técnica One

Trip o tipo ancla ha resultado ser de mayor rendimiento y eficiencia al menos en el campo de lo operativo de forma consecutiva.

Sin embargo, después de todo lo mencionado en cada caso, de los alcances obtenidos con cada sistema o técnica de cañoneo, el analizar los costos de cada una de las técnicas aquí estudiadas permitirá obtener aun mejores conclusiones tanto operativas como de carácter financiero. La industria petrolera no solo se basa en las ventajas operaciones sino también en los costos que esto implica, y si bien es cierto el cañoneo no representa la totalidad de la inversión, es un paso operativo muy importante a ser considerado durante la vida de un pozo.

En el siguiente capítulo se mostrará un análisis de costos que juntamente con el análisis técnico, ayudará a visualizar a las técnicas y sistemas de cañoneo como una herramienta dentro de la producción de un pozo.

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE RESULTADOS

Los datos obtenidos en el presente estudio no solo pueden ser agrupados en casos individuales, sino que pueden ser utilizados para demostrar tendencias y comportamientos según las variables que se están manejando, de una forma más general.

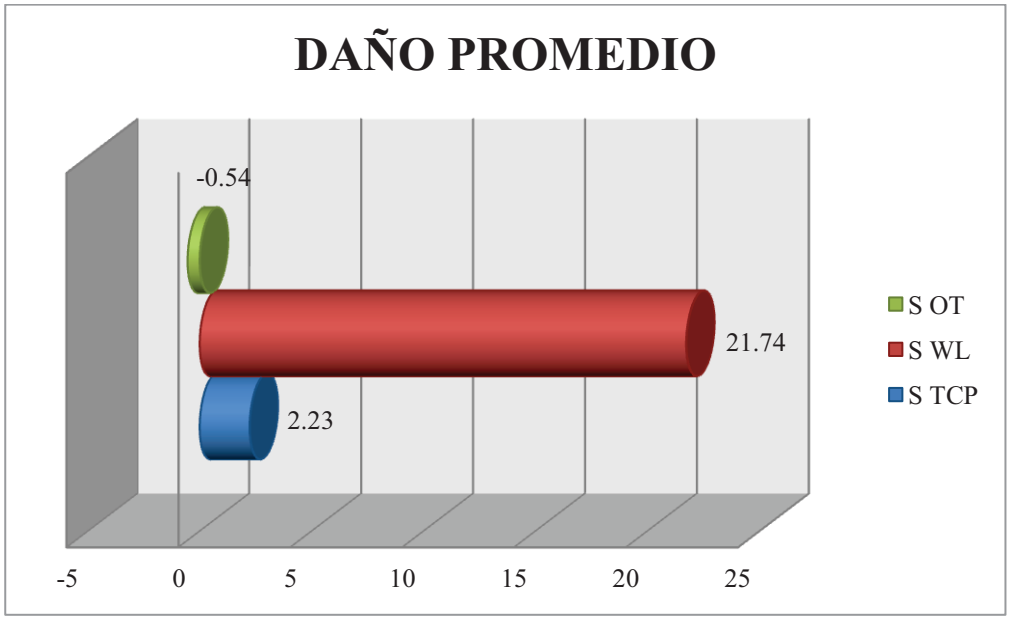
La información en esta sección se presenta principalmente en forma de gráficas, las cuáles revelan ciertos comportamientos de los reservorios luego del cañoneo, principalmente producción y daño.

La **FIGURA 3.22** muestra evidencia a grandes rasgos de la efectividad de cada sistema de cañoneo en la reducción del daño, que si bien es cierto no es totalmente causado durante el cañoneo, y mucho menos es solo mitigado por la limpieza de perforaciones, sin embargo se presentan los resultados obtenidos en lo que a esta materia se refiere, siendo el de mayor valor el del sistema wireline con un promedio de 27. 74, seguido por el sistema TCP con un valor promedio de 2.23, y finalmente la técnica One Trip con -0.54. Con estos valores lo que se

puede inferir es que cuando una operación de cañoneo se realiza bajo las condiciones del sistemas wireline, tendremos mayor daño a la formación, que se traduce en reducción de la permeabilidad, taponamiento de poros, y algunos otros problemas microscópicos asociados al daño. El sistema wireline es generalmente seleccionado por su bajo costo comparado con los otros dos sistemas, y por la rapidez en la ejecución; reduciendo así costos en el corto plazo. Es prácticamente el sistema más utilizado para realizar cañoneo dentro de los pozos utilizados en el presente estudio.

El cañoneo con la técnica One Trip o tipo ancla ha resultado ser de mayor efectividad, pero sin dejar de lado el sistema TCP. Ambos están muy cercano en valor promedio de daño, e incluso se podría llegar a pensar que si de costos se habla, el sistema TCP se podría utilizar ya que no se tiene mayor diferencia con la técnica tipo ancla, pero una vez más todo esto también dependerá fundamentalmente de la formación a cañonear.

FIGURA 3.22: DAÑO PROMEDIO SISTEMAS DE CAÑONEO



Fuente: Base de datos Baker Hughes

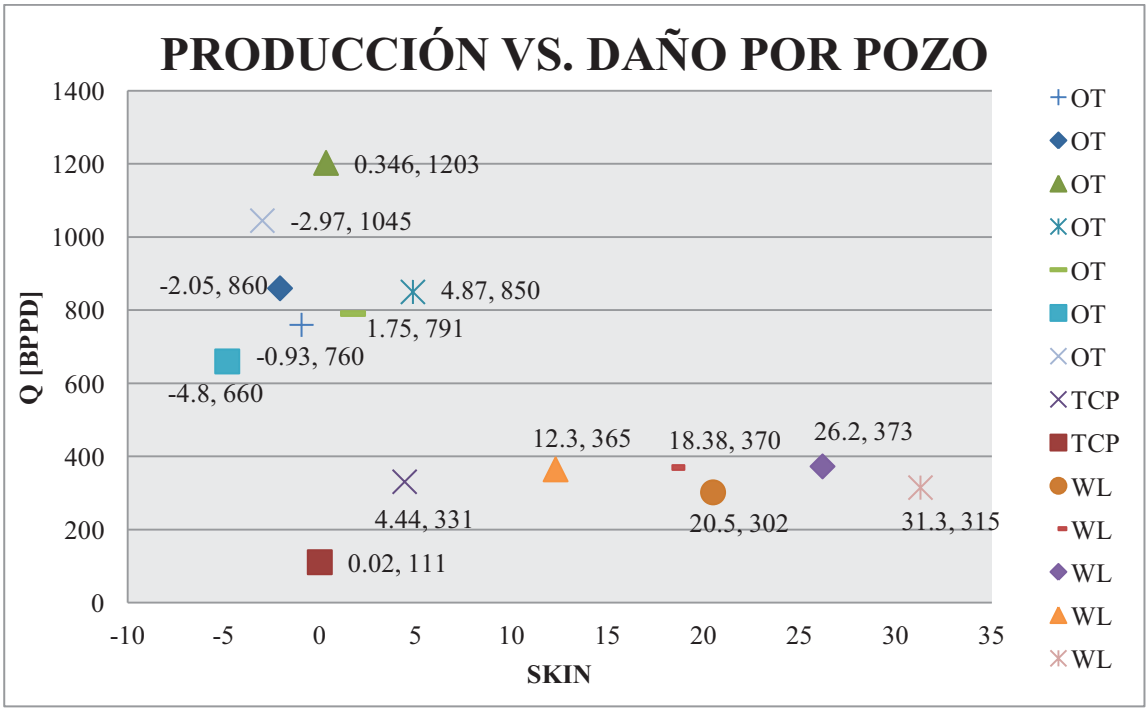
Elaborado por: Marco Brito Flores

Por la gráfica anterior surge el cuestionamiento con lo concerniente a la producción en el sistema TCP, que al tener menor valor de daño que el sistema wireline, debería tener mayores producciones, pero a pesar de la limpieza que

haya y reducción de daño a la formación por parte del TCP, si se encuentran en yacimientos agotados, vano será el uso del mismo. Esta puede ser una explicación a este acontecimiento.

Por otro lado, una vez que se ha presentado el comportamiento de la producción y del daño por separado, se considera que verlas en un solo gráfico permitirá visualizar todo lo antes mencionado, por lo tanto en la **FIGURA 3.23** se ha plasmado tanto la producción, y el daño y su interrelación de los 14 pozos en estudio, clasificados por la técnica o sistema de cañoneo. Los pozos donde se utilizó la técnica One Trip consigue menor valor de daño ("formación estimulada"), y mayor producción (esquina superior izquierda). El sistema TCP no responde como se esperaría en lo que ha producción se refiere (esquina inferior izquierda), pero eso demuestra la gran incertidumbre del comportamiento del reservorio. Finalmente con una mayor producción (comparado con TCP), pero a la vez mayores valores de daño (esquina inferior derecha), el sistema wireline resulta ser el menos efectivo en lo que a reducción de daño se refiere.

FIGURA 3.23: PRODUCCIÓN-DAÑO SISTEMAS DE CAÑONEO

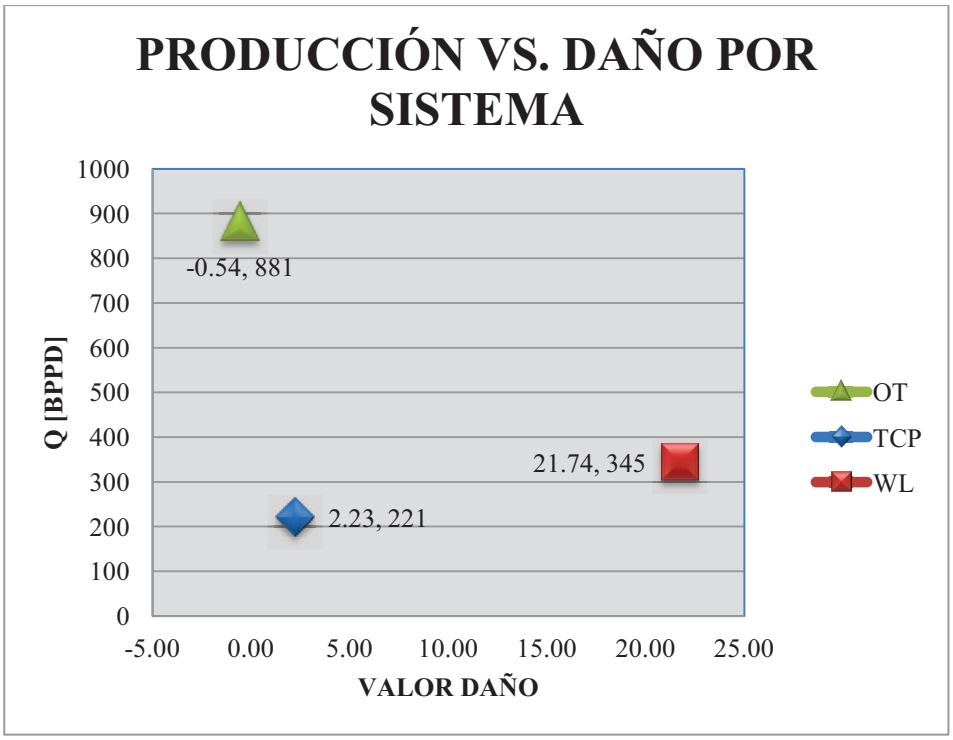


Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

De esta forma, es posible considerar un resultado global en lo que respecta a producción y valor de daño considerando cada sistema o técnica de cañoneo, donde se pueda observar la tendencia de efectividad de cada sistema.

FIGURA 3.24: PRODCUCCIÓN VS. DAÑO POR SISTEMA DE CAÑONEO

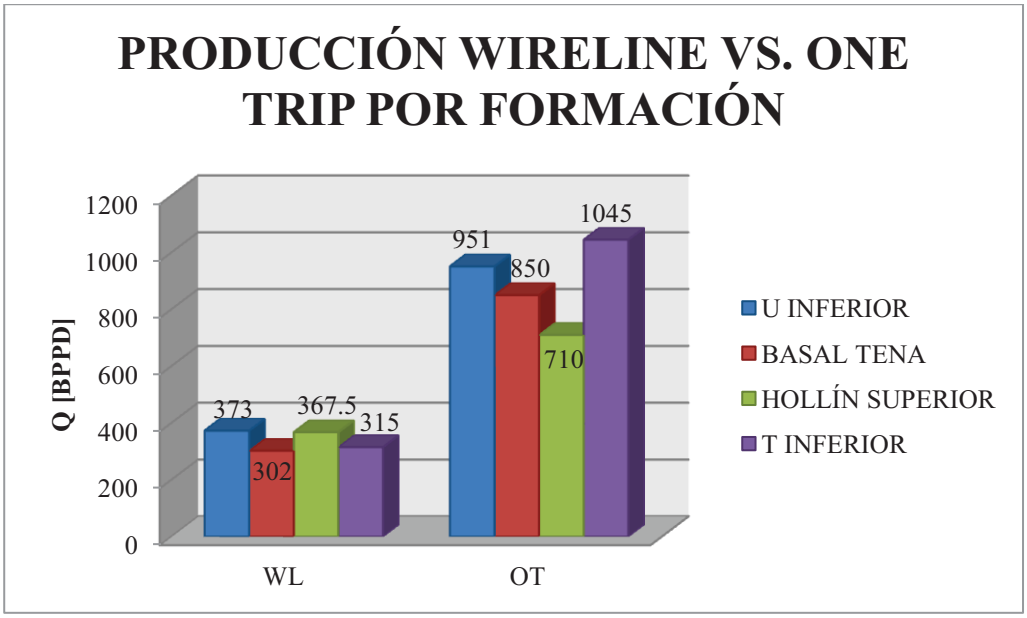


Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Para finalizar se ha considerado el sistema más utilizado para el cañoneo en el presente estudio, y se trata del sistema wireline; a la vez que se ha considerado la ténica One trip, pero esta vez teniendo en cuenta la formación que ha sido cañoneada. La **FIGURA 3.25** toma en cuenta la formación y el sistema de cañoneo. De forma resumida la mayor producción en primera instancia corresponde a la arenisca T Inferior, pero hay que mencionar que solo se tomó un pozo de referencia para dicha arena; pero para la arenisca U inferior existieron tres muestras, si cabe el termino, para determinar los 951 BPPD producidos de forma promedia. Le sigue la formación basal tena, y en último lugar la formación Hollín Superior.

FIGURA 3.25: PRODUCCIÓN POR ARENAS SISTEMA WIRELINE-ONE TRIP



Fuente: Base de datos Baker Hughes

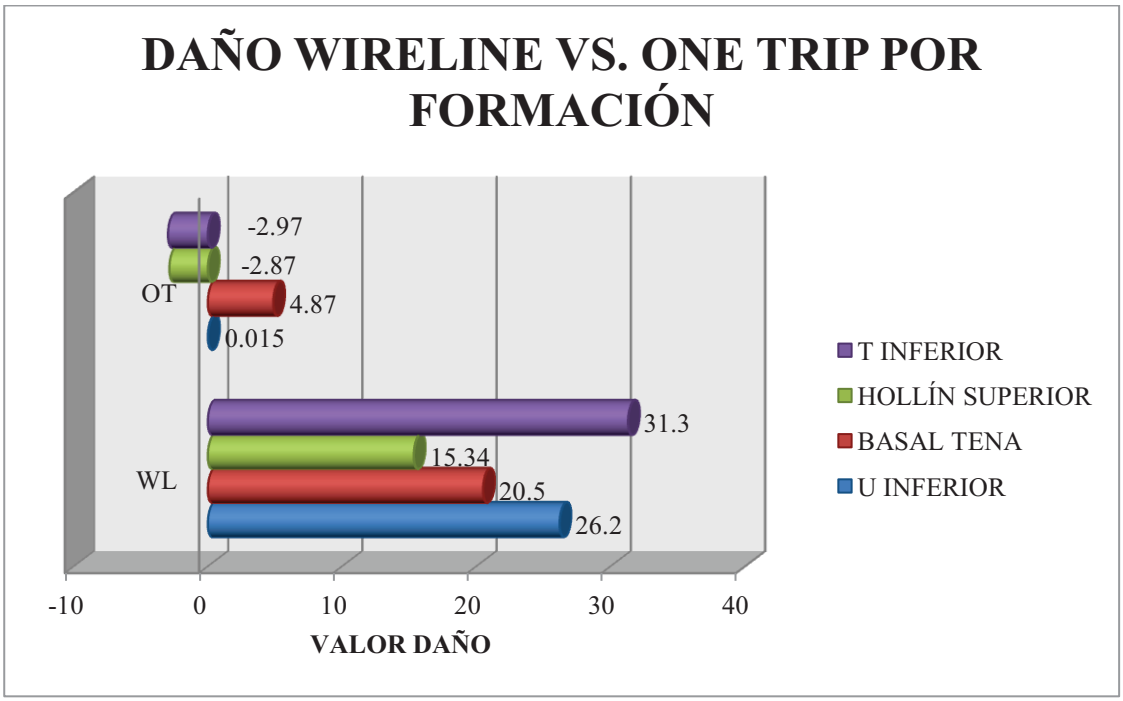
Elaborado por: Marco Brito Flores

Sin lugar a dudas, frente al sistema wireline, el cañoneo con la técnica tipo ancla o One Trip permite producir mayores cantidades de petróleo, intrínsecamente a la vez que reduce considerablemente el daño a la formación.

A pesar de todo lo expuesto anteriormente, todo lo demostrado resulta ser algo muy preliminar, ya que una muestra con mayor cantidad de pozos permitirá resolver varias posibles incongruencias halladas en el presente estudio, a la vez que considerar parámetros durante la perforación y completación también permitirán descubrir aún más sobre la efectividad de los sistemas de cañoneo.

De la misma forma, es importante considerar el valor de daño obtenido luego del cañoneo considerando la arena. La **FIGURA 3.26** muestra la relación de valores de daño considerando el sistema de cañoneo, en este caso wireline y técnica One Trip. Estos valores de daño están ligados a las producciones presentadas en la figura anterior.

FIGURA 3.26: DAÑO RESULTANTE POR ARENAS SISTEMA WIRELINE-ONE TRIP



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

CAPÍTULO 4
ANÁLISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DE CAÑONEO CONVENCIONAL Y ONE TRIP

La industria petrolera se ha caracterizado por el vertiginoso avance técnico-científico para superar un sin número de desafíos en todas las áreas tal como perforación, producción; de las que se derivan inyección de ácidos, inyección de fluidos, fracturamiento hidráulico, entre otros cientos de procedimientos y operaciones que permiten en definitiva al final del día, mayor cantidad de recobro del hidrocarburo.

El sin fin de tecnología desarrollada en la industria petrolera no sería de nada útil si los costos de los mismos superarían, de forma general, la rentabilidad de un proyecto, provocando así pérdidas económicas que en lo postrer signifique un abandono de un proyecto.

Para el caso del cañoneo, que desde sus inicios ha ido evolucionando no solo en lo técnico, sino también en lo económico; es necesario para este estudio en particular tomar en cuenta los costos del sistema o técnica de cañoneo, así como también los costos asociados a uno u otro sistema.

Los costos asociados a la operación como tal son los costos de alquiler de taladro, costos por personal del taladro y compañía operadora, costos de fluidos utilizados en el pozo, catering, guardianía y mantenimiento de la locación.

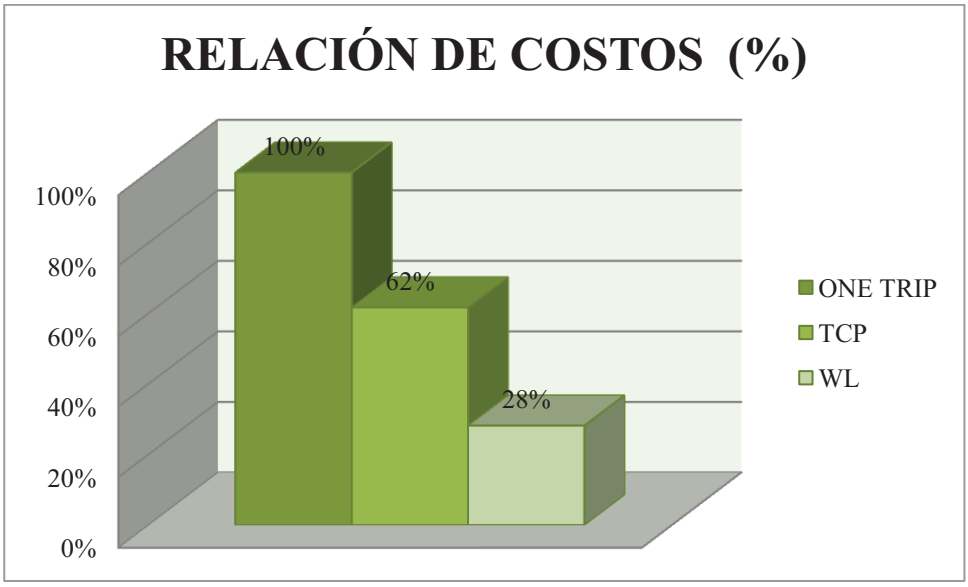
En este capítulo se tomará en cuenta la diferencia de costos entre los tres sistemas mencionados de forma porcentual. Por políticas de confidencialidad, la compañía Baker Hughes, no hace públicas sus listas de precios de sus servicios; así que esta sección no considra un análisis técnico-económico, sin embargo se verá claramente como la operación refleja el costo final para la compañía operadora.

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE COSTOS SISTEMAS DE CAÑONEO

En una primera instancia para el análisis de los costos del sistema de cañoneo convencional y tipo ancla se considera exclusivamente el valor del servicio, sin considerar costos de taladro, personal, etc. Como se mencionó anteriormente, solo presentará valores porcentuales comparativos para cada sistema de cañoneo, pero es necesario aclarar que para realizar las gráficas aquí presentadas, se utilizaron precios referenciales provistos por Baker Hughes Inc.

La primera gráfica presentada en la **FIGURA 4.1**, muestra la relación de costos que existe entre cada uno de los sistemas y técnicas de cañoneo sin tomar en cuenta ningún valor adicional relacionado con la operación; es decir, representa sencillamente el valor de explosivos, cañones, transporte de equipos, etc.

FIGURA 4.1: RELACIÓN DE COSTOS SISTEMAS DE CAÑONEO



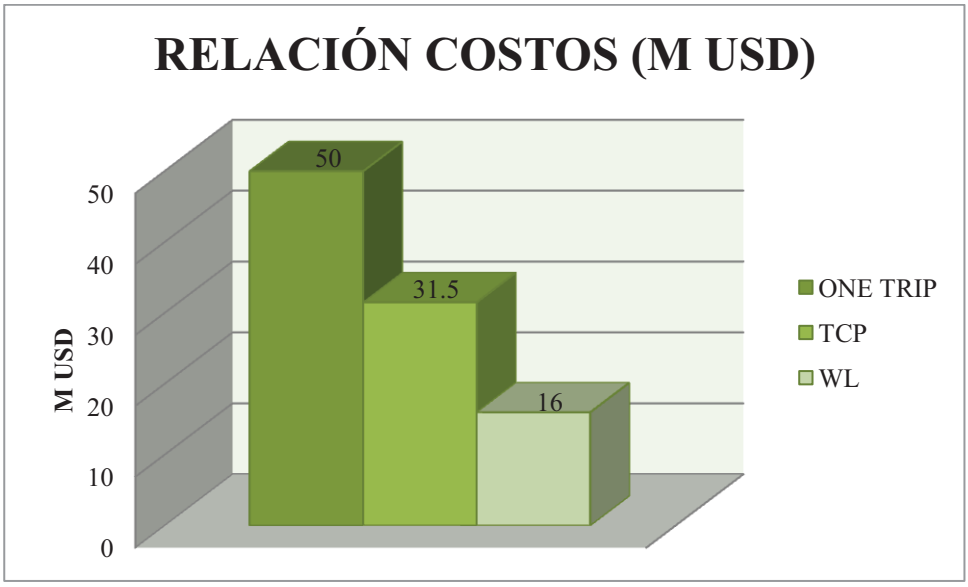
Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

La gráfica fue construida tomando como base el valor de un pie cañoneado, y la relación debería mantenerse sin importar cuantos pies se cañoneen, siempre y cuando a todos los hipotéticos casos se los cañonee en el mismo espesor.

La información más relevante que se puede obtener de la gráfica anterior es en cuanto por ciento varía el costo de cada sistema de cañoneo. Se ha tomado como referencia el costo de la técnica One Trip, ya que esta resultó ser la mayor de las tres; por lo que de esa forma se puede resumir que el sistema TCP es un 37% menos costoso, mientras que el sistema wireline es un 68% menos costoso, comparado con la técnica One Trip o tipo ancla. De forma hipotética podemos decir que si un trabajo de cañoneo de 30 pies con la técnica One Trip cuesta 50000 USD; por los mismos 30 pies de cañoneo el sistema TCP costaría 31500 USD y el sistema wireline costaría alrededor de 16000 USD, tal y como se ve en la **FIGURA 4.2**.

FIGURA 4.2: RELACIÓN COSTOS SISTEMAS CAÑONEO (CASO HIPOTÉTICO)



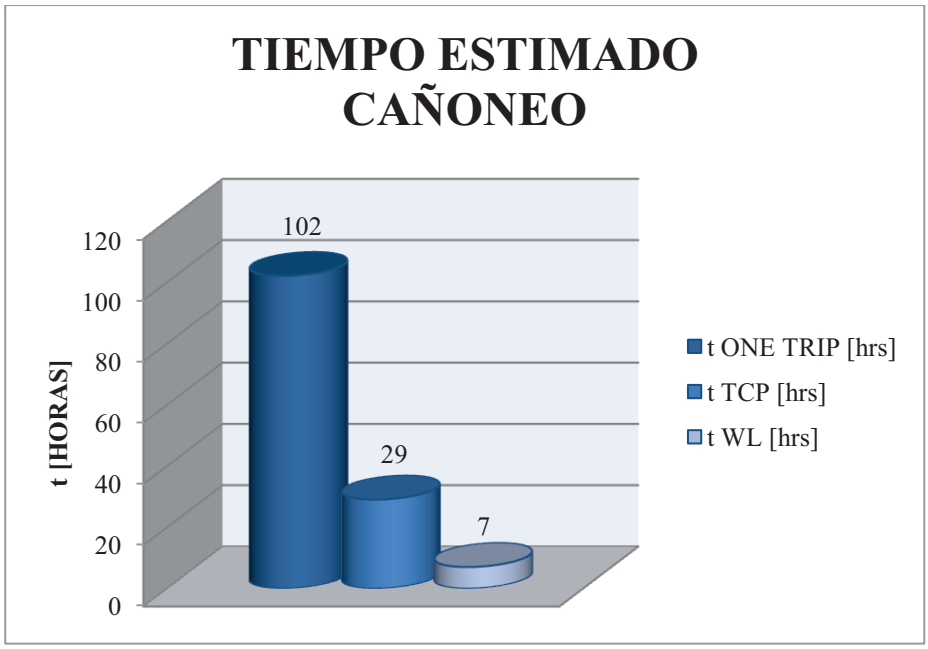
Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Los costos de cualquier operación dentro de la industria petrolera, y seguramente otras industrias también, están estrechamente relacionados con el tiempo utilizado para la ejecución del mismo. Para el presente estudio se consideran varios costos relacionados con el tiempo; costos que tienen directa relación con toda la operación de cañoneo sin importar del sistema que se esté utilizando. El

tiempo utilizado en cada operación de cañoneo se encuentran descritos en el **ANEXO C**; y la **FIGURA 4.3** muestra la evidencia de lo que sucede en cada cañoneo con respecto al tiempo.

FIGURA 4.3: TIEMPO DE EJECUCIÓN SISTEMAS DE CAÑONEO



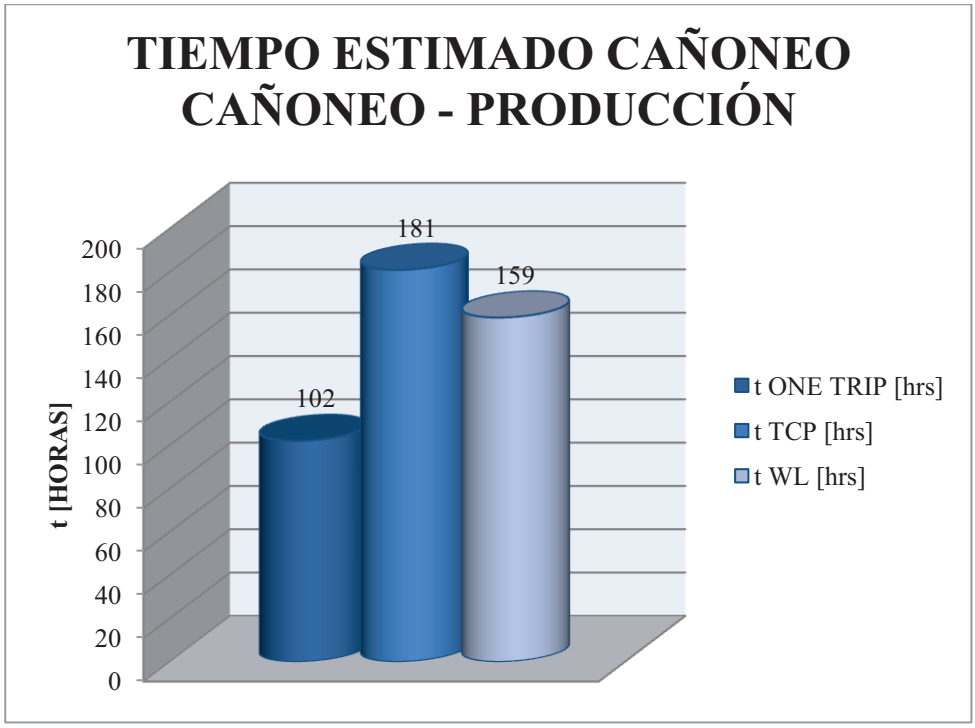
Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Sin embargo se debe considerar que, en el caso del sistema One Trip, el pozo se encuentra produciendo con un sistema de levantamiento artificial; por lo que para poder realizar una comparación válida entre todos los sistemas de cañoneo, se debe incluir el tiempo de control del pozo, evaluación con bomba jet y camión bomba, instalación de sistema BES, y cabezal de producción.

La bomba instalada en los pozos cañoneados con el sistema TCP y wireline debe ser de las mismas características que la instalada en el pozo cañoneado con la técnica One Trip; por lo que el nuevo gráfico de tiempo se observa en la **FIGURA 4.4**.

FIGURA 4.4: TIEMPO CAÑONEO-PRODUCCIÓN SISTEMAS DE CAÑONEO



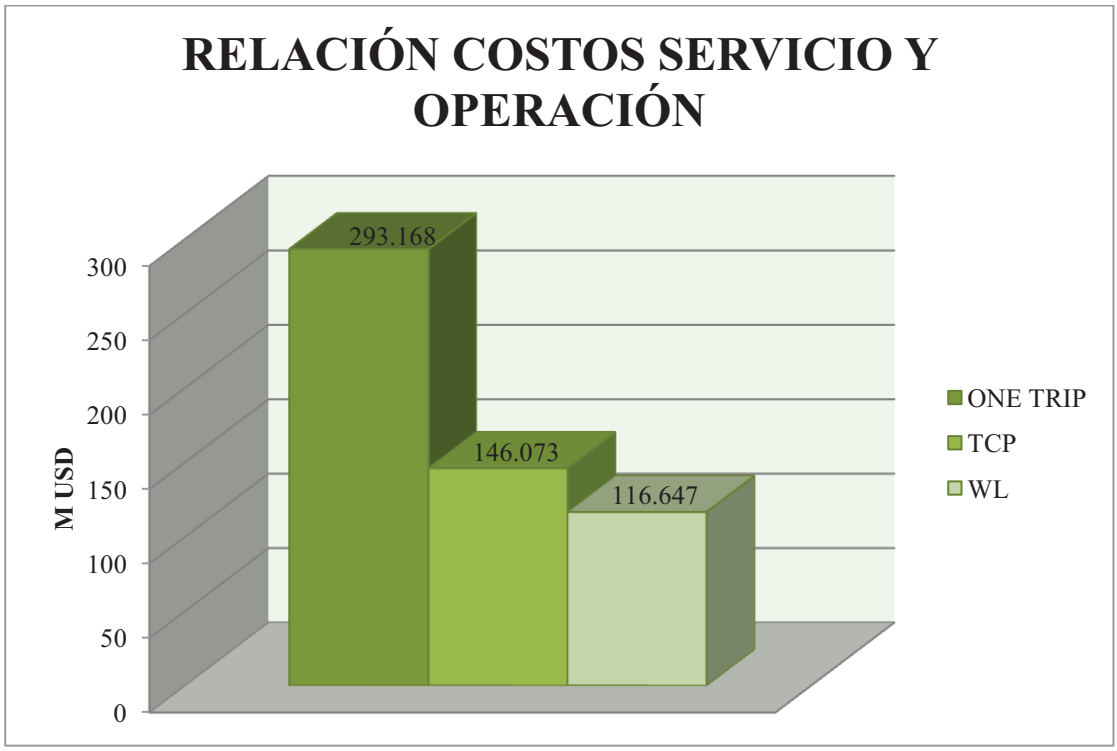
Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

Ya considerados los tiempos estimados para el cañoneo, es posible ir aún más allá, determinado con el mismo ejemplo anterior, cuáles serían la relación de costos para cada trabajo, considerando costos asociados a los mismos. Para este ejemplo se utiliza un costo de alquiler de taladro de 2084 USD por hora; y un costos de otro artículo denominado “otros” (personal taladro, personal compañía operadora, catering, guardianía, mantenimiento locación, energía eléctrica, etc.), de alrededor de 300 USD por hora. También se debe considerar que los trabajos de instalación de bomba electrosumergible se realiza utilizando taladros de reacondicionamiento, para los cuáles se ha estimado un costo de 333 USD por hora.

La **FIGURA 4.5** muestra los costos estimados para cada sistema de cañoneo, considerando todos los costos asociados; teniendo como base el caso hipotético presentado anteriormente.

FIGURA 4.5: COSTOS OPERATIVOS Y DE SERVICIO SISTEMAS DE CAÑONEO



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

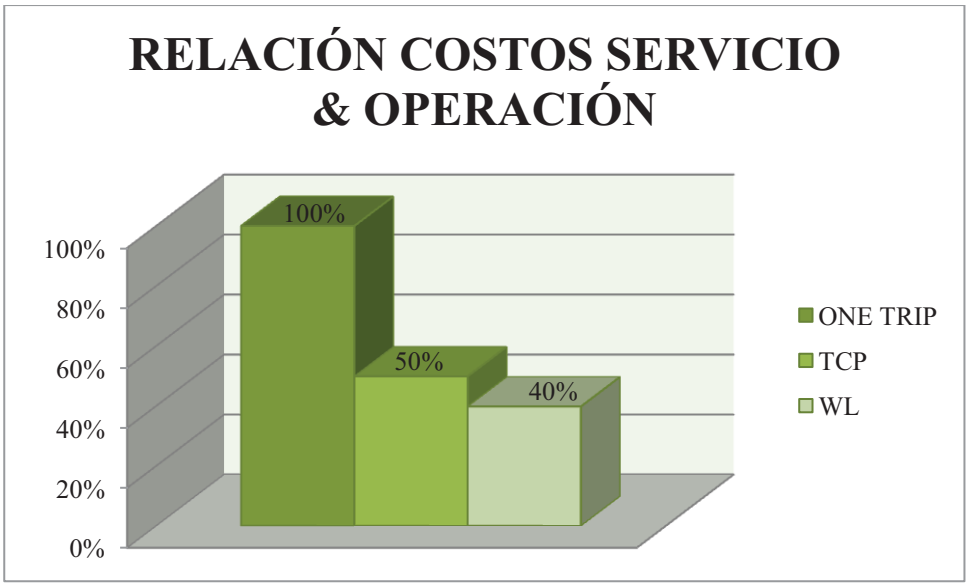
Luego de considerar todos estos costos asociados, lo que se esperaría es que la relación de costos porcentual, como la presentada en la **FIGURA 4.1** varíe; y es esta variación la considerada final, la que tendrá que analizarse por parte de la compañía operadora.

De esta forma, se puede generar de la misma forma una gráfica donde se ponga en evidencia el resultado final en lo que a costos se refiere, dando así un mayor panorama de la operación de cañoneo, ya sea que se trate de la técnica One Trip, sistema TCP o wireline.

En la **FIGURA 4.6** se aprecia la relación de costos de forma porcentual. Para este caso, de la misma forma, la técnica One Trip por ser la más costosa se la toma como referencia, siendo el 100%.

El sistema TCP es 50% menos costoso, y el sistema wireline es un 60% menos costoso.

FIGURA 4.6: RELACIÓN COSTOS SERVICIO-OPERACIÓN SISTEMAS DE CAÑONEO



Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

El análisis de todos los resultados permitirá optimizar los datos antes presentados, y así den valor al presente estudio.

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez que se ha considerado de forma general los costos tanto del servicio de cañoneo como tal, así como también de los costos asociados a la operación en sí, se muestran en la **TABLA 4.1** el resumen de resultados más relevantes a considerar para el análisis.

TABLA 4.1: RESUMEN COSTOS SISTEMAS DE CAÑONEO

TÉCNICA	ESPESOR CAÑONEADO [ft]	COSTO SERVICIO* [M USD]	RELACIÓN 1 [%]	TIEMPO OPERACIÓN [HRS]	COSTO TALADRO [USD/HRS]	COSTO OTROS [USD/HRS]	COSTO FINAL [M USD]	RELACIÓN 2 [%]
ONE TRIP	30	50	-	102	2084	300	293.2	-
ONE TRIP*	30	50	-	102	333	300	114.6	39
TCP	30	31.5	63	181	333	300	146.1	50
WIRELINE	30	16	32	159	333	300	116.6	40

Fuente: Base de datos Baker Hughes

Elaborado por: Marco Brito Flores

En primera instancia se debe tener en cuenta que para poder realizar el análisis de los sistemas de cañoneo, es necesario considerar que se ha cañoneado el mismo espesor de arena, utilizando taladro de perforación o de reacondicionamiento, dependiendo el caso. Podría decirse que de forma general el cañoneo One Trip se lo realiza utilizando taladro de perforación, sin embargo en la tabla superior se presenta un análisis con taladro de reacondicionamiento.

Para este caso han sido 30 pies los que han sido considerados para el ejemplo. Para los costos solo considerando el servicio de cañoneo como tal, se registró una relación porcentual en la que se evidencia que el sistema de cañoneo TCP es un 47% menos costoso que el sistema One Trip, mientras que el cañoneo con el sistema wireline es un 68% menos costoso. Estos costos varían de acuerdo a los procedimientos empleados, al explosivo utilizado, herramientas o dispositivos mecánicos. El sistema wireline resulta ser el menos costoso ya que no involucra más que el cañón y el camión utilizado para correr los cañones en el pozo.

Por otro lado el sistema TCP considera algunos otros dispositivos, como un cross-over radioactivo, un sub de desbalance, packer, entre otros. El valor de este trabajo de cañoneo se incrementa por lo antes mencionado.

El costo del sistema One Trip es el mayor, permite realizar el cañoneo aprovechando el bajo balance hidrostático, además que pone a producir al pozo inmediatamente después del cañoneo; a más de los cañones, el ancla para asentar todo el BHA, y la tecnología como tal incrementan el costo.

En la quinta columna de la **TABLA 4.1**, se aprecia el tiempo requerido por cada sistema o técnica de cañoneo para ejecutar la operación, bajo las mismas condiciones finales; es decir considerando un sistema de levantamiento artificial instalado. Se puede observar que la operación de mayor tiempo es la de TCP, seguida por la técnica One Trip, y finalmente el sistema wireline.

Así, luego de la estimación de costos asociados a cada servicio de cañoneo, basado en el ejemplo inicial, la relación de porcentajes en costos de un cañoneo a otro cambió de una forma significativa. El cañoneo TCP pasó de ser un 47% a un 50% menos costoso, comparado con el One Trip. Es decir que el costo se incrementó en un 3%.

Por otro lado, el sistema wireline pasó de ser un 68% menos costoso a un 60% menos costoso comparado con la técnica One Trip; es decir hubo un incremento de 8% en el valor global o general del trabajo de cañoneo.

Sin dejar de lado la consideración de cañoneo One Trip con taladro de reacondicionamiento, se puede decir que éste resulta ser un 61% menos costoso que usando taladro de perforación; y si se aprecia mejor, es más barato que los servicios con TCP o wireline.

En definitiva, la técnica One Trip aparentemente resultaría ser más costosa teniendo en cuenta que se realiza con un taladro de perforación; mas si se toma en cuenta un taladro de reacondicionamiento, es la menos costosa de todas, obteniendo un potencial mayor rendimiento del reservorio.

CAPITULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La perturbación que se provoca en el reservorio el momento del cañoneo puede llegar a producir alteraciones en sus propiedades petrofísicas, específicamente en las paredes de las perforaciones (zona compactada).

- La principal alteración al reservorio se genera en las paredes de las perforaciones, formándose una capa de espesor próxima a una pulgada, pero que puede variar dependiendo del caso, y se la denomina Zona Compactada o Crushed Zone.

- El calor generado por el proceso de cañoneo en la roca, los residuos de explosivo, y de material asociado al pozo pueden generar una reducción de la permeabilidad en la zona compactada que generalmente es de un 10% la permeabilidad de la zona virgen.

- Los principales efectos de los factores que intervienen en el diseño del cañoneo es mesurable a través de la Relación de Productividad que básicamente es el resultado de la relación entre Producción de una zona revestida y cañoneada, y la Producción de la misma zona a hueco abierto (sin revestir).

- La densidad de cargas influye en la Relación de Productividad (RP), de tal forma que para una densidad de 3 cargas/m (1 carga por pie), es necesaria una penetración de 16 pulgadas para obtener una RP de 1.0; mientras que para una densidad de 13 c/m (4 cargas por pie), se necesitan solo 6 pulgadas.

- En un sistema de 0° de fase, con una penetración de 6 pulgadas, se obtiene una Relación de Productividad de 0.9, mientras que para un sistema de 90° se obtiene una Relación de Productividad de 1.02; esto representa una diferencia del 11% en la Relación de Productividad.

- Al evaluar el cañoneo en un pozo se debe considerar todos los factores relacionados al disparo, principalmente tipo de cargas utilizadas, densidad de disparos, fase angular de cargas; a más del sistema de cañoneo, es decir sea TCP, Wireline o la técnica, sea tipo ancla u otra.

- La información de build up convencional puede ser sustituida con alta confiabilidad por la información provista por el sensor intake de la bomba electrosumergible.

- De los 7 casos presentados, resultó ser la técnica One Trip o tipo ancla más eficiente en lo que respecta a producción, y reducción de daño a la formación, comparada con los sistemas TCP y wireline.

- La producción promedio de pozos cañoneados con la técnica One Trip es de 881 BPPD, con el sistema wireline 345 BPPD, y con el sistema TCP 221 BPPD; todos sin considerar alguna formación específica de la cuenca oriente.

- La aparente o relativa baja producción del sistema TCP puede estar asociada a las características propias del reservorio, posiblemente los casos en estudio pertenecen a un reservorio depletado, además que se debe considerar todos los procedimientos realizados durante la perforación del pozo.

- El daño promedio registrado luego del cañoneo con cada sistema o técnica es de -0.54 para la técnica One Trip, 2.23 para el sistema TCP, 21.74 para el sistema wireline.

- La técnica One Trip en todos los casos presentó valores de daño cercanos a cero, e incluso valores negativos de daño, que representan formaciones estimuladas.

- Del sistema de cañoneo regularmente más utilizado, wireline, y de la técnica de cañoneo tipo ancla, tomando en cuenta la formación resultó ser de la siguiente manera:

    - Arenisca U inferior: OT = 951 BPPD ; WL = 373 BPPD
    - Arenisca Basal Tena: OT = 850 BPPD ; WL = 302 BPPD
    - Arenisca Hollín Superior: OT = 710 BPPD ; WL = 367.5 BPPD
    - Arenisca T Inferior: OT = 1045 BPPD ; WL = 315 BPPD

- De los tres métodos expuestos en el presente estudio, en todos los casos resultó ser el cañoneo con la técnica One Trip la más costosa, si se considera solo la operación como tal; es decir sin costos asociados. La relación de costos de forma porcentual solo tomando en cuenta el servicio muestra que la técnica One Trip es un 37% más costosa que el sistema TCP y un 68% más costosa que el sistema wireline.

- Los tiempos de ejecución de los trabajos de cañoneo bajos las mismas condiciones de producción (bombeo electrumergible), resultó ser de la siguiente manera: 102 horas cañoneo One Trip, 181 horas cañoneo TCP y 159 horas wireline.

- Luego de tener en cuenta los costos adicionales asociados a cada operación de cañoneo, la relación de costos entre los sistemas de cañoneo varió. El cañoneo One trip pasó de ser un 47% más costoso a un 50% más costoso con respecto al TCP. Es decir que el costo se incrementó en un 3%. Por otro lado, el sistema One Trip pasó de ser un 68% más costoso a un 60% más costoso con respecto al sistema wireline; es decir hubo un incremento de 8% en el valor global o general del trabajo de cañoneo.

- El cañoneo con la técnica One Trip utilizando taladro de reacondicionamiento es menos costoso que utilizando los sistemas TCP o wireline, con el mismo tipo de taladro.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que luego de un análisis tanto técnico como económico se procure realizar el cañoneo de un pozo en condiciones de bajo balance estático.

- Se recomienda utilizar la técnica One Trip o tipo ancla tanto en pozos nuevos como en pozos previamente cañoneados. El alcance de la técnica podría llegar a estimular zonas ya cañoneadas.

- Para los cañoneos en pozos utilizando el sistema de wireline, se recomienda adicionar la técnica de bajo balance dinámico lo que permitirá precautelar la integridad del reservorio en un mayor porcentaje.

- Se recomienda realizar un análisis no solo estratigráfico, sino también estructural de las formaciones que se desee correlacionar, tomando en cuenta mapas estructurales enfocados para cada campo de la cuenca oriente.

- Se recomienda realizar un análisis de los sistemas de cañoneo tomando en cuenta todos los procedimientos utilizados durante la perforación del pozo, tipo de lodo, tipo de cemento, fluidos de control etc. Conocer estos datos permitirá una estimación de la reducción del daño luego del cañoneo.

- Para tener una mejor perspectiva de los resultados del cañoneo, se recomienda considerar aun una muestra más representativa de pozos de la cuenca oriente.

- Se recomienda un análisis técnico económico para determinar valores de VAN y TIR en escenarios pesimistas y optimistas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAKER HUGHES, Cement Evaluation Guidlines, Houston, Texas, 1990.

- BAKER HUGHES, (2008), Completion and perforating services: Perforating, Texas, EEUU.

- MOHAMED, Omar Et Al. (2010), Integrating lessons Learned from over 20 years of One-trip Tubing conveyed Perforating and Frac Pack/gravel Pack Applications, Texas, EEUU.

- BAKER HUGHES, Perforating Product Knowledge Training, Houston, Texas, 2009.

- Schlumberger, Oilfiel Review Otoño: Operaciones de Disparo: Cuando la Falla es el Objetivo, Vol.21, No.3, 2009.

- Schlumberger, Oilfiel Review Primavera: Detonación Para inducer el flujo de fluidos, Vol.24, No.1, 2012.

- Schlumberger, Oilfiel Review Verano: Técnicas De Diseño De Los Disparos Para Optimizar La Productividad, 2000.

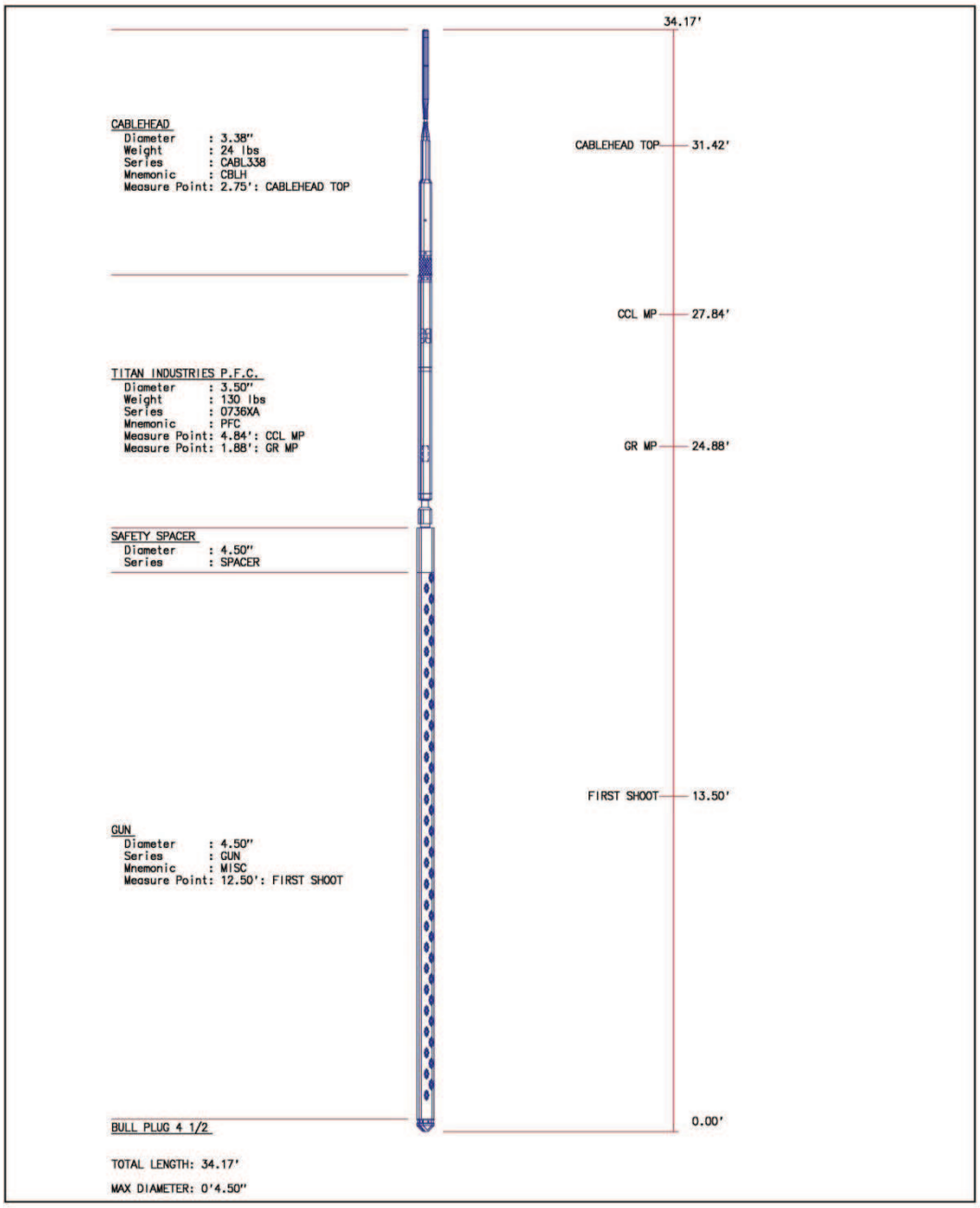
- SPE, Well Completions, Vol. 5.

- SCHLUMBERGER, (1992), Chosing a perforation strategy, Aberdeen, SCOTLAND.

ANEXOS

ANEXO A: BHA SISTEMAS DE CAÑONEO

ANEXO A.1: BHA CAÑONEO SISTEMA WIRELINE



BAKER HUGHES EOLIPS	COMPANIA POZO YAC. PERFORADORA PAÍS	ARCHIVO NO. API NO.
COORDENADAS:	ALTURAS: KB MR NT	
	FECHA	

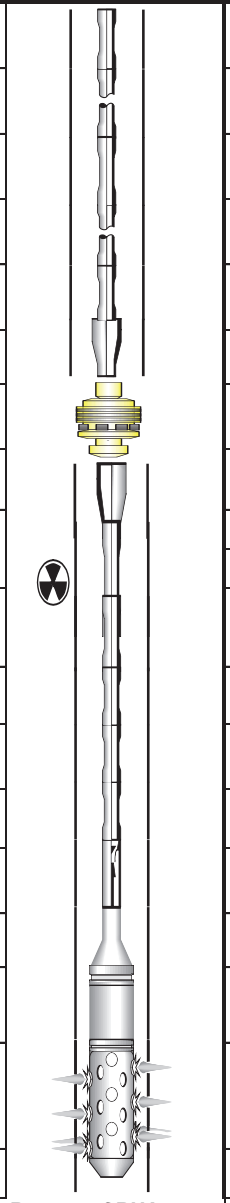
ANEXO A.2: BHA CAÑONEO SISTEMA TCP

Tubing Conveyed Perforating

BOTTOM HOLE ASSEMBLY

BAKER HUGHES

Company: SAMPLE	Country: SAMPLE	Field: SAMPLE	
Formation: SAMPLE	Pozo. No: SAMPLE	Unit / Location: SAMPLE	Date: SAMPLE

No.	Description	Length (Ft)	I.D. (Inch)	O.D. (Inch)	B.H.A.	Depth (Ft)
19	TUBERIA HASTA SUPERFICIE	0.00	2.992	4.500		
18	CAMISA 3-1/2" EUE PIN BOX	2.92	2.992	4.500		
17	UN (6) 3-1/2" EUE TUBING 9.3 LB/FT	31.43	2.992	4.500		
16	NO-GO 3-1/2" EUE PIN BOX	1.00	2.441	3.500		
15	UN (5) 3-1/2" EUE TUBING 9.3 LB/FT	31.87	2.992	4.500		
14	X-OVER 2-7/8" PIN 3-1/2" BOX	0.83	2.441	3.500		
13	7" EUE RETRIEVAMATIC	6.80	2.441	5.650		
12	X-OVER 3-1/2" PIN 2-7/8" BOX	0.70	2.441	3.500		
11	X-OVER RADIOACTIVO (Baker Wireline)	0.44	2.990	3.500		
10		0.34				
9	(3&4) 3-1/2" EUE TUBING 9.3 LB/FT	61.77	2.992	4.500		
8	3-1/2" EUE SUB DE DESBALANCE (Baker Wireline)	1.06	2.992	3.500		
7	(1&2) 3-1/2" EUE TUBING 9.3 LB/FT	61.41	2.992	4.500		
6	3-1/2" EUE 9.3 LB/FT, 8 RD PUP JOINT (Baker Wireline)	6.08	2.992	3.500		
5	3 - 1/2" CABEZA DE DISPARO MECANICA (Baker Wireline)	1.87	0.000	3.500		
4	4 1/2" ADAPTADOR CABEZA DE DISPARO (Baker Wireline)	0.32	0.000	4.500		
3	4-1/2" ESPACIADOR (Baker Wireline)	9.75	0.000	4.500		
2	CAÑONES DE 4-1/2" EXTRA DP HMX 5 TPP, 60 GRADOS FASE, CARGAS ALTA PENETRACION (Baker Wireline)	8.00	0.000	4.500		
1	4-1/2" FONDO DE CAÑON (Baker Wireline)	0.63	0.000	4.500		
					Bottom of BHA :	

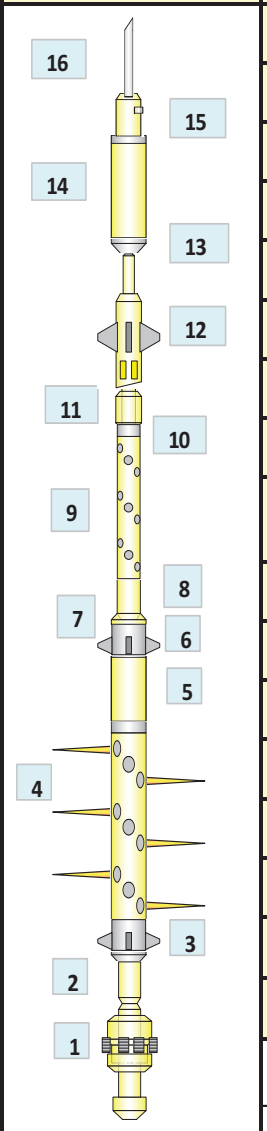
ANEXO A.3: BHA CAÑONEO SISTEMA ONE TRIP

Tubing Conveyed Perforating

BOTTOM HOLE ASSEMBLY ONE TRIP

BAKER HUGHES

SAMPLE	Country: SAMPLE	Field: SAMPLE	
SAMPLE	Pozo. No: SAMPLE	Unit / Location:	Date: SAMPLE

No.	Description	Length (Ft)	I.D. (Inch)	O.D. (Inch)	B.H.A.	Depth (Ft)
17	WIRELINE CABLE	0.00	0.000	0,472		
16	CABLE HEAD	3.00	0.000	3.500		
15	10-1 ADAPTER	0.70	0.000	3.500		
14	PFC GAMMA RAY (CCL MP)	4.84	0.000	3.500		
13	WEIGHT BAR	1.25	0.000	4.500		
12	MRD RUNNING TOOL	2.67	0.000	2.750		
11	2 1.8"FISHING NECK	0.67	0.000	3.375		
10	X - OVER 3 3/8" ACME x 2 3/8" EUE	0.84	0.000	3.375		
9	3 3/8" HYDRAULIC FIRING HEAD HOUSING (PERFORATED JOINT) + HYDRAULIC FIRING HEAD CON RETARDO DE TIEMPO	7.00	0.000	3.375		
8	X-OVER - TOP SUB	0.55	0.000	3.375		
7	X-OVER - FIRING HEAD ADAPTER	0.32	0.000	4.500		
6	CENTRALIZADOR (BALLISTIC CONECTOR)	0.43	0.000	5.500		
5	7.56 FT VACIOS CAÑON DE 4 1/2"	7.56	0.000	4.500		
4	34 FT CARGADOS CAÑON DE 4 1/2" OD, 5TPP, 60 GRADOS FASE	34.00	0.000	4.500		
3	CENTRALIZADOR (BALLISTIC CONECTOR)	1.07	0.000	5.500		
2	TOP SUB	0.32	0.000	4.500		
1	ANCLA MECANICA MODELO "J" (Recorrido 2.75 ft)	8.92	0.000	5.850		
					Bottom of BHA :	8.92

ANEXO B: ONE TRIP PLANNER

ANEXO B.1: ONE TRIP PLANNER POZO-1

POZO 1

ONE TRIP PLANNER

BAKER HUGHES

WELL DATA

Formation:	U Inferior
Top Perforations (md):	10163 *ft*
Bottom Perforations (md):	10192 *ft*
Mid perfs TVD (ft)	9505 *ft*

Formation Pressure:	1200 *psi*
UB (psi):	*500 psi*
Fluid density:	8.4 *lbs/gal*

DEPTHS & VOLUMES

Intake Depth (MD)	10000 *ft*
Intake Depth (TVD)	9335 *ft*
Fluid Height to get UB (TVD)	1603 *ft*
Volume to Pump Out:	**520** *Bls*

Fluid Level (TVD)	7902 *ft*
Fluid Level (MD)	8476 *ft*
9-5/8", 47 #/ft CSG & 3-1/2", 9.3 #/ft TBG	0.0613 *Bls/ft*
7", 26 #/ft CSG & 3-1/2", 9.3 #/ft TBG	0.0264 *Bls/ft*
TOL	9500 *ft*

INTAKE PRESSURES

Intake Firing Pressure	**6341** *psi*
Minimun Intake Firing Pressure	4786 *psi*
Intake Pressure Before UB	4077 *psi*
Intake Pressure UB	626 *psi*

PUMP RATES & TIME

Pump Rate (BFPD)	Bls/Hour	Hours Req
400	16.7	31.2
450	18.8	27.7
500	20.8	24.9
800	33.3	15.6

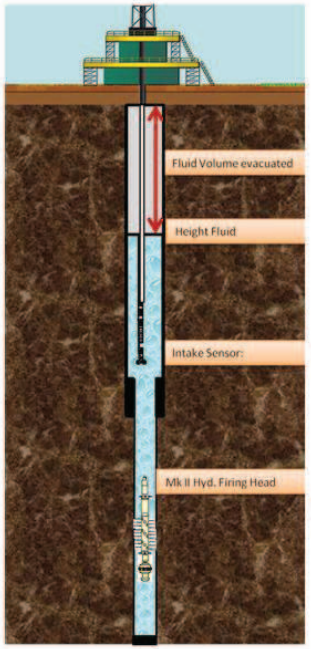
RUPTURE DISC & SETTING PRESSURE

Rupture Disc	**NA**
Nominal Pressure @ 210	NA *psi*
Surface Setting Pressure	**NA** *psi*
Safety Factor	NA *psi*

PULL OUT BAR & FIRING PRESSURE

Pull Out Bar	**F134889505**
Nominal Pressure	5500 *psi*
Surface Firing Pressure	**2263** *psi*
Safety Factor	**709** *psi*

Version 1.13



520 **Barriles**

8476 **ft (MD)**
7902 **ft (TVD)**

10000 **ft (MD)**
9335 **ft (TVD)**

10178 **ft (MD)**
9505 **ft (TVD)**

ANEXO B.2: ONE TRIP PLANNER POZO-5

POZO-5

ONE TRIP PLANNER

BAKER HUGHES

WELL DATA

Formation:	Basal Tena
Top Perforations (md):	9021 *ft*
Bottom Perforations (md):	9035 *ft*
Mid perfs TVD (ft)	8725 *ft*

Formation Pressure:	1230 *psi*
UB (psi):	*600 psi*
Fluid density:	8.4 *lbs/gal*

DEPTHS & VOLUMES

Intake Depth (MD)	8760 *ft*
Intake Depth (TVD)	8475 *ft*
Fluid Height to get UB (TVD)	1442 *ft*
Volume to Pump Out:	460 *Bls*

Fluid Level (TVD)	7283 *ft*
Fluid Level (MD)	7497 *ft*
9-5/8", 47 #/ft CSG & 3-1/2", 9.3 #/ft TBG	0.0613 *Bls/ft*
7", 26 #/ft CSG & 3-1/2", 9.3 #/ft TBG	0.0264 *Bls/ft*
TOL	8812 *ft*

INTAKE PRESSURES

Intake Firing Pressure	6556 *psi*
Minimun Intake Firing Pressure	4772 *psi*
Intake Pressure Before UB	3702 *psi*
Intake Pressure UB	521 *psi*

PUMP RATES & TIME

Pump Rate (BFPD)	Bls/Hour	Hours Req
400	16.7	27.6
450	18.8	24.5
500	20.8	22.1
800	33.3	13.8

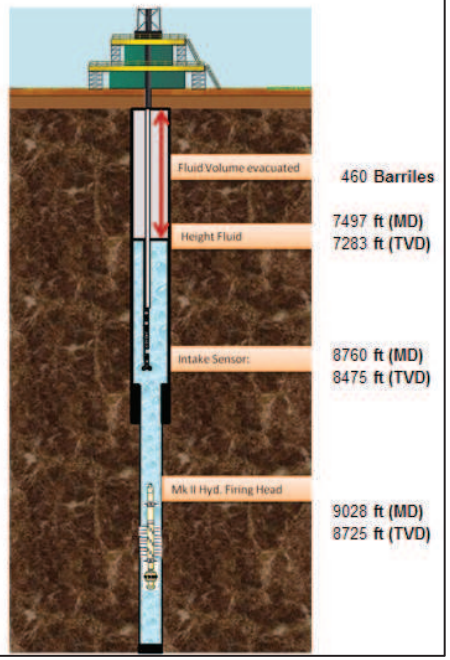
RUPTURE DISC & SETTING PRESSURE

Rupture Disc	NA
Nominal Pressure @ 210	NA *psi*
Surface Setting Pressure	NA *psi*
Safety Factor	NA *psi*

PULL OUT BAR & FIRING PRESSURE

Pull Out Bar	F134889505
Nominal Pressure	5500 *psi*
Surface Firing Pressure	2854 *psi*
Safety Factor	1070 *psi*

Version 1.13



ANEXO B.3: ONE TRIP PLANNER POZO-7

POZO - 7
ONE TRIP PRESSURE CALCULATIONS

BAKER HUGHES

WELL DATA

Formation:	Hollin Inferior
Top Perforations (md):	10516 *ft*
Bottom Perforations (md):	10586 *ft*
Mid perfs TVD (ft)	9910 *ft*

Formation Pressure:	3600 *psi*
UB (psi):	*800 psi*
Fluid density:	8.3 *lbs/gal*

DEPTHS & VOLUMES

Intake Depth (MD)	10300 *ft*
Intake Depth (TVD)	9669 *ft*
Fluid Height to get UB (TVD)	6487 *ft*
Volume to Pump Out:	220 *Bls*

Fluid Level (TVD)	3423 *ft*
Fluid Level (MD)	3595 *ft*
CGS 9-5/8", 47 #/ft - TBG 3-1/2", 9.3 #/	0.0613 *Bls/ft*
CGS 7", 26 #/ft - TBG 3-1/2", 9.3 #/ft	0.0264 *Bls/ft*
TOL	8251 *ft*

INTAKE PRESSURES

Intake Firing Pressure	6576 *psi*
Minimun Intake Firing Pressure	5198 *psi*
Intake Pressure Before UB	4173 *psi*
Intake Pressure UB	2696 *psi*

PUMP RATES & TIME

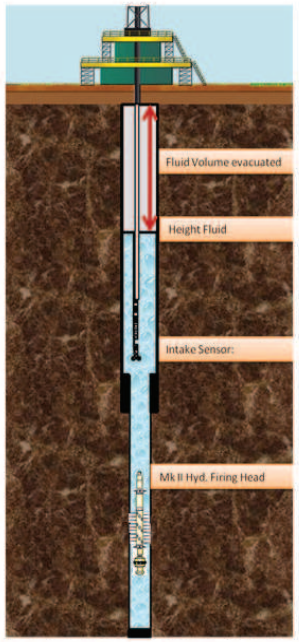
Pump Rate (BFPD)	Bls/Hour	Hours Req.
600	25.0	8.8
800	33.3	6.6
1000	41.7	5.3
1200	50.0	4.4

RUPTURE DISC & SETTING PRESSURE

Rupture Disc	NA
Nominal Pressure @ 210	NA *psi*
Surface Setting Pressure	NA *psi*
Safety Factor	NA *psi*

PULL OUT BAR & FIRING PRESSURE

Pull Out Bar	F134889006
Nominal Pressure	6000 *psi*
Surface Firing Pressure	2403 *psi*
Safety Factor	1025 *psi*



220 **Barriles**

3595 **ft (MD)**
3423 **ft (TVD)**

10300 **ft (MD)**
9669 **ft (TVD)**

10541 **ft (MD)**
9910 **ft (TVD)**

ANEXO B.4: ONE TRIP PLANNER POZO-9

POZO-9
ONE TRIP PLANNER

BAKER HUGHES

WELL DATA

Formation:	U Inferior
Top Perforations (md):	10127 *ft*
Bottom Perforations (md):	10178 *ft*
Mid perfs TVD (ft)	8583 *ft*

Formation Pressure:	1400 *psi*
UB (psi):	*1000 psi*
Fluid density:	8.4 *lbs/gal*

DEPTHS & VOLUMES

Intake Depth (MD)	9800 *ft*
Intake Depth (TVD)	8258 *ft*
Fluid Height to get UB (TVD)	916 *ft*
Volume to Pump Out:	555 *Bls*

Fluid Level (TVD)	7668 *ft*
Fluid Level (MD)	9124 *ft*
9-5/8", 47 #/ft CSG & 3-1/2", 9.3 #/ft TBG	0.0613 *Bls/ft*
7", 26 #/ft CSG & 3-1/2", 9.3 #/ft TBG	0.0264 *Bls/ft*
TOL	9000 *ft*

INTAKE PRESSURES

Intake Firing Pressure	7053 *psi*
Minimun Intake Firing Pressure	5602 *psi*
Intake Pressure Before UB	3607 *psi*
Intake Pressure UB	258 *psi*

PUMP RATES & TIME

Pump Rate (BFPD)	Bls/Hour	Hours Req
400	16.7	33.3
500	20.8	26.6
600	25.0	22.2
800	33.3	16.7

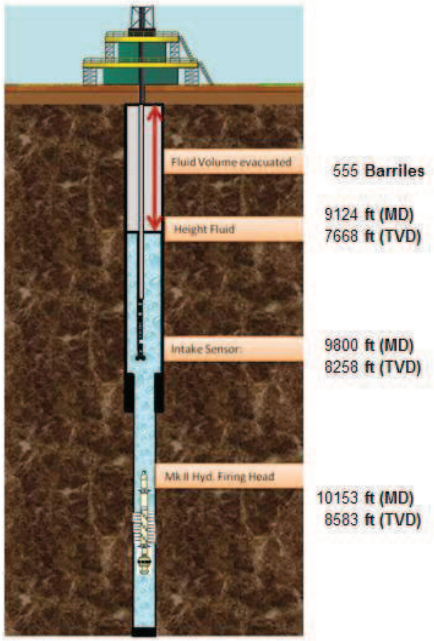
RUPTURE DISC & SETTING PRESSURE

Rupture Disc	H06-77604-07
Nominal Pressure @ 210	4365 *psi*
Surface Setting Pressure	975 *psi*
Safety Factor	507 *psi*

PULL OUT BAR & FIRING PRESSURE

Pull Out Bar	F134889506
Nominal Pressure	6500 *psi*
Surface Firing Pressure	3446 *psi*
Safety Factor	1020 *psi*

Version 1.13



ANEXO B.5: ONE TRIP PLANNER POZO-11

POZO-11

ONE TRIP PRESSURE CALCULATIONS

BAKER HUGHES

WELL DATA

Formation:	Hollin Superior
Top Perforations (md):	10716 *ft*
Bottom Perforations (md):	10736 *ft*
Mid perfs TVD (ft)	9867 *ft*

Formation Pressure:	3704 *psi*
UB (psi):	*500 psi*
Fluid density:	8.4 *lbs/gal*

DEPTHS & VOLUMES

Intake Depth (MD)	10500 *ft*
Intake Depth (TVD)	9648 *ft*
Fluid Height to get UB (TVD)	7335 *ft*
Volume to Pump Out:	156 *Bls*

Fluid Level (TVD)	2532 *ft*
Fluid Level (MD)	2543 *ft*
9-5/8", 47 #/ft CSG & 3-1/2", 9.3 #/ft TBG	0.0613 *Bls/ft*
7", 26 #/ft CSG & 3-1/2", 9.3 #/ft TBG	0.0264 *Bls/ft*
TOL	8237 *ft*

INTAKE PRESSURES

Intake Firing Pressure	6569 *psi*
Minimun Intake Firing Pressure	4748 *psi*
Intake Pressure Before UB	4214 *psi*
Intake Pressure UB	3108 *psi*

PUMP RATES & TIME

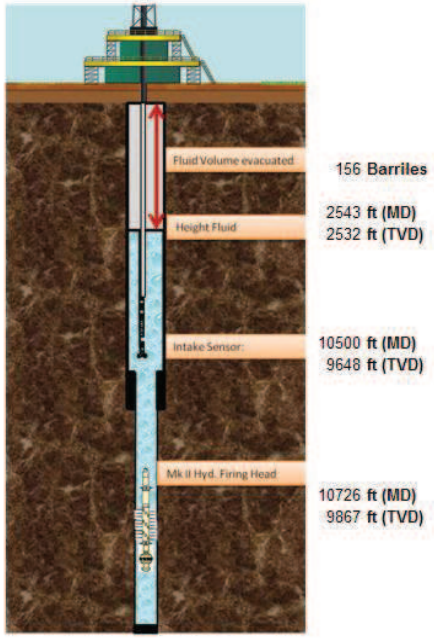
Pump Rate (BFPD)	Bls/Hour	Hours Req
200	8.3	18.7
400	16.7	9.4
600	25.0	6.2
800	33.3	4.7

RUPTURE DISC & SETTING PRESSURE

Rupture Disc	NA
Nominal Pressure @ 210	NA *psi*
Surface Setting Pressure	NA *psi*
Safety Factor	NA *psi*

PULL OUT BAR & FIRING PRESSURE

Pull Out Bar	F134889505
Nominal Pressure	5500 *psi*
Surface Firing Pressure	2355 *psi*
Safety Factor	534 *psi*



156 Barriles

2543 ft (MD)
2532 ft (TVD)

10500 ft (MD)
9648 ft (TVD)

10726 ft (MD)
9867 ft (TVD)

ANEXO B.6: ONE TRIP PLANNER POZO-13

POZO-13
ONE TRIP PRESSURE CALCULATIONS

BAKER HUGHES

WELL DATA

Formation:	T Inferior
Top Perforations (md):	10322 *ft*
Bottom Perforations (md):	10356 *ft*
Mid perfs TVD (ft)	9717 *ft*

Formation Pressure:	1200 *psi*
UB (psi):	*600 psi*
Fluid density:	8.3 *lbs/gal*

DEPTHS & VOLUMES

Intake Depth (MD)	10100 *ft*
Intake Depth (TVD)	9480 *ft*
Fluid Height to get UB (TVD)	1390 *ft*
Volume to Pump Out:	514 *Bls*

Fluid Level (TVD)	8327 *ft*
Fluid Level (MD)	8866 *ft*
CGS 9-5/8", 47 #/ft - TBG 3-1/2", 9.3 #/f	0.0613 *Bls/ft*
CGS 7", 26 #/ft - TBG 3-1/2", 9.3 #/ft	0.0264 *Bls/ft*
TOL	8022 *ft*

INTAKE PRESSURES

Intake Firing Pressure	6063 *psi*
Minimun Intake Firing Pressure	4758 *psi*
Intake Pressure Before UB	4092 *psi*
Intake Pressure UB	498 *psi*

PUMP RATES & TIME

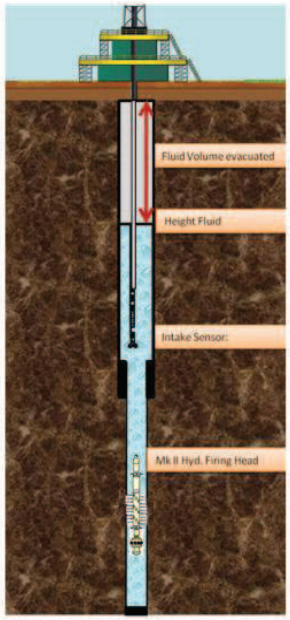
Pump Rate (BFPD)	Bls/Hour	Hours Req.
200	8.3	61.7
400	16.7	30.8
600	25.0	20.6
800	33.3	15.4

RUPTURE DISC & SETTING PRESSURE

Rupture Disc	NA
Nominal Pressure @ 210	NA *psi*
Surface Setting Pressure	NA *psi*
Safety Factor	NA *psi*

PULL OUT BAR & FIRING PRESSURE

Pull Out Bar	F134889505
Nominal Pressure	5500 *psi*
Surface Firing Pressure	1971 *psi*
Safety Factor	1141 *psi*



514 Barriles
8866 ft (MD)
8327 ft (TVD)
10100 ft (MD)
9480 ft (TVD)
10339 ft (MD)
9717 ft (TVD)

ANEXO C: REPORTES DE TIEMPO SISTEMAS DE CAÑONEO

ANEXO C.1: REPORTE DE TIEMPO ONE TRIP

BAKER HUGHES	REPORTE DE TIEMPO ONE TRIP	WLS-F-OPS-010

	ORDEN DE SERVICIO BAKER ATLAS #:		
COMPAÑÍA:	SALIDA DE BASE:	17-Apr-2013	10:00
TALADRO:	LLEGADA A POZO:	17-Apr-2013	11:30
POZO:	POZO PARA BAKER ATLAS:	18-Apr-2013	0:00
CAMPO:	POZO PARA CLIENTE:	22-Apr-2013	6:00
UNIDAD:	SALIDA DE LOCACION:	22-Apr-2013	7:00
ACORDADO PARA:	RETORNO A BASE:	22-Apr-2013	8:30

RUN	SERVICIOS	INTERVALO TOPE FONDO	INICIO FECHA	INICIO HORA	FINAL FECHA	FINAL HORA	TIEMPO DE OPER	STB	TP	OBSERVACIONES
	REUNION DE SEGURIDAD		18-Apr-13	0:00	18-Apr-13	0:30	0.50			SE REALIZA REUNION DE SEGURIDAD CON EL PERSONAL DEL TALADRO Y BAKER HUGHES
	ARMANDO BHA ONE TRIP		18-Apr-13	0:30	18-Apr-13	2:00	1.50			SE ARMA BHA DE ONE TRIP: ANCLA MECANICA SCLP DUAL GRIP PACKER BALISTIC CONECTOR - FIRIND HEAD ADAPTER, 16 FT CARGADOS (CARGA HMX 5 DPP) CAÑON DE 4 1/2", 15' BLANK GUN CARRIER, 15' CARGADOS (CARGA HMX 5 DPP) CAÑON DE 4 1/2", 6.70' SAFETY SPACER 4-1/2" BLANK GUN CARRIER, VALVULA IGPV, 11 FT SAFETY SPACER 4-1/2" BLANK GUN CARRIER, CROSSOVER API - CENTRALIZER, BALISTIC CONECTOR - FIRING HEAD ADAPTER, BALISTIC CONECTOR-TOP SUB, 3 3/8" HYDRAULIC FIRING HEAD, CROSSOVER AP 3-3/8" x 2-3/8" EUE, 2-1/8" PULLING TOOL, MRD RUNNING TOOL, WEIGHT BAR, PFC (GR-CCL), CABLE HEAD, WIRELINE CABLE
01	BAJANDO ONE TRIP CON PFC (GR-CCL)	10650.00' / 10900.00'	18-Apr-13	2:00	18-Apr-13	5:00	3.00			SE BAJA BHA ONE TRIP CON PFC (GR-CCL), SE CORRELACIONA Y SE ASIENTA ANCLA MECANICA. SE ESPERA PARA LIBERACION DE LA MRD RUNNING TOOL. SE LIBERA MRD RUNNING TOOL, SE VERIFICA PROFUNDIDAD DE FISHING NECK @ 10786.80', FISHING NECK SEGUN BHA @ 10786.80', OPERACION OK.
	RIG DOWN		18-Apr-13	5:00	18-Apr-13	6:00	1.00			SE DESARMAN EQUIPOS DE SUPERFICIE
	BAJANDO BES EN TUBERIA DE PRODUCCION DE 3-1/2", INSTALACION DE BOP, ARMADO LINEAS DE PRODUCCION		18-Apr-13	6:00	21-Apr-13	14:00	80.00			SE BAJA AL POZO EQUIPO BES (BAKER HUGHES ALS) CON TUBERIA DE 3-1/2", SE ARMA EQUIPO DE CONTROL DE PRESION DEL POZO, SE ARMAN LINEAS DE PRODUCCION
	PRESURIZANDO CABEZA HIDRAULICA		21-Apr-13	14:00	21-Apr-13	15:00	1.00			SE PRESURIZA LA CABEZA DE DISPARO MKII CON 2700 PSI EN SUPERFICIE, SE ESPERA 10 MIN, SE LIBERA PRESION
	VACIANDO POZO		21-Apr-13	15:00	21-Apr-13	22:30	7.50			SE PROCEDE A VACIAR EL POZO UTILIZANDO LA BES HASTA LLEGAR A LA PRESION DE INTAKE DE 1358 PSI, SE ESPERA POR DETONACION DE LOS CAÑONES
	ACTIVACION DE CAÑONES		21-Apr-13	22:30	22-Apr-13	4:00	5.50			SE ACTIVAN CAÑONES @ 03H30 HORAS, LA PRESION DE INTAKE INCREMENTA DE 1370 PSIA 1600 PSI
	FIN DE OPERACIONES		22-Apr-13	4:00	22-Apr-13	6:00	2.00			A LAS 04h00 LA PRESION DE INTAKE SUBE LEVEMENTE 1600 PSIA 1950 PSI, A LAS 05h00 PRESION INTAKE = 2235 PSI, A LAS 06h00 PRESION INTAKE = 2300 PSI, SE DAN POR TERMINADA LAS OPERACIONES DE DISPARO CON ONE TRIP
						TOTAL	102.00			

OBSERVACIONES DEL ING. BAKER ATLAS: (INCLUIR EXPLICACIÓN DE TODO TIEMPO DE ESPERA)

OBSERVACIONES DEL CLIENTE:

REPRESENTANTE DEL CLIENTE:	INGENIERO BAKER ATLAS:
NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA	FIRMA

ANEXO C.2: REPORTE DE TIEMPO TCP

BAKER HUGHES	REPORTE DE TIEMPO TCP	WLS-F-OPS-010

	ORDEN DE SERVICIO BAKER ATLAS #:		
COMPAÑÍA:	SALIDA DE BASE:	16-Mar-2013	11:00
TALADRO:	LLEGADA A POZO:	16-Mar-2013	13:00
POZO:	POZO PARA BAKER ATLAS:	17-Mar-2013	13:00
CAMPO:	POZO PARA CLIENTE:	18-Mar-2013	17:30
UNIDAD:	SALIDA DE LOCACION:	18-Mar-2013	18:30
ACORDADO PARA:	RETORNO A BASE:	18-Mar-2013	19:30

RUN	SERVICIOS	INTERVALO TOPE / FONDO	INICIO FECHA	INICIO HORA	FINAL FECHA	FINAL HORA	TIEMPO DE OPER	STB	TP	OBSERVACIONES
	REUNION DE SEGURIDAD		17-Mar-13	13:00	17-Mar-13	13:30	0.50			Se hace reunion de seguridad con el personal en locacion para hablar del procedimiento operativo y los riesgos asociados con la operacion y como mitigarlos.
01	ARMADO DE BHA DE TCP	10880.00' / 10910.00'	17-Mar-13	13:30	17-Mar-13	16:30	3.00			Se arma BHA de TCP. Fondo + canones cargados 30ft + espaciador + adaptador de cabeza + cabeza mecanica + pup joint + x-over + sub de desbalance + x-over + x-over RA
	BAJANDO BHA		17-Mar-13	16:30	18-Mar-13	9:30	17.00			Personal de Taladro baja BHA a la profundidad requerida. Incluye tiempo de Rig Service.
	REUNION DE SEGURIDAD		18-Mar-13	9:30	18-Mar-13	10:00	0.50			Se hace reunion de seguridad con el personal en locacion para hablar del procedimiento operativo y los riesgos asociados con la operacion y como mitigarlos.
	RIG UP		18-Mar-13	10:00	18-Mar-13	11:00	1.00			Se arma equipo de superficie. Se arma herramientas PFC. Se chequea comunicacion. Se toma cero a nivel de la mesa en el CCL.
02	REGISTRO DE CORRELACION	10478.00' / 10780.00'	18-Mar-13	11:00	18-Mar-13	16:00	5.00			Se baja herramienta al pozo. La marca RA debe encontrarse @ 10732.66 ft. Se hace correlacion para poner herramienta a profundidad. Se hace primera correlacion encontrandose la marca RA @ 10735 ft. Se hace una segunda correlacion antes de asentar el packer y se encuentra la marca RA @ 10731 ft. Despues de asentado la marca RA se encuentra @ 10732.75 ft.
	RIG DOWN		18-Mar-13	16:00	18-Mar-13	17:00	1.00			Se quiebra string de herramientas. Se desarma equipo de superficie.
	LANZAMIENTO DE BARRA		18-Mar-13	17:00	18-Mar-13	17:30	0.50			Se lanza barra desde superficie para accionar la cabeza mecanica y detonar los canones. Esta tarda 0.51 min en llegar.
						TOTAL	28.50			

OBSERVACIONES DEL ING. BAKER ATLAS: (INCLUIR EXPLICACIÓN DE TODO TIEMPO DE ESPERA)

OBSERVACIONES DEL CLIENTE:

REPRESENTANTE DEL CLIENTE:	INGENIERO BAKER ATLAS:
NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA	FIRMA

ANEXO C.3: REPORTE DE TIEMPO WIRELINE

BAKER HUGHES	REPORTE DE TIEMPO WIRELINE	WLS-F-OPS-010

	ORDEN DE SERVICIO BAKER ATLAS #:		
COMPAÑÍA:	SALIDA DE BASE:	30-Jan-2013	17:00
TALADRO:	LLEGADA A POZO:	30-Jan-2013	18:00
POZO:	POZO PARA BAKER ATLAS:	31-Jan-2013	7:00
CAMPO:	POZO PARA CLIENTE:	31-Jan-2013	14:00
UNIDAD:	SALIDA DE LOCACION:	31-Jan-2013	15:00
ACORDADO PARA:	RETORNO A BASE:	31-Jan-2013	16:30

RUN	SERVICIOS	INTERVALO TOPE / FONDO	INICIO FECHA	INICIO HORA	FINAL FECHA	FINAL HORA	TIEMPO DE OPER	STB	TP	OBSERVACIONES
	REUNION DE SEGURIDAD		31-Jan-13	7:00	31-Jan-13	7:30				SE REALIZA LA REUNION DE ; HUGHES WS
	ARMADO DE EQUIPO		31-Jan-13	7:30	31-Jan-13	8:00	0.50			SE ARMA EL EQUIPO BASICO DE REGISTROS ELECTRICOS Y EL EQUIPO DE PRESION
01	PFC GAMMA RAY LOG	9992.00' / 10280.00'	31-Jan-13	8:00	31-Jan-13	10:00	2.00			SE BAJA HERRAMIENTA PFC GAMMA RAY CCL CON CAÑON DE 4-1/2", 5 DPP A REPUNZONAR EL INTERVALO 10227'-10240'=13' PARADA @:10219.00 Ft - DELAY=08.00 Ft
	SACANDO HERRAMIENTA		31-Jan-13	10:00	31-Jan-13	10:30	0.50			SE SACA LA HERRAMIENTA DEL POZO - SE OBSERVA EL CAÑON 100 % DETONADO
02	PFC GAMMA RAY LOG	10136.00' / 10260.00'	31-Jan-13	10:30	31-Jan-13	13:00	2.50			SE BAJA HERRAMIENTA PFC GAMMA RAY CCL CON CAÑON DE 4-1/2", 5 DPP A REPUNZONAR EL INTERVALO 10223'-10227'=4' PARADA @:10213.00 Ft - DELAY=10.00 Ft
	SACANDO HERRAMIENTA		31-Jan-13	13:00	31-Jan-13	13:30	0.50			SE SACA LA HERRAMIENTA DEL POZO - SE OBSERVA EL CAÑON 100 % DETONADO
	DESARMADO DE EQUIPO		31-Jan-13	13:30	31-Jan-13	14:00	0.50			SE DESARMA EL EQUIPO DE PRESION Y EL EQUIPO BASICO DE REGISTROS ELECTRICOS
					TOTAL		6.50			

OBSERVACIONES DEL ING. BAKER ATLAS: (INCLUIR EXPLICACIÓN DE TODO TIEMPO DE ESPERA)

OBSERVACIONES DEL CLIENTE:

REPRESENTANTE DEL CLIENTE:	INGENIERO BAKER ATLAS:
NOMBRE:	NOMBRE:
FIRMA	FIRMA