

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS

ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO IMPLEMENTADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA PARA UNA FUTURA APLICACIÓN.

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN PETRÓLEOS

ALEX FABRICIO ACARO JARAMILLO
alexacaro@gmail.com

JIMMY ESTEBAN LEON ROSILLO
jimmyleonjl@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JOSÉ FRANCISCO PAZ VILLAROEL
fracisco_paz@petroamazonas.ec

Quito, Abril 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, Alex Fabricio Acaro Jaramillo, Jimmy Esteban León Rosillo, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Alex Fabricio Acaro Jaramillo

Jimmy Esteban León Rosillo

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Alex Fabricio Acaro Jaramillo y Jimmy Esteban León Rosillo, bajo mi supervisión.

Ing. Francisco Paz
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Con las palabras más sinceras y desde lo más profundo de mi ser quiero agradecer a mi familia, que ha sido y será el pilar fundamental para continuar en este caminar por la vida. A ti mi querido padre, Edilberto, recuerdo que uno de tus anhelos era ver a todos tus hijos profesionales, con mi persona ese sueño se te está cumpliendo, donde sea que estés quiero decirte gracias papá. Aquel sentimiento de superación que inculcaste en mí lo llevaré todos los días y junto con tu recuerdo y tu protección seguiré adelante, por siempre gracias.

Madre, tu ejemplo de valentía y de lucha, me han hecho crecer, siento que esta vida no me alcanzará para agradecerte todo lo que haces por mí, te agradezco de todo corazón mami, tú tienes gran parte de mérito, en esta meta que he cumplido, gracias Ofelita

A mis hermanos, Byron y Mayra, con ustedes crecí, y de verdad les agradeceré siempre, por su apoyo y aliento para continuar adelante. A mis cuñados y sobrinos, gracias, porque son parte de este logro y alegría de la familia.

Agradezco, también de manera especial al hogar de mis tíos, Vicente y Dercelia, que supieron acogerme, y fueron apoyo incondicional en mi vida Universitaria. Tía Dercelia, con tu bendición desde el cielo, seguiré adelante. Gracias a toda mi familia, de mamá y papá, los quiero. "Gracias".

A la comunidad Politécnica, a todos los maestros y autoridades de la Especialidad en Petróleos en especial al Ing. Francisco Paz, por la confianza para la realización de este Proyecto, al Ing. Álvaro Izurieta por ser el guía en la ejecución del mismo y a los Ingenieros Andrés Díaz y Julio Lozada por sus aportes brindados.

A todos mis compañeros "Sementadores", gracias y pa' adelante siempre.

Alex

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por haberme permitido cumplir con este mi primer gran logro en mi vida profesional, el camino ha sido largo y difícil pero queda la satisfacción de haber culminado con éxito el objetivo de toda una vida de esfuerzo y dedicación.

Agradezco a mis padres Abel y Ludy por el apoyo incondicional durante toda mi vida estudiantil, sin ustedes no hubiera cumplido con este mi primer objetivo.

A mi esposa Nilsa y a mi hija Adamaris por haberme comprendido y apoyado día a día para seguir adelante con la finalización de este proyecto.

Al Ingeniero Francisco Paz por su continuo apoyo y principalmente por brindarme la confianza para la realización de este proyecto.

También quiero extender mis agradecimientos al Ingeniero Álvaro Izurieta y al Ingeniero Julio Lozada por sus consejos y sugerencias que fueron de gran importancia para que este proyecto se realice.

A todos los profesores de la Escuela Politécnica Nacional que me impartieron sus conocimientos para poder llegar a ser un profesional.

Finalmente quiero agradecer a la Ingeniera Salomé Martínez y al Ingeniero Jorge Velásquez por el tiempo dedicado en el desarrollo de mi proyecto.

Jimmy

DEDICATORIA

Para toda mi familia y para la querida carrera de Ingeniería en Petróleos

Alex

A mis padres Abel y Ludy que siempre me apoyaron y guiaron para que cumpla mis metas y objetivos profesionales.

Jimmy

RESUMEN

El presente estudio técnico-económico tiene por objetivo analizar las técnicas y tecnologías de cañoneo empleadas con el propósito de establecer la técnica de disparo más adecuada y económicamente rentable para cada arena y campo, permitiendo en base a los resultados analizados escoger la mejor alternativa para una futura aplicación en pozos nuevos del Complejo en estudio.

En el Primer Capítulo se describe el Complejo Yanaquincha, como son: las propiedades petrofísicas, las presiones de reservorio de cada arena, el mecanismo de empuje de los reservorios, la geología del Complejo y sus reservas probadas y probables.

En el Segundo Capítulo se describe los fundamentos del cañoneo y las diferentes técnicas y tecnologías implementadas en el Complejo Yanaquincha con el propósito de entender como es el funcionamiento de cada tecnología, ventajas y desventajas y principalmente sus aplicaciones en base a las características propias de cada técnica.

En el Tercer Capítulo se presenta el compendio de todos los trabajos de cañoneo realizados desde el 2012 hasta el 2014 en el Complejo Yanaquincha con las diferentes tecnologías propias de cada compañía, además se analizaron 10 pozos del Complejo Yanaquincha en los cuales se aplicaron las principales tecnologías de cañoneo, este análisis comprende desde la simulación para el diseño de cañoneo hasta los resultados obtenidos después de realizar el trabajo de punzonamiento de los pozos, con el propósito de comparar lo estimado y lo real obtenido después del disparo mediante la aplicación del índice de productividad, para cada pozo y arena se presentan las diferentes propuestas de cañoneo realizadas con los software de disparo Puls-Frac, Perf-Pro y Span-Rock.

En el Cuarto Capítulo se presenta un análisis técnico para determinar la mejor alternativa de cañoneo para pozos nuevos del Complejo Yanaquincha en base a

los resultados obtenidos en todos los disparos realizados a cada arena, para lo cual se escoge el mejor escenario de disparo para cada técnica y se compara aspectos técnicos como son el daño obtenido después del disparo y el índice de productividad en función de cada técnica de cañoneo.

En el Quinto Capítulo se presenta la evaluación económica del proyecto en base a los indicadores económicos TIR, VAN y la relación costo-beneficio.

Finalmente en el Sexto Capítulo se describe las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el presente estudio.

PRESENTACIÓN

Los recientes avances en la investigación para comprender todo el evento de cañoneo, ha permitido desarrollar nuevas tecnologías y herramientas de diseño que logren mejorar la conectividad del reservorio con el pozo.

Desde la fase del diseño, los nuevos paquetes computacionales, permiten predecir de manera más acertada el comportamiento que tendrán las cargas en las operaciones de punzados, dicha simulación, ha dado lugar para que las compañías efectúen diseños que logren mejorar la eficiencia de producción, tomando en cuenta siempre el factor seguridad.

La nueva era del cañoneo se ha desarrollado en base a la comprensión de los eventos dinámicos que ocurren en el fondo del pozo durante las operaciones, y se ha demostrado que dichos eventos, son los que marcan de manera definitiva el grado de eficiencia en la conectividad reservorio-pozo.

En base a lo anterior, el presente estudio permite evaluar la eficiencia que han tenido las nuevas tecnologías de cañoneo, implementadas en los pozos del Complejo Yanaquincha, para futuras aplicaciones.

CONTENIDO

CAPÍTULO I	32
DESCRIPCIÓN DEL COMPLEJO YANAQUINCHA	32
1.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA.....	32
1.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	34
1.3 GEOLOGÍA.....	35
1.3.1 ESTRUCTURA.....	35
1.3.2 ESTRATIGRAFÍA.....	36
1.3.2.1 Formación Napo.....	38
1.3.2.1.1 Arenisca “U”	38
1.3.2.1.2 Arenisca “T”	38
1.4 PETROFÍSICA Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS	39
1.4.1 PROPIEDADES PETROFÍSICAS	39
1.4.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS (PVT)	40
1.4.3 COMPORTAMIENTO DE PRESIONES DE LOS RESERVORIOS Y MECANISMOS DE PRODUCCIÓN.	41
1.5 SISTEMA de COMPLETACIÓN DEL COMPLEJO YANAQUINCHA.	41
1.6 RESERVAS PROBADAS Y PROBABLES.....	42
CAPÍTULO II	44
PRINCIPIOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO	44
2.1 INTRODUCCIÓN AL CAÑONEO DE POZOS	44
2.2 PARTES DE UN CAÑÓN.....	46
2.2.1 DETONADOR	46
2.2.1.1 Detonadores Eléctricos	47
2.2.1.2 Detonadores de Percusión.....	47
2.2.2 CORDÓN DETONANTE	48
2.2.3 CARGAS MOLDEADAS.....	48

2.2.3.1	Carga Iniciadora.....	49
2.2.3.2	Carcasa.....	49
2.2.3.3	Explosivo Principal	49
2.2.3.4	Liner	51
2.2.3.4.1	Liner Cónico.....	51
2.2.3.4.2	Liner Parabólico.....	51
2.3	OPERACIÓN DE CAÑONEO	52
2.4	EL CAÑONEO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCTIVIDAD	53
2.5	FACTORES INVOLUCRADOS EN LAS OPERACIONES DE CAÑONEO.	55
2.5.1	POSICIONAMIENTO DE LA CARGA Y EL CANÓN	56
2.5.1.1	Profundidad de Penetración.....	56
2.5.1.2	Diámetro del agujero Perforado.	57
2.5.2	FACTORES GEOMÉTRICOS Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD.....	58
2.5.2.1	Profundidad de Penetración de las Cargas y Densidad de los Disparos.....	59
2.5.2.2	Fase	59
2.5.2.3	Diámetro de los Perforados.....	60
2.5.3	EFFECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL RESERVORIO.....	61
2.5.4	CONDICIONES DE PRESIÓN-ESTÁTICAS.....	62
2.5.4.1	PRESIÓN DE SOBRE BALANCE ESTÁTICO.....	62
2.5.4.2	PRESIÓN DE BAJO BALANCE ESTÁTICO.	63
2.5.4.2.1	Cálculo de la Presión de Bajo Balance Estático	63
2.5.5	CONDICIONES HIDROSTÁTICAS DINÁMICAS	66
2.5.5.1	Cañoneo en Desbalance Dinámico.....	66
2.5.5.2	Sobre Balance Extremo.	69
2.6	DAÑO O FACTOR SKIN.....	72

2.6.1	DAÑO POR DESVIACIÓN DEL POZO	73
2.6.2	DAÑO POR PENETRACIÓN PARCIAL	75
2.6.3	DAÑO POR DISPAROS.....	77
2.6.4	DAÑO DEBIDO A LA PERFORACIÓN Y A LOS DISPAROS	80
2.6.4.1	Efecto del daño debido a la perforación en la relación de productividad.....	81
2.6.4.2	Efecto del daño debido a los disparos en la relación de productividad.....	82
2.7	MÉTODOS DE CAÑONEO DE ACUERDO AL SISTEMA DE TRANSPORTE.....	84
2.7.1	CAÑONES TRANSPORTADOS CON CABLE.....	85
2.7.1.1	CAÑONES TRANSPORTADOS A TRAVÉS DEL TUBING (TTP)...	86
2.7.2	CAÑONEO TRANSPORTADOS CON TUBERÍA (TCP).....	86
2.7.2.1	Procedimiento operativo con TCP.....	87
2.7.2.1.1	Preparación de Equipo Previo al Trabajo.	87
2.7.2.1.2	Distribución de cañones en las operaciones.....	88
2.7.2.1.3	Procedimiento de Corrida de Cañones	88
2.7.2.1.4	Procedimiento de Contingencia	90
2.7.3	CAÑONES ANCLADOS.....	94
2.8	TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO	95
2.8.1	CAÑONEO CON MAXR.....	95
2.8.1.1	Aplicaciones del sistema de cañones anclados MAXR.....	96
2.8.1.2	Beneficios del sistema MAXR	96
2.8.1.3	Características del sistema MAXR.....	96
2.8.1.4	Procedimiento operativo con MAXR	96
2.8.1.4.1	Perfil de presión con MAX-R PURE.....	99
2.8.2	SISTEMA PURE.....	100

2.8.3	CAÑONEO CON PROPELENTE	102
2.8.3.1	Limitaciones del cañoneo con Propelente.....	104
2.8.3.2	Cañoneo con StimGun.....	104
2.8.3.2.1	Ventajas de StimGun	105
2.8.3.2.2	Operación con StimGun.....	106
2.8.3.2.3	Perfil de presión con StimGun	106
2.8.4	CAÑONEO CON PERFSTIM	108
2.8.4.1	Proceso PerfStim	108
2.8.4.1.1	Ventajas de PerfStim	109
2.8.4.1.2	Operación con PerfStim.....	109
2.8.5	CAÑONEO CON STIMTUBE	109
2.8.5.1	Ensamblaje StimTube	109
2.8.5.1.1	Ventajas de StimTube.....	110
2.8.5.1.2	Operación con StimTube	111
2.8.6	CAÑONEO CON POWR PERF/ PROCESO DE ESTIMULACIÓN	111
2.8.6.1	Proceso POWR PERF	111
2.8.6.1.1	Características y Beneficios de POWR PERF	111
2.8.6.1.2	Operación POWR PERF.....	112
2.8.7	CAÑONEO CON SURGE PRO.....	113
2.8.7.1	Secuencia de Cañoneo con Surge Pro	113
2.8.7.2	Como crear efectos de Surgencia.....	114
2.8.7.3	Ensamblaje con Surge Pro.....	114
2.8.8	CAÑONEO CON STIMPRO.....	116
2.8.8.1	Combinación de Sobre balance y Bajo balance Dinámicos a Través de Cañoneo Convencional.....	116
2.8.8.1.1	Beneficios de StimPro.....	117
2.8.8.1.2	Operación con StimPro.....	118

2.8.9	FAST GAUGE RECORDER.....	120
2.8.9.1.1	Perfil de presión con StimPro	122
2.9	MODELAMIENTO DINÁMICO	123
2.9.1	NORMA API-19B.....	124
2.9.1.1	Sección I	124
2.9.1.2	Sección II	125
2.9.1.3	Sección III	125
2.9.1.4	Sección IV	126
2.9.1.5	Sección V	127
2.9.2	SOFTWARE PERFPRO.....	127
2.9.2.1	Predicción In-Situ del Rendimiento de la Carga.....	127
2.9.3	SOFTWARE WEM	131
2.9.4	SOFTWARE PULSFRAC.....	132
2.9.4.1	Beneficios del Software PulsFrac.....	133
2.9.4.2	Aplicaciones del Software PulsFrac.....	133
2.9.5	SOFTWARE SPAN ROCK.....	133
2.9.5.1	Características del Software SPAN Rock.....	134
CAPÍTULO III		138
ESTUDIO TÉCNICO-COMPARATIVO DE LAS TÉCNOLOGÍAS DE CAÑONEO UTILIZADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA EN BASE A LOS SOFTWARE WEM, PERFPRO, PULSFRAC Y CASOS HISTÓRICOS.		138
3.1	ESTADÍSTICA DE DISPAROS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA.	138
3.1.1	CAÑONEO CON WL Y PROPELENTE	139
3.1.2	CAÑONEO CON TCP Y PROPELENTE.....	139
3.1.3	DISPAROS CON CAÑONES ANCLADOS.....	140
3.2	COMPARACIÓN DE LAS TÉCNOLOGÍAS DE CAÑONEO UTILIZADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA.	141

3.3	SELECCIÓN DE POZOS PARA REALIZAR EL ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA.....	142
3.3.1	POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON LA TECNICA TCP CONVENCIONAL.....	143
3.3.1.1	Pozo YNEA 008 (Arena TP).....	143
3.3.1.1.1	Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA008.....	144
3.3.1.1.2	Producción después del cañoneo Pozo YNEA-008.....	145
3.3.1.1.3	Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-008.....	146
3.3.2	POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON LA TÉCNICA STIMGUN.....	147
3.3.2.1	Pozo YNEA-27 (Arena UI Y TP).....	148
3.3.2.1.1	Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA-27.....	148
3.3.2.1.2	Producción después del cañoneo Pozo YNEA-27.....	150
3.3.2.1.3	Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-27.....	151
3.3.2.2	Pozo YNNA005 (Arena U inferior).....	154
3.3.2.2.1	Simulación del diseño de Propelente con PulsFrac Pozo YNNA-005 Arena “U inferior”.....	154
3.3.2.2.2	Simulación del cañoneo con el Software SpanRock para la Arena U inferior- Pozo YNNA-005.....	156
3.3.2.2.3	Producción después del cañoneo Pozo YNNA-005 Arena U inferior.....	157
3.3.2.2.4	Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA-005-Arena U inferior.....	158
3.3.3	POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON LA TÉCNICA STIMPRO.....	160
3.3.3.1	Pozo YNEA 04 (Arena “UM”).....	161

3.3.3.1.1	Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA04	161
3.3.3.1.2	Simulación del diseño de propelente con el software de disparo PULSFRAC Pozo YNEA04 (Arena “Napo U media”).	162
3.3.3.1.3	Perfil de presión del pozo YNEA04 (Napo U media) con la técnica StimGun.	165
3.3.3.1.4	Producción después del cañoneo Pozo YNEA04 Arena “U media”	165
3.3.3.1.5	Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-04-Arena U media.	166
3.3.3.2	Pozo YNEA029 (Arena “TS”)	168
3.3.3.2.1	Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA029	169
3.3.3.2.2	Producción después del cañoneo Pozo YNEA-029	170
3.3.3.2.3	Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-029.....	170
3.3.3.3	Pozo YNEA-26 (Arena “UI”)	173
3.3.3.3.1	Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA26	173
3.3.3.3.2	Perfiles de presiones del sensor fastgauge pozo YNEA26	174
3.3.3.3.3	Producción después del cañoneo Pozo YNEA-26	177
3.3.3.3.4	Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-26.....	178
3.3.4	POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON LA TÉCNICA SURGEPRO.	180
3.3.4.1	Pozo YNEC-09 (Arena “HS”).....	180
3.3.4.1.1	Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEC09	180
3.3.4.1.2	Producción después del cañoneo Pozo YNEC-09.....	182
3.3.4.1.3	Resultados después del cañoneo en el pozo YNEC-09	183

3.3.4.2	Pozo YNNA-03 (Arena “TP” Y “UI”).....	184
3.3.4.2.1	Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNNA03.....	185
3.3.4.2.2	Producción después del cañoneo Pozo YNNA03.....	187
3.3.4.2.3	Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA03.....	188
3.3.5	POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON CAÑONES ANCLADOS Y TCP, MEDIANTE EL SISTEMA PURE.	191
3.3.5.1	Pozo YNNA-004 (Arena “UI”).....	191
3.3.5.1.1	Simulación del diseño de Propelente con el software PulsFrac Pozo YNNA-004 Arena “U inferior”	192
3.3.5.1.2	Simulación del cañoneo con el Software SpanRock Pozo YNNA-004 Arena “U inferior”	198
3.3.5.1.3	Producción después del cañoneo Pozo YNNA004	202
3.3.5.1.4	Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA04 Arena U inferior.....	203
3.3.5.2	Pozo YNNA-005 (Arena “TP”).....	205
3.3.5.2.1	Simulación con el software Span mediante el sistema Pure para el diseño del cañoneo Pozo YNNA-005 Arena “T p”	206
3.3.5.2.2	Producción después del cañoneo Pozo YNNA005.....	207
3.3.5.2.3	Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA-005	208
3.3.5.2.4	Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA-005	210
3.4	RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA	211
CAPÍTULO IV		214
ANÁLISIS TÉCNICO PARA DETERMINAR LA MEJOR ALTERNATIVA DE CAÑONEO PARA POZOS NUEVOS DEL COMPLEJO YANAQUINCHA.....		214
4.1	ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ARENA U INFERIOR.....	214
4.1.1	ANÁLISIS A PARTIR DEL INDICE DE PRODUCTIVIDAD (IP)	215

4.1.2	ANÁLISIS A PARTIR DE LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD (PR)	215
4.1.2.1	Relación de Productividad (PR)	215
4.2	ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ARENA U MEDIA	217
4.2.1	ANÁLISIS A PARTIR DEL INDICE DE PRODUCTIVIDAD (IP)	218
4.2.2	ANÁLISIS A PARTIR DE LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD (PR)	219
4.3	ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ARENA U SUPERIOR	221
4.4	ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ARENA TP	221
4.4.1	ANÁLISIS A PARTIR DEL INDICE DE PRODUCTIVIDAD (IP)	222
4.4.2	ANÁLISIS A PARTIR DE LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD (PR)	222
CAPÍTULO V		225
ESTUDIO ECONÓMICO		225
5.1	INTRODUCCIÓN	225
5.2	ESTUDIO ECONÓMICO DE LAS TÉCNICAS DE CAÑONEO	225
5.2.1	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	226
5.2.1.1	Interpretación del Valor Actual Neto	226
5.2.2	FLUJO NETO DE CAJA	227
5.2.3	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	227
5.2.4	RELACIÓN COSTO/BENEFICIO (R C/B) DEL PROYECTO	228
5.2.4.1	Criterios de decisión mediante R C/B	228
5.2.5	PARAMETROS ECÓNICOS A CONSIDERAR	229
5.2.6	INGRESOS DEL PROYECTO	229
5.2.7	EGRESOS DEL PROYECTO	230
5.2.8	RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA REALIZADA A LAS TÉCNOLOGÍAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA	232
5.2.8.1	Análisis del escenario pesimista (\$50 el valor de cada barril)	232
5.2.8.2	Análisis del escenario optimista (\$100 el valor de cada barril)	233

5.2.8.3 Comparación de los resultados obtenidos en los dos escenarios económicos.....	233
CAPÍTULO VI	236
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	236
6.1 CONCLUSIONES	236
6.2 RECOMENDACIONES	237
SIMBOLOGÍA	239
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	242
ANEXOS	244

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 PROPIEDADES PETROFÍSICAS DEL COMPLEJO YANAQUINCHA	245
ANEXO 2 DIAGRAMA DE CAÑONEO CON TCP CONVENCIONAL POZO YNEA 008 ARENA “Ui y TP”	249
ANEXO 3 DIAGRAMA DE CAÑONEO CON STINGUN POZO YNEA-27 ARENA UI	250
ANEXO 4 DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN DEL POZO YNEA04	252
ANEXO 5 DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN Y DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNEA-029.....	255
ANEXO 6 DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN Y DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNEA-029.....	256
ANEXO 7 DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN Y DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNEA26	257
ANEXO 8 ESQUEMA MECÁNCO, GUN DIAGRAM SHEET, STRING DIAGRAM DEL POZO YNNA-004.....	259
ANEXO 9 ESQUEMA MECÁNCO, GUN DIAGRAM SHEET, STRING DIAGRAM DEL POZO YNNA-005.....	260
ANEXO 10 ESQUEMA MECÁNCO, DIAGRAMA DE HERRAMIENTAS DE CAÑONEO POZO YNNA03.....	264
ANEXO 11 RESULTADOS DE LA EVALUCIÓN DEL PROYECTO MEDIANTE INDICADORES VAN, TIR, R B/C DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE CAÑONEO PARA LOS ESCENARIOS ECONOMICOS EVALUADOS.....	266

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

FIGURA 1. 1 MAPA DE UBICACIÓN DEL COMPLEJO YANAQUINCHA	34
FIGURA 1. 2 MAPA ESTRUCTURAL DEL COMPLEJO YANAQUINCHA	35
FIGURA 1. 3 MAPA AL TOPE DE “U INFERIOR”	36
FIGURA 1. 4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA DEL BLOQUE 15	37
FIGURA 1. 5 CONFIGURACIONES BES DEL COMPLEJO YANAQUINCHA.	42

CAPÍTULO II

FIGURA 2. 1 COMUNICACIÓN YACIMIENTO-POZO A TRAVES DE LOS DISPAROS.....	44
FIGURA 2. 2 DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO	45
FIGURA 2. 3 PARTES DE UN CAÑÓN	46
FIGURA 2. 4 DETONADOR ELÉCTRICO.....	47
FIGURA 2. 5 DETONADOR DE PERCUSIÓN.....	48
FIGURA 2. 6 CORDÓN DETONANTE	48
FIGURA 2. 7 PARTES DE UNA CARGA MOLDEADA	49
FIGURA 2. 8 LIMITES OPERACIONALES DE LOS EXPLOSIVOS	51
FIGURA 2. 9 GEOMETRÍA DEL LINER.....	52
FIGURA 2. 10: ACTIVACIÓN DE LA CARGA	53
FIGURA 2. 11 COMPORTAMIENTO DE LA PRESIÓN CUANDO EL FLUIDO VIAJA DEL RESERVORIO AL POZO	54
FIGURA 2. 12 POSICIÓN DEL CAÑÓN EN EL POZO	56
FIGURA 2. 13 EFECTO CUALITATIVO DE CLERANCE EN LA PROFUNDIDA DE PENETRACIÓN	57
FIGURA 2. 14 EFECTO DE LA HOLGURA DEL CAÑÓN EN EL DIÁMETRO DEL PERFORADO PARA UNA CARGA BIG HOLE.....	58
FIGURA 2. 15 FACTORES GEOMÉTRICOS.....	58
FIGURA 2. 16 EFECTO DE LA FASE Y DENSIDAD DE DISPAROS EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD	59

FIGURA 2. 17 EFECTOS DEL ÁNGULO DE FASE Y LA ANISOTROPÍA EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD	59
FIGURA 2. 18 EFECTOS DEL DIÁMETRO DE PERFORACIÓN EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD	60
FIGURA 2. 19 EFECTOS DE LA ANISOTRÓPICA EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD	61
FIGURA 2. 20 CAÑONEO SOBRE BALANCE.....	63
FIGURA 2. 21 BAJO BALANCE TOTAL - G. KING (1985)	65
FIGURA 2. 22 GRÁFICO DE DATOS DE DENSIDAD	65
FIGURA 2. 23 GRÁFICO DE DATOS ACÚSTICOS	66
FIGURA 2. 24 SISTEMA DE CAÑONEO CON BAJO BALANCE DINÁMICO	67
FIGURA 2. 25 PERFIL DE PRESIONES CON BAJO BALANCE DINAMICO, DE UNA CONDICIÓN INICIAL DE SOBREALANCE ESTÁTICO.....	68
FIGURA 2. 26 PERFIL DE PRESIONES CON BAJO BALANCE DINAMICO, CON UNA CONDICIÓN INICIAL DE BAJO BALANCE ESTÁTICO.....	69
FIGURA 2. 27 CAÑONEO CON SOBREALANCE EXTREMO	70
FIGURA 2. 28 MÉTODOS DE CAÑONEO EN SOBREALANCE EXTREMO	71
FIGURA 2. 29 CAÑONEO CONVENCIONAL Y CAÑONEO EN SOBREALANCE	71
FIGURA 2. 30 DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN EN UN RESERVORIO CON DAÑO O SKIN.....	73
FIGURA 2. 31 ESQUEMA POZO DESVIADO	73
FIGURA 2. 32 EFECTOS POR PENETRACIÓN PARCIAL	75
FIGURA 2. 33 RELACIÓN DE DAÑO POR PENETRACIÓN PARCIAL POR BRONS Y MARTING	76
FIGURA 2. 34 PARÁMETROS DEL MODELO POR PENETRACIÓN PARCIAL DE ODEH.....	77
FIGURA 2. 35 GEOMETRÍA DE UNA PERFORADO	78
FIGURA 2. 36 EFECTO DEL DAÑO DE PERFORACIÓN EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD	81
FIGURA 2. 37 EFECTO DEL DAÑO POR CAÑONEO EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD	82

FIGURA 2. 38 EFECTO DEL DAÑO EN LOS PERFORADOS EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD	83
FIGURA 2. 39 REDUCCIÓN DEL DAÑO EN LOS PERFORADOS INCREMENTANDO LA DENSIDAD DE DISPAROS	84
FIGURA 2. 40 CAÑONES TRANSPORTADOS CON SLICKLINE	85
FIGURA 2. 41 CAÑONES TRANSPORTADOS A TRAVÉS DEL TUBING	86
FIGURA 2. 42 ESQUEMA DE CAÑONEO CON TCP	87
FIGURA 2. 43 SECUENCIA OPERACIONAL DE LOS CAÑONES ANCLADOS	94
FIGURA 2. 44 DIAGRAMA DE CAÑONEO CON MAXR	95
FIGURA 2. 45 PERFIL DE PRESIÓN POZO “E” ARENA U INFEROR - DIPARO CON MAX-R PURE.....	99
FIGURA 2. 46 DETONACIÓN DE LAS CARGAS-SISTEMA PURE	100
FIGURA 2. 47 BAJO BALANCE DINÁMICO E INFLUJO-SISTEMA PURE.....	101
FIGURA 2. 48 LIMPIEZA DE LOS PERFORADOS-SISTEMA PURE.....	101
FIGURA 2. 49 CAÑONES CON SISTEMA PURE.....	102
FIGURA 2. 50 CAÑONEO CON PROPELENTE.....	103
FIGURA 2. 51 DISPARO CON CAMISAS DE PROPELENTE.....	104
FIGURA 2. 52 ENSAMBLAJE STIMGUN.....	106
FIGURA 2. 53 PERFIL DE PRESIÓN DE CAÑONEO CON TCP-STIMGUN.....	107
FIGURA 2. 54 PROCESO PERFSTIM.....	108
FIGURA 2. 55 ENSAMBLAJE STIMTUBE	110
FIGURA 2. 56 ENSAMBLAJE POWR PERF.....	112
FIGURA 2. 57 ENSAMBLE CON CONECTOR SURGE PRO.....	114
FIGURA 2. 58 ENSAMBLAJE CON SURGE PRO.....	115
FIGURA 2. 59 CAÑON VACIO SURGE PRO	115
FIGURA 2. 60 PROCEDIMIENTO DE CARGA DEL CAÑÓN	116
FIGURA 2. 61 MATERIAL ACUMULADO EN LA CAMARA SURGE PRO	116
FIGURA 2. 62 COMBINACIÓN DE SOBRE BALANCE Y BAJO BALANCE DINÁMICOS (STIMPRO).....	117
FIGURA 2. 63 ENSAMBLAJE STIMPRO	118
FIGURA 2. 64 ENSAMBLAJE DE BAJO BALANCE DINAMICO CON MANGAS DE PROPELENTE EN CAÑONES DE DISPAROS (PERFORATOR GUNS).	120

FIGURA 2. 65 FAST GAUGE RECORDER	120
FIGURA 2. 66 PERFIL DE PRESIÓN CON PROPELENTE	122
FIGURA 2. 67 PERFIL DE PRESIÓN CON PROPELENTE TÉCNICA DE CAÑONEO STIMPRO.....	123
FIGURA 2. 68 PRUEBA DE LA SECCIÓN I-NORMA API 19B.....	124
FIGURA 2. 69 PRUEBA DE LA SECCIÓN II-NORMA API 19B.....	125
FIGURA 2. 70 PRUEBA DE LA SECCIÓN III-NORMA API 19B.....	126
FIGURA 2. 71 PRUEBA DE LA SECCIÓN IV-NORMA API 19B.....	127
FIGURA 2. 72: API RP-19B Sección I.....	128
FIGURA 2. 73 PROCESO PERFFPRO.....	128
FIGURA 2. 74 REPORTE DEL RENDIMIENTO DE LA CARGA.....	129
FIGURA 2. 75 RESULTADOS DEL PROCESO PERFFPRO.....	130
FIGURA 2. 76 RESULTADOS DEL PROCESO WEM	131
FIGURA 2. 77 RESULTADOS SOFTWARE PULSFRAC	132
FIGURA 2. 78 RESULTADOS DEL SOFTWARE SPAN-Rock	134
FIGURA 2. 79 COEFICIENTE DE CARGA EXPONENCIAL.....	137

CAPÍTULO III

FIGURA 3. 1 TOTAL DE DISPAROS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA.....	138
FIGURA 3. 2 COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGIAS DE CAÑONEO EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA	142
FIGURA 3. 3 IPR DE LA ARENA “T” POZO YNEA 008.....	144
FIGURA 3. 4 IPR ARENA “TP” POZO YNEA-008.....	146
FIGURA 3. 5 RESULTADOS CON TCP CONVENCIONAL POZO YNEA-008..	147
FIGURA 3. 6 IPR DEL POZO YNEA-27 “ARENA U INFERIOR”.....	149
FIGURA 3. 7 IPR DEL POZO YNEA-27 “ARENA T PRINCIPAL”	149
FIGURA 3. 8 IPR CON STIMGUN POZO YNEA-27 “ARENA U INFERIOR”	152
FIGURA 3. 9 IPR CON STIMGUN POZO YNEA-27 “ARENA T PRINCIPAL”....	152
FIGURA 3. 10 RESULTADOS CON STIMGUN POZO YNEA-27	153
FIGURA 3. 11 ARENA U INFERIOR POZO YNNA-005.....	154
FIGURA 3. 12 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PULSFRAC PARA LA ARENA U INFERIOR POZO YNNA-005	155

FIGURA 3. 13 RESULTADOS CON EL SOFTWARE PULSFRAC DE LA TENSIÓN/ COMPRESIÓN POZO YNNA-005.....	156
FIGURA 3. 14 IPR ESTIMADO CON SPANROCK ARENA UI-POZO YNNA-005	157
FIGURA 3. 15 IPR CON STIMGUN POZO YNNA-005 “ARENA U INFERIOR” .	159
FIGURA 3. 16 RESULTADOS CON STIMGUN POZO YNNA-005 ARENA U INFERIOR.....	160
FIGURA 3. 17 ARENA PRODUCTORA “U MEDIA” POZO YNEA04	161
FIGURA 3. 18 IPR DEL POZO YNEA04 (ARENA UM).....	162
FIGURA 3. 19 SIMULACIÓN PULSFRAC DEL POZO YNEA04 (ARENA U MEDIA)	163
FIGURA 3. 20 DIAGRAMA DEL POZO YNEA04 (SOFTWARE DE DISPARO PULSFRAC).....	164
FIGURA 3. 21 PERFIL DE PRESIÓN DEL POZO YNEA04 NAPO U MEDIA....	165
FIGURA 3. 22 IPR CON STIMPRO POZO YNEA04 “ARENA U MEDIA”	167
FIGURA 3. 23 RESULTADOS CON STIMPRO POZO YNEA-04 ARENA U MEDIA	168
FIGURA 3. 24 ARENA “T SUPERIOR” POZO YNEA029	168
FIGURA 3. 25 IPR ESTIMADO CON STIMPRO POZO YNEA-029 “ARENA T SUPERIOR”	169
FIGURA 3. 26 IPR DEL POZO YNEA-29 ARENA T SUPERIOR.....	171
FIGURA 3. 27 RESULTADOS CON STIMPRO POZO YNEA-029	172
FIGURA 3. 28 ARENA PRODUCTORA U INFERIOR POZO YNEA26.....	173
FIGURA 3. 29 PERFIL COMPLETO DE MUESTREO DEL SENSOR FAST GAUGE POZO YNEA 26	175
FIGURA 3. 30 INMERSIÓN DE SENSOR FASTGAUGE CONTRA EL FLUIDO Y PRESIÓN HIDROSTÁTICA	175
FIGURA 3. 31 EVENTO DE DETONACIÓN Y PICO DE PRESIÓN GENERADO POR EL JET DE LAS CARGAS.....	176
FIGURA 3. 32 PRESIÓN DE ECUALIZACIÓN CON LA HIDROSTÁTICA DEL POZO YNEA-26	176
FIGURA 3. 33 IPR ESTIMADO CON STIMPRO POZO YNEA-026 “ARENA U INFERIOR”.....	178

FIGURA 3. 34 RESULTADOS CON STIMPRO POZO YNEA-026	179
FIGURA 3. 35 IPR DEL POZO YNEC09 (ARENA HS)	181
FIGURA 3. 36 IPR ESTIMADO CON SURGPRO PARA POZO YNEC-09 “ARENA HOLLÍN SUPERIOR”	183
FIGURA 3. 37 RESULTADOS CON SURGEPRO POZO YNEC-09	184
FIGURA 3. 38 IPR DEL POZO YNNA03 (ARENA U INFERIOR).....	186
FIGURA 3. 39 IPR DEL POZO YNNA03 (ARENA TP).....	186
FIGURA 3. 40 IPR ARENA UI POZO YNNA03	189
FIGURA 3. 41 IPR ARENA TP POZO YNNA03	190
FIGURA 3. 42 RESULTADOS CON SURGEPRO POZO YNNA03	191
FIGURA 3. 43 ARENA U INFERIOR POZO YNNA004	192
FIGURA 3. 44 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PULSFRAC PARA EL INTERVALO 1 DE LA ARENA U INFERIOR POZO YNNA-004 .	193
FIGURA 3. 45 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PULSFRAC PARA EL INTERVALO 2 DE LA ARENA U INFERIOR POZO YNNA-004 .	194
FIGURA 3. 46 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PULSFRAC PARA EL INTERVALO 3 DE LA ARENA U INFERIOR POZO YNNA-004 .	195
FIGURA 3. 47 MÁXIMA PRESIÓN ALREDEDOR DE LA BOMBA ESP PARA EL POZO YNNA-004	196
FIGURA 3. 48 TENSIÓN/COMPRESIÓN AL DISPARA CON PROPELENTE POZO YNNA-004	197
FIGURA 3. 49 PRESIÓN DIFERENCIAL ALREDEDOR DEL PACKER POZO YNNA004	198
FIGURA 3. 50 IPR YNNA004 ARENA “UI” INTERVALO 1.....	199
FIGURA 3. 51 IPR YNNA004 ARENA “UI” INTERVALO 2.....	200
FIGURA 3. 52 IPR YNNA004 ARENA “UI” INTERVALO 3.....	201
FIGURA 3. 53 IPR ESTIMADO CON PURE MAXR PARA POZO YNNA-004 “ARENA U INFERIOR”	204
FIGURA 3. 54 RESULTADOS CON PURE MAXR POZO YNNA004	205
FIGURA 3. 55 ARENA T PRINCIPAL POZO YNNA-005	205
FIGURA 3. 56 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PURE PARA EL POZO YNNA-005 ARENA TP	206

FIGURA 3. 57 IPR SIMULADO CON SPANROCK POZO YNNA005 –ARENA T PRINCIPAL	207
FIGURA 3. 58 IPR ESTIMADO PARA LA “ARENA TP” POZO YNNA-005.....	209
FIGURA 3. 59 RESULTADOS CON TCP PURE POZO YNNA005.....	210
FIGURA 3. 60 DATOS DE PRESIÓN DEL POZO YNNA 005.....	210

CAPÍTULO IV

FIGURA 4. 1 IP OBTENIDO DESPUES DEL CAÑONEO A LA ARENA U INFERIOR “COMPLEJO YANAQUINCHA”	215
FIGURA 4. 2 DAÑO POR CAÑONEO VS TÉCNICA DE DISPARO ARENA “U INFERIOR” - COMPLEJO YANAQUINCHA.....	216
FIGURA 4. 3 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD VS TÉCNICA DE DISPARO..	217
FIGURA 4. 4 IP OBTENIDO DESPUES DEL CAÑONEO A LA ARENA U MEDIA “COMPLEJO YANAQUINCHA”	219
FIGURA 4. 5 DAÑO POR CAÑONEO VS TÉCNICA DE DISPARO ARENA “U MEDIA” - COMPLEJO YANAQUINCHA.....	220
FIGURA 4. 6 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD VS TÉCNICA DE DISPARO..	220
FIGURA 4. 7 IP OBTENIDO DESPUES DEL CAÑONEO A LA ARENA TP “COMPLEJO YANAQUINCHA”	222
FIGURA 4. 8 DAÑO POR CAÑONEO VS TÉCNICA DE DISPARO ARENA “TP” - COMPLEJO YANAQUINCHA	223
FIGURA 4. 9 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD VS TÉCNICA DE DISPARO.	223
FIGURA 4. 10 FLUIDOS DE CONTROL EN OPERACIONES DE CAÑONEO..	224

CAPÍTULO V

FIGURA 5. 1 COSTO POR CAÑONEO DE LAS TÉCNICAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA	231
FIGURA 5. 2 COMPARACIÓN DEL VAN VS TÉCNICA DE CAÑONEO PARA LOS ESCENARIOS ECONÓMICOS	234
FIGURA 5. 3 COMPARACIÓN TIR VS TÉCNICA DE CAÑONEO PARA LOS ESCENARIOS ECONÓMICOS	234
FIGURA 5. 4 COMPARACIÓN R/B/C VS TÉCNICA DE CAÑONEO PARA LOS ESCENARIOS ECONÓMICOS	235

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

TABLA 1. 1 PROPIEDADES PETROFÍSICAS DEL COMPLEJO YANAQUINCHA	40
TABLA 1. 2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PVT.....	40
TABLA 1. 3 PRESIONES Y MECANISMOS DE PRODUCCIÓN PARA LOS CAMPOS: YANAQUINCHA ESTE, AGUAJAL Y YANAQUINCHA OESTE	41
TABLA 1. 4 RESERVAS DEL COMPLEJO YANAQUINCHA.....	43

CAPÍTULO II

TABLA 2. 1 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE BAJO BALANCE.....	64
TABLA 2. 2 PARÁMETROS PARA EL MODELO DE KARAKAS Y TARIQ	78
TABLA 2. 3 PARÁMETROS DEL MODELO DE KARAKAS Y TARIQ	79
TABLA 2. 4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE CAÑONEO	93

CAPÍTULO III

TABLA 3. 1 CAÑONEO CON WL Y PROPELENTE EN COMPLEJO YANAQUINCHA	139
TABLA 3. 2 CAÑONEO CON TCP Y PROPELENTE EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA	140
TABLA 3. 3 DISPAROS CON CAÑONES ANCLADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA	141
TABLA 3. 4 POZOS CAÑONEADOS CON TCP CONVENCIONAL	143
TABLA 3. 5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA008	144
TABLA 3. 6 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNEA-008 “ARENA TP” ...	145

TABLA 3. 7 DATOS DE RESERVORIO ARENA “TP” - POZO YNEA-008	146
TABLA 3. 8 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA-008	147
TABLA 3. 9 POZOS CAÑONEADOS CON STIMGUN.....	148
TABLA 3. 10 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA-27	148
TABLA 3. 11 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNEA-27 “ARENA UI”.....	150
TABLA 3. 12 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNEA-27 “ARENA TP”....	151
TABLA 3. 13 DATOS DE RESERVORIO ARENA “TP” Y “UI”- POZO YNEA-27	151
TABLA 3. 14 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA-27	153
TABLA 3. 15 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-005 (ARENA “U INFERIOR”).....	156
TABLA 3. 16 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNNA05 “ARENA U INFERIOR”	158
TABLA 3. 17 DATOS DE RESERVORIO ARENA “UI” POZO YNNA-005	158
TABLA 3. 18 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNNA- 005	159
TABLA 3. 19 POZOS CAÑONEADOS CON STIMPRO	160
TABLA 3. 20 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA04 (ARENA UM).....	162
TABLA 3. 21 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNEA04 “ARENA U MEDIA”	166
TABLA 3. 22 DATOS DE RESERVORIO ARENA “U MEDIA”- POZO YNEA04	166
TABLA 3. 23 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA04 ARENA “U MEDIA”.....	167
TABLA 3. 24 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA29 (ARENA T SUPERIOR)	169
TABLA 3. 25 DATOS DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNEA029.....	170
TABLA 3. 26 DATOS DE RESERVORIO ARENA “TS”- POZO YNEA-029	171
TABLA 3. 27 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA- 029	172

TABLA 3. 28 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA26 (ARENA U INFERIOR).....	174
TABLA 3. 29 DATOS DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNEA26 “ARENA U INFERIOR”	177
TABLA 3. 30 DATOS PARA EL CÁLCULO DEL IPR ESTIMADO POZO YNEA-26	178
TABLA 3. 31 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA- 026	179
TABLA 3. 32 POZOS CAÑONEADOS CON TCP CONVENCIONAL	180
TABLA 3. 33 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEC09 (ARENA “HOLLÍN SUPERIOR”)	181
TABLA 3. 34 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNEC09	182
TABLA 3. 35 DATOS DEL IPR ESTIMADO PARA EL POZO YNEC-09 “ARENA H SUPERIOR”	183
TABLA 3. 36 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEC-09	184
TABLA 3. 37 RESULTADOS DEL CAÑONEO CON PERFPRO EN EL POZO YNNA03 (ARENA “U INFERIOR”)	185
TABLA 3. 38 RESULTADOS DEL CAÑONEO CON PERFPRO EN EL POZO YNNA03 (ARENA “TP”).....	185
TABLA 3. 39 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNNA03 – ARENA U INFERIOR.....	187
TABLA 3. 40 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNNA03 – ARENA TP	188
TABLA 3. 41 DATOS DE RESERVOIRIO ARENA “TP” Y “UI”- POZO YNNA03	189
TABLA 3. 42 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA-03	190
TABLA 3. 43 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-004 (TOP ARENA “U INFERIOR”).....	199
TABLA 3. 44 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-004 (INTERVALO 2 ARENA “U INFERIOR”)200	
TABLA 3. 45 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-004 (INTERVALO 3 ARENA “U INFERIOR”)201	

TABLA 3. 46 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNNA004- ARENA U INFERIOR	202
TABLA 3. 47 DATOS DE RESERVORIO ARENA “UI”- POZO YNNA04	203
TABLA 3. 48 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNNA-004	204
TABLA 3. 49 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-005 (ARENA “TP”)	206
TABLA 3. 50 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNNA005	208
TABLA 3. 51 DATOS PARA EL CÁLCULO DEL IPR DE LA ARENA “T PRINCIPAL”	208
TABLA 3. 52 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNNA-005	209
TABLA 3. 53 RESULTADOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA	211

CAPÍTULO IV

TABLA 4. 1 DISPAROS REALIZADOS A LA ARENA U INFERIOR	214
TABLA 4. 2 DISPAROS REALIZADOS A LA ARENA U MEDIA “COMPLEJO YANAQUINCHA”	218
TABLA 4. 3 DISPAROS REALIZADOS A LA ARENA T “COMPLEJO YANAQUINCHA”	221

CAPÍTULO V

TABLA 5. 1 INTERPRETACIÓN DEL VALOR ACTUAL NETO	227
TABLA 5. 2 CRITERIOS DE DECISIÓN MEDIANTE R C/B	228
TABLA 5. 3 COSTOS PRODUCIDOS EN LAS OPERACIONES DE CAÑONEO	231
TABLA 5. 4 RESULTADOS ECONÓMICOS ESCENARIO PESIMISTA \$50 PRECIO DEL BARRIL.....	232
TABLA 5. 5 RESULTADOS ECONÓMICOS ESCENARIO OPTIMISTA \$100 PRECIO DEL BARRIL.....	233

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL COMPLEJO YANAQUINCHA

1.1 BREVE RESEÑA HISTÓRICA

En 1985 a la empresa “Occidental Exploration and Production Company (OEPC)” se le adjudicó el Bloque 15. Los trabajos de perforación exploratoria realizados por la empresa OEPC tuvieron inicio con el pozo “Palmeras 1” y sin ningún resultado favorable. Luego se perforó el Pozo “Indillana – Itaya 1”, con el que se inició el Complejo Indillana. En 1996, se perforó el pozo exploratorio “Edén 1” al noroeste del campo Yuturi, ya descubierto en 1972. En el año 1998 se realizó nuevamente la perforación exploratoria y se conformó el Complejo Yanaquincha.

En el año 1998 son identificadas mediante sísmica 2D las estructuras del Complejo Yanaquincha por la compañía Occidental, operadora en ese entonces del Bloque 15. En el año 2001 con la adquisición de sísmica 3D se define mejor la estructura en la zona. En octubre del 2002 se perforó el primer pozo exploratorio, el pozo Yanaquincha Este A1, que llegó a una profundidad de 10.479 ft (TVD), se instaló tubería de revestimiento y se cerró el pozo para posteriores pruebas de evaluación.

Luego en noviembre del 2002 se perforó el pozo Yanaquincha Este A2 llegando a una profundidad de 10.256 ft (TVD) y finalmente en diciembre del 2002 se perforó el pozo Yanaquincha Oeste A1 a una profundidad de 10.147 ft (TVD), determinándose así los yacimientos de mejor potencial productivo, “U” Inferior y “T” principal; además forman parte del área, los Yacimientos “U” Media, “T” Superior” y Hollín siendo estas de bajo potencial productivo. El 21 de Julio del 2003 se aprueba el plan de desarrollo del Complejo Yanaquincha por el entonces Ministerio de Energía y Minas y, a partir de ese mes el Complejo inicia su producción con el pozo Yanaquincha Oeste A-01 y con el pozo Yanaquincha Este-A01, ambos de la arena “U” Inferior.

La interpretación inicial del Complejo Yanaquincha que se basó en la sísmica 3D realizada en el año 2001, no cubría todo el Complejo Yanaquincha, razón por la que se hicieron nuevas adquisiciones sísmicas 3D en el año 2008 en la parte nor-este de la sísmica 3D inicial: Yanaquincha Norte y Limoncocha Este. La presencia de varios surveys dificultó la interpretación, principalmente en los extremos de los mismos, por lo cual PAM decidió realizar una fusión de las áreas antes mencionadas, utilizando nuevas tecnologías de reprocesamiento. Esto permitió mejorar la resolución vertical y obtener toda la información necesaria para poder realizar la inversión sísmica pres-stack.

En el 2011 PAM realizó el procesamiento sísmico (Merge) a través de la Cía. Seisexpo Geophysics Inc. LandOcean, con el cual se confirmó la existencia de un alto estructural en la parte norte de Yanaquincha Oeste, por lo cual se decidió perforar el pozo Yanaquincha Norte A-001 (YNNA-001), encontrando hidrocarburo en los reservorios U media, U inferior y T principal. Dentro de los entregables del re-procesamiento sísmico, se obtuvo toda la información necesaria para realizar la inversión sísmica pre-stack, la misma que fue realizada por PAM a través de la Cía. LandOcean, desde diciembre del 2011 a mayo del 2012.

En diciembre del 2012 se aprueba un nuevo plan de desarrollo del Complejo Yanaquincha, en esta reforma se contempla el desarrollo de la estructura Yanaquincha Norte, además de la perforación de 19 pozos Infill en Yanaquincha Este/Aguajal y Yanaquincha Norte en el período 2012 – 2014.

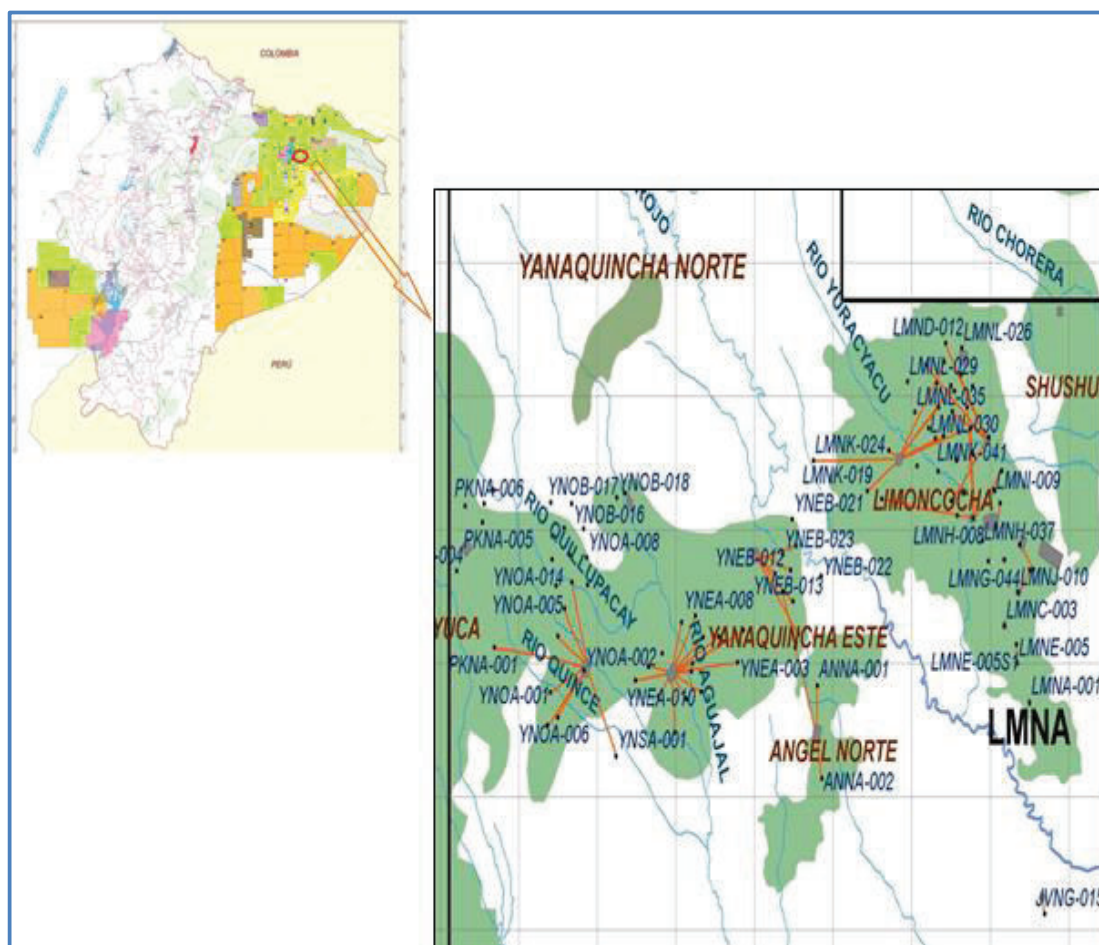
El Bloque 15, actualmente es operado por Petroamazonas EP y en él se encuentran: el Complejo Yanaquincha, Campo Limoncocha, Complejo Indillana, Campo Paka Sur, Campo Paka Norte, Campo Palmar Oeste, Palmar Norte, Campo Pañayacu y Campo Tuich. En el cual el Complejo Yanaquincha aporta con una producción diaria de aproximadamente 8600 BPPD.

1.2 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El Complejo Yanaquincha se encuentra localizado en la provincia de Orellana, al oeste del Bloque 15, comprende cuatro estructuras principales conocidas como: Yanaquincha Oeste, Yanaquincha Este, Yanaquincha Norte y Aguajal.

Los Límites del Complejo Yanaquincha son los siguientes: por el Norte con el límite del bloque 15, por el sur con el Campo Paka Sur, al este con el campo Limoncocha, y al Oeste con el campo Paka Norte (figura 1.1)

FIGURA 1. 1 MAPA DE UBICACIÓN DEL COMPLEJO YANAQUINCHA



Fuente: Petroamazonas EP, Plan de desarrollo Complejo Yanaquincha 2012, Activo Indillana.

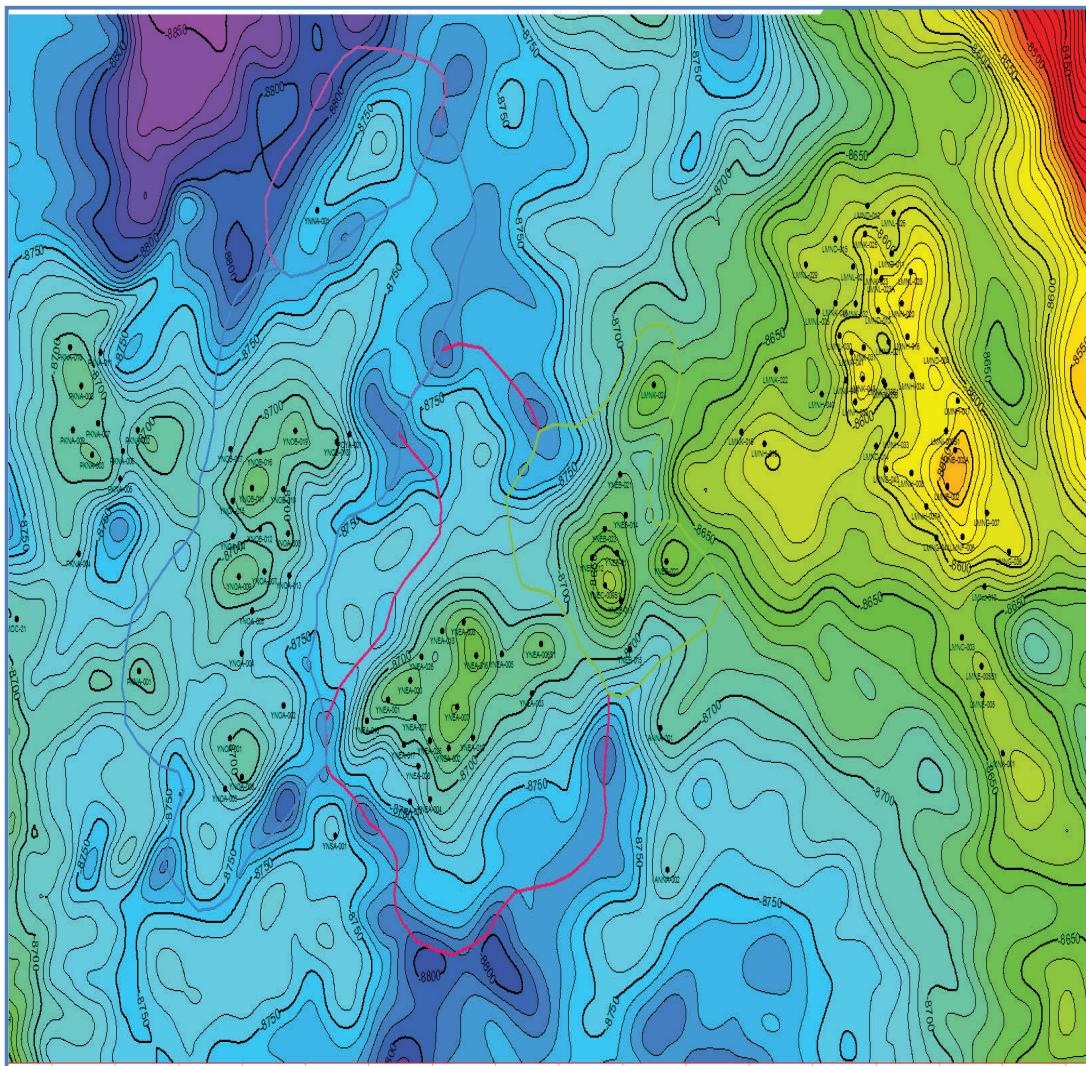
1.3 GEOLOGÍA

1.3.1 ESTRUCTURA

Cada una de las estructuras que forman parte del Complejo Yanaquincha: Yanaquincha Oeste, Yanaquincha Norte, Yanaquincha Este y Aguajal, presentan una orientación Suroeste (SO)-Noreste (NE).

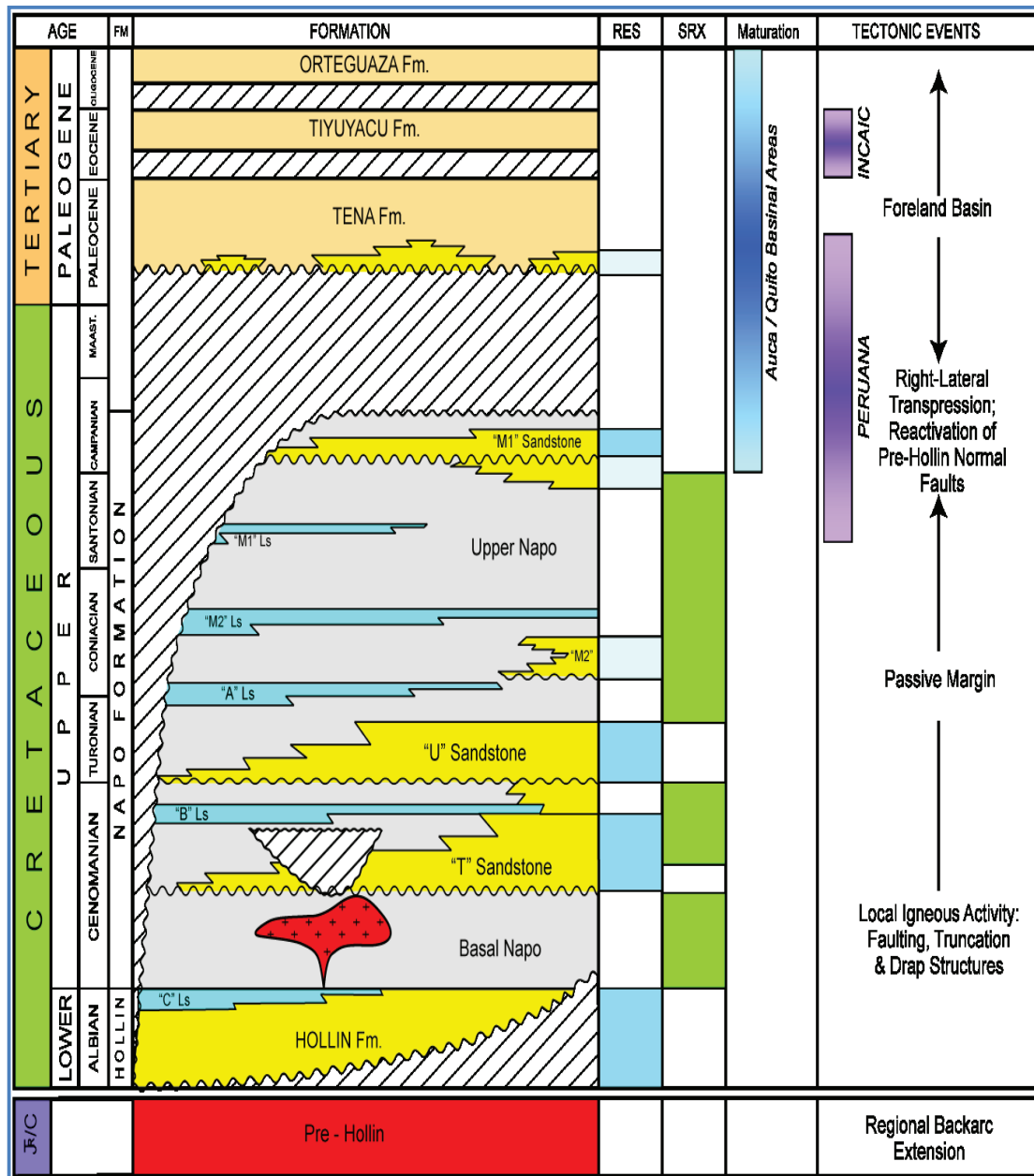
La figura 1.2 muestra el mapa estructural del Complejo Yanaquincha.

FIGURA 1. 2 MAPA ESTRUCTURAL DEL COMPLEJO YANAQUINCHA



Fuente: Petroamazonas EP, Plan de desarrollo Complejo Yanaquincha 2012, Activo Indillana.

FIGURA 1. 4 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA DEL BLOQUE 15



Fuente: Petroamazonas EP, Plan de desarrollo Complejo Yanaquincha 2012, Activo Indillana.

Para describir la litología del Complejo Yanaquincha se tomó como base la Litología del Pozo Yanaquincha Oeste 15.

1.3.2.1 Formación Napo

1.3.2.1.1 Arenisca "U"

Este estrato contiene areniscas, con intercalaciones de lutita. La arenisca "U" se la ha dividido en tres:

- Arenisca "U Superior"

Está constituida por una arenisca de color blanco a gris, de grano fino a medio, subredondeada a redondeada, de moderada selección, matriz caolinítica, cemento calcáreo, con inclusiones de glauconita. Sin manifestaciones de hidrocarburo.

La arenisca "U superior" posee intercalaciones de lutita gris oscura a negra, moderadamente dura, laminar con inclusiones de micro mica.

- Arenisca "U" Media

Está constituida por arenisca café claro, blanca, translúcida a transparente, de grano fino a medio, cuarzosa, subangular a redondeada, moderada selección. Tiene una pobre manifestación de hidrocarburos. La arenisca "U media" posee intercalaciones de lutita y caliza al tope y base de la misma.

- Arenisca "U" Inferior

Compuesta por arenisca de color café claro, blanca, translúcida a transparente, de grano fino a medio, cuarzosa, subangular a redondeada.

Manifestación de hidrocarburo del 10 al 20% de la muestra. La arena posee intercalaciones finas de lutita.

1.3.2.1.2 Arenisca "T"

Está constituida por areniscas con intercalaciones de lutita y caliza, la Arenisca "T" se ha dividido en dos miembros.

- Arenisca “T” Superior

La Arenisca “T” Superior presenta un color gris claro, blanca translúcida a transparente, grano fino a muy fino, cuarzosa, subangular a redondeada, moderada selección, cemento calcáreo, matriz agilácea. Pobre manifestación de hidrocarburos. La arenisca presenta intercalaciones de lutita y un nivel de caliza hacia el tope.

- Arenisca “T” Principal

Contiene arenisca de color blanca a café claro, de grano medio a fino, cuarzosa, subangular a redondeada, matriz caolinítica. Presencia de hidrocarburo residual. La arenisca presenta delgadas intercalaciones de lutitas.

1.4 PETROFÍSICA Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

Los principales Yacimientos productores del Complejo Yanaquincha son:

- Yacimiento “U” Inferior
- Yacimiento “T” Principal

Y los Yacimientos secundarios son:

- Yacimiento “U” Media
- Yacimiento “T” Superior
- Yacimiento Hollín Superior

1.4.1 PROPIEDADES PETROFÍSICAS

Las propiedades petrofísicas del Complejo Yanaquincha fueron determinadas sobre la base del análisis de los registros eléctricos de pozos perforados y mediante el software Interactive Petrophysics.

La tabla 1.1 muestra las propiedades petrofísicas por arenas del Complejo Yanaquincha.

1.4.2 CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS (PVT)

Para caracterizar a los fluidos de los Yacimientos se tomaron 5 muestras de las diferentes arenas de producción del Complejo Yanaquincha.

Los resultados de los análisis de Presión, Volumen y Temperatura de las muestras tomadas se detallan en la tabla 1.2.

TABLA 1. 1 PROPIEDADES PETROFÍSICAS DEL COMPLEJO YANAQUINCHA

Arena	Porosidad (%)	Saturación del Agua (%)	Volumen de Arcilla%
"U Superior"	12.6	41 – 59	<35
"U Media"	13	15 – 53	<35
"U Inferior"	16	15 – 38	10 – 22
"T Superior"	13	26 – 55	11 – 35
"T Principal"	16	14 – 57	7 – 23

Fuente: Petroamazonas EP, Plan de desarrollo Complejo Yanaquincha 2012, Activo Indillana.

Elaborado por: Alex Acaro y Jimmy León.

TABLA 1. 2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS PVT

Parámetro /Pozo	YNEA001UI	YNEA002TP	YNEA011TP	YNEA011HS	YNOA001UI
Presión Inicial (psi)	3.712	3.556	3.228	4.373	3.582
Presión de Burbuja (psi)	844	977	874	100	686
Boi(Bls/STB)	1,09	1,20	1,17	N/A	1,13
Bob (Bls/STB)	1,11	1,23	1,20	N/A	1,15
Rsi (SCF/STB)	97	213	224	N/A	15,64
uoi (cp)	13,05	1,12	1,48	5,38	12,11
uob (cp)	9,70	0,88	1,22	3,69	7,42
Coi(1/psi)	5,54E-06	8,01E-06	8,90E-06	7,20E-06	1,07E-05
Cob(1/psi)	6,91E-06	1,39E-05	1,10E-05	6,00E-06	1,79E-05
°API	17	28,50	25,80	25,80	17,90
Temperatura del Reservoirio (°C)	215	220	216	216	218
Salinidad (ppm Cl-)	53.000-64.000	15.000-32.000	53.000-64.000	9.500-18.000	58.000-62.000
SGg@14,7 psi	1,49	1,15	1,45	N/A	1,18

Fuente: Petroamazonas EP, Plan de desarrollo Complejo Yanaquincha 2012, Activo Indillana.

Elaborado por: Alex Acaro y Jimmy León.

1.4.3 COMPORTAMIENTO DE PRESIONES DE LOS RESERVORIOS Y MECANISMOS DE PRODUCCIÓN.

La presión inicial de los reservorios y la declinación debido a la producción de fluidos, están determinadas sobre la base de las pruebas de restauración de presión, realizadas a varios pozos del Complejo Yanaquincha. Los resultados se presentan en la tabla 1.3.

Con el propósito de establecer la declinación de presión por efecto de la producción, en cada reservorio se determina una profundidad de referencia y todas las presiones registradas serán corregidas a esa profundidad. Mediante el uso de la gráfica de %Presión vs % Recuperado, se determina el mecanismo de empuje, y sobre la base de las curvas tipo asociadas a cada mecanismo de empuje se determina el mismo para cada reservorio. Los mecanismos de empuje para cada yacimiento del Complejo Yanaquincha son mostrados a continuación

TABLA 1. 3 PRESIONES Y MECANISMOS DE PRODUCCIÓN PARA LOS CAMPOS: YANAQUINCHA ESTE, AGUAJAL Y YANAQUINCHA OESTE

Campo	Yacimiento	Presión Inicial [psi]	Presión Actual [psi]	Mecanismo de Producción
Yanaquincha Este y Aguajal	UI	3.592	3.100	Empuje por gas en solución/acuífero débil
	TP	3.553	3.000	Empuje por gas en solución/acuífero medianamente activo
Yanaquincha Oeste	UI	3.562	2.800	Empuje por gas en solución/acuífero débil
	TP	3.530	3.000	Expansión Roca y Fluido/Empuje por gas en solución

Fuente: Petroamazonas EP, Plan de desarrollo Complejo Yanaquincha 2012, Activo Indillana.

Elaborado por: Alex Acaro/ Jimmy León.

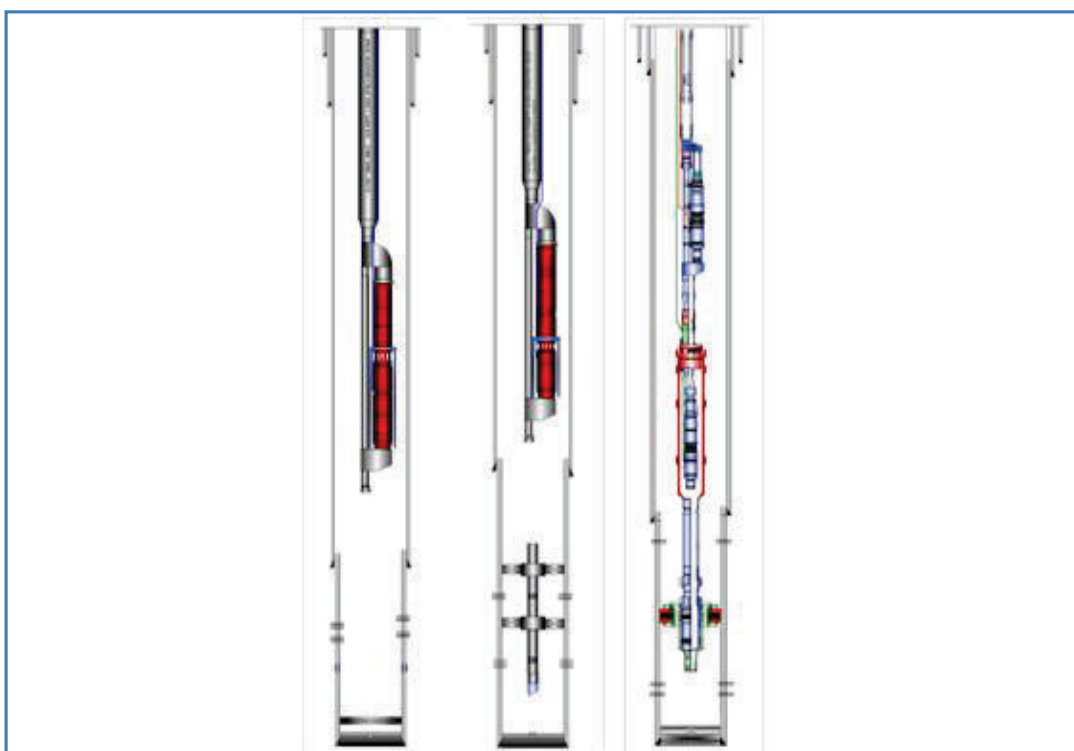
1.5 SISTEMA DE COMPLETACIÓN DEL COMPLEJO YANAQUINCHA.

El sistema de levantamiento que se utiliza en el Complejo Yanaquincha para la producción de hidrocarburos es: bombeo electro-sumergibles (BES). El potencial del pozo es importante para la correcta configuración del sistema BES.

En el Complejo Yanaquincha se utiliza las siguientes configuraciones de BES, las cuales se presentan en la figura 1.5.

- Completación Simple, Bombeo Electrosumergible, sin BHA de fondo, con/sin “Y” Tool.
- Completación Simple, Bombeo Electrosumergible, con BHA de fondo, con/sin “Y” Tool.
- Dual concéntrica, Bombeo Electrosumergible, equipo inferior encapsulado.

FIGURA 1. 5 CONFIGURACIONES BES DEL COMPLEJO YANAQUINCHA.



Fuente: Petroamazonas EP, Plan de desarrollo Complejo Yanaquincha 2012, Activo Indillana.

1.6 RESERVAS PROBADAS Y PROBABLES

El método que se ha utilizado para el cálculo de las reservas en los pozos con mayor historial de producción del Complejo Yanaquincha es el DCA (Análisis de curvas de declinación).

En la tabla 1.4 se presenta por arena las reservas del Complejo Yanaquincha: las reservas probadas se estiman en 44,29 MM de barriles de petróleo, con una

producción acumulada hasta el 1 de octubre del 2012 de 25,29 MM de barriles de petróleo.

TABLA 1. 4 RESERVAS DEL COMPLEJO YANAQUINCHA

ARENA	POES (BIs)	Factor de Recobro de reservas Probadas	Reserva Probada Total	Producción Acumulada al 1- Oct- 2012	Reservas Probables al 1 Oct-2012
		(%)	(BIs)	(BIs)	(BIs)
UM	12.112.339	16,97	2.055.749	996.014	371.760
UI	178.675.283	12,81	22.885.309	12.251.646	11.335.542
TS	16.236.524	8,35	1.355.805	912.912	0
TP	125.313.915	13,90	17.420.525	10.593.956	0
HS	18.641.231	3,10	577.590	538.118	1.438.658
TOTAL	350.979.292		44.294.978	25.292.646	13.145.960

Fuente: Petroamazonas EP, Plan de desarrollo Complejo Yanaquincha 2012, Activo Indillana.

Elaborado por: Alex Acaro y Jimmy León

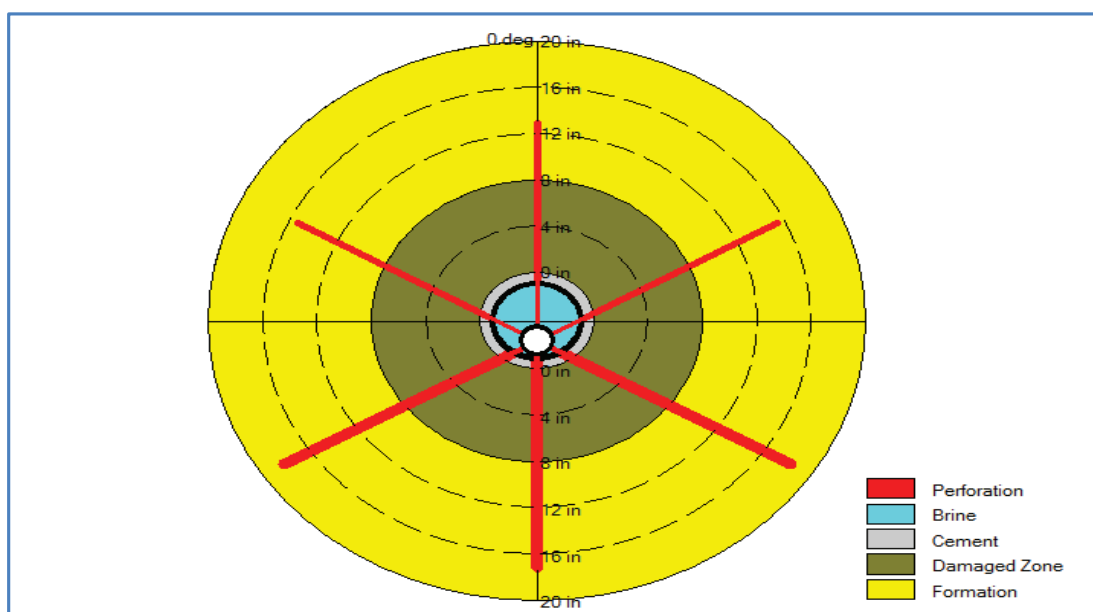
CAPÍTULO II

PRINCIPIOS Y DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO.

2.1 INTRODUCCIÓN AL CAÑONEO DE POZOS

En la Industria Petrolera una de las fases más importantes es la de producción, razón por la cual un correcto sistema de cañoneo influye de manera decisiva en la producción de un pozo petrolero, ya que el objetivo del cañoneo es establecer la comunicación entre el yacimiento y el pozo, a través de orificios creados en el casing, cemento y formación como producto de la detonación de las cargas. La figura 2.1 esquematiza este hecho. Consideraciones como: densidad de perforaciones, costo, limitaciones en cuanto a presiones y temperaturas de los cañones, daños al casing y al cemento, residuos del cañón, control de la holgura, aislamiento del cañón, profundidad y orientación del cañón deben ser tomados en cuenta para un adecuado diseño.

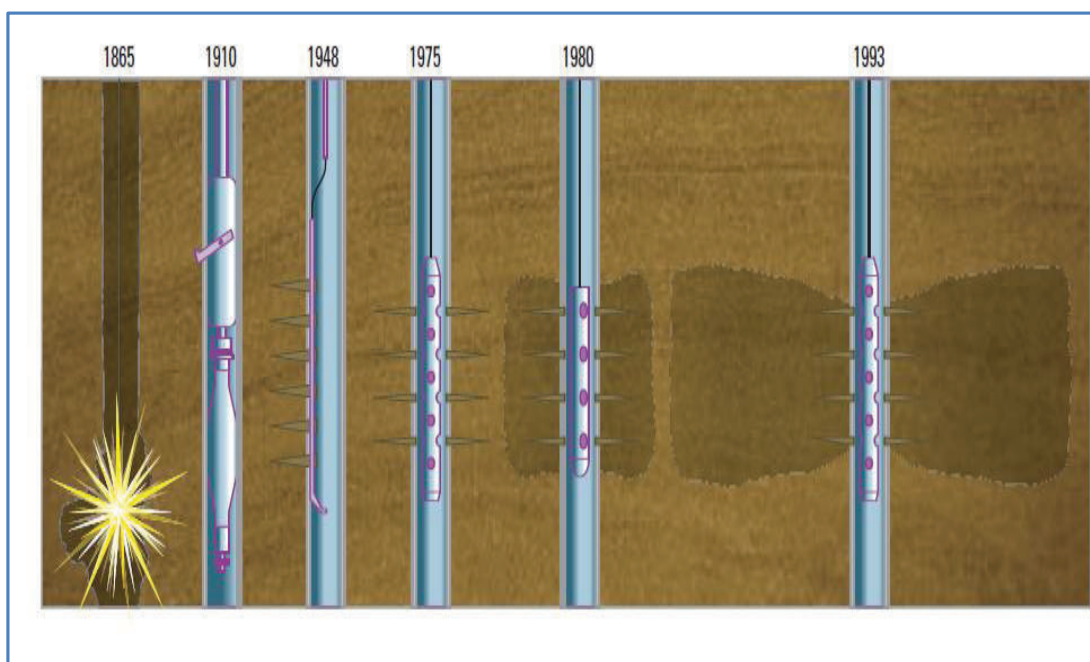
FIGURA 2. 1 COMUNICACIÓN YACIMIENTO-POZO A TRAVES DE LOS DISPAROS



Fuente: Schlumberger, SPAN Rock Versión 9.2 Software

A través de los años se han desarrollado diferentes tecnologías de cañoneo como se muestra en la figura 2.2, antes del año 1926 el cañoneo consistía en orificios realizados en el acero del casing con cortadores mecánicos, luego en el año de 1932 el cañoneo se realizó por medio de disparos de bala en el cual las balas eran disparadas hacia el casing punzando el cemento hasta llegar a la formación. Posteriormente en el año de 1958 se implementó el método de cañoneo con chorros de agua de alta presión, en la cual los fluidos eran bombeados a través de la tubería con un arreglo de orificios direccionados hacia la pared del casing hasta alcanzar la formación. Finalmente se desarrolló el cañoneo con cargas moldeadas tipo chorro, la cual involucra el uso de explosivos de alta potencia y cañoneo con cargas moldeadas con una cubierta metálica, siendo ésta en la actualidad la técnica de cañoneo más utilizada.

FIGURA 2. 2 DESARROLLO DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO



Fuente: Middle East & Asia Oilfield Review 2006, Schlumberger

Los métodos de transporte de los cañones también se han mantenido actualizados a la par de la tecnología y las técnicas de disparo. Es así que a fines de la década 70 y principios de la del 80, las estrategias de disparo se limitaban a la utilización de pistolas más pequeñas que se bajaban a través de la tubería de

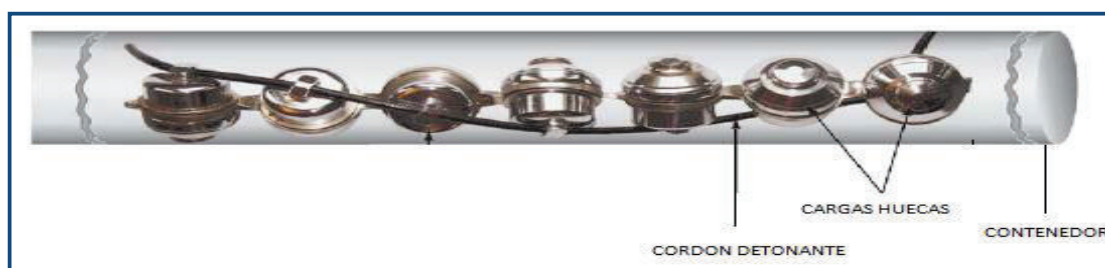
producción o cañones más grandes que se bajaban a través del casing, transportados principalmente con cable de acero. Las cargas de cada tipo y tamaño se diseñaban con el fin de lograr el tamaño máximo del orificio, o bien una penetración profunda. A mediados de los años ochenta, se ampliaron las opciones de transporte de los cañones. A partir de entonces, los cañones bajados junto con la tubería de producción (TCP) ya no están limitados a un sector reducido del mercado y se han convertido en un elemento esencial de muchas completaciones de pozos y en una importante herramienta para efectuar disparos. Además de la tubería flexible, las líneas de arrastre y las unidades para entubar contra presión, los sistemas disponibles hoy en día permiten correr sartas de cañones de gran longitud en pozos activos bajo presión.

Estos sistemas de disparo y transporte de los mismos también realizan otras funciones de complejidad variable, como por ejemplo liberar y dejar caer los cañones, colocar los empacadores y abrir y cerrar las válvulas. En el futuro, las cargas se podrían incorporar y bajar directamente con el equipo de completación durante la construcción del pozo.

2.2 PARTES DE UN CAÑÓN

Los elementos que conforman un cañón son: contenedor, cordón detonante, detonador y cargas moldeadas, como lo muestra la figura 2.3

FIGURA 2. 3 PARTES DE UN CAÑÓN



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

2.2.1 DETONADOR

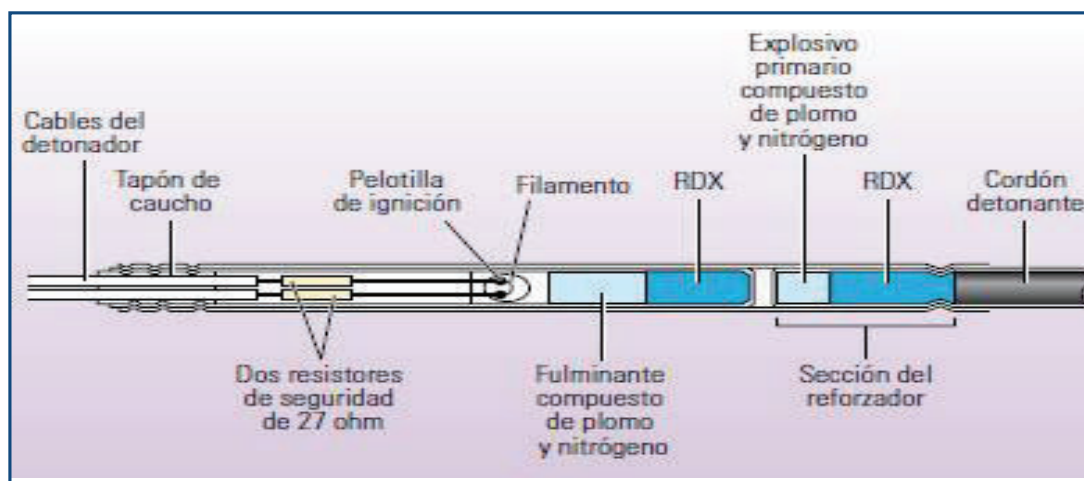
El detonador es el dispositivo que inicia el proceso explosivo en los cañones, su activación es desde superficie. En su interior almacena explosivo primario

necesario para activar el cordón detonante. En la industria petrolera se utilizan 2 tipos: detonadores eléctricos y detonadores a percusión.

2.2.1.1 Detonadores Eléctricos

Los detonadores eléctricos son usados en cañoneo con wireline. Para activar los detonadores eléctricos, se aplica corriente a los cables del detonador (figura 2.4), esto hace que se caliente un pequeño filamento y se encienda la pelotilla de ignición, generando una reacción en cadena entre el explosivo primario y el explosivo secundario (RDX) en las secciones del fulminante y del reforzador, logrando activar el cordón detonante. Los resistores de seguridad que se encuentran en los cables del detonador proporcionan un valor de resistencia que permiten inhibir el flujo de corriente inducida en el cable.

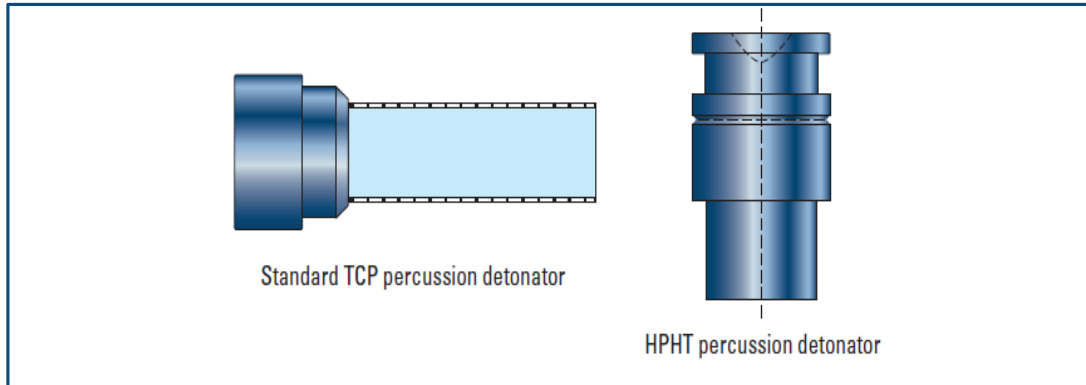
FIGURA 2. 4 DETONADOR ELÉCTRICO



Fuente: Oilfield Review Spring 2012, Schlumberger

2.2.1.2 Detonadores de Percusión

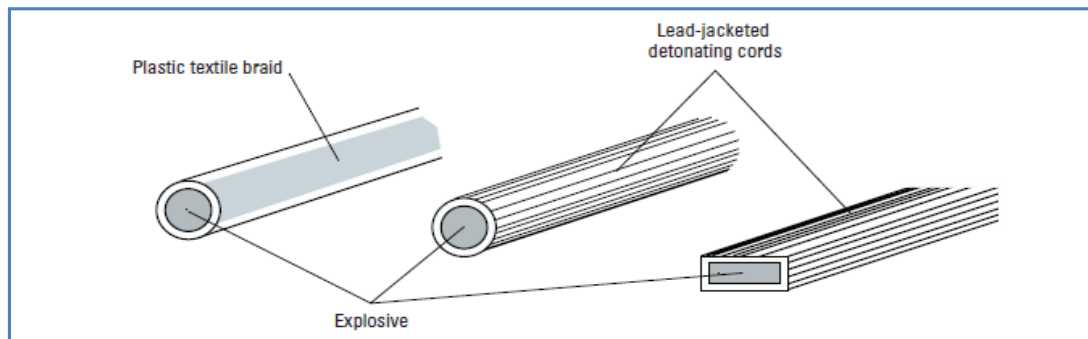
Se utilizan en los sistemas de cañones transportados por tubería, se activan cuando una clavija de disparo golpea una membrana sellada a presión y detona un explosivo primario. La figura 2.5 muestra el esquema de un detonador de percusión.

FIGURA 2. 5 DETONADOR DE PERCUSIÓN

Fuente: Perforating Service Catalog 2008, Schlumberger

2.2.2 CORDÓN DETONANTE

El cordón detonante (figura 2.6) transfiere la energía desde el detonador a cada carga moldeada. Consiste en un núcleo con alto poder explosivo cubierto por una envoltura plastificada, que puede ser: de nylon, teflón o silicona. Un cordón detonante con la sección transversal redonda tiene mejor carga explosiva que uno con la sección transversal rectangular

FIGURA 2. 6 CORDÓN DETONANTE

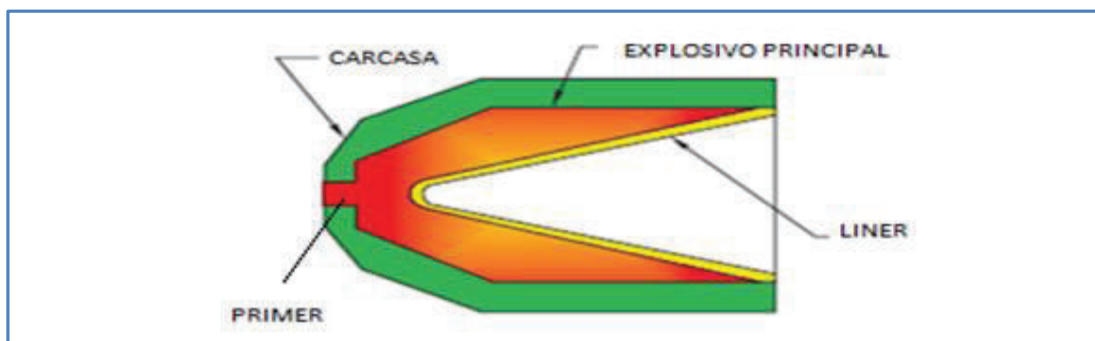
Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

2.2.3 CARGAS MOLDEADAS

La carga Jet o carga o carga moldeada es el componente explosivo que penetra el casing, el cemento y llega hasta la formación para permitir la comunicación con el pozo. Los componentes de las cargas Jet se presentan en la figura 2.7, los cuales son: el primer o carga iniciadora, carcasa, explosivo principal y Liner.

La detonación de la carga moldeada inicia cuando el explosivo primario o primer activa el explosivo principal, el liner colapsa y se activa un chorro de alta velocidad de partículas de metal fluidizado que es impulsado a lo largo de la carga. El chorro de la carga atraviesa el revestidor, el cemento y la formación.

FIGURA 2. 7 PARTES DE UNA CARGA MOLDEADA



Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

2.2.3.1 Carga Iniciadora

El Primer o también llamado carga iniciadora es un explosivo primario que permite iniciar la detonación del explosivo principal. Requiere una mínima cantidad de energía para ser iniciado.

2.2.3.2 Carcasa

La carcasa permite alojar los componentes de la carga, debe soportar altas presiones y temperaturas, se fabrican generalmente de zinc o aceros suaves. Las carcasas de zinc se quiebran en pequeñas partículas solubles en ácidos que se pueden hacer circular hacia afuera; mientras que las carcasas de acero se fragmentan en trozos grandes que se mantienen en el contenedor del cañón.

2.2.3.3 Explosivo Principal

El explosivo principal es el que provee la energía necesaria para producir el chorro, su rendimiento depende de la clase, forma, distribución y velocidad de detonación del explosivo. Está compuesto normalmente por explosivos secundarios.

Los principales explosivos utilizados se describen a continuación.

- **TNT (Trinitrotoluene).**

Su fórmula química es: $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$. Se derrite a 80 °C (176°F), por lo tanto no es apropiado para utilizarlo en el fondo del pozo.

- **RDX (Research department composition X).**

Su fórmula química es: $C_3H_6N_6O_6$. Es el explosivo más común utilizado para cañoneo de pozos.

- **HMX (High molecular weight RDX).**

Su fórmula química es: $C_4H_8N_8O_8$. Es una versión del RDX pero con una mejor estabilidad en altas temperaturas.

- **HNS (Hexanitrostilbene).**

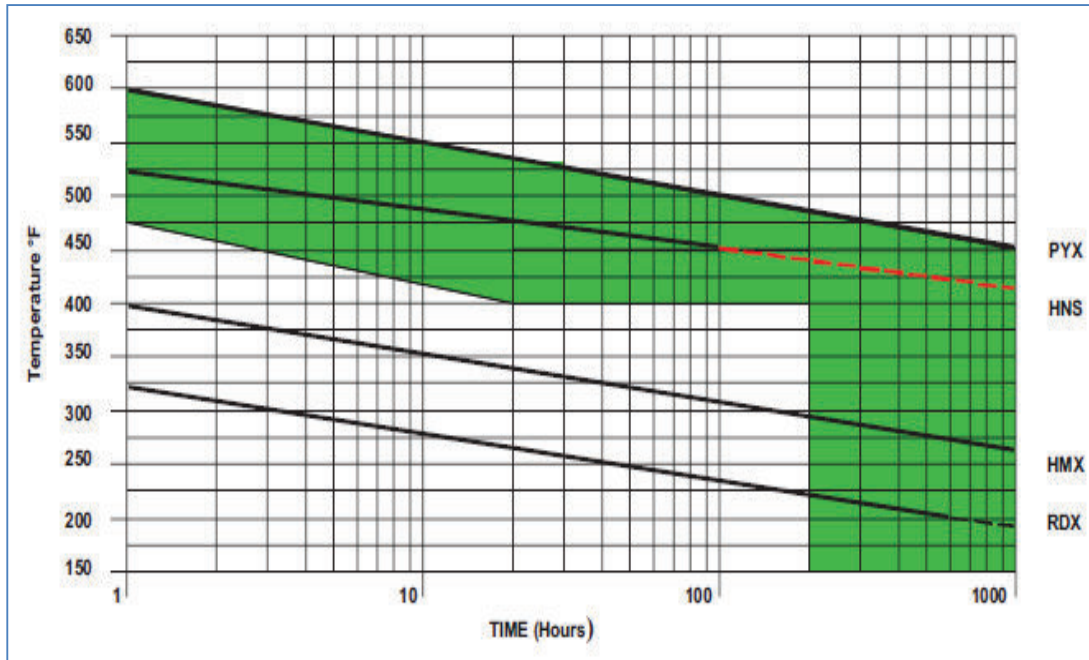
Su fórmula química es: $C_{14}H_6N_6O_{12}$. Tiene estabilidad en altas temperaturas, pero de menor desempeño en comparación al HMX.

- **PYX (Picrylamínodinitro-piridina)**

Su fórmula química es $C_{17}H_7N_{11}O_{16}$. Ligeramente tiene menos penetración que el HNS, pero muy buena estabilidad a las altas temperaturas. El TNT debido a su bajo punto de fundición tiene un muy limitado uso para cañoneo de pozos. Los límites operacionales de los principales explosivos son mostrados en la figura 2.8

Las curvas de estabilidad de los principales explosivos han sido determinadas experimentalmente. Si las limitaciones en tiempo y temperatura son cumplidas entonces no existirá degradación en el explosivo, caso contrario su desempeño en el poder de explosión puede verse disminuido o inclusive llegar a la autodetonación.

Un correcto balance es requerido para la selección del explosivo a utilizar en la operación de cañoneo, dado que su desempeño puede disminuir al verse expuesto a las altas temperaturas por largos periodos.

FIGURA 2. 8 LIMITES OPERACIONALES DE LOS EXPLOSIVOS

Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

2.2.3.4 Liner

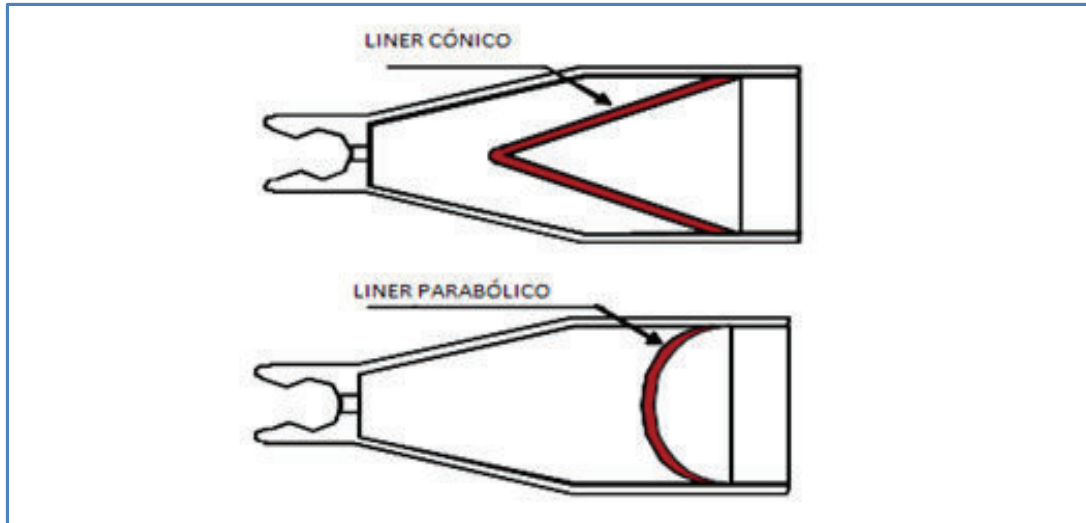
Es el revestimiento de las cargas y está hecho de material sólido o de partículas metálicas prensadas el liner puede tener una geometría cónica o parabólica.

2.2.3.4.1 Liner Cónico.

Si la geometría del liner es cónico, un largo y delgado chorro o jet puede ser formado. El resultado es una penetración profunda, alrededor de 12 pulgadas en concreto, y un diámetro pequeño del agujero perforado, entre 0.2 y 0.5 pulgadas. La forma cónica del liner mostrado en la figura 2.9, categoriza a las cargas Jet como DP (Penetración-profunda).

2.2.3.4.2 Liner Parabólico

El resultado de la penetración con un liner parabólico es un orificio de mayor diámetro, entre 0.6 y 1.5 pulgadas, con una penetración reducida menor a 8 pulgadas. La forma parabólica del liner mostrado en la figura 2.9 categoriza a las cargas Jet como BH (diámetro grande).

FIGURA 2. 9 GEOMETRÍA DEL LINER

Fuente: Luis Rodríguez, Competición y Reacondicionamiento de Pozos.

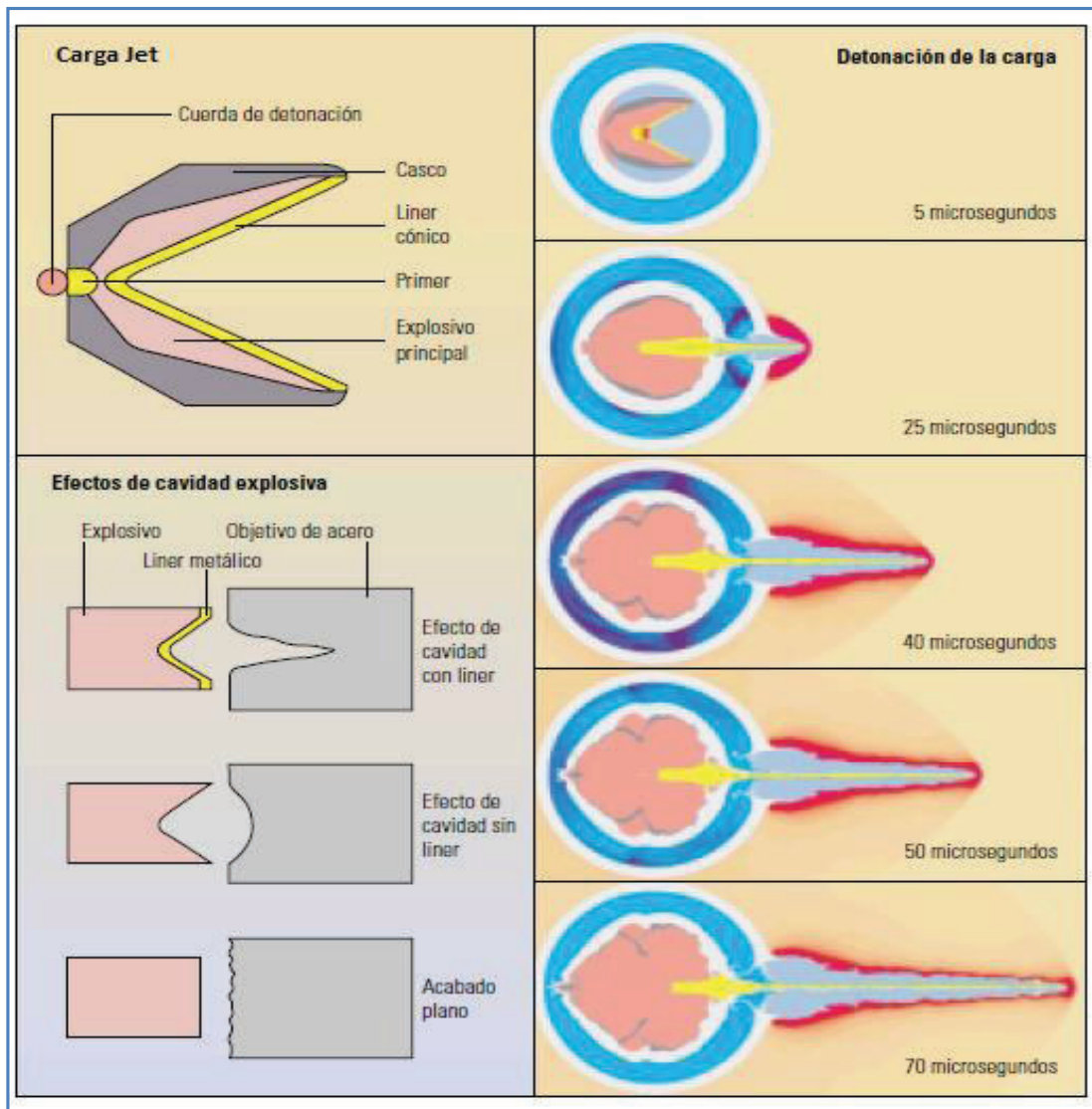
2.3 OPERACIÓN DE CAÑONEO

Todo cañoneo se genera, en una fracción de segundo como se muestra en la figura 2.10. Las cargas moldeadas tienen un efecto de cavidad explosiva, es decir, tiene un revestimiento de partículas metálicas prensadas cuyo objetivo es aumentar la penetración. El cordón detonante activa el explosivo primario y este a su vez activa el explosivo principal. El liner colapsa y se forma un chorro de alta velocidad, con partículas de metal fluidizado, que es impulsado a lo largo del eje de la carga.

Este chorro de gran potencia consta de una punta más rápida y una cola más lenta. La punta viaja a aproximadamente 7 km/seg, mientras que la cola se mueve más lentamente, a menos de 1 km/seg. Este gradiente de velocidad hace que el chorro se alargue de manera que atraviese el revestidor, el cemento y la formación.

Los chorros de las cargas erosionan hasta que consumen toda su energía al alcanzar el extremo del túnel del disparo. La penetración se logra mediante una presión de impacto sumamente elevada; $3 \cdot 10^6$ lpc. sobre el casing y 300.000 lpc sobre las formaciones.

FIGURA 2. 10: ACTIVACIÓN DE LA CARGA



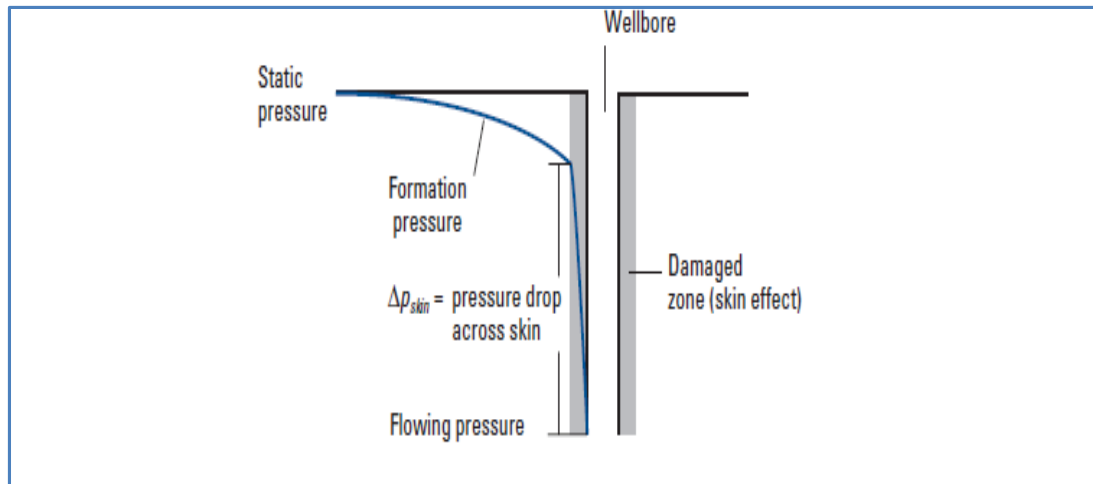
Fuente: Oilfield Review, Verano 2009, Schlumberger

2.4 EL CAÑONEO Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCTIVIDAD

La efectividad de comunicación entre el reservorio y el pozo a través del casing y cemento es un parámetro importante para la producción, y dicha comunicación la puede brindar el cañoneo.

Antes de revisar los efectos del cañoneo en la producción, primero analizaremos el siguiente esquema, figura 2.11, sobre cómo se da el flujo del fluido hacia el pozo.

FIGURA 2. 11 COMPORTAMIENTO DE LA PRESIÓN CUANDO EL FLUIDO VIAJA DEL RESERVORIO AL POZO



Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger

Si tomamos en cuenta las distancias desde el eje axial del pozo, en la gráfica se aprecia la caída de presión (drawdown) disponible para traer los fluidos desde una distancia r_e , con una presión inalterada del reservorio P_e ; hasta el pozo con una distancia r_w , y una presión llamada presión de fondo fluyente P_{wf} . Este diferencial de presión $P_e - P_{wf}$, es el que permite producir del reservorio. Pero de todo el diferencial de presión disponible, se aprecia que la mayor caída de presión se usa para traer el fluido desde las cercanías del pozo hacia su interior, esto se da por el denominado *Efecto Skin*; definido como el cambio de permeabilidad (mayor o menor) de la formación, en las cercanías del pozo.

Matemáticamente la caída de presión $P_e - P_{wf}$ se define así:

$$P_e - P_{wf} = \frac{q\beta u}{7.08 \times 10^{-3} kh} \ln \frac{r_e}{r_w} + S_t \quad (2.1)$$

Dónde:

P_e = Presión de reservorio (psi)

P_{wf} = Presión de Fondo fluyente (psi)

q = Rata de flujo (bls)

β = Factor Volumétrico

u = Viscosidad del Fluido

$r_e =$ Radio de drenaje

$r_w =$ Radio del pozo

$k =$ Permeabilidad (md)

$r_w =$ Radio del pozo (ft)

$S_t =$ Daño total

Reordenando la ecuación anterior se define el Índice de Productividad (PI), como la tasa de flujo producida por cada unidad de presión; matemáticamente se expresa de la siguiente forma:

$$PI = \frac{q}{P_e - P_{wf}} = \frac{7.08 \times 10^{-3} kh}{u\beta \ln \frac{r_e}{r_w} + S_t} \quad (2.2)$$

Por la figura 2.11 y la ecuación 2.2, el parámetro clave a ser considerado para lograr una buena producción es el *daño total* S_t ó factor skin. Todos los esfuerzos que se emplean en la industria para que la operación de cañoneo tenga éxito se concentran en reducir al mínimo dicho daño.

Los factores involucrados en la operación de cañoneo que se tratarán a continuación tienen como objetivo su comprensión para lograr minimizar el S_t , y por ende maximizar la producción de un pozo.

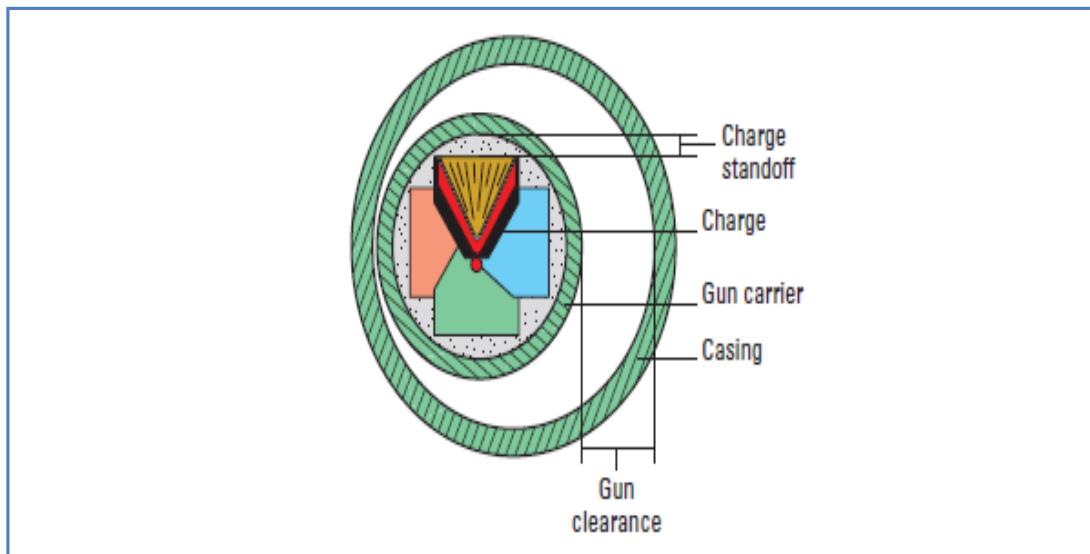
2.5 FACTORES INVOLUCRADOS EN LAS OPERACIONES DE CAÑONEO.

Para el diseño del cañoneo varios factores son tomados en cuenta como: el tipo de cañón, tipo de carga, disparos por pie, fase del disparo, posición del cañón y las condiciones hidrostáticas. Es sumamente importante establecer un buen estudio de ingeniería para lograr una comunicación óptima entre el pozo y la formación.

2.5.1 POSICIONAMIENTO DE LA CARGA Y EL CAÑÓN

La figura 2.12 esquematiza dos distancias importantes, la primera es la distancia perpendicular entre la carga y el contenedor (standoff), y la segunda es la distancia entre el casing y el contenedor (clearance); estas dos distancias permiten predecir el desempeño de la carga en la profundidad de penetración y el diámetro del agujero perforado.

FIGURA 2. 12 POSICIÓN DEL CAÑÓN EN EL POZO



Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

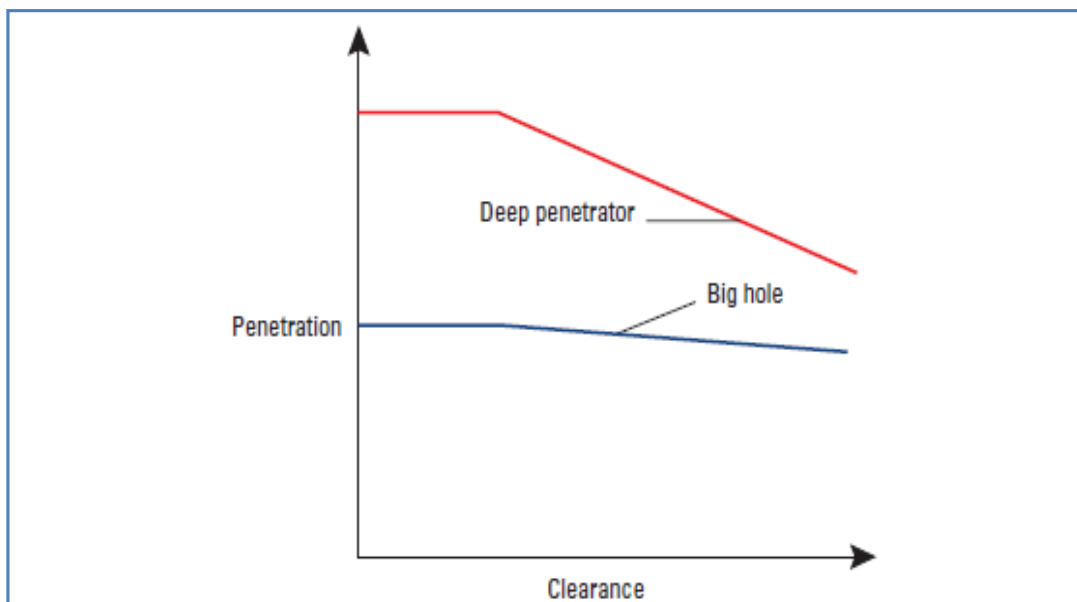
2.5.1.1 Profundidad de Penetración.

La distancia entre la carga y el contenedor permite un adecuado espacio para que el jet de la carga se forme antes de que este toque el interior de la pared del contenedor.

Cuando la distancia entre el casing y el contenedor es amplia, la profundidad de penetración de la carga disminuye, porque el jet o chorro pierde gradualmente su energía mientras viaja a través del fluido de completación; este efecto es más pronunciado en cargas de penetración profunda o Deep penetration (DP), que en cargas de penetración corta y gran diámetro perforado o Big Hole (BH).

Estudios demuestran que, cuando el espacio entre el casing y el contenedor (clearance) excede el 30 % del diámetro del cañón, la profundidad de penetración empieza a disminuir como lo muestra la figura 2.13.

FIGURA 2. 13 EFECTO CUALITATIVO DE CLERANCE EN LA PROFUNDIDA DE PENETRACIÓN



Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

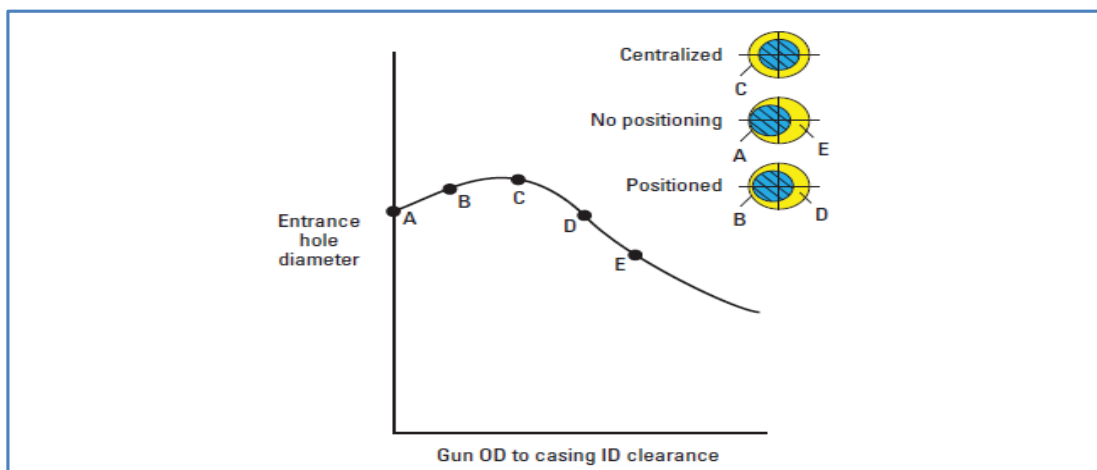
2.5.1.2 Diámetro del agujero Perforado.

La distancia entre el casing y el contenedor puede tener una notable afectación al tamaño del diámetro del perforado, aun cuando la profundidad de penetración no sea alterada, especialmente en cargas Big Hole (BH). Una reducción del tamaño del perforado tiene incidencia en la disminución al área de flujo, el cual es un parámetro clave para la optimización del diseño con cargas Big Hole.

La siguiente figura ilustra la relación entre la holgura (clearance) y el diámetro del perforado. Un diámetro mayor se tiene cuando el cañón es posicionado en el centro del pozo (punto C en la figura 2.14).

Cuando la posición del cañón tiene: cero y la máxima holgura, se tiene los menores diámetros de los perforados como muestra la figura 2.14.

FIGURA 2. 14 EFECTO DE LA HOLGURA DEL CAÑÓN EN EL DIÁMETRO DEL PERFORADO PARA UNA CARGA BIG HOLE

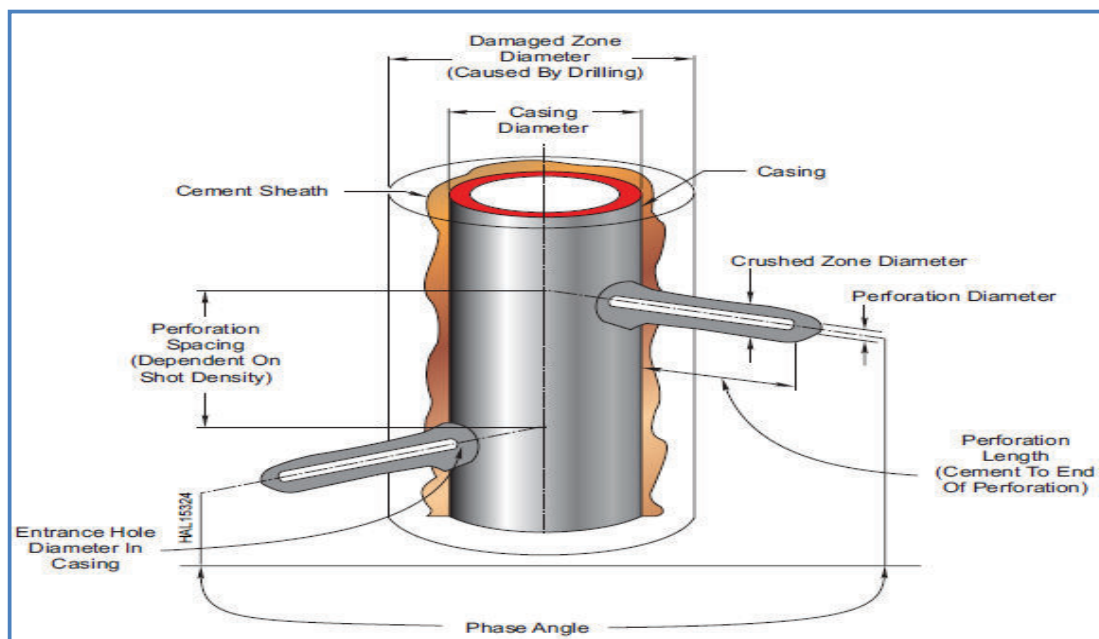


Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

2.5.2 FACTORES GEOMÉTRICOS Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD

La figura 2.15 esquematiza los factores geométricos que intervienen en el cañoneo.

FIGURA 2. 15 FACTORES GEOMÉTRICOS

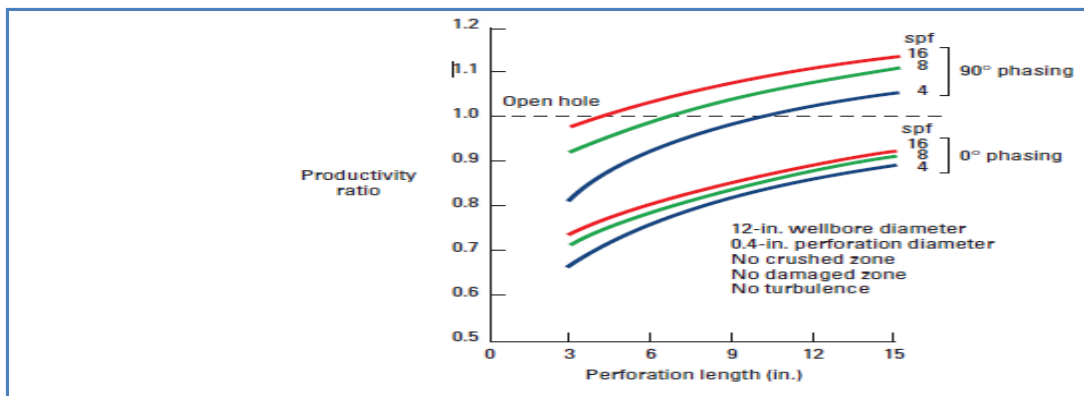


Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton.

2.5.2.1 Profundidad de Penetración de las Cargas y Densidad de los Disparos

La razón de productividad (PR) en un pozo de petróleo incrementa con la profundidad de penetración y con la densidad de los disparos como se muestra en la figura 2.16. Con una fase de 90 la gráfica muestra que la densidad de disparos resulta de mayor importancia para el PR que cuando la fase es 0°. La gráfica analizada considera a la formación como isotrópica, sin daño de formación y sin la zona de debris.

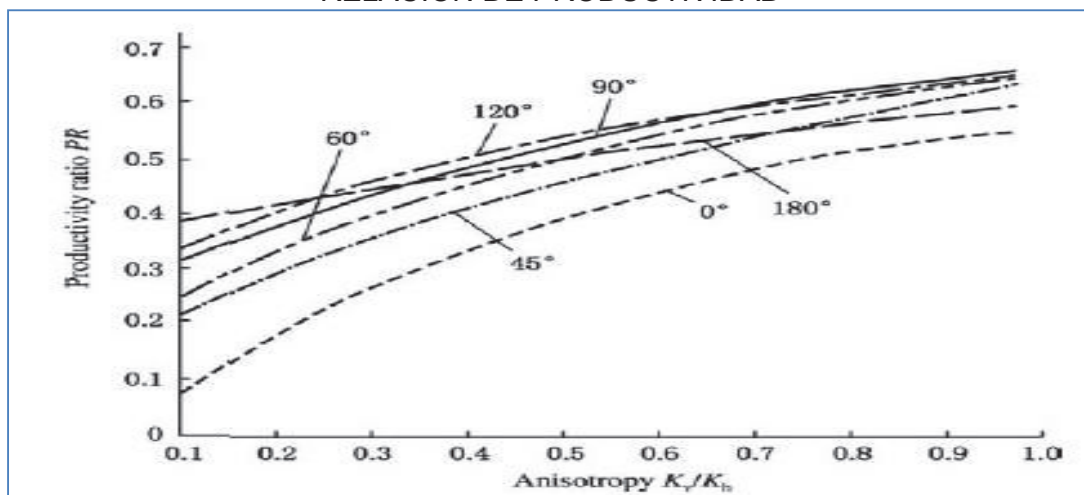
FIGURA 2. 16 EFECTO DE LA FASE Y DENSIDAD DE DISPAROS EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD



Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

2.5.2.2 Fase

FIGURA 2. 17 EFECTOS DEL ÁNGULO DE FASE Y LA ANISOTROPÍA EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD



Fuente: Advanced Well Completion Engineering, Wan Renpu

Existe una estrecha relación entre la anisotropía y el ángulo de fase como lo muestra la figura 2.17

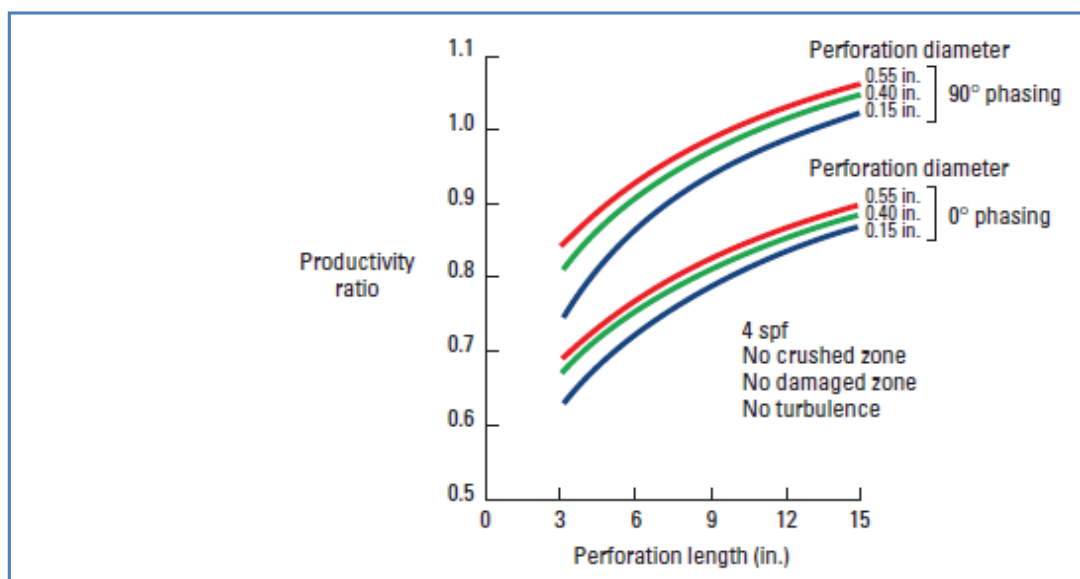
Cuando la anisotropía es ($0,7 \leq K_v/K_h \leq 1$) el ángulo de fase de 90° tiene una alta razón de productividad, mientras que el ángulo de fase de 0° tiene la más baja razón de productividad.

La productividad decrece cuando el ángulo de fase pasa de 90° a 0° pasando por 120° , 60° , 45° y 180° . Cuando la anisotropía es ($0,3 \leq K_v/K_h \leq 0,7$); La fase de 120° tiene la más alta razón de productividad, mientras que la fase de 0° tiene la más baja razón de productividad. Cuando la anisotropía es media ($K_v/K_h \leq 0,2$); la productividad decrece cuando el ángulo de fase cambia de 180° a 0° pasando por 120° , 90° , 60° y 45° .

2.5.2.3 Diámetro de los Perforados

El diámetro de los perforados tiene un efecto muy pequeño en la relación de la productividad como lo muestra la figura 2.18. La relación de productividad tiene un ligero incremento a medida que aumenta el diámetro del perforado.

FIGURA 2. 18 EFECTOS DEL DIÁMETRO DE PERFORACIÓN EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD



Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

Los factores analizados para un buen diseño de cañoneo son: Profundidad de penetración, densidad de los disparos, diámetro de los perforados, ángulo de fase, espesores de la formación, profundidad de daño de perforación, grado de daño, anisotropía.

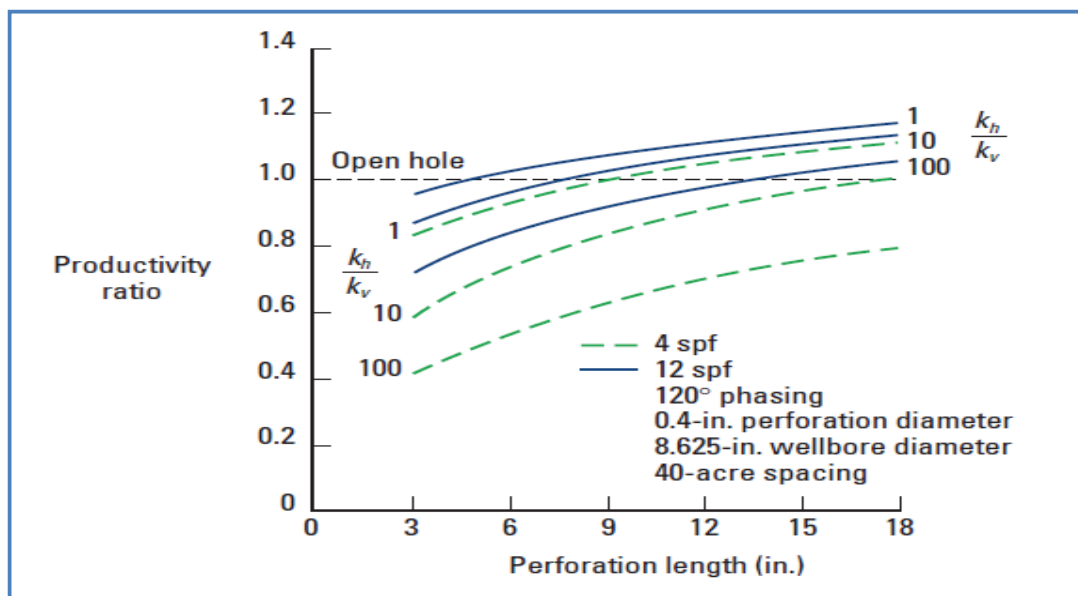
2.5.3 EFECTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL RESERVORIO

La relación de productividad también se ve afectada por las características del reservorio a ser cañoneado, y un factor a tomar en consideración es la anisotropía, o la razón entre la permeabilidad horizontal para la permeabilidad vertical (k_h/k_v).

Debido a los efectos de superposición de las capas en el subsuelo, el valor de la permeabilidad vertical en la mayoría de los casos, es mucho menor a la permeabilidad horizontal.

La relación de productividad se ve afectada debido a la componente vertical del flujo de fluido en las cercanías del pozo, es por eso que la relación de productividad se incrementa cuando el valor de k_h/k_v se acerca al valor de 1, como se muestra en la figura 2.19.

FIGURA 2. 19 EFECTOS DE LA ANISOTRÓPICA EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD



Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger

Además la figura anterior muestra que para contrarrestar los efectos de la anisotropía, un incremento en la densidad de disparos, mejora la relación de productividad.

2.5.4 CONDICIONES DE PRESIÓN-ESTÁTICAS

El proceso de cañoneo para evaluación o producción de pozos petroleros se puede realizar bajo ciertas condiciones de presión en el fondo del pozo.

Dependiendo del diferencial de presión entre la columna hidrostática y la presión de formación existe la operación de cañoneo realizada con:

- Sobre Balance Estático.
- Bajo Balance Estático.

2.5.4.1 PRESIÓN DE SOBRE BALANCE ESTÁTICO.

La presión de sobre balance estático se obtiene cuando la presión ejercida por la columna hidrostática en el pozo es mayor a la presión de formación.

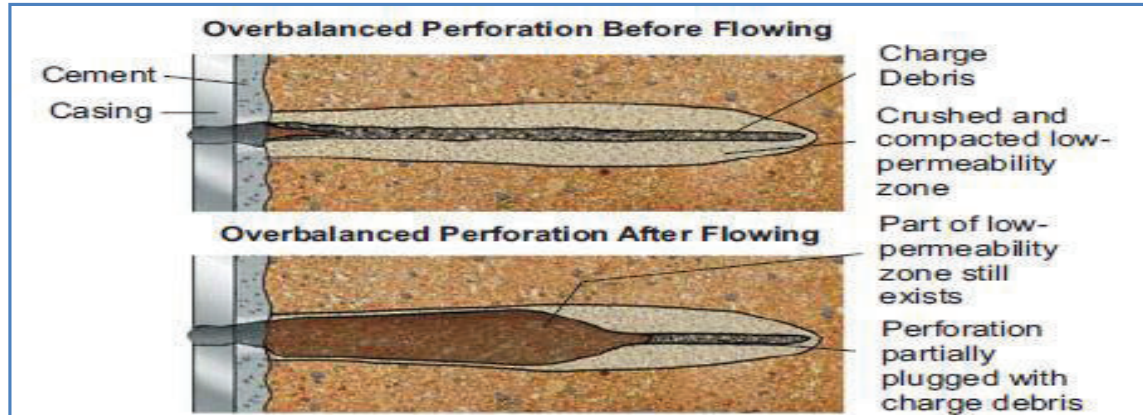
Después de realizado el cañoneo, el flujo desde el pozo es inducido por: desplazamiento, swabeo o gas lift para poner al pozo en producción.

El cañoneo sobre balance estático representa una operación a bajo costo, con altas densidades y penetraciones profundas de las cargas. Por otra parte el fluido de completación y los residuos sólidos del disparo pueden invadir al reservorio durante la operación de cañoneo, lo que causaría serios daños a la formación.

Es por esta razón que una buena calidad del fluido de completación es requerida para reducir el daño a la formación que puede causar la operación de cañoneo sobre balance estático.

Para el Sobre Balance Estático se utilizan normalmente los cañones transportados por cable eléctrico.

La figura 2.20 muestra un pozo cañoneado con sobrebalance.

FIGURA 2. 20 CAÑONEO SOBRE BALANCE

Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

2.5.4.2 PRESIÓN DE BAJO BALANCE ESTÁTICO.

La presión de bajo balance estático se obtiene cuando la presión ejercida por la columna hidrostática es menor a la presión de la formación.

El bajo balance es la técnica más utilizada para las operaciones de cañoneo. Este método establece una presión de bajo balance estática antes de la detonación de las cargas.

Este método debido al diferencial de presión a favor de la formación, genera inmediatamente el ingreso de fluidos de la formación al pozo, lo que permite remover los residuos de cargas y roca, generados en el momento de la detonación. Además evita el riesgo de inyectar los fluidos de completación a la formación.

La operación con bajo balance estático utiliza tubería de producción para bajar los cañones al pozo (TCP), la tubería puede bajarse seca o parcialmente llena de fluido, para obtener la presión diferencial requerida al momento del disparo.

2.5.4.2.1 Cálculo de la Presión de Bajo Balance Estático

Para el cálculo de la presión de operación de bajo balance estático se considerará a la formación como consolidada o no consolidada de acuerdo a los siguientes parámetros.

Formaciones no Consolidadas cuando:

- Los valores del registro sónico son mayores a 100us/ft
- Los valores del registro de densidad son menores a 2.4 gm/cc

Formaciones Consolidadas cuando:

- Los valores del registro sónico son menores a 100us/ft
- Los valores del registro de densidad son mayores a 2.4 gm/cc

Bajo esta definición, la tabla 2.1 muestra en cuatro pasos cual es la presión de bajo balance a utilizar en una operación de cañoneo.

TABLA 2. 1 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE BAJO BALANCE

PRESIÓN DE BAJO BALANCE ESTÁTICO					
Pasos	P	FORMACIONES NO CONSOLIDADAS		FORMACIONES CONSOLIDADAS	
1	P_1	$= 3500/K^{0.37}$ ó figura 2.21		$= 3500/K^{0.37}$ ó figura 2.21	
2	P_2	Sí el E_{cf} es dato	Sí el E_{cf} no es conocido	Sí el E_{cf} es dato	Sí el E_{cf} no es conocido
		$= P_f - P_s - 1.7$	Usar figura 2.22 ó 2.23	$= P_f - P_s - 1.7$	$< 80\% P_c$
3	P_m	$= \frac{P_2 - P_1}{2}$		$= \frac{P_2 - P_1}{2}$	
4	P_{bb}	Formaciones con Invasión Somera	Formaciones con Invasión Profunda	Formaciones con Invasión Somera	Formaciones con Invasión Profunda
		$P_1 < P_{bb} < P_m$	$P_m < P_{bb} < P_2$	$P_1 < P_{bb} < P_m$	$P_m < P_{bb} < P_2$

Fuente: Perforating Solutions, Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

Dónde:

P_1 = Mínimo ΔP (Diferencial de Presión) de bajo balance para remover el daño total

K = Permeabilidad en (md)

P_2 = Máximo ΔP de Bajo Balance seguro

E_{cf} = Esfuerzo compresivo de la Formación

P_f = Presión de Formación

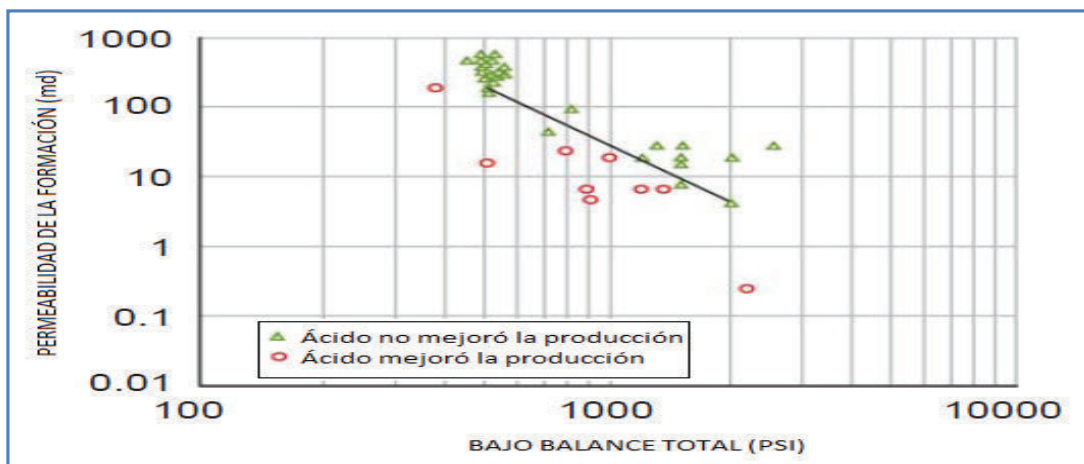
P_s = Presión de Sobrecarga

P_c = Presión de colapso de las herramientas utilizadas

P_m = Punto medio entre el mínimo y el máximo ΔP

P_{bb} = Presión de Bajo Balance que se debe utilizar.

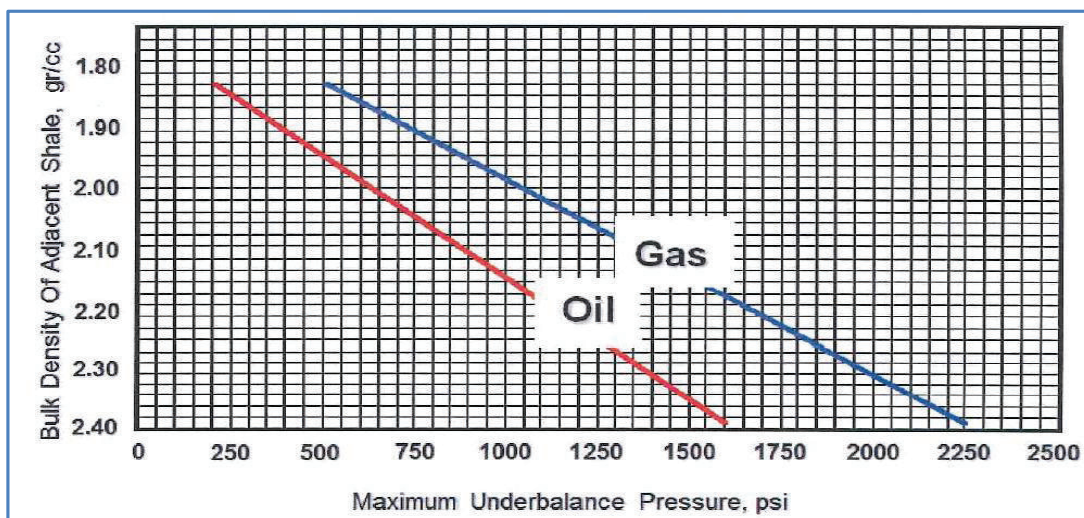
FIGURA 2. 21 BAJO BALANCE TOTAL - G. KING (1985)



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Para utilizar la figura 2.21 se debe conocer la permeabilidad de la formación. La gráfica está basada en trabajos de cañoneo realizados con bajo balance estático. La producción inicial de los pozos fue comparada con la producción luego de una acidificación.

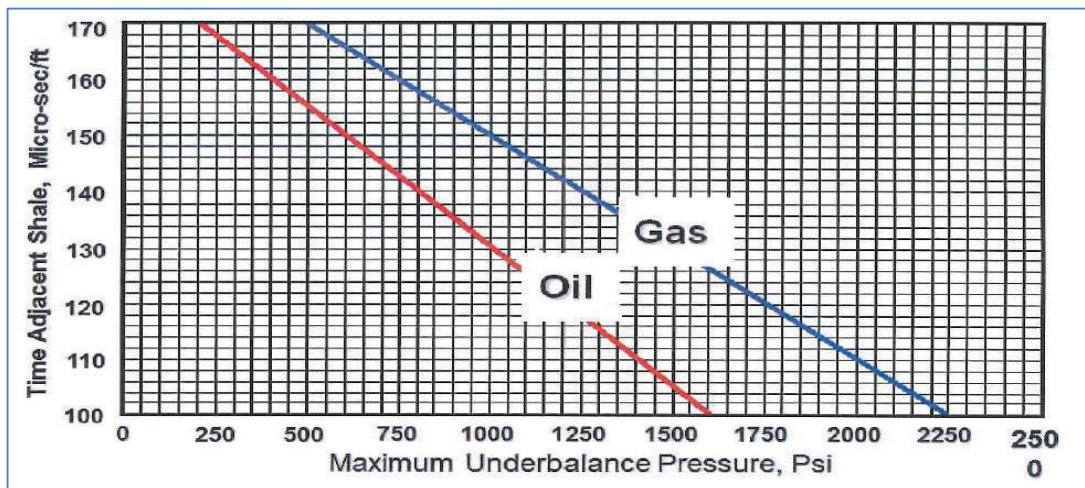
FIGURA 2. 22 GRÁFICO DE DATOS DE DENSIDAD



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

La figura 2.22 y 2.23 se utilizará para encontrar el máximo ΔP de bajo balance, cuando el esfuerzo compresivo no es conocido en formaciones no consolidadas. Para usar las gráficas mencionadas anteriormente se necesita el valor del registro sónico de la lutita adyacente (us/ft) ó el valor del registro de densidad (gm/cc).

FIGURA 2. 23 GRÁFICO DE DATOS ACÚSTICOS



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design; 2009

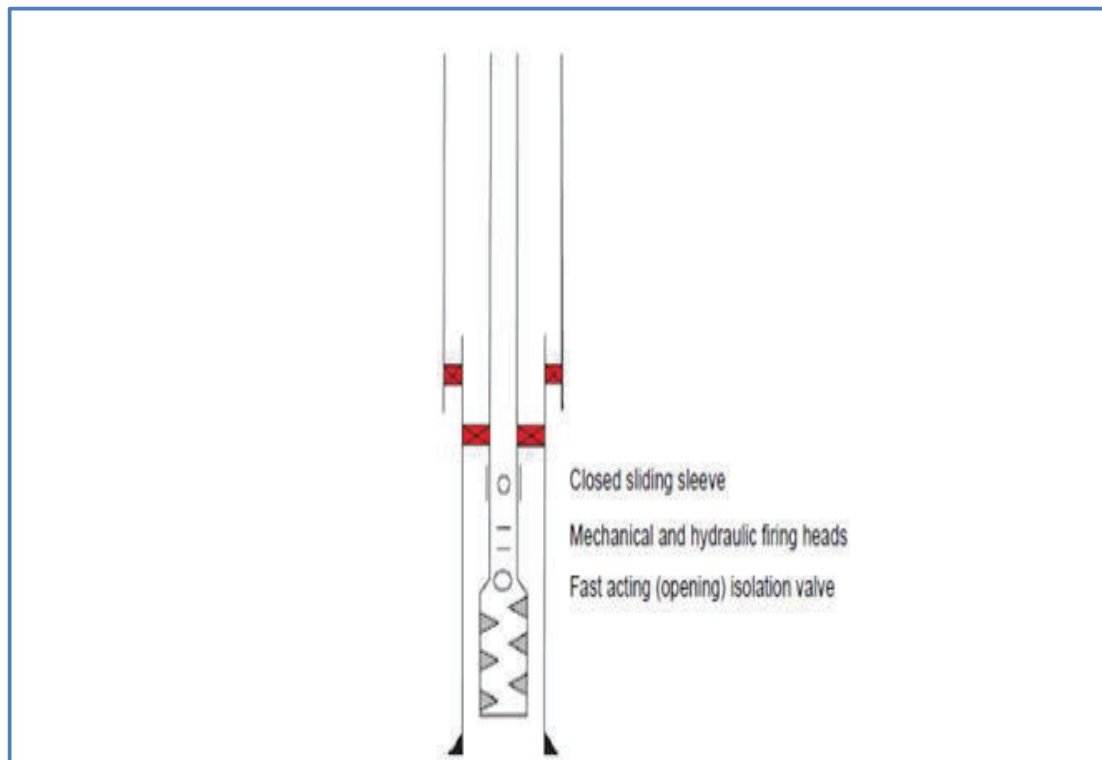
2.5.5 CONDICIONES HIDROSTÁTICAS DINÁMICAS

2.5.5.1 Cañoneo en Desbalance Dinámico

Estudios de laboratorio reciente sugieren que una alta presión bajo balance se requiere para mejorar la limpieza de los orificios perforados. Trabajos realizados muestran que adicional a la presión de bajo balance estático, se debe considerar la llamada "Presión Bajo Balance Dinámico". La presión de Bajo Balance Dinámico se genera instantáneamente después de que se detonan las cargas, debido a cámaras de surgencia colocadas en el ensamblaje de fondo o al volumen vacío en el cañón que es rápidamente llenado con el fluido de la formación. El objetivo es lograr un alto bajo balance de presión, sin comprometer la integridad del pozo. El bajo balance dinámico instantáneo debe estar seguido por un flujo prolongado para remover todos los residuos de cargas y roca que son generados en la operación.

Una aplicación de esta técnica con la cual es posible incrementar la cantidad de bajo balance, es aislando el cañón del resto de la completación por un packer y una válvula. Una configuración del sistema de cañoneo con bajo balance dinámico es mostrada en la figura 2.24.

FIGURA 2. 24 SISTEMA DE CAÑONEO CON BAJO BALANCE DINÁMICO



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

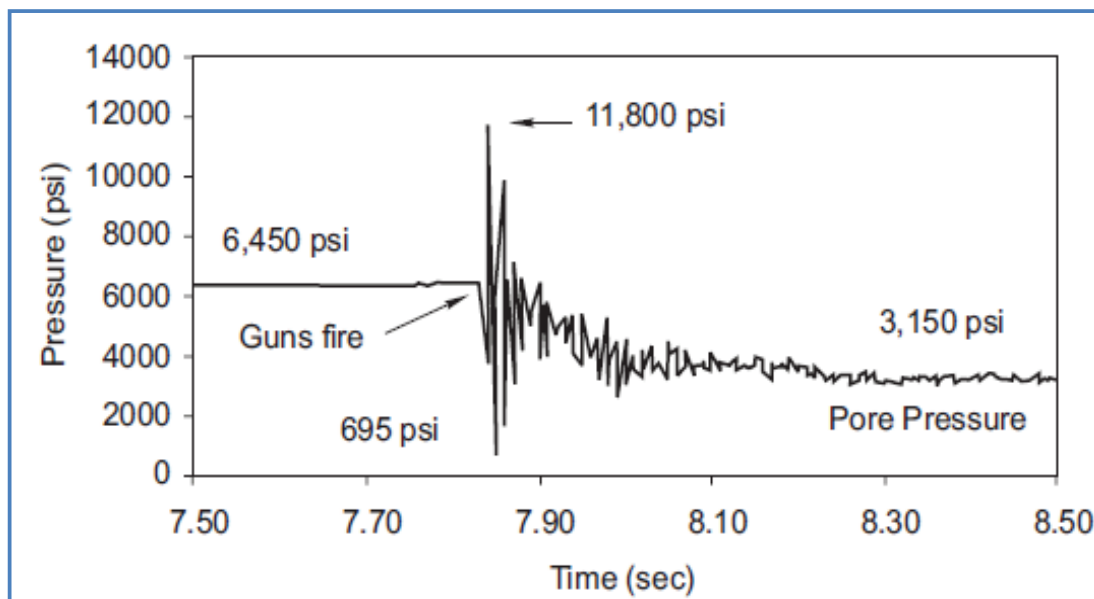
En esta configuración la presión en el tubing es menor a la presión hidrostática en el anular bajo el packer, una válvula colocada arriba del cañón es diseñada para mantener aisladas estas dos presiones. La válvula se abre inmediatamente que se detonan las cargas, el flujo hacia el volumen del cañón crea el bajo balance dinámico de una condición inicial que puede estar en balance o sobre balance estático. La apertura de la válvula permite al fluido ir hasta la superficie.

El diseño del cañoneo debe ser el óptimo, un excesivo bajo balance puede crear daños a la roca y tener aporte de arena al pozo. Para que la operación de cañoneo con bajo balance sea segura se debe realizar bajando los cañones con

tubería (TCP). La duración del bajo balance dinámico es de suma importancia para la limpieza de los perforados.

En el ejemplo mostrado en la figura 2.25, se observa con un perfil de presiones como se da la presión de bajo balance dinámico, de una condición inicial de sobrebalance estático

FIGURA 2. 25 PERFIL DE PRESIONES CON BAJO BALANCE DINAMICO, DE UNA CONDICIÓN INICIAL DE SOBRELANCE ESTÁTICO



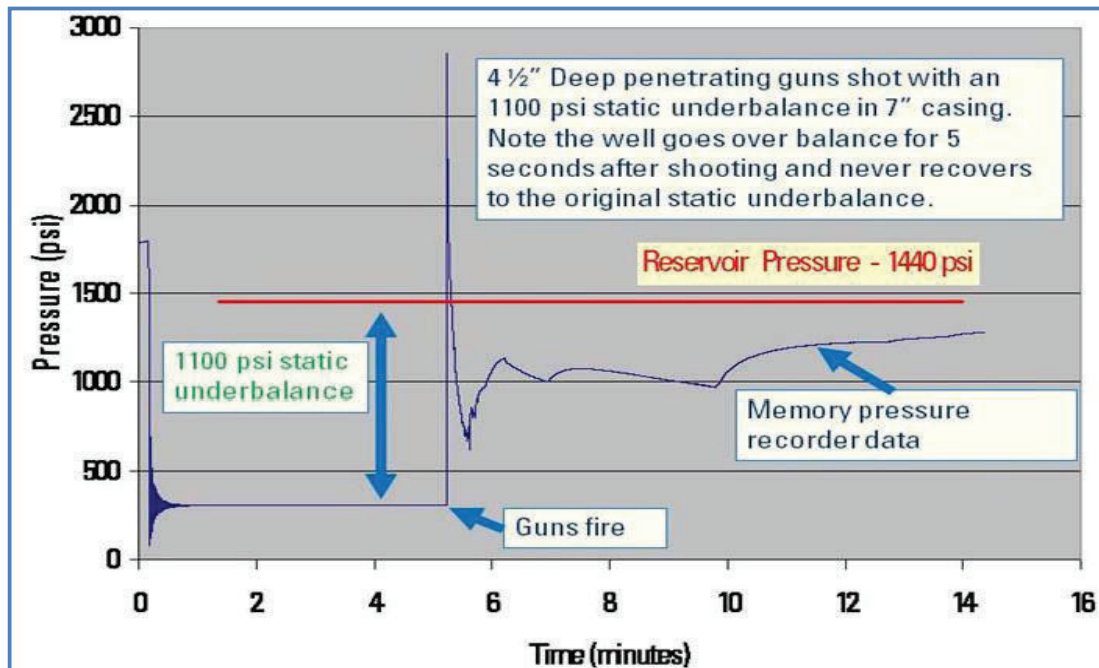
Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

La operación de cañoneo fue realizada con una presión de sobrebalance de aproximadamente 3300 psi. Inmediatamente realizado el disparo la presión aumenta hasta 11 800 este aumento está asociado con la propagación de la onda de choque generada por el disparo.

Luego decrece mientras los líquidos entran al cañón bajando hasta una presión de 695 psi, para luego estabilizarse a 3150. Todos estos cambios de presiones suceden en fracciones de segundo. El bajo balance instantáneo generado es de trascendental importancia para la limpieza de los perforados.

A continuación se presenta un perfil de presión donde se genera un bajo balance dinámico con una condición inicial de bajo balance estático.

FIGURA 2. 26 PERFIL DE PRESIONES CON BAJO BALANCE DINAMICO, CON UNA CONDICIÓN NICIAL DE BAJO BALANCE ESTÁTICO



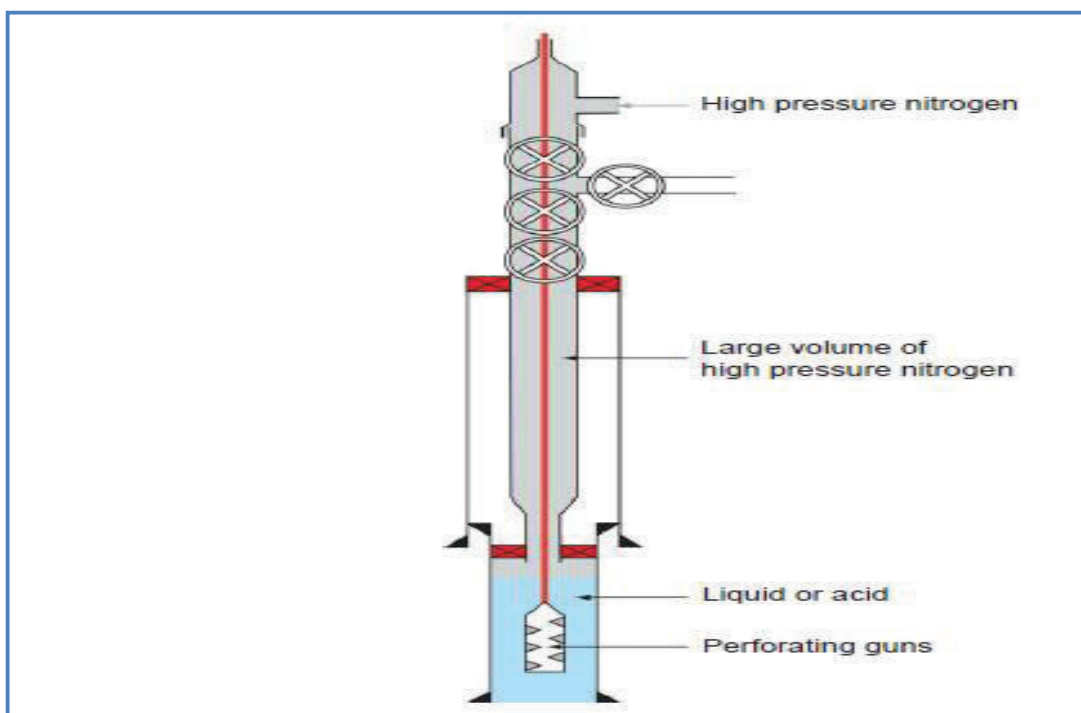
Fuente: Hanaey Ibrahim SPE, Ali Harrasi, Schlumberger; Overcoming Near Wellbore Damage Induced Flow Impairment with Improved Perforation Job Design and Execution Methods; 2008

2.5.5.2 Sobre Balance Extremo.

Para casos donde la presión de bajo balance no es suficiente para una limpieza efectiva, o existe un riesgo de una pega de los cañones en el fondo del pozo, aplicar una presión de bajo balance no es posible. Para estos casos algunos expertos han sugerido usar un cañoneo con Sobre Balance Extremo. Esta técnica permite inducir pequeñas microfracturas dentro de la formación debido a que el cañoneo se lo realiza a presiones iguales o ligeramente superiores a la presión de fractura. La alta presión es generada al presurizar un fluido que puede ser gas nitrógeno. La figura 2.27 muestra un ejemplo de los elementos a utilizar en un cañoneo realizado con Sobre Balance Extremo, donde el volumen de gas nitrógeno está a una alta presión, bajo el gas se encuentra una columna de líquido o ácido y los respectivos elementos del cañón. Inmediatamente luego de iniciado el cañoneo a la formación, la alta energía almacenada en el gas nitrógeno presurizado es liberada, por lo tanto el gas se expande y el fluido existente al

fondo entra en los perforados y ayuda a alargar las microfracturas, pasando la zona de daño creado por la perforación. Los residuos de la roca generados debido a la alta presión entran y permiten apuntalar las pequeñas fracturas, para esto también es posible adicionar propante en los cañones.

FIGURA 2. 27 CAÑONEO CON SOBREALANCE EXTREMO

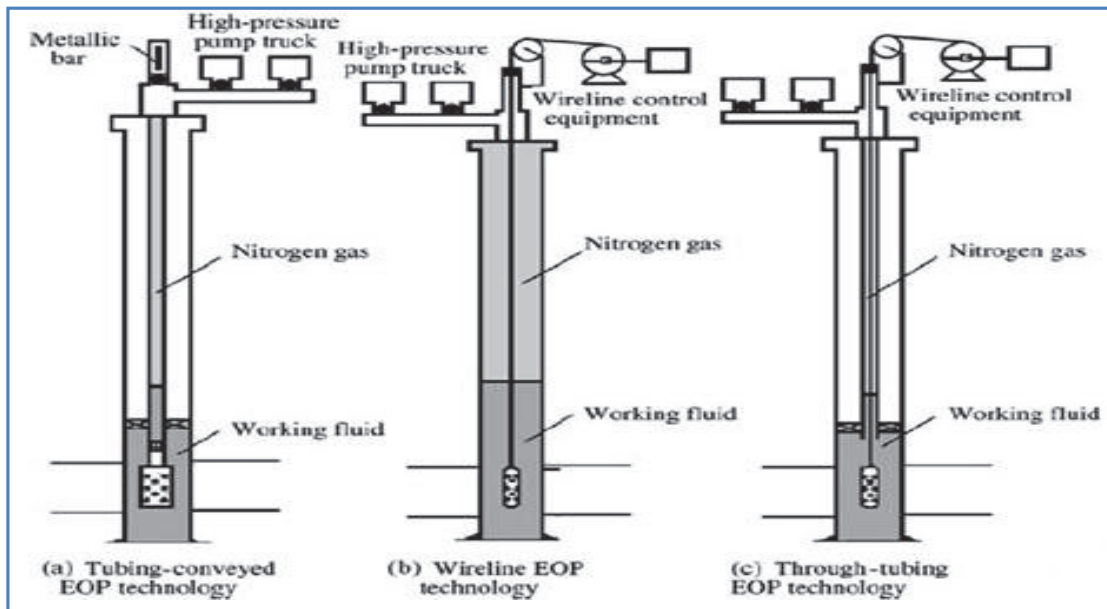


Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Esta técnica es adecuada para reservorios de bajas permeabilidades (menores a 100 md) y puede considerarse como una técnica intermedia entre el cañoneo y el fracturamiento convencional. La mayoría de trabajos de cañoneo con sobre balance extremo son diseñados con un nivel de presión mínima de 1.4 psi/ft de la profundidad total verdadera. Para óptimos resultados se sugiere utilizar la presión lo más alta posible sin comprometer la integridad del pozo o la seguridad de la operación.

La técnica de cañoneo con Sobre Balance Extremo se la puede realizar con tubería (TCP), con cable eléctrico a través del Tubing (TTP), o con cable eléctrico (WCP), como lo muestra la figura 2.28.

FIGURA 2. 28 MÉTODOS DE CAÑONEO EN SOBRELANCE EXTREMO

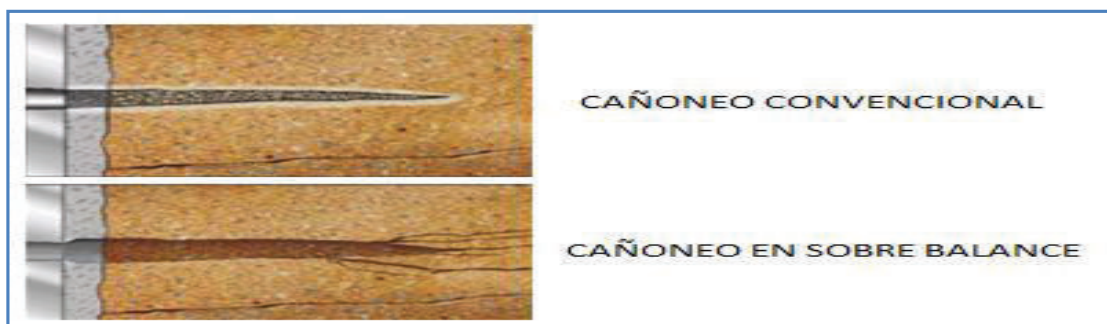


Fuente: Advanced Well Completion Engineering, Wan Renpu

La técnica de Sobre Balance Extremo con tubería (TCP) es adecuada para reservorios con altas presiones, mientras que la tecnología con cable eléctrico (WCP) se aplica en reservorios con bajas presiones y, el Sobre Balance Extremo con wireline a través de tubing (TTP) es apropiado para pozos viejos en donde se requiera re cañonear sin sacar el tubing.

La figura 2.29 muestra la diferencia entre el Cañoneo Convencional y el Cañoneo con Sobre Balance, apreciando claramente, como se crean microfisuras en las vecindades de los perforados.

FIGURA 2. 29 CAÑONEO CONVENCIONAL Y CAÑONEO EN SOBRELANCE



Fuente: Advanced Well Completion Engineering, Wan Renpu

2.6 DAÑO O FACTOR SKIN

El daño o normalmente llamado Factor Skin es definido como una zona de permeabilidad reducida (ó alta) en las cercanías del pozo, como producto de la invasión del fluido de perforación, la dispersión de las arcillas o la presencia de cemento. La penetración parcial, las limitaciones del cañoneo, o los taponamientos de los perforados son factores que también pueden producir un daño a la formación.

El factor Skin puede ser usado como un índice para determinar la eficiencia de la perforación y la completación. Un factor Skin positivo determina que un pozo tiene presencia de daño, el factor Skin negativo es asignado para un pozo estimulado, mientras que un factor Skin de cero indica que el pozo no tiene alteraciones.

El factor Skin se resume en el cambio de la geometría del flujo radial en las cercanías del pozo debido a: la convergencia del flujo, al daño por perforación, daño por el cañoneo, por penetración parcial y por la desviación del pozo.

$$S_t = S_{c+\theta} + S_p + S_d + S_i \quad (2.3)$$

Dónde:

$S_t =$ Daño Total o Factor Skin Total

$S_{c+\theta} =$ Skin causado por penetración parcial y la desviación del pozo

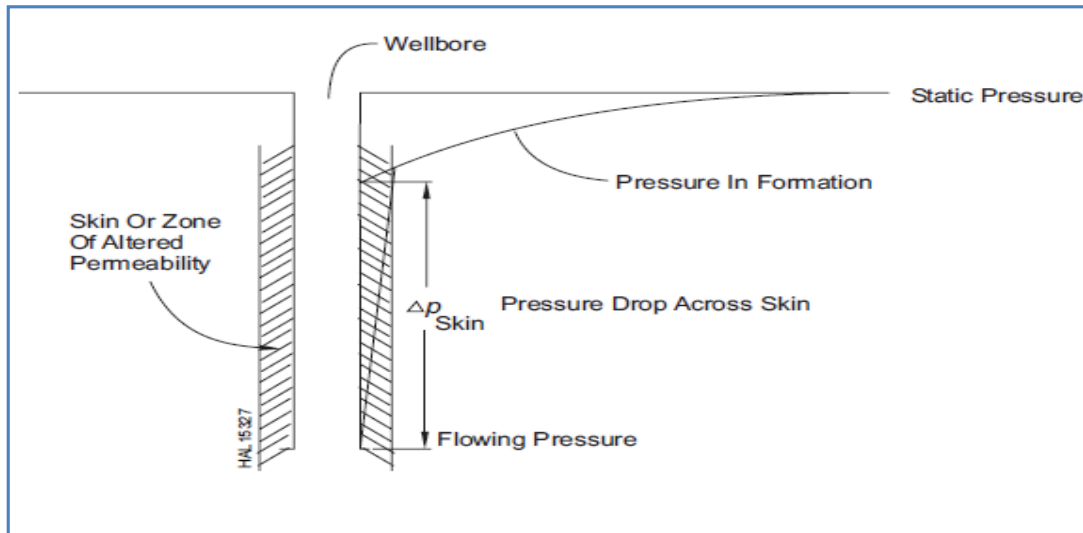
$S_p =$ Daño por cañoneo

$S_d =$ Daño por la perforación

$S_i =$ Incluyen los factores del Pseudo – Skin

La figura 2.30 muestra la caída de presión en las cercanías del pozo debido al daño.

FIGURA 2. 30 DISTRIBUCIÓN DE LA PRESIÓN EN UN RESERVORIO CON DAÑO O SKIN

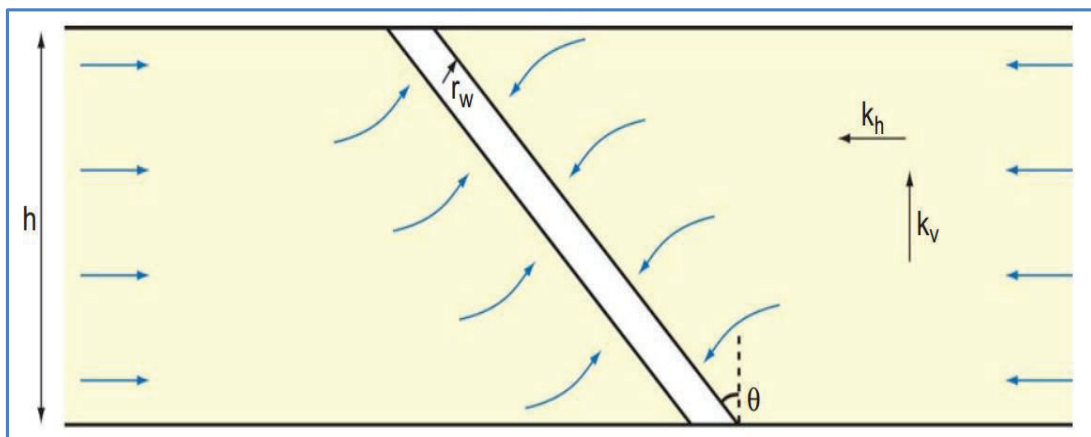


Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

2.6.1 DAÑO POR DESVIACIÓN DEL POZO

Un esquema de un pozo desviado es presentado en la figura 2.31.

FIGURA 2. 31 ESQUEMA POZO DESVIADO



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Para pozos a hueco abierto el daño por desviación del pozo debe ser incluido dentro del daño total. Uno de los de los primeros estudios fue realizada por CINCO (1975), el cual presenta la siguiente relación.

$$S_{dev} = - \frac{\theta'}{41}^{2,06} - \frac{\theta'}{56}^{1,865} \log_{10} \frac{h}{100r_w} \frac{\overline{k_h}}{k_v} \quad (1.4)$$

$$\theta' = \tan^{-1} \frac{\overline{k_h}}{k_v} \tan \theta \quad (2.5)$$

Dónde:

$k_h =$ Permeabilidad horizontal

$k_v =$ Permeabilidad Vertical

$r_w =$ radio del pozo, ft

$\theta =$ Ángulo del pozo con el reservorio.

En la figura 2.31 se puede apreciar que a lo lejos del pozo el flujo es horizontal y radial, mientras que en las cercanías existe una componente vertical, es por esta razón que la permeabilidad vertical es incluida.

Cuando los valores de permeabilidad tanto horizontal como vertical varían cada cierto intervalo en el reservorio, se debe calcular los promedios tanto para k_h como para k_v .

El valor de k_v es el promedio armónico, y el valor de k_h es el promedio aritmético.

El promedio armónico de la permeabilidad vertical es calculado así:

$$k_v = (h_1 + h_2 + h_3 + \dots) \frac{h_1}{k_{v1}} \frac{h_2}{k_{v2}} \frac{h_3}{k_{v3}} + \dots^{-1} \quad (2.6)$$

Donde $h_1, h_2, h_3 \dots$ son los espesores del 1^{ro}, 2^{do}, 3^{er}, etc intervalo y $k_{v1}, k_{v2}, k_{v3}, \dots$ las permeabilidades verticales del 1^{ro}, 2^{do}, 3^{er}, etc intervalo.

La relación de CINCO es válida para pozos con ángulos menores a 75° . Para cualquier ángulo, excepto pozos horizontales, existe la relación de BESSON (1990), la cual concuerda con la de CINCO hasta los 75° en formaciones homogéneas. La relación de anisotropía es usada (β).

$$\beta = \frac{\bar{k}_h}{k_v} \quad (2.7)$$

$$S_{dev} = \ln \frac{4r_w}{L\beta\gamma} + \frac{h}{\gamma L} \ln \frac{\bar{L}h}{4r_w} \frac{2\beta}{1+\frac{1}{\gamma}} \quad (2.8)$$

$$L = \frac{h}{\cos\theta} \quad (2.9)$$

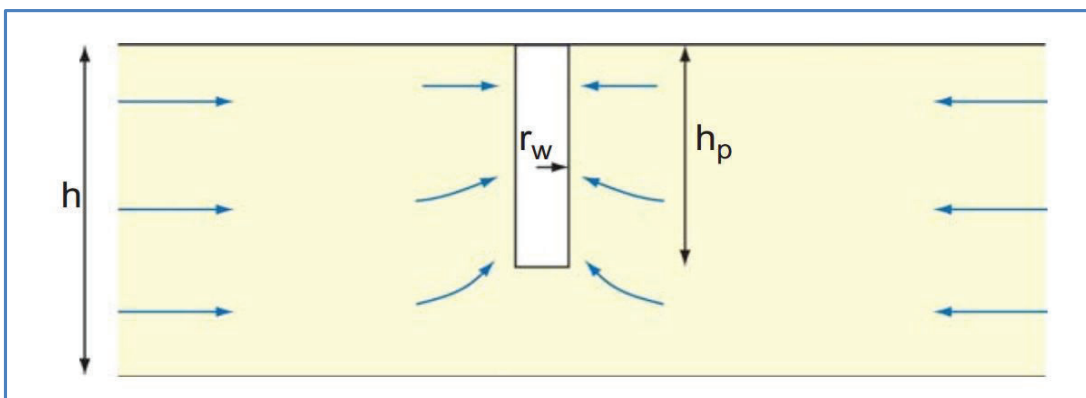
$$\gamma = \frac{1}{\beta^2 + \frac{h^2}{L^2}} \left(1 - \frac{1}{\beta^2} \right) \quad (2.10)$$

Para los cálculos del daño por desviación del pozo la relación de BESSON es generalmente usada.

2.6.2 DAÑO POR PENETRACIÓN PARCIAL

El daño por Penetración Parcial tiene aplicación en pozos entubados y cañoneados donde se necesita reducirse la conificación de agua y gas. Sin embargo para pozos a hueco abierto donde la completación no corresponde al espesor total del reservorio tendrá también el efecto skin por penetración parcial. La figura 2.32 muestra el efecto Skin por penetración parcial.

FIGURA 2. 32 EFECTOS POR PENETRACIÓN PARCIAL



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Por lo general los efectos por penetración parcial siempre incrementa el Skin, en cambio los efectos de desviación del pozo disminuye el factor Skin. Un método frecuentemente usado es el de BRONS Y MARTING (1959), el cual es válido para reservorios homogéneos $\frac{k_v}{k_h} = 1$

Para este método dos parámetros deben ser determinados: b y $\frac{h}{r_w}$

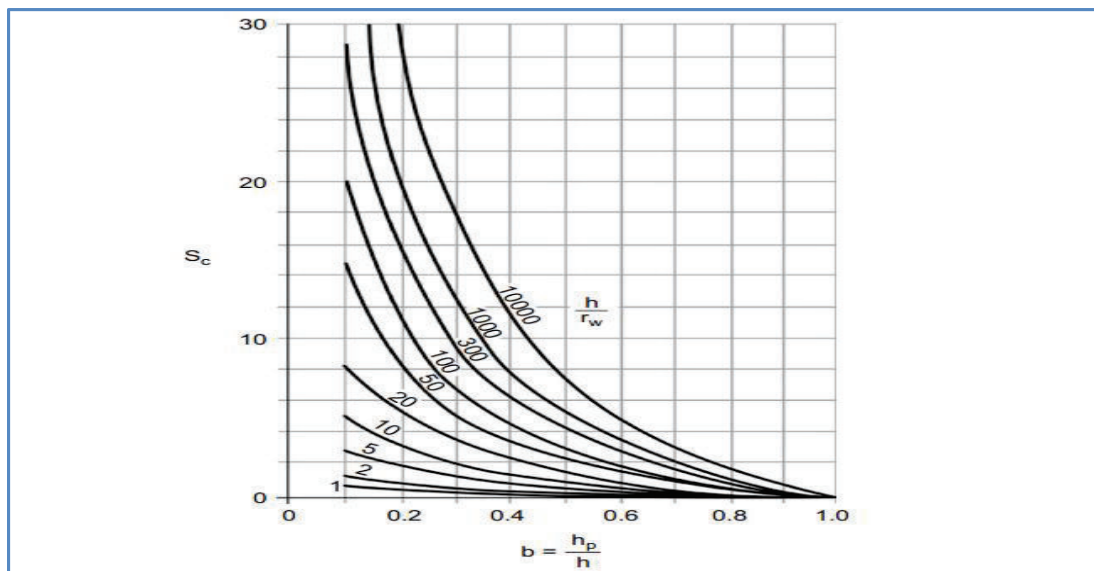
$$b = \text{fracción de la zona de pago completada} \quad (2.11)$$

$$b = \frac{\text{Proyección del intervalo total completado perpendicular al reservorio}}{\text{espesor de la zona de pago}} \quad (2.12)$$

$$\frac{h}{r_w} = \frac{\text{espesor de los elementos simétricos}}{\text{radio del pozo}} \quad (2.13)$$

Con estos datos se usa la figura 2.33 y se determina el daño por penetración parcial (S_c).

FIGURA 2. 33 RELACIÓN DE DAÑO POR PENETRACIÓN PARCIAL POR BRONS Y MARTING



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

A menudo las permeabilidades verticales son mucho menores que las permeabilidades horizontales, es por esto que otro método usado es el de ODEH

(1980) el cual usa una ecuación para determinar el daño por penetración parcial (S_c) en pozos donde: $(k_v/k_h) < 1$.

$$S_c = 1,35 \frac{h}{h_p} - 1 \ln h \frac{\bar{k}_h}{k_v} + 7 - \ln r_{wc} (0,49 + 0,1 \ln h \frac{\bar{k}_h}{k_v} - 1,95) \quad (2.14)$$

Donde r_{wc} es r_w para un intervalo perforado que empiece en el tope del reservorio o que termine en la base del mismo.

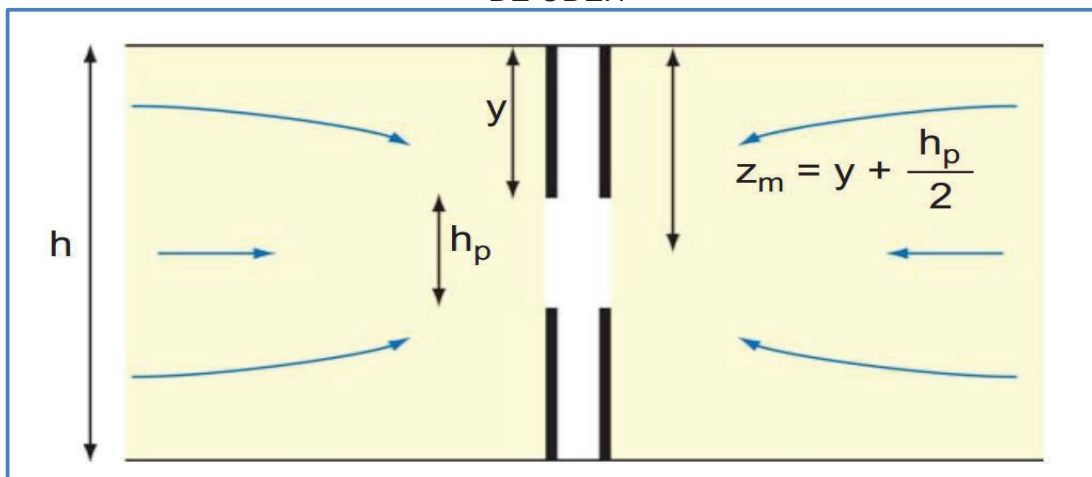
Para otros casos el radio del pozo corregido es calculado de la siguiente manera.

$$r_{wc} = r_w e^{0,2126(\frac{z_m}{h} + 2,753)} \quad (2.15)$$

z_m = la distancia del tope de la arena a la mitad del intervalo abierto al flujo

La figura 2.34 muestra los parámetros a considerar en el modelo de ODEH.

FIGURA 2. 34 PARÁMETROS DEL MODELO POR PENETRACIÓN PARCIAL DE ODEH

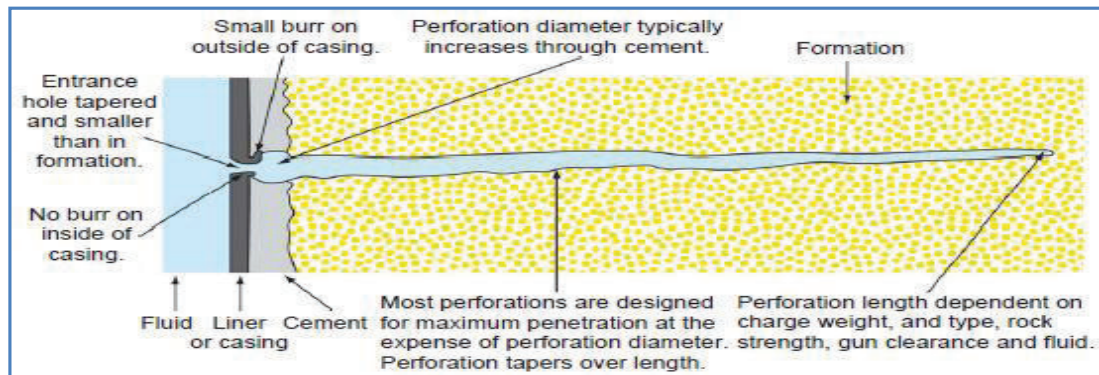


Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Se debe procurar tener simetría en completaciones bajo la mitad del reservorio, pues el término $\frac{z_m}{h}$ no debería ser mayor a 0,5.

2.6.3 DAÑO POR DISPAROS

Para determinar el daño por disparos, la geometría de un solo disparo debe ser conocida, tal como lo muestra la figura 2.35.

FIGURA 2. 35 GEOMETRÍA DE UNA PERFORADO

Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Luego de conocer la geometría de un solo disparo, se combina con la fase y la densidad de los disparos y se conoce los efectos de daño por cañoneo.

Para el cálculo de daño por disparos el modelo de KARAKAS Y TARIQ es ampliamente usado incluso en los simuladores de computadoras.

El modelo determina cuatro componentes: daño horizontal (S_h); daño en el pozo (S_{wb}), el daño vertical (S_v) y el daño en los alrededores de los perforados (S_c).

$$S_p = S_h + S_{wb} + S_v + S_c \quad (2.16)$$

Para el cálculo, los siguientes parámetros deben ser conocidos:

TABLA 2. 2 PARÁMETROS PARA EL MODELO DE KARAKAS Y TARIQ

PARÁMETRO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
r_w	in.	Radio del pozo a hueco abierto
H	in.	Espacio entre perforados (12/disparos por pie)
Fase	Grados	Ángulo entre disparos
l_p	in.	Longitud de los perforados (en la formación)
r_p	in.	Radio de los perforados (asumir un radio constante)
r_c	in.	Radio de la zona alterada alrededor de los perforados
k_c	Md	Permeabilidad de la zona alterada alrededor de los perforados
r_d	in.	Radio de la zona alterada por la perforación
l_d	in.	Longitud de la zona alterada por la perforación ($r_d - r_w$)
K	Md	Permeabilidad
k_d	Md	Permeabilidad en la zona alterada por la perforación
K_v/k_h		Razón entre la permeabilidad vertical y horizontal

Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Elaborado Por: Alex Acaro/Jimmy León

Cálculo de S_h

$$S_h = \ln \frac{r_w}{\alpha r_w + l_p} ; \text{ para ángulo de fase } \neq 0 \quad (2.17)$$

$$S_h = \ln \frac{4r_w}{l_p} ; \text{ para ángulo de fase } = 0 \quad (2.18)$$

Donde:

α =Es obtenido de la Siguiete tabla para ángulos de fase comunes.

TABLA 2. 3 PARÁMETROS DEL MODELO DE KARAKAS Y TARIQ

Phasing (°)	α	C_1	C_2	a_1	a_2	b_1	b_2
0	N/A	1.6×10^{-1}	2.675	-2.091	0.0453	5.1313	1.8672
180	0.5	2.6×10^{-2}	4.532	-2.025	0.0943	3.0373	1.8115
120	0.648	6.6×10^{-3}	5.320	-2.018	0.0634	1.6136	1.7770
90	0.726	1.9×10^{-3}	6.155	-1.905	0.1038	1.5674	1.6935
60	0.813	3.0×10^{-4}	7.509	-1.898	0.1023	1.3654	1.6490
45	0.860	4.6×10^{-5}	8.791	-1.788	0.2398	1.1915	1.6392

Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Cálculo de S_v

Para el cálculo de S_v dos variables adimensionales deben ser calculadas

$$h_D = \frac{h}{l_p} \frac{\overline{k_h}}{k_v} \quad (2.19)$$

$$r_{pD} = \frac{r_p}{2h} \left(1 + \frac{\overline{k_v}}{k_h} \right) \quad (2.20)$$

Por lo tanto:

$$S_v = 10^a h_D^{b-1} r_{pD}^b \quad (2.21)$$

Donde:

$$a = a_1 \log_{10} r_{pD} + a_2 \quad (2.22)$$

$$b = b_1 r_{pD} + b_2 \quad (2.23)$$

Cálculo de S_{wb}

Para el cálculo de S_{wb} una variable adimensionales debe ser calculada.

$$r_{wD} = \frac{r_w}{r_p + r_w} \quad (2.24)$$

Por lo tanto

$$S_{wb} = C_1 e^{C_2 r_{wD}} \quad (2.25)$$

Donde:

C_1 Y C_2 Son obtenidos de la tabla anterior

Cálculo de S_c

$$S_c = \frac{h}{l_p} \frac{k}{k_c} - 1 \ln \frac{r_c}{r_p} \quad (2.26)$$

2.6.4 DAÑO DEBIDO A LA PERFORACIÓN Y A LOS DISPAROS

KARAKAS Y TARIQ (1988), mostraron que se puede combinar el daño debido a la perforación y a los disparos para determinar un solo modelo. El método varía dependiendo de si los disparos terminan dentro o fuera de la zona de daño por la perforación. Para los perforados que terminan dentro de la zona de daño por perforación ($l_p < l_d$)

$$S_{dap} = \frac{k}{k_d} - 1 \ln \frac{r_d}{r_w} + \frac{k}{k_d} (S_P + S_X) \quad (2.27)$$

El parámetro (S_x) es una corrección por efectos de límite pero a menudo es ignorado para los cálculos. Para los perforados que se extienden más allá de la zona de daño por perforación ($l_p > l_d$). La longitud de los perforados y el radio del pozo deben ser corregidos:

$$l'_p = l_p - \left(1 - \frac{k_d}{k}\right) l_d \quad (2.28)$$

$$l'_w = r_w + \left(1 - \frac{k_d}{k}\right) l_d \quad (2.29)$$

l'_p Y l'_w , deben ser usados en vez de l_p y r_w para el cálculo de: S'_{wb} ; S'_v y S'_c de acuerdo al procedimiento para el cálculo de daño por disparos.

$$S'_h = \ln \frac{r_w}{\propto r_w l_p} \text{ para un ángulo la fase } \neq 0 \quad (2.30)$$

$$S'_h = \ln \frac{4r_w}{l_p} \text{ para un ángulo de fase } = 0 \quad (2.31)$$

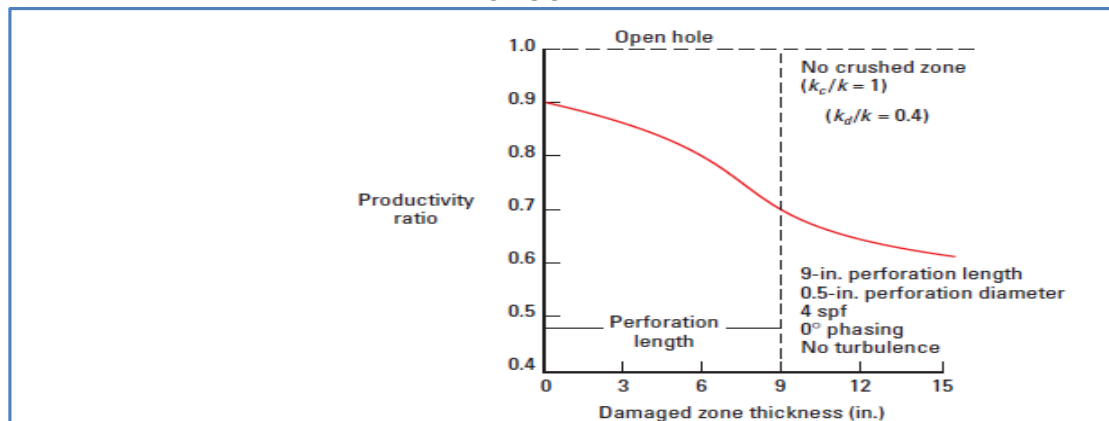
El daño (S_{dp}) incluye el daño por cañoneo y el daño por perforación.

$$S_{dp} = S'_h + S'_{wb} + S'_v + S'_c \quad (2.32)$$

2.6.4.1 Efecto del daño debido a la perforación en la relación de productividad

El daño de formación es una disminución de la permeabilidad en la región cercana al pozo, dado por la invasión de finos que proviene de la perforación o del lodo de perforación. El efecto incrementa con el daño por cañoneo, resultando en perforados con una pobre limpieza. En la siguiente figura 2.36 se muestra el efecto del daño de formación en la productividad. Cuando el daño de formación es mucho menor a la longitud del perforado la relación de productividad es cercana a su máximo valor. Cuando el daño de formación es cercano a la longitud del perforado, existe un punto de inflexión en la curva, indicativo que la relación de productividad decrece más rápido. La distancia del daño de formación puede ser calculada modelando el factor B, un nuevo método práctico para estimar la productividad de un pozo, el cual dependiendo de los resultados ayudará a optimizar los parámetros de cañoneo.

FIGURA 2. 36 EFECTO DEL DAÑO DE PERFORACIÓN EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD

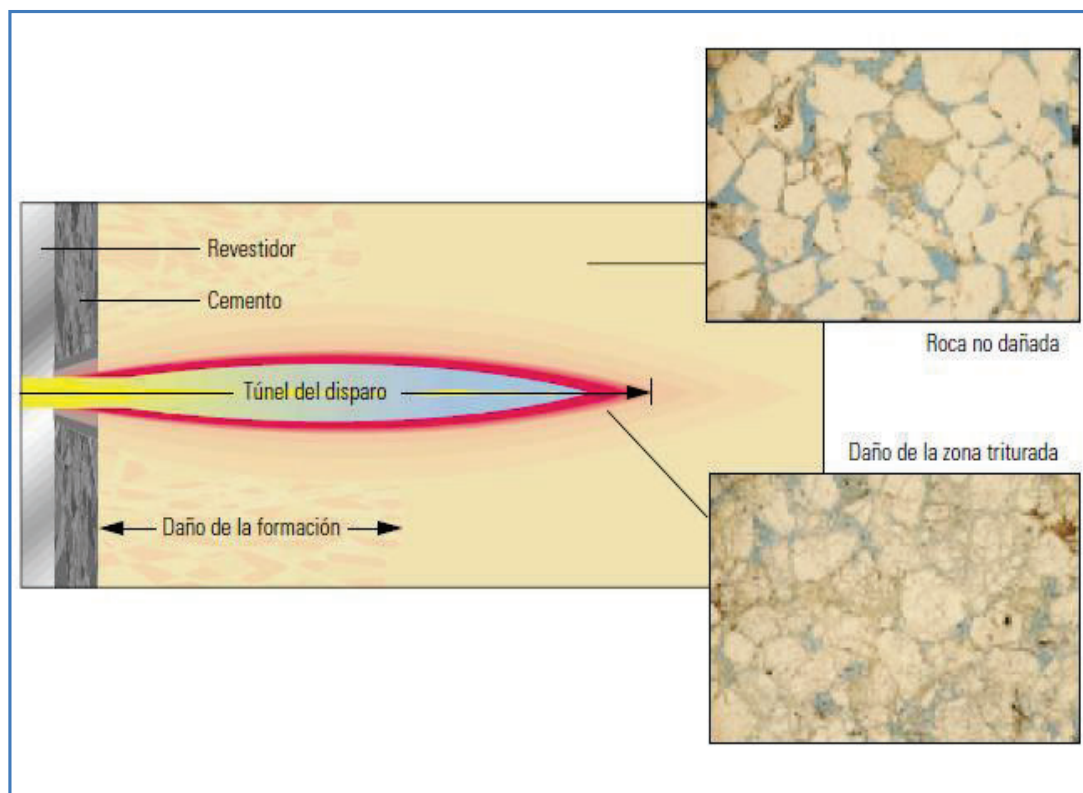


Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

2.6.4.2 Efecto del daño debido a los disparos en la relación de productividad.

Una de las manifestaciones del daño debido a los disparos, es la zona de debris o crushed zone, formada en los alrededores de los perforados, esta es una zona donde se ve alterada la permeabilidad de la formación debido a la invasión del debris de la roca y la carga.

FIGURA 2. 37 EFECTO DEL DAÑO POR CAÑONEO EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD



Fuente: Oilfield Review 2000, Schlumberger.

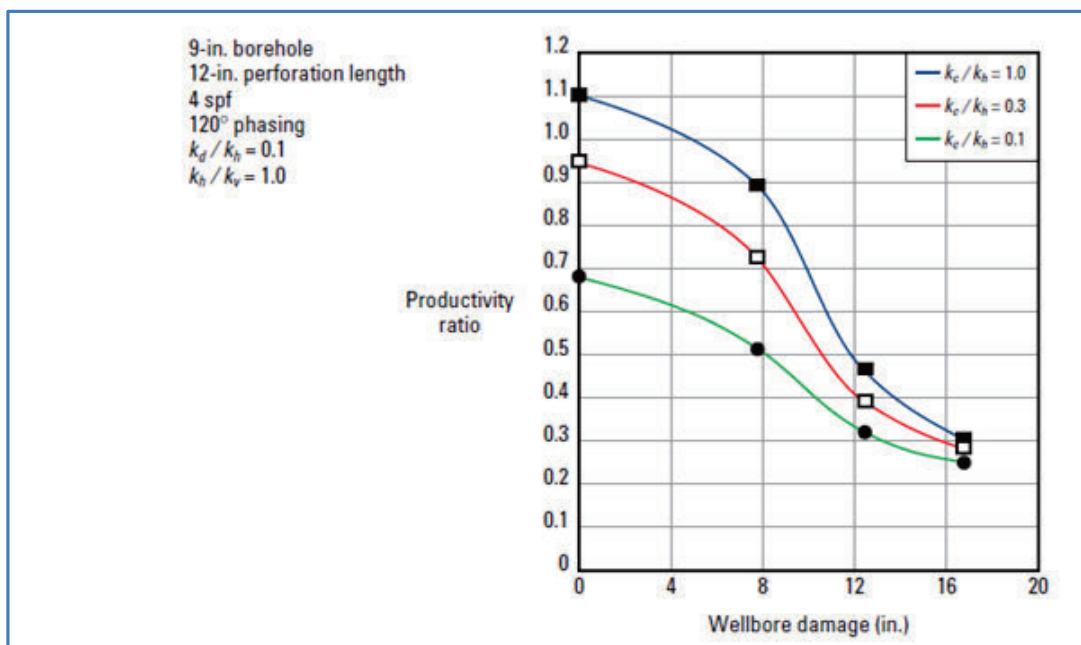
Los siguientes ejemplos muestran como varía el daño debido a los disparos en la relación de productividad.

En la gráfica 2.38 se muestra el PR simulado para un trabajo de cañoneo bajo los siguientes parámetros:

- Diámetro del pozo: 9 pulgadas
- Longitud de los perforados: 12 pulgadas

- Densidad de los disparos: 4dpp.
- Fase: 120°
- Razón de la permeabilidad de la zona de daño a la permeabilidad vertical: $K_d/k_h=0.1$
- Razón de la permeabilidad horizontal a la permeabilidad vertical: $K_h/k_v=1$.
- Tres valores de permeabilidad en la zona de debris son mostrados: $K_c/K_h=1$; $K_c/K_h=0,3$; $K_c/K_h=0,1$.

FIGURA 2. 38 EFECTO DEL DAÑO EN LOS PERFORADOS EN LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD

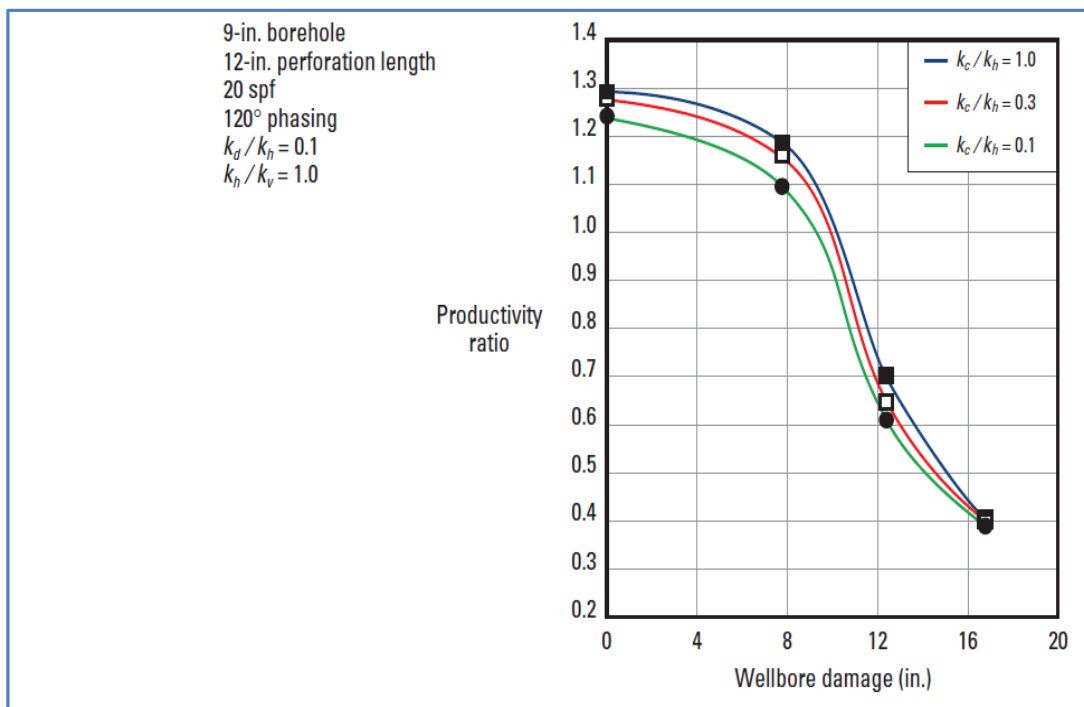


Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

La producción óptima para el presente ejemplo se alcanza cuando el daño de formación no va más allá de 6 pulgadas, para todos los valores de permeabilidad en la zona de debris.

Bajo los mismos parámetros del ejemplo anterior, el efecto de daño en la zona de debris disminuye cuando se incrementa la densidad de disparos a un valor considerable, en este caso a 20 dpp, el ejemplo se presenta en la gráfica 2.39.

FIGURA 2. 39 REDUCCIÓN DEL DAÑO EN LOS PERFORADOS INCREMENTANDO LA DENSIDAD DE DISPAROS



Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

Este resultado muestra que cuando los perforados no pueden ser limpiados correctamente, incrementar la densidad reduce el efecto de daño en la zona de debris y optimiza la producción

2.7 MÉTODOS DE CAÑONEO DE ACUERDO AL SISTEMA DE TRANSPORTE.

Los sistemas de cañoneo eran inicialmente transportados con wireline (al interior del casing o tubing) y más tarde con tubería (TCP).

Históricamente los sistemas de cañoneo fueron clasificados en dos grupos relacionados al sistema de transporte:

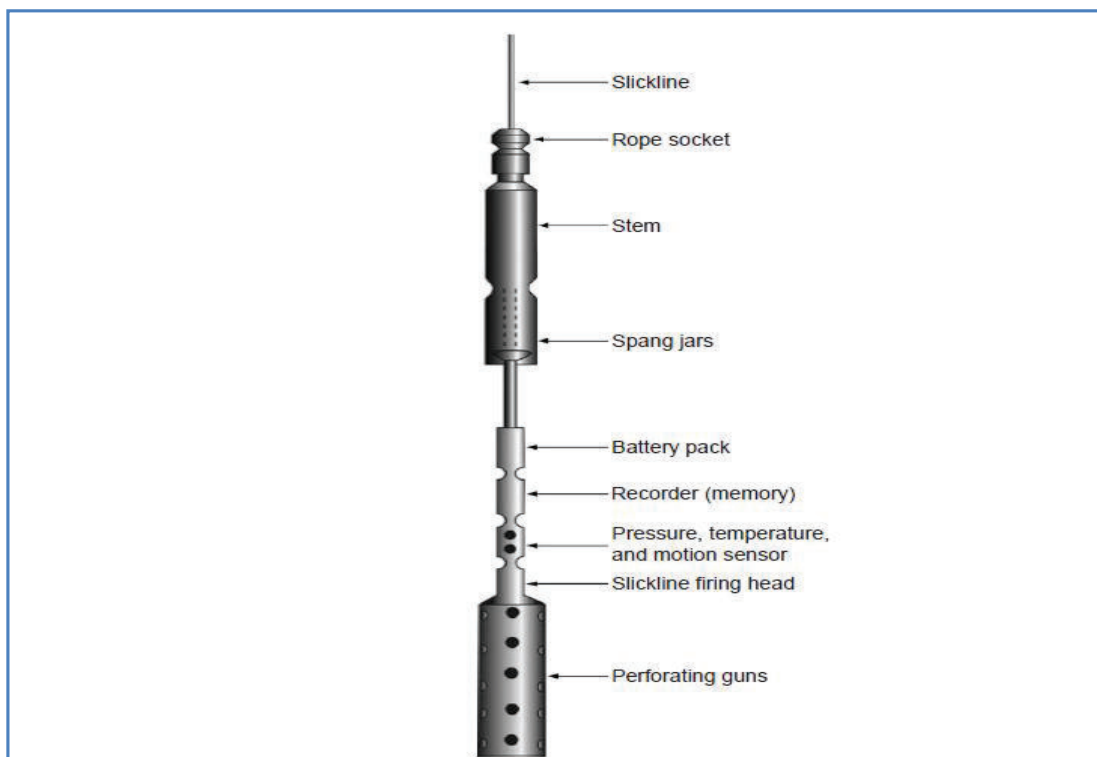
- Cañones transportados con Cable.
- Cañones Transportados con Tubería

2.7.1 CAÑONES TRANSPORTADOS CON CABLE

El tipo de cable con el que se transportan los cañones al interior del pozo puede ser con cable eléctrico o con slickline. Una ventaja de que el transporte sea con cable eléctrico es que se tiene control de la profundidad en tiempo real.

Desde el punto de vista operacional, la operación o el transporte con cable es más rápida para cañonear intervalos cortos de la formación, además la operación es mucho más rápida que el cañoneo con tubería, esta consideración es muy importante, especialmente en pozos con altas temperaturas, debido a que reduce el tiempo de exposición de los explosivos, en comparación a las operaciones con TCP. En la figura 2.40 se muestra el ensamblaje de los cañones transportados con slickline.

FIGURA 2. 40 CAÑONES TRANSPORTADOS CON SLICKLINE



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Para asegurar que los cañones no sean disparados en intervalos que no son los adecuados, varios parámetros de seguridad son programados en los detonadores

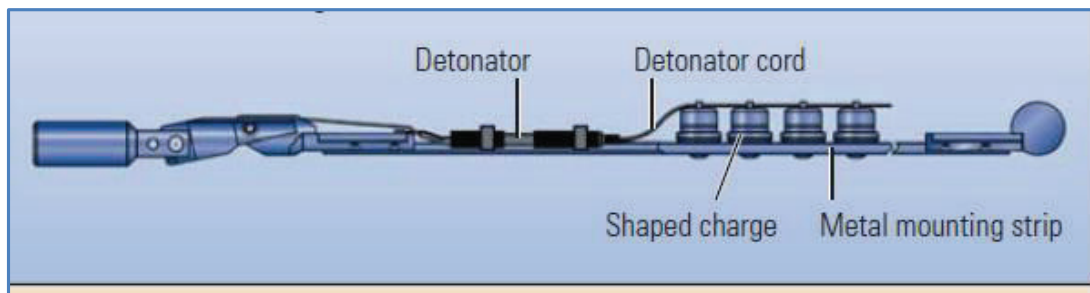
o cabezas de disparo. Los parámetros son presión, temperatura y movimiento. Los cañones no serán disparados a menos que estén fuera de movimiento por un periodo de tiempo determinado y dentro de una determinada presión y temperatura.

Los cañones transportados con cable se los pueden realizar a través del tubing.

2.7.1.1 CAÑONES TRANSPORTADOS A TRAVÉS DEL TUBING (TTP)

Los cañones son por lo general transportados con cable eléctrico una vez que la completación y el equipo de superficie han sido instalados. El cañoneo a través del tubing mostrado en la figura 2.41 es un método ampliamente utilizado en completaciones a flujo natural, pero sus cañones están limitados al diámetro pequeño del tubing.

FIGURA 2. 41 CAÑONES TRANSPORTADOS A TRAVÉS DEL TUBING



Fuente: Oilfield Review Spring 2012, Schlumberger

2.7.2 CAÑONEO TRANSPORTADOS CON TUBERÍA (TCP)

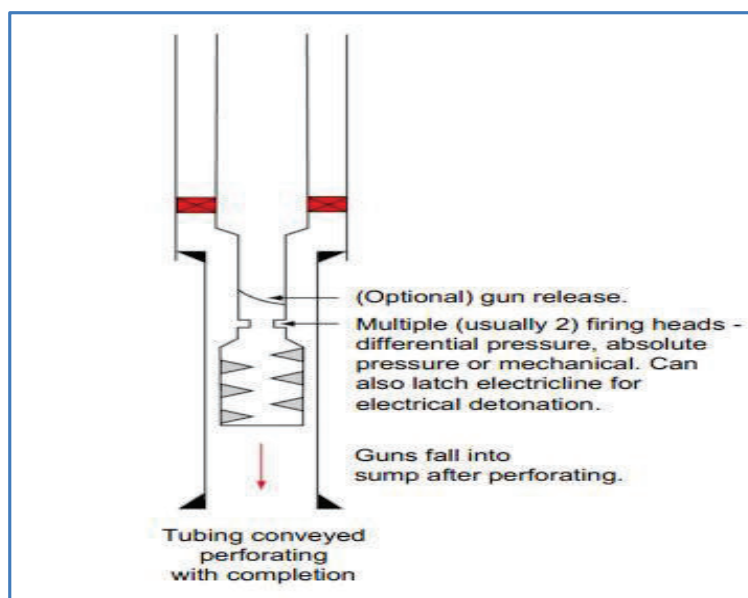
Los cañones pueden ser bajados hasta la profundidad a perforar mediante tubería de producción o coiled tubing. La operación con TCP es mucho más eficiente cuando se cañonean intervalos largos, o intervalos en donde intervienen varias zonas. Entre las ventajas del TCP tenemos las siguientes:

- Grandes cañones pueden ser disparados en condiciones de bajo-balance, y estar listos para producción.
- Cuando el TCP es corrido en conjunto con La herramienta drillstem test (DST), los fluidos pueden ser fácilmente controlados.

- La sarta del TCP puede ser recuperado o dejado como parte de una completación permanente, sin tener que matar el pozo.

La figura 2.42 muestra un esquema de una sarta de cañoneo con TCP

FIGURA 2. 42 ESQUEMA DE CAÑONEO CON TCP



Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

2.7.2.1 Procedimiento operativo con TCP

2.7.2.1.1 Preparación de Equipo Previo al Trabajo.

- Sartas y cañones armados no debe ser sometidos a un exceso de sacudidas o golpes (izaje desde la planchada). Esto podría causar la desalineación de las cargas.
- El especialista TCP debe:
 - a) Medir IDs y ODs de todas las herramientas.
 - b) Chequear físicamente todo crossover para comprobar compatibilidad.
 - c) Chequear físicamente los equipos que se van a manejar.
 - d) Proveer un detalle del BHA en un diagrama.
 - e) Identificar todos los repuestos.
 - f) Chequear el mínimo ID del pozo y el máximo OD del BHA.

- Los cañones de TCP no deben ajustarse con la llave hidráulica, en su lugar solo llaves de tubo se utilizaran para esta maniobra.
- No es permitido en la torre de perforación la utilización de racks de cañones.
- Si hay cualquier desviación del programa o si se producen problemas mientras se esté transportando los cañones con la tubería en o fuera del pozo, el especialista TCP debe ser informado antes de que se tomen medidas adicionales.

Precaución: Bajo ninguna circunstancia se debe cerrar los rams en los cañones.

2.7.2.1.2 Distribución de cañones en las operaciones

- Los cañones deberán estar dispuestos y listos con tiempo de sobra antes de correrlos en el pozo.
- Asegúrese de que los cañones estén cargados de acuerdo con la última hoja de carga del intervalo.

2.7.2.1.3 Procedimiento de Corrida de Cañones

- Garantizar que un permiso válido está en su lugar antes de correr los cañones en el pozo. Confirme que el personal esencial se encuentra dentro del área de trabajo designada.
- Realizar una reunión que detalle las diversas etapas de la operación de TCP y los procedimientos pertinentes.

Nota: Revisar el diagrama de herramientas de TCP, las condiciones del pozo y todos los cálculos antes de realizar el trabajo.

- Usar los elevadores en los cañones, recoger el primer cañón. Asentar en cuñas, desacoplar elevadores y acoplar “H” de Seguridad (utilizar un collarín hasta que haya suficiente peso para mantener los cañones establecidos en las cuñas).

- Quitar el lifting subs del cañón en la mesa rotaria e instalar los O-rings. Cubrir la rosca una vez que los O-rings se instalen para evitar daños en explosivos y herramientas.
- Levantar el siguiente cañón y chequear que el número del cañón sea el correcto.
- Recoger con el bloque viajero el siguiente cañón (elevadores del taladro) una vez inmóvil e izado por encima de la mesa rotaria remueva el protector del conector inferior, verificando el explosivo interno. Guiar lenta y cuidadosamente el cañón superior sobre el inferior que está en las cuñas hasta que las roscas se acoplen.
- Ajustar y acoplar los cañones con llave de tubo. “No use lagartos, ni llave hidráulica”.
- Recoger con el bloque viajero el conjunto de fondo y quitar las cuñas. Bajar el conjunto TCP y asentar las cuñas en el cañón superior.
- Repetir los pasos del 5 al 8 hasta que todos los cañones hayan sido corridos.
- Configurar el equipo que se está corriendo sea manejable y este de acuerdo a lo convenido en el presente programa.
- Acoplar la cabeza de disparo, por debajo de la tubería a continuación del último cañón.
- Instalar el niple de flujo de acuerdo a la configuración de tubería que se haya acordado con el company man.
- Instalar los crossovers requeridos para salir de los topes de liner y para la empacadura.
- Bajar el conjunto TCP y asentar las cuñas en la tubería, las veces que sean necesarias hasta que la sarta adquiera peso.

- Continuar bajando tubería hasta alcanzar la profundidad de disparo, 10 pies por debajo del intervalo a cañonear.

Nota: No detener abruptamente la sarta cuando se corra los cañones en el pozo y no golpear las cuñas para evitar efectos de martilleo en el BHA.

- Correr con wireline una herramienta GR/CCL para correlacionar la profundidad.
- Ajustar la profundidad si es requerida y espaciar la tubería para que quede en posición, tomando en cuenta arrastre, recorrido del mandril y slack off.
- Girar la tubería de acuerdo a las recomendaciones del técnico y asentar la empacadura mecánica.
- Presurizar el espacio anular.
- Lanzar la barra y detonar los cañones.
- Monitorear aporte del pozo y si no hay evidencia presurizar sistema redundante. Continúe con el programa de completación y los procedimientos posteriores al trabajo de disparo

2.7.2.1.4 Procedimiento de Contingencia

- Contingencia General

En el caso de que existan cambios en las condiciones del pozo, procedimientos o requerimientos de equipo, los siguientes pasos deben ser observados:

Los cambios mutuamente acordados entre el especialista de TCP y el cliente. Cuando el especialista de TCP este en dudas, el deberá consultar al Coordinador de TCP.

En caso de producirse grandes cambios en el procedimiento:

El especialista deberá informar ya que nuevos procedimientos deben aprobarse por el cliente y el especialista de TCP.

- Contingencia de la cabeza hidráulica redundante.

Cuando la decisión de detonar los cañones con la cabeza hidráulica redundante TDF sea tomada, debido a la conexión entre la tubería de producción por debajo de la empacadura y el espacio anular.

- La presión de la tubería en superficie se aumentará a la presión máxima predeterminada en el diseño del accionamiento. La presión máxima deberá mantenerse durante 60 segundos, luego de este periodo se libera la presión a 0 psi.
- De acuerdo a la temperatura de fondo se espera el lapso de retardo para la detonación de los cañones, dependiendo de la cantidad de retardadores que se corran, los cañones detonarán en mayor tiempo.
- Continúe con el programa de completación

Nota: Antes de iniciar la cabeza de disparo verifique la comunicación con el espacio anular, además el pozo tiene que estar acondicionado al peso del fluido requerido o una vez que la mínima presión de activación sea alcanzada, asuma que la cabeza de disparo es iniciada

- Contingencia de una cabeza hidráulica no iniciada
- Monitoree las presiones en superficie por 30 minutos después de haber alcanzado el máximo tiempo de espera. Coloque una manguera en una conexión superficial del manifold para chequear indicativos de detonación, utilice un balde con agua.
- El equipo de detección de disparo debe examinarse para verificar la detonación
- Reconfirmar y recalcular la presión máxima de actuación que va a ser alcanzada y presurizar durante al menos 1 minuto.

- Volver a aplicar presión por segunda vez (intentar y mantener mismas tasas de bombeo y confirmar volúmenes bombeados), una vez que se alcance la máxima presión retener por 60 segundos y de nuevo a desfogar presión hasta alcanzar el balance deseado. Vigilar los signos de detonación.
- Cuando no existe indicativo de que el disparo ha sido realizado, intente aplicar presión hasta la máxima presión permitida en fondo, chequee por pérdidas de inyección y tome en cuenta las presiones de colapso de la tubería, empaaduras y equipos de superficie. Repetir estos pasos hasta verificar la detonación.
- Discutir con el company man, personal del taladro y representantes del cliente, cualquier procedimiento que va a realizarse en el pozo y pueda afectar la presión hidrostática antes de retirar los cañones.
- Asegurar que las válvulas estén abiertas para prevenir incrementos de presión que afecten las cabezas de disparo.
- Cuando los cañones llegan a superficie remueva la cabeza de disparo y coloque los protectores en el cañón y las cabezas de disparo tan pronto como sea posible.

- Contingencia de cañones no iniciados

Se debe realizarse todos los esfuerzos posibles para pescar la barra detonadora, cuando esto no es posible y se ha decidido sacar la sarta TCP el siguiente procedimiento debe seguirse:

- Antes que el conjunto de fondo llegue a superficie, despeje la mesa del taladro de todo personal no necesario.
- Levante tanto como sea posible del conjunto de fondo sin quebrar ninguna conexión hasta que alcance la cabeza de disparo.

- Retirar la cabeza de disparo de la conexión con los cañones.
- Instalar el protector encima del cañón superior y al fondo de la cabeza de disparo.
- Quebrar por encima de la cabeza de disparo acoplada al conjunto de herramientas TCP. No altere el orden de estos pasos.
- Coloque en la planchada el conjunto de fondo TCP.
- Una vez que la cabeza de disparo haya sido removida, el procedimiento para desarmar los cañones es el que normalmente se utiliza.

En la tabla 2.4 se muestra un esquema comparativo entre las ventajas y desventajas de los diferentes métodos de cañoneo.

TABLA 2. 4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE CAÑONEO

Método	Ventajas	Desventajas
TCP transportado con la completación	<ul style="list-style-type: none"> - No existe límite en el peso de los cañones. - No hay límite en diámetro de los cañones, excepto por el diámetro del casing. - Acepta un alto bajo balance. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los cañones son dejados en el fondo, lo que restringe una posterior operación. - En caso de que no sean disparados correctamente, toda la completación tendría que salir a superficie. - Los cañones pueden estar sujetos a altas temperaturas por un período de tiempo grande.
Cañones Transportados con DrillPipe	<ul style="list-style-type: none"> - No existe límite en el peso de los cañones. - El transporte de los cañones es rápido y confiable. - No existe límite en el bajo balance. 	<ul style="list-style-type: none"> - El intervalo de perforación debe ser controlado con fluido de matado antes de recuperar los cañones, lo que puede ocasionar un daño a la formación.
Caños transportados con cale eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> - El tamaño de los cañones no está restringido a completaciones pequeñas. 	<ul style="list-style-type: none"> - La operación con bajo balance es altamente insegura. - El cañoneo a menudo necesita de fluido de matado lo que puede resultar en daños a la formación. - El peso de los cañones está limitado por el esfuerzo en el cable.

Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

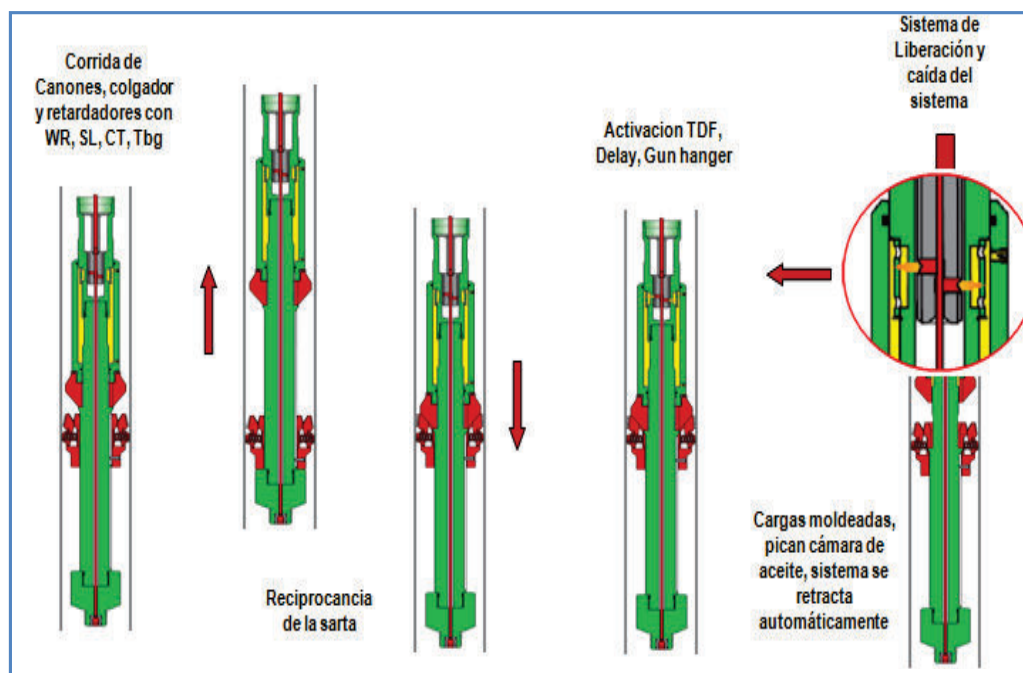
2.7.3 CAÑONES ANCLADOS

Este tipo de cañones son fijados en el liner usando una ancla, cuando las cargas son disparadas el ancla automáticamente se libera, haciendo que los cañones caigan al fondo del pozo. Este tipo de cañones pueden ser transportados mediante Wireline, Slickline, Coiled tubing o Tubería. Los cañones anclados me permiten cañonear el pozo en condición de desbalance estático.

La operación de los cañones se describe a continuación.

- El sistema de anclaje posee un J- mandril automático, transportado hasta el fondo del pozo, el reciprocarse la sarta arriba y abajo, permite anclar y desanclar el sistema. Cuando se detonan los explosivos el sistema retracta las cuñas de anclaje debido a la reciprocancia del mandril. Finalmente el sistema de cañones, son liberados, cayendo al fondo del pozo. Para posterior a esto bajar la completación. La figura 2.43 permite visualizar la secuencia de operación para los cañones anclados.

FIGURA 2. 43 SECUENCIA OPERACIONAL DE LOS CAÑONES ANCLADOS



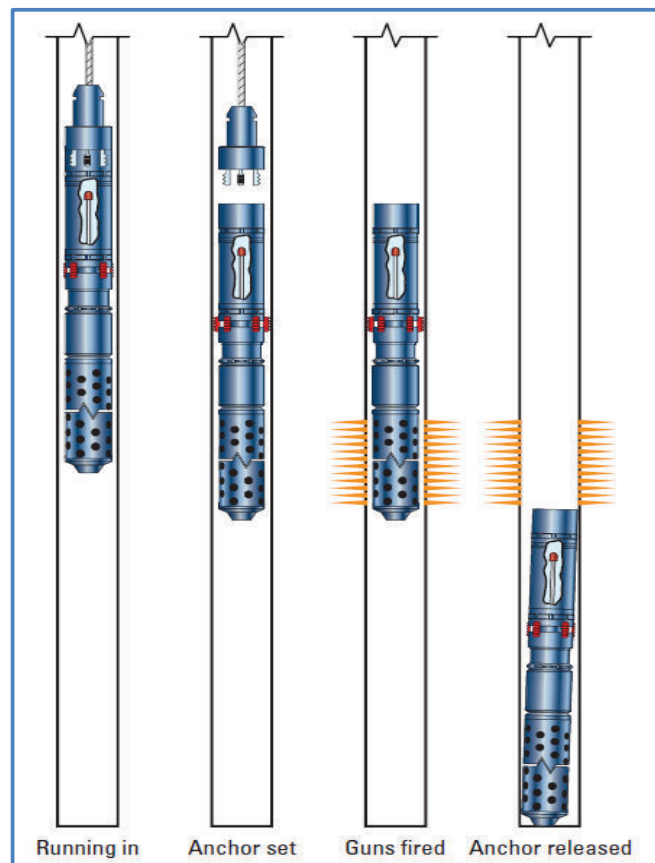
Fuente: Halliburton

2.8 TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO

2.8.1 CAÑONEO CON MAXR

El sistema MAXR (monobore anchor with automatic release) es una herramienta para anclar cañones de disparo, proporciona un automático desprendimiento en el momento de la detonación. La siguiente figura muestra la secuencia operativa.

FIGURA 2. 44 DIAGRAMA DE CAÑONEO CON MAXR



Fuente: Perforating Services Catalog 2008, Schlumberger.

Como muestra la figura 2.44, los cañones son bajados a fondo, luego se activa el anclaje y los cañones son puestos en posición.

Después la completación es instalada y fijado el correcto bajo balance estático. Luego se dispara las cargas y la detonación genera una fuerza que repliega los

deslizamientos e inicia la caída de la herramienta MAXR junto con los cañones al fondo del pozo.

2.8.1.1 Aplicaciones del sistema de cañones anclados MAXR

- Completaciones permanentes con sistemas de disparo transportados con tubería.
- Pozos altamente desviados.
- Completaciones en las que la sarta del cañón no se puede conectar al tubing.

2.8.1.2 Beneficios del sistema MAXR

- Mejora la limpieza de los perforados debido a la rápida liberación del cañón.
- Prevención del empaquetamiento de arena alrededor de los cañones.

2.8.1.3 Características del sistema MAXR

- Confiable, demostrado, mecanismo de rápida liberación.
- Liberación automática y caída en el instante de la detonación del cañón.
- En caso de emergencia posee un sistema de liberación mecánica de back-up que activa la fuerza de repliegue antideslizante.
- Compatible con wireline, tubing, drillpipe, o coiled tubing.
- Fácil acceso al backup de liberación y a la cabeza de disparo.

2.8.1.4 Procedimiento operativo con MAXR

- Antes de empezar con las operaciones de MAXR se recomienda probar el pozo con 2500 psi para asegurar la integridad del mismo.
- Realizar una reunión de seguridad en la cual se deben realizar las siguientes recomendaciones:
 - a. El Material que debe estar disponible en la mesa del Rig es: Collarín, Cuñas, Elevador. (Responsable Rig).

- b. Personal no necesario por favor mantenerse alejado.
 - c. Verificar que ninguna persona se encuentre alrededor del BOP al momento de ensamblar los cañones con el MAXR.
 - d. Ensamblar los cañones de acuerdo a las instrucciones del Ingeniero a cargo de las operaciones de disparo.
 - e. Cañones serán ajustados con llaves especiales para realizar este trabajo, no utilizar llaves de potencia.
 - f. Distancia de la primera bala hasta el cero del CCL debe ser doblemente chequeado por el Representante de la compañía operadora. De igual manera el Company Man debe estar en total acuerdo con la correlación previo al asentamiento del MAXR.
 - g. Correr el MAXR en el pozo a una velocidad razonable, de 5000-6000 pies por hora.
 - h. Es indispensable apagar todos los sistemas de radiocomunicaciones inmediatamente luego de la reunión de seguridad hasta realizar el asentamiento del MAXR.
- Ensamblar los cañones y MAXR.
 - Correr los Cañones + MAXR + GR-CCL con Wireline o TCP según sea el caso a una velocidad máxima de 6000 pies/hora. Tener mucho cuidado de no frenar bruscamente y a la entrada del liner.
 - Una vez en profundidad tomar los pesos de la sarta subiendo y bajando. Correlacionar la profundidad de asentamiento.

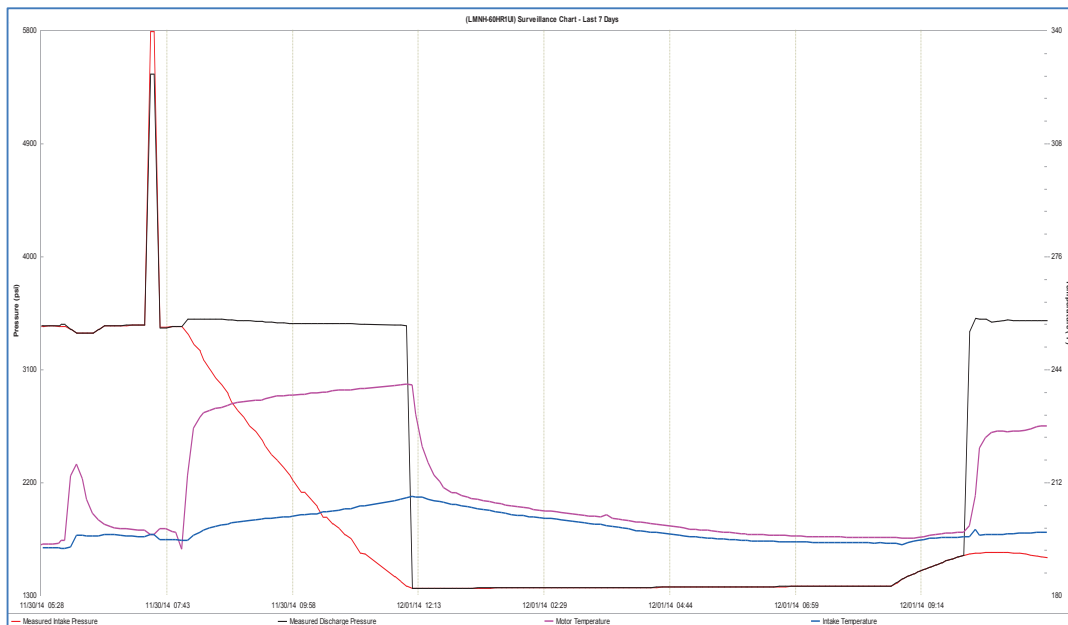
- Asentar el MAXR activando explosivos dentro de la CPST-AA. Registrar la tensión del cable todo el tiempo, esperar mínimo 5 min antes de sacar el cable.
- Sacar el equipo de asentamiento y CPST, dejando el MAXR sentado junto con los cañones en la zona de interés.
- Continuar con bajada de bomba electro sumergible (BES) de acuerdo al programa del pozo. Realizar pruebas de presión durante la bajada de la BES, aplicar presión a la tubería contra el standing valve manteniendo el BOP abierto, esto debido a que la cabeza de disparo se activa con presión y si hay alguna fuga durante la prueba la presión, esta puede transmitirse por el anular y activar accidentalmente el sistema de disparo.
- Desmontar el BOP y armar el Cabezal de Pozo (árbol de navidad). Revisar las conexiones eléctricas finales.
- Conectar líneas de superficie (producción) al Cabezal de Pozo.
- Realizar reunión de seguridad previa a operación conjunta de disparos.
- Arrancar la BES para realizar pruebas de rotación y de funcionamiento en ambos sentidos.
- Conectar la línea anular al sistema de bombeo del rig.
- Aplicar presión para activar la cabeza de disparo hidráulica HDF durante 2 minutos y liberar la presión a 0 psi.
- Arrancar la bomba electro sumergible de acuerdo a las recomendaciones de especialista de BES.

- Esperar la detonación de los cañones de acuerdo al tiempo establecido a partir de la presión de activación aplicada por anular.
- Una vez que se tenga detonación de los cañones, podrá ser verificado con el sensor de la BES con un ligero incremento de presión y disminución de la temperatura del motor debido al aporte del pozo.
- Esperar al menos 30 minutos para monitorear respuesta de formación y decantación de posible suciedad generada.
- Continuar con programa de cliente de prueba de producción.

2.8.1.4.1 Perfil de presión con MAX-R PURE

El pozo “C” se disparó con la técnica de cañoneo MAX-R PURE a la arena “U inferior. El diseño del cañón se realizó con cañón de 4-1/2” cargado con PJ Omega 4505. El disparo se realizó en bajo balance dinámico tal como muestra el perfil de presión en la figura 2.45

FIGURA 2. 45 PERFIL DE PRESIÓN POZO “E” ARENA U INFEROR - DIPARO CON MAX-R PURE



Fuente: Petroamazonas EP.

2.8.2 SISTEMA PURE

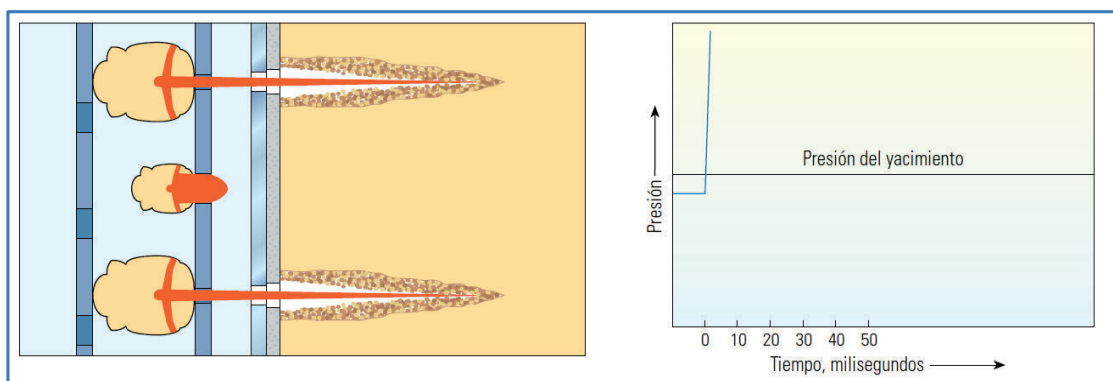
El Sistema para cañoneo con cargas PURE permite generar un bajo balance dinámico lo suficientemente grande como para generar un influjo inmediato de los fluidos del yacimiento y remover el debris generado por los disparos, permitiendo una mejor limpieza de los perforados y mejorando la productividad o inyectividad del pozo.

El bajo balance dinámico se genera independientemente si el pozo se encuentra en un bajo balance o sobrebalance estático. A continuación se esquematiza el proceso con cámaras PURE en tres pasos: Detonación, Bajo balance dinámico e Influjo y Limpieza de los perforados.

- **Detonación:**

En la fase de detonación, se activan las cargas moldeadas que penetran hasta la formación y las cargas PURE que realizan orificios en los cañones como se muestra en la figura 2.46. En el instante de la detonación la presión en el pozo se incrementa drásticamente debido a la detonación en las cargas

FIGURA 2. 46 DETONACIÓN DE LAS CARGAS-SISTEMA PURE



Fuente: Oilfield Review Otoño 2009, Schlumberger

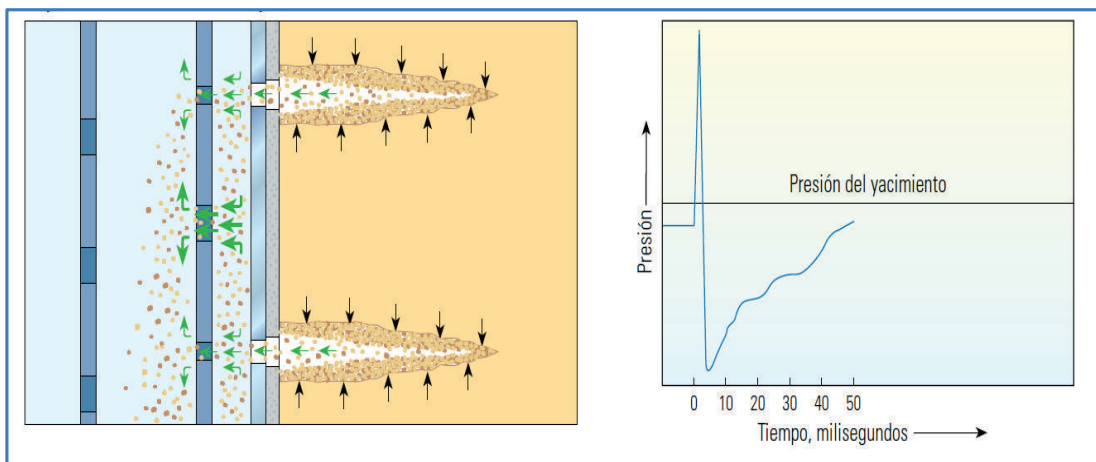
- **Bajo Balance Dinámico e Influjo**

Inmediatamente luego de realizados los orificios en el cañón y en la formación, existe una rápida disminución de la presión creado por el influjo de los fluidos

desde la formación hacia el interior de los cañones, los cuales se encuentran vacíos, dicho evento me genera la presión de bajo balance dinámico.

Lo detritos de la roca caen al túnel de disparo, luego el flujo de fluido del yacimiento transporta las partículas de roca suelta hacia el interior del pozo y los cañones vacíos. En este paso el desbalance dinámico generado por el sistema permitirá remover la suciedad de los perforados hacia el interior de pozo. La figura 2.47 esquematiza este evento

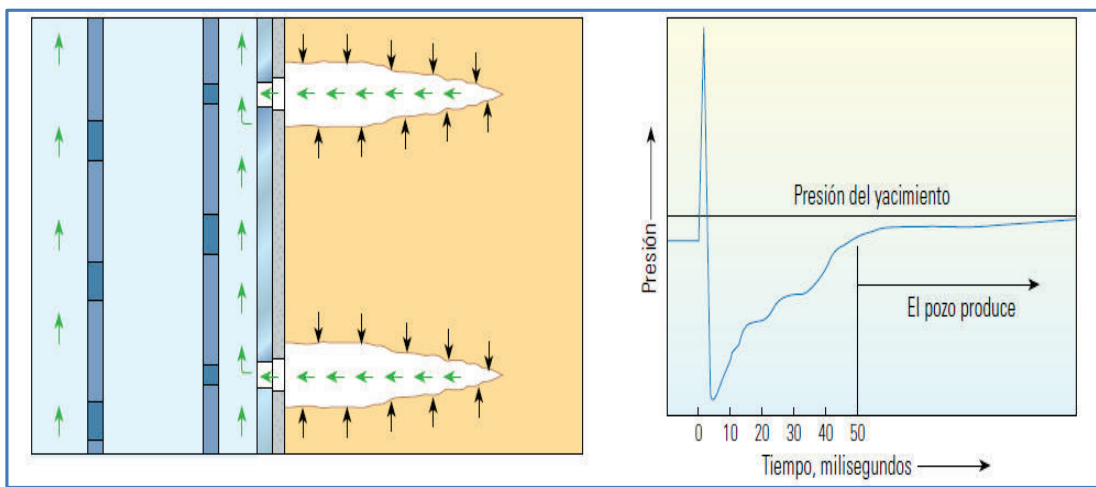
FIGURA 2. 47 BAJO BALANCE DINÁMICO E INFLUJO-SISTEMA PURE



Fuente: Oilfield Review Otoño 2009, Schlumberger

- **Limpieza de los perforados**

FIGURA 2. 48 LIMPIEZA DE LOS PERFORADOS-SISTEMA PURE



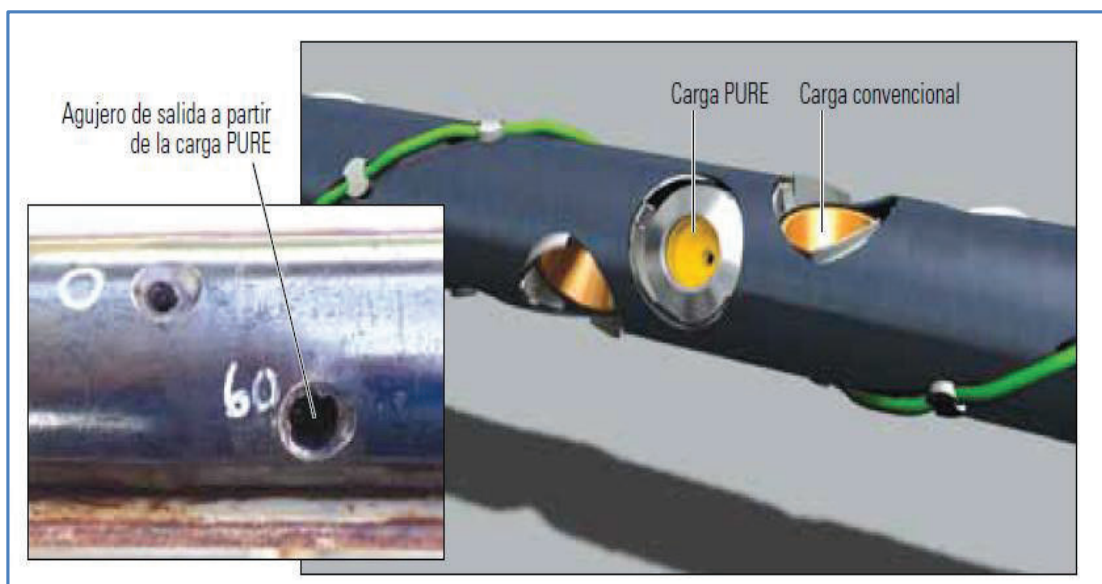
Fuente: Oilfield Review, Autumn 2009, Schlumberger.

El flujo posterior al bajo balance dinámico generado, permite limpiar los perforados y como resultado se tiene un túnel agrandado con buenas características de flujo.

Efectividad que se verá evidenciada en los análisis de productividad del pozo cañoneado con tecnología PURE. La figura 2.48 esquematiza este evento

En la figura 2.49 se muestra los cañones con sistemas PURE, este sistema se carga tanto con cargas convencionales como con cargas PURE.

FIGURA 2. 49 CAÑONES CON SISTEMA PURE



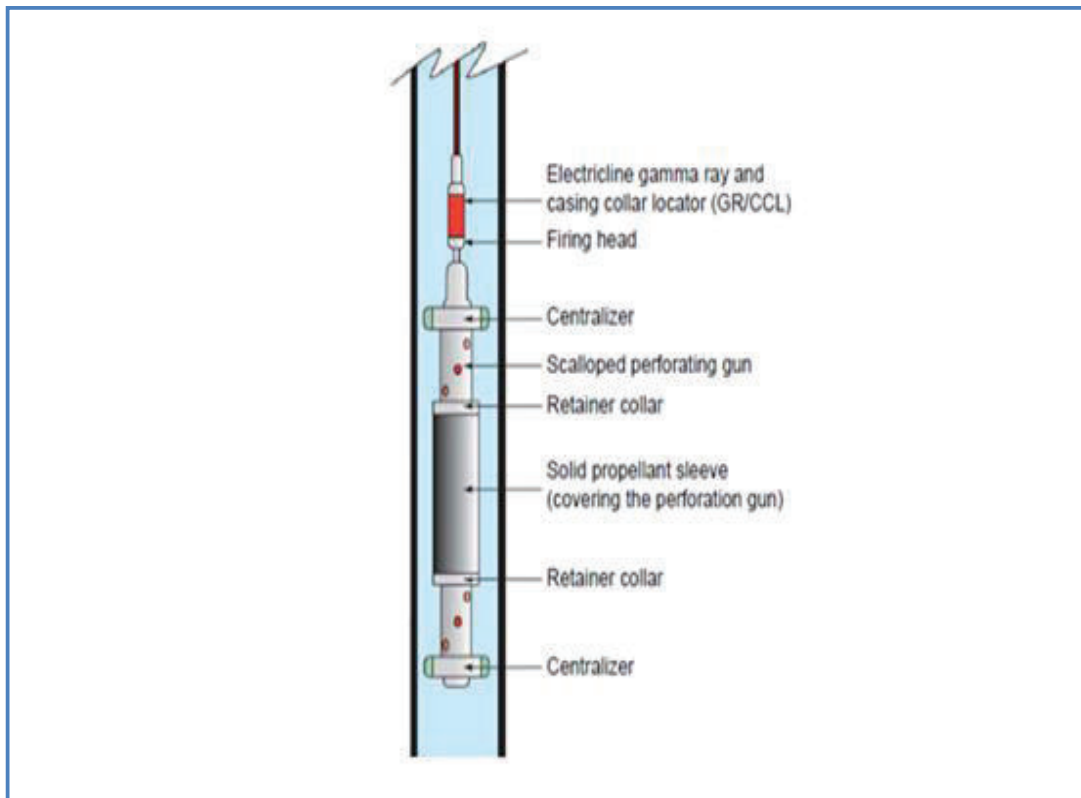
Fuente: Oilfield Review, Autumn 2009, Schlumberger

2.8.3 CAÑONEO CON PROPELENTE

El propelente es un compuesto que contiene perclorato de potasio, un oxidante que se quema rápidamente, creando gases de combustión a altas presiones, dichos gases son en gran parte dióxido de carbono, monóxido de carbono y vapor de agua.

Una configuración de cañoneo con propelente mediante Wireline es mostrado en la figura 2.50, cabe señalar que la configuración con TCP es similar.

La camisa de propelente se coloca en los exteriores de los cañones.

FIGURA 2. 50 CAÑONEO CON PROPELENTE

Fuente: Jonathan Bellarby, Well Completion Design, 2009

El propelente se activa con los disparos, pero la velocidad de reacción es más lenta que la detonación de las cargas, por lo tanto los perforados son creados antes de que se genere el gas.

Posteriormente el gas a alta presión ingresa por los perforados y crea microfracturas alrededor de los mismos, mejorando la comunicación entre el pozo y el reservorio.

El propelente y la detonación de las cargas generan eventos dinámicos en el fondo del pozo en milisegundos. Así, la presión cuando se generan los gases puede llegar hasta un pico de 20 000 psi en un tiempo de 1 a 10 milisegundos, seguido por una caída de presión asociado con la expansión, el enfriamiento y el flujo del gas hacia las microfracturas.

En la figura 2.51 se muestra la forma como se coloca las camisas de propelente en los cañones de disparo para generar la condición de sobre balance extremo.

FIGURA 2. 51 DISPARO CON CAMISAS DE PROPELENTE

Fuente: Presentación Nuevas Tecnologías de punzados, Halliburton

2.8.3.1 Limitaciones del cañoneo con Propelente

- Pozos Horizontales para limpiezas, mínimo 4 spf, no 0° de fase, 2 ft y 3 ft de propelente (P insuficiente) y max 100 ft 250° F aplicaciones Standard (máximo 350 ° F HT)
- Soporta Acido
- Disponibles en 1/2, 2-3/4, 3-1/8, 4, 4-5/8,y 5-1/8 inch.
- Mínimo 500 psi de Hidráulica
- Protección y Centralización son necesarios 90 ft hacia un packer, 50 ft hacia tapones
- Problemas con grado J
- Cercanías del corte de agua
- Condiciones de cemento

2.8.3.2 Cañoneo con StimGun

El ensamblaje StimGun que se muestra en la figura 2.52 es un proceso que combina el uso de cañones con cargas de alta penetración y propelente en una simple herramienta y operación. Cuando los cañones son detonados, la camisa de propelente es encendida, debido al calor generado por la detonación de las

cargas, produciendo al instante CO₂ a alta presión, ligeramente mayor a la presión de formación.

Este gas entra en los punzados, penetra a través de cualquier daño alrededor del túnel y crea pequeñas fracturas, en el orden de 2 a 9 pies, cerca del pozo. A medida que la presión del gas se disipa, el fluido de la formación ingresa en el pozo acarreando con esto pequeñas partículas, generadas por la descomposición de la roca y así limpiar los perforados

El ensamblaje StimGun ha sido utilizado con gran éxito en cañoneo de bajo balance convencional, obteniendo el beneficio de ambos tanto del sobre-balance extremo de Propelente y el efecto creciente del bajo balance-máximo

2.8.3.2.1 Ventajas de StimGun

- Mejora la producción o inyectividad con mayor uniformidad en la distribución de perforación.
- Mejora la conectividad en la matriz del reservorio sin daños, mediante la aplicación de fracturas a daños realizados en las diferentes prácticas de perforación y completación
- Mejora el cañoneo de bajo balance convencional mediante la combinación de los beneficios de sobre balance extremo en una sola operación.
- Estimulación cerca del pozo en zonas que no pueden ser tratadas convencionalmente con ácidos o fracturamiento hidráulico debido a indeseable producción cerca de la capa de gas o el contacto de agua.
- Excelente ayuda en el tratamiento de pre-fracturas hidráulicas, manteniendo perforaciones abiertas y minimiza los efectos de tortuosidad, dando lugar a presiones más bajas de degradación y requerimientos de potencia en la localización.

2.8.3.2.2 Operación con StimGun

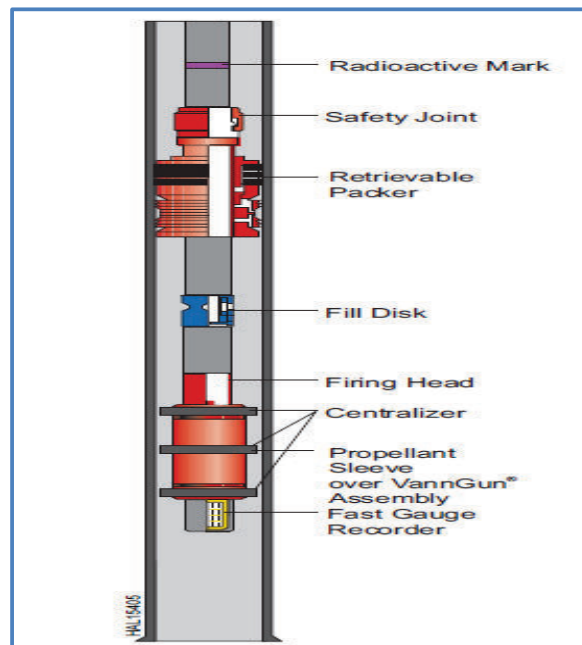
El ensamblaje StimGun consiste de una camisa cilíndrica de perclorato de potasio (Propelente) generadora de gas que se desliza sobre el exterior de una cavidad de acero convencional portadora de un cañón con disparos.

El ensamblaje StimGun puede ser transportado con Wireline (cable), coiled tubing (tubería flexible), o en una configuración de perforación convencional como se muestra en la figura 2.52.

Las camisas StimGun son similares a los tubos PVC y debería ser protegida y colocada en el cañón con un collar de retención de gran tamaño.

Adicionalmente la protección de la camisa es alcanzada a través de la centralización de las secciones de los cañones.

FIGURA 2. 52 ENSAMBLAJE STIMGUN



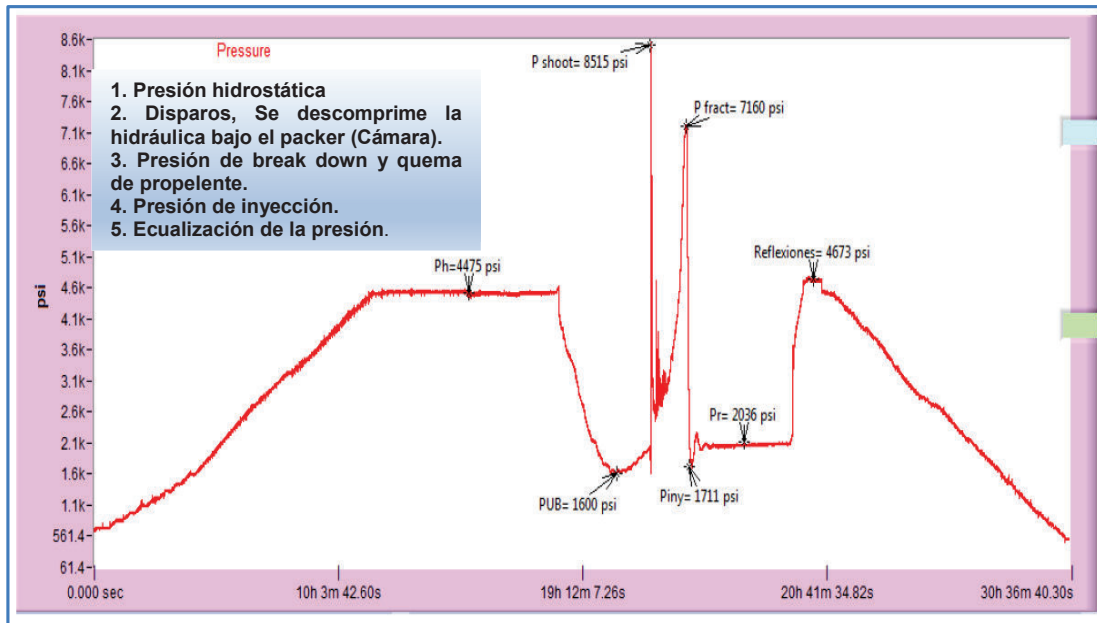
Fuente: Perforating Solutions, 2008, Halliburton

2.8.3.2.3 Perfil de presión con StimGun

La figura 2.53 muestra el comportamiento de la presión, de un trabajo de cañoneo con la técnica StimGun, realizado en un pozo "A" de la cuenca Oriente, arena "T" Inferior.

El trabajo se ejecutó en el año 2013 y se utilizó cargas de 4.5" con una densidad de 5 dpp y 60° de fase.

FIGURA 2. 53 PERFIL DE PRESIÓN DE CAÑONEO CON TCP-STIMGUN STIMGUN ARENA T INFERIOR - POZO A



Fuente: Weatherford

El sensor (medidor de presión), colocado en fondo, muestra la presión hidrostática a la profundidad de los punzados, igual a 4475 psi.

El sensor viaja por el colchón de agua por 7 horas, 36 minutos y 18 segundos, antes de golpear la cabeza de disparo y arrancar el tren explosivo, descomprimiendo la hidráulica bajo el packer.

Posterior, la presión generada por los disparos alcanza una presión de 8515 psi, a la cual se pulveriza casing, cemento y se navega en la formación atravesando zona dañada y virgen. Inmediatamente luego de detonar las cargas, el propelente se quema generando gas a alta presión, que ocupa el espacio de los perforados y genera microfracturas a lo largo de estos. Como se aprecia en el perfil la presión máxima generada por la quema del propelente es 7160 psi.

Posterior a la presión máxima generada por el propelente, existe una disminución de la misma debido a que el propelente se disipa y el fluido del reservorio empieza a ingresar al interior de los cañones, dicho influjo limpia la zona pulverizada alrededor de los punzados.

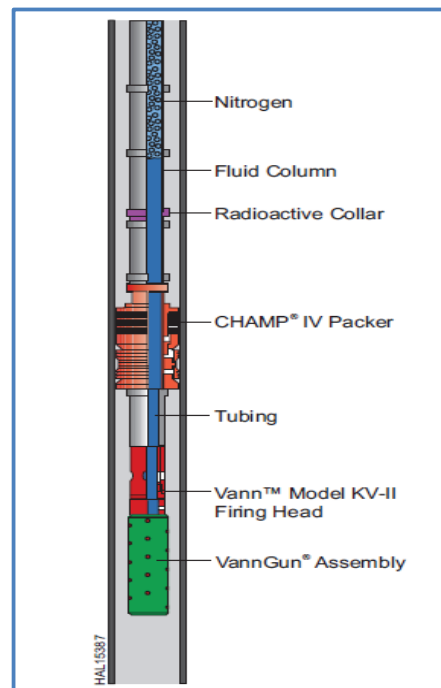
Finalmente se evidencia una presión de reservorio de la Arena T Inferior; es decir una ecualización de la hidráulica del sistema, igual a 2036 psi y reflexiones entre cañón-sensor igual a 4673 psi; posterior a esto se visualiza el evento de remoción de los cañones a superficie. Se recupera la presión del pozo en 01 minuto y 06 segundos a partir de la detonación. Esta recuperación de presión desde la hidráulica generada por el colchón (desbalance estático) hasta la presión de reservorio sucede en 7 horas, 26 min y 25 segundos.

2.8.4 CAÑONEO CON PERFSTIM

2.8.4.1 Proceso PerfStim

El proceso PerfStim usa condición de sobre balance extremo para simultáneamente perforar y estimular un pozo. La técnica no solo produce perforaciones limpias en formaciones de baja presión, sino también inicia fracturas en la formación, reduciendo los costos por estimulación. La configuración del ensamblaje de fondo con Perfstim es mostrado en la figura 2.54.

FIGURA 2. 54 PROCESO PERFSTIM



Fuente: Perforating Solutions, 2008, Halliburton

2.8.4.1.1 *Ventajas de PerfStim*

- Obtener producción que fluye rápidamente.
- Ahorra tiempo de perforación.
- Ayuda en el desarrollo de factores skin negativos.
- Proporciona una temprana evaluación del potencial del pozo.
- Usa menos potencia que los estímulos a escala real.

2.8.4.1.2 *Operación con PerfStim*

En la técnica con PerfStim, una condición de sobre balance extremo es creada con gradientes de presión de al menos 1.4 psi/ft (31 bar/m). Cuando el cañón se dispara, la presión conduce un fluido en la perforación a velocidades que exceden 3000 ft / seg (900 m / s) y con tasas que pueden superar 140 bbl / min. Se elimina el daño de la zona triturada y pequeñas fracturas se crean, mejorando la producción inicial.

2.8.5 CAÑONEO CON STIMTUBE

2.8.5.1 Ensamblaje StimTube

El ensamblaje StimTube que se muestra en la figura 2.55, es un proceso que usa la misma tecnología de Propelente solido empleado por el ensamblaje StimGun para estimular perforaciones existentes, liners ranurados, o secciones de pozo abierto, cuando no se deseable añadir perforaciones.

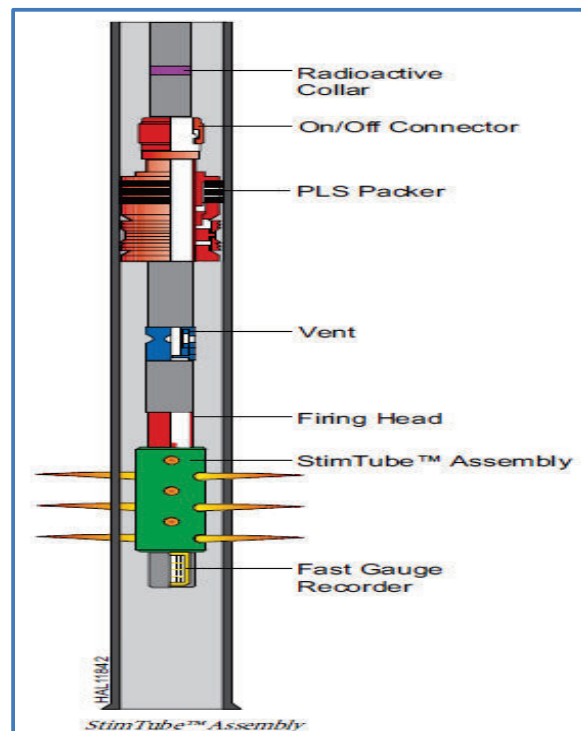
El ensamblaje StimTube es una barra hueca con propelente alrededor de ella y el cordón detonante corrido a través del ID de la barra que proporciona el sistema de encendido.

Cuando el cordón detonante es encendido, el Propelente sólido se divide en pequeños pedazos, permitiendo que se queme muy rápidamente y se genere gas CO₂. Este gas entra en los punzados, eliminando cualquier daño alrededor del túnel punzonado, creando pequeñas fracturas cerca del pozo.

2.8.5.1.1 Ventajas de StimTube

- Mejora la producción o inyectividad con mayor uniformidad en la distribución de los punzados.
- Mejora la conectividad de la matriz reservorio mediante fracturas a daños pasados inducidas por operaciones de perforación o completación.
- Estimulación cerca del pozo en zonas que no pueden ser tratadas convencionalmente con ácido o fracturamiento hidráulico debido a la indeseable producción cercana a la capa de gas o contacto de agua.
- Excelente ayuda en el tratamiento de pre- fractura hidráulica para mantener las perforaciones abiertas y minimizar los efectos de tortuosidad resultantes de las bajas presiones de fractura y requerimientos de potencia en la locación.
- Estimulación selectiva de largas secciones de pozos horizontales.

FIGURA 2. 55 ENSAMBLAJE STIMTUBE



Fuente: Perforating Solutions, 2008, Halliburton

2.8.5.1.2 *Operación con StimTube*

El ensamblaje StimTube consiste de una barra sólida de perclorato de potasio (Propelente-generador de gas), que es moldeada sobre una barra hueca con cordón detonante para que pase a través de esta barra.

El ensamblaje StimTube puede ser transportado con Wireline, Tubería Flexible, Threaded pipe para lo cual se usa procedimientos de seguridad estándar y procedimientos de disparos. El ensamblaje StimTube está disponible en una amplia gama de tamaños (1 ½ a 3 in) y longitudes que se ajustan a las más comunes configuraciones de completación. La industria proporciona un cordón detonante confiable, consistente, y de encendido instantáneo sobre toda la longitud del ensamblaje StimTube. Cuando se despliega tubería flexible (coiled tubing) o threaded pipe, el ensamblaje StimTube es corrido dentro de un soporte hueco de acero con orificios.

2.8.6 CAÑONEO CON POWR PERF/ PROCESO DE ESTIMULACIÓN

2.8.6.1 Proceso POWR PERF

El proceso de cañoneo/estimulación POWR PERF que se lo muestra en la figura 2.47 es un proceso de completación que usa las técnicas de disparo probadas de sobre balance extremo.

Este método es acoplado con la liberación de un agente erosivo al momento de la detonación del cañón para limpiar y remover daños cerca del pozo y mejorar la conductividad de las fracturas creadas por disparos en sobre balance extremo

2.8.6.1.1 *Características y Beneficios de POWR PERF*

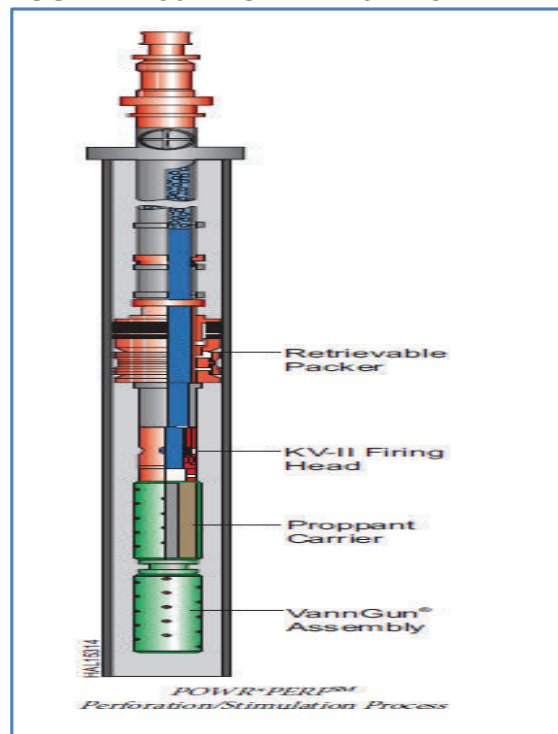
- Supera al daño Skin en bajas presiones, pozos de alta permeabilidad.
- Puede ser útil como herramienta de evaluación de pre- fracturas.
- Aplicable para pozos nuevos y pozos con agua cerca o gas.
- Compatible con todos los tamaños de casing.

2.8.6.1.2 Operación POWR PERF

La herramienta POWR PERF se corre como una parte normal del ensamblaje de cañoneo. El fluido de completación se añade al tubing para servir como un medio para acarrear la bauxita dentro de la formación. Después el ensamblaje se coloca en la zona productora, el tubing se energiza con gas nitrógeno para crear un gradiente de presión de no menos que 1.4 psi/ft. Un modelo de cabezal de disparo KV-II pre-ajustado en función de la presión de fondo deseada, detona el cañón y abre los puertos de flujo para permitir que el líquido y el nitrógeno se precipiten hacia la formación. El fluido "spear" es conducido antes que la expansión de gas nitrógeno entre en la formación a velocidades que pueden superar los 140 barriles / min. El material de la bauxita se expulsa en la corriente de fluido en el momento de la detonación de las cargas moldeadas. La combinación de fluido y bauxita sirve para fracturar, erosionar, limpiar todas las perforaciones causadas por los disparos, y además mejorar las fracturas creadas por disparos en sobrebalance extremo.

La configuración del ensamblaje Powr Perf es mostrado en la figura 2.56

FIGURA 2. 56 ENSAMBLAJE POWR PERF



Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

2.8.7 CAÑONEO CON SURGE PRO

En la técnica de cañoneo Surge Pro el desbalance es traducido como efecto de surgencia para limpiar las perforaciones y mejora índices de productividad.

2.8.7.1 Secuencia de Cañoneo con Surge Pro

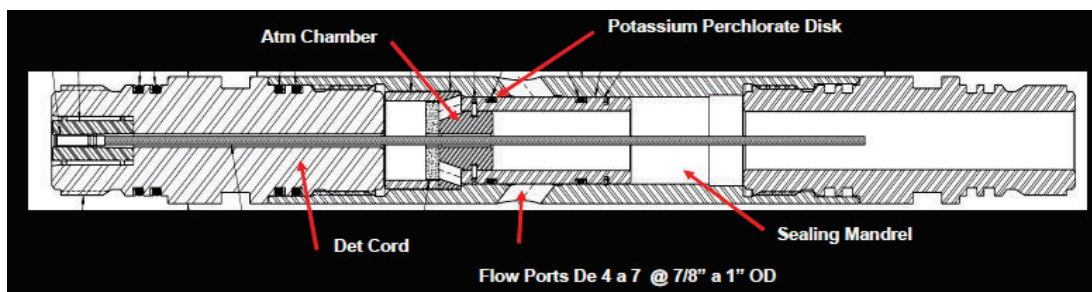
- Ignición de la Carga, cada ignición es en milisegundos, los disparos completos duran varios milisegundos.
- Agujeros y los túneles son creados por el jet en microsegundos
- Energía residual (> gases) permanecen en el cañón/ Rápida presurización interior, reducida por el enfriamiento en milisegundos, la energía residual queda en las perforaciones.
- Presurización de perforaciones y pozo, Inicio de una compleja onda de movimiento en decenas o centenas de milisegundos en los fluidos del pozo (compresibilidad) y sólidos metálicos.
- Intercambio de fluidos ocurren entre el cañón, el pozo y la formación en décimas de milisegundos a algunos minutos
- Efecto de Volumen
 - a. Volumen en el interior del cañón está a presión atmosférica
 - b. Después de la detonación, el cañón y el pozo se presurizan debido a la energía residual.
- Breve flujo de fluido del pozo puede ocurrir.
- El interior del cañón se enfría rápidamente

- Si el volumen en el interior de los cañones es lo suficientemente grande, se refleja una presión más baja que la del pozo.
- El pozo se despresuriza efecto que puede enfatizarse debido al diámetro de los cañones o por la adición de volumen (Spacer).
- El Desbalance Dinámico se crea y puede durar por varios segundos.

2.8.7.2 Como crear efectos de Surgencia

- Secciones vacías de los cañones entre las zonas cargadas.
- Agregar ensambles vacíos en el tope o fondo del intervalo cargado.
- Taladrar el conectores Tanden /Cajas entre secciones.
- Usar cargas tipo Punch en la zona vacía (adicionar explosivos incrementa el remanente de energía en la zona – menos eficiencia en la Surgencia).
- Usar el ensamble con conector SurgePro como se muestra en la figura 2.57

FIGURA 2. 57 ENSAMBLE CON CONECTOR SURGE PRO



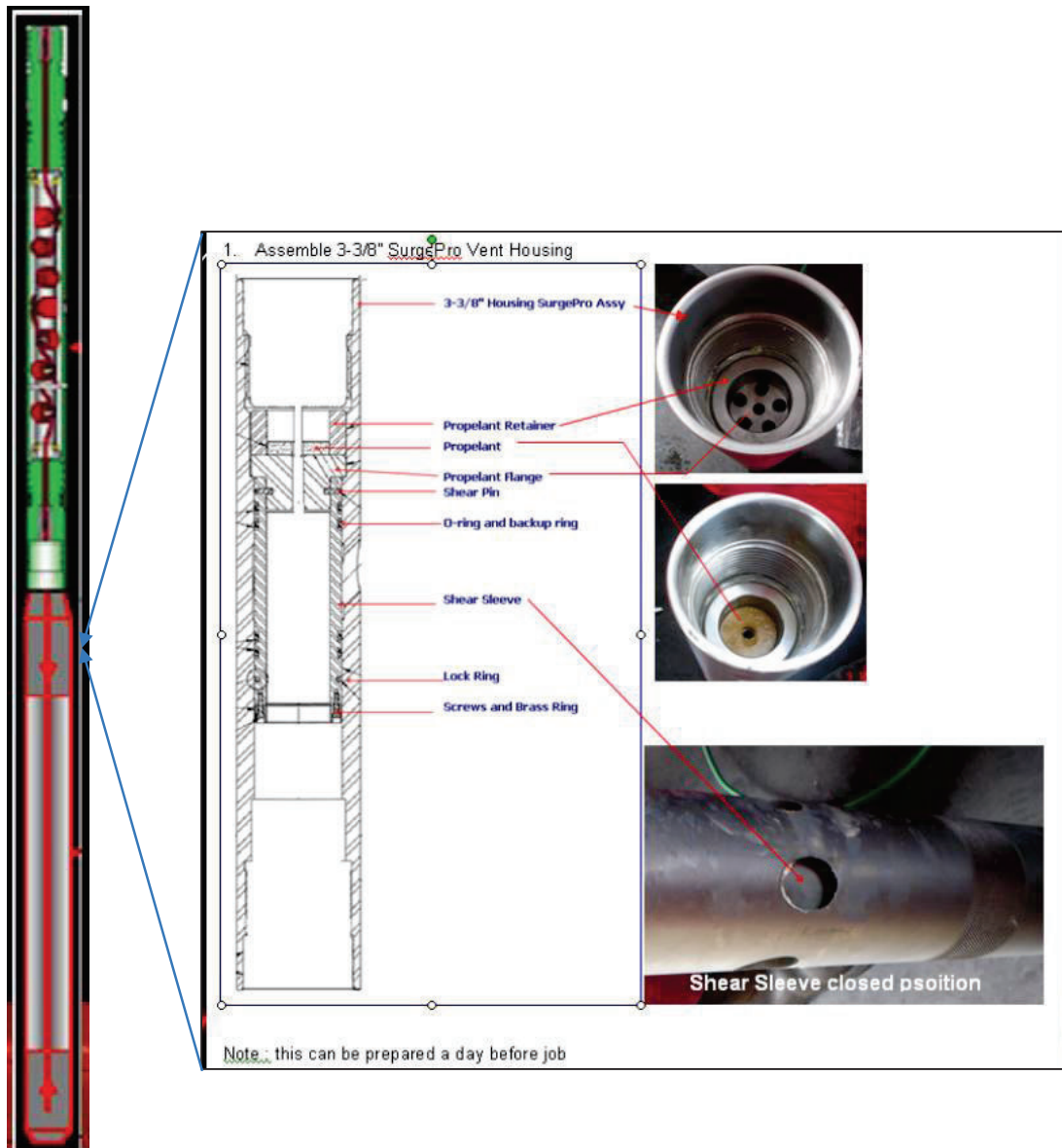
Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

2.8.7.3 Ensamblaje con Surge Pro

A continuación se muestra el procedimiento para el ensamblaje con SurgePro.

- Ensamblaje de la cámara de venteo Sur Pro 3-3/8".(Ver figura 2.58)

FIGURA 2. 58 ENSAMBLAJE CON SURGE PRO



Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

- Preparar 11m de cañón 3 3/8" como un cañón vacío Surge Pro.(figura 2.59)

FIGURA 2. 59 CAÑÓN VACIO SURGE PRO



Fuente: Halliburton.

- Cargar 5m de carga de disparo en 22 ft del cañón 2- 7/8". (Ver figura 2.60)

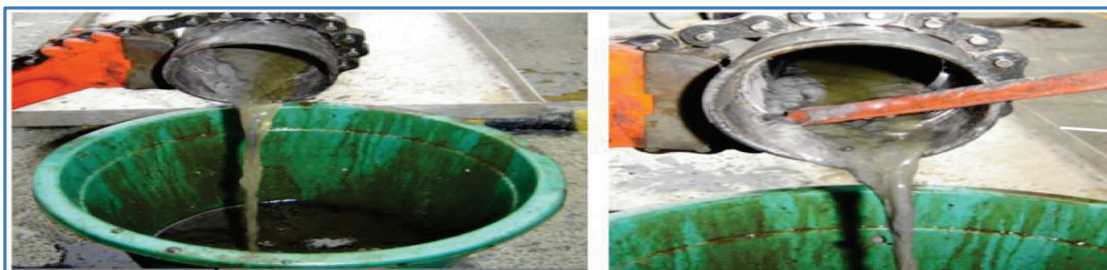
FIGURA 2. 60 PROCEDIMIENTO DE CARGA DEL CAÑÓN



Fuente: Halliburton

- En la cámara Surge Pro 3 3-3/8 se encuentra una gran cantidad de arena (debris), lodo y cemento. (Ver figura 2.57)

FIGURA 2. 61 MATERIAL ACUMULADO EN LA CAMARA SURGE PRO



Fuente: Halliburton

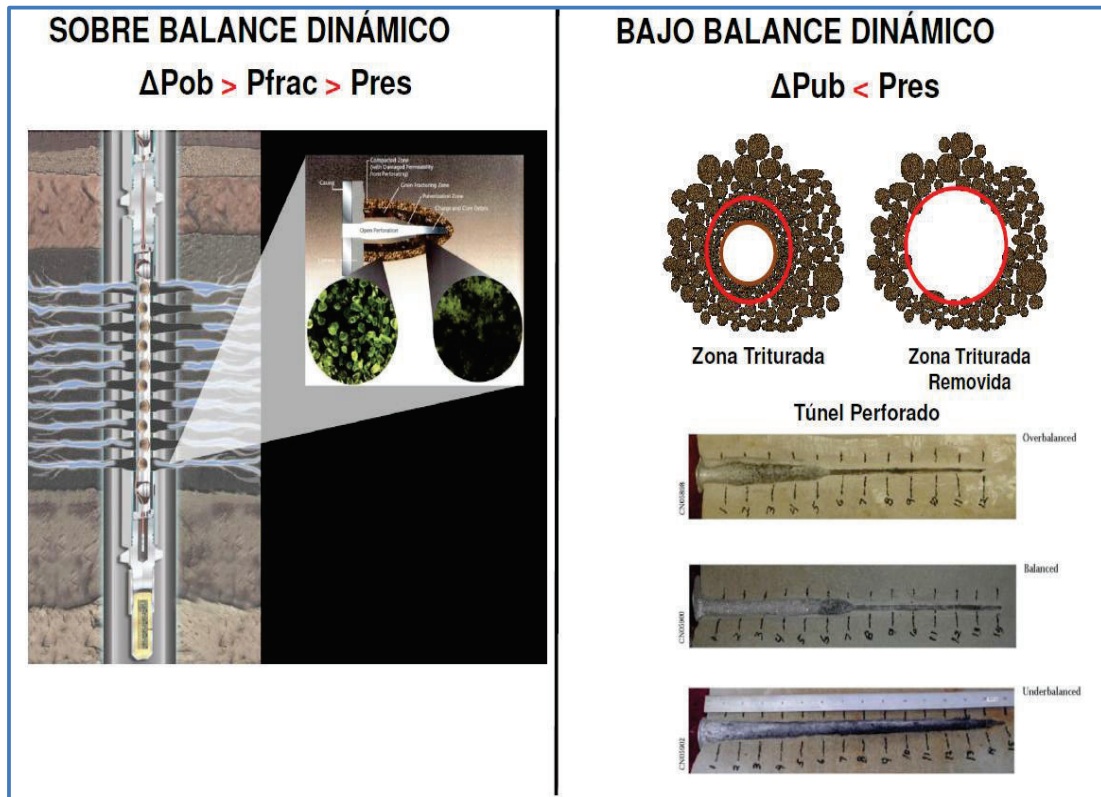
2.8.8 CAÑONEO CON STIMPRO

2.8.8.1 Combinación de Sobre balance y Bajo balance Dinámicos a Través de Cañoneo Convencional.

Esta técnica es la combinación secuencial de la técnica de disparos con Sobrebalance (Propelente) y desbalance dinámico (cámaras de surgencia).

El Sobrebalance (Propelente), mejora productividad creando micro fracturas y el Desbalance dinámico, limpia el túnel creado y reduce la zona triturada como se observa en la figura 2.62.

FIGURA 2. 62 COMBINACIÓN DE SOBRE BALANCE Y BAJO BALANCE DINÁMICOS (STIMPRO)



Fuente: Petroamazonas EP-Halliburton, P. Poveda, A. Izurieta, J. Lozada, Combinación de Sobre balance y Bajo balance Dinámicos a Través de Cañoneo Convencional en un pozo de la Cuenca Oriente de Ecuador, 2013

2.8.8.1.1 Beneficios de StimPro

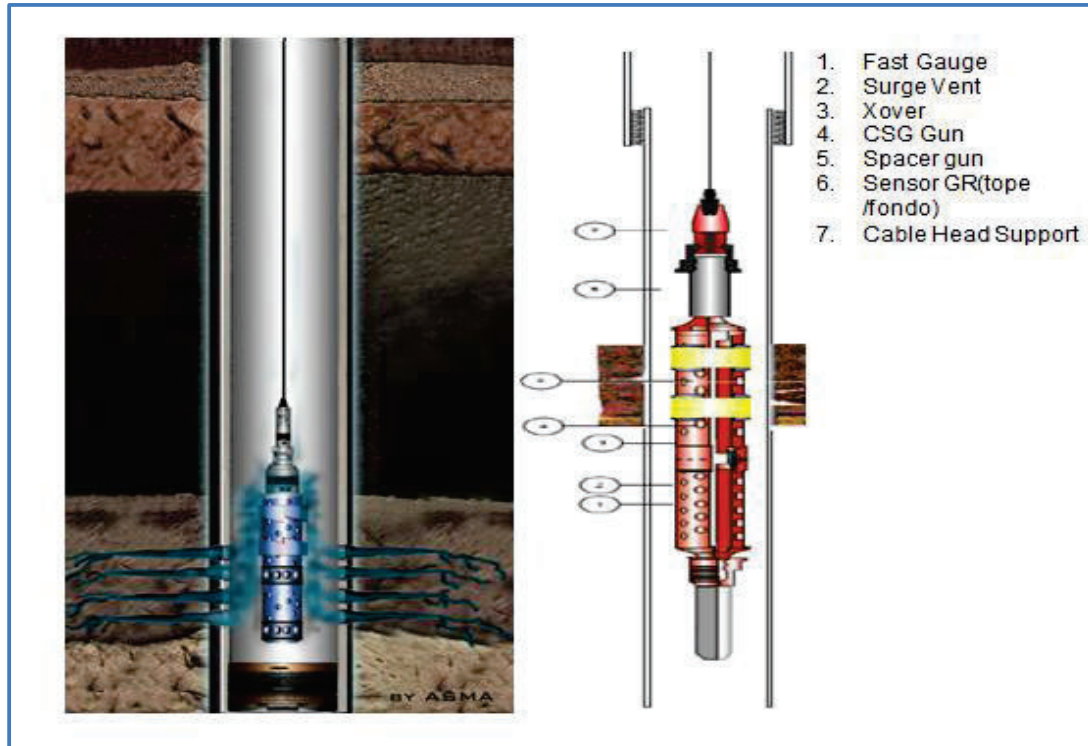
- La aplicación del sistema perf/stim/surge system da como resultado un incremento significativo en la tasa de producción.
- La combinación de sobrebalance seguida por el bajo balance dinámico, puede ayudar a eliminar el daño creado durante un evento de cañoneo.
- El uso de las cámaras de surgencia mejora la limpieza del túnel perforado.
- El trabajo de cañoneo convencional (WL) con la mezcla de sobrebalance y bajo balance dinámicos mejora la conectividad con el reservorio.

- Los punzados con sobrebalance y bajo balance dinámico son recomendados para pozos con reservorios de no muy buena calidad de roca, y que no se posean Contacto Agua-Petróleo.
- El uso de la técnica mencionada también es aplicable en pozos antiguos/WO, previos a un análisis detallado de la información disponible (calidad de cemento, propiedades de roca).

2.8.8.1.2 Operación con StimPro.

La combinación de cañoneo en sobre balance extremo con los propelentes en bajo balance dinámico con cámaras de surgencia en un simple disparo y la sincronización entre los eventos son factores fundamentales para el éxito de la tecnología StimPro que se muestra en la figura 2.63

FIGURA 2. 63 ENSAMBLAJE STIMPRO



Fuente: Halliburton

El ensamblaje de propelente consiste de un cañón de disparos convencional rodeada por una manga de propelente.

El cañón de disparos se detona en el pozo de forma normal y durante el proceso de disparos la manga de propelente es iniciada. La manga de propelente la cual es oxidante se quema rápidamente y produce una explosión de gas de alta presión. Este gas de alta presión entra en el túnel perforado y crea micro fracturas más allá de la zona de daño y crea una trayectoria de flujo mejorada de la formación al pozo. Las mangas pueden ser usadas en conjunto con todas las tuberías disponibles para transportar los sistemas de cañones de disparos como son la de 1 9/16 pulgadas a través de 7 in OD. El ensamblaje del cañón puede ser bajado dentro del pozo con wireline, jointed pipe (tubería acoplada), o con coiled tubing (tubería flexible). La detonación del cañón inicia con una mecha de retardo (delay fuse) que se quema + o – 5 minutos, entonces acciona la apertura de los orificios de bajo balance dinámico abriendo un camino de flujo para el hidrocarburo de la formación y que pueda fluir dentro de la cámara SurgePro.

El sistema de disparos de bajo balance dinámico SurgePro usa un simulador dinámico del pozo para modelar con precisión y predecir los efectos de las presiones transitorias durante el cañoneo.

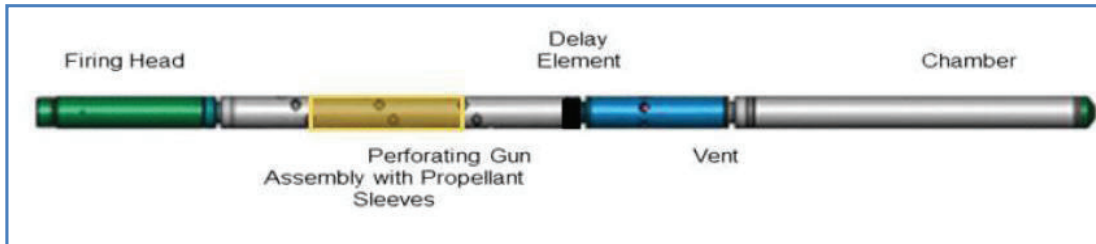
Este sistema permite la optimización de la surgencia en bajo balance para específicas condiciones del reservorio. Independientemente de las condiciones iniciales de presión del pozo, este sistema puede crear un bajo balance dinámico que mejora enormemente la limpieza de los disparos y maximiza su eficacia. No es necesario reducir la densidad de los disparos para lograr un buen rendimiento.

Como resultado, la surgencia dinámica en bajo balance se logra con el uso de un ensamblaje especial de un orificio de apertura rápida, permitiendo que los líquidos y los sólidos fluyan desde los perforados a las cámaras de surgencia.

Esta presión de surgencia mínima tras los resultados de la formación en un bajo balance dinámico que mejora la productividad del pozo mediante la eliminación de

los daños causados durante el cañoneo. La figura 2.64 muestra los componentes que conforman el ensamblaje del sistema per/stim/surge system.

FIGURA 2. 64 ENSAMBLAJE DE BAJO BALANCE DINAMICO CON MANGAS DE PROPELENTE EN CAÑONES DE DISPAROS (PERFORATOR GUNS).

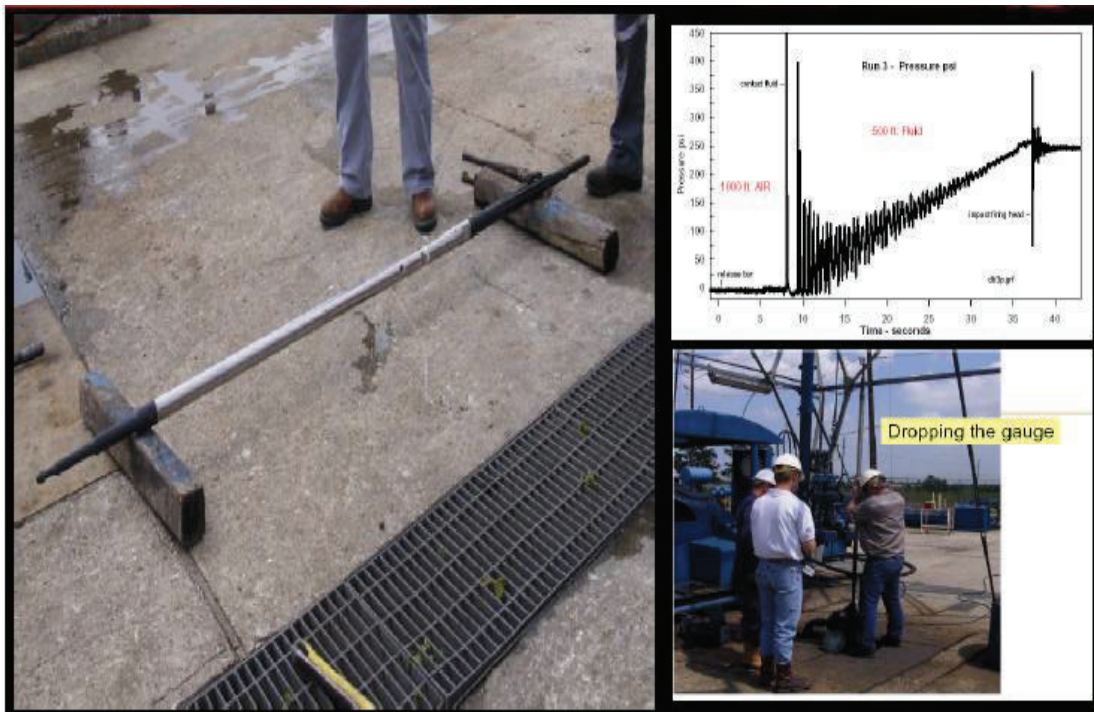


Fuente: Halliburton-Petroamazonas Ep, SPE-166420

2.8.9 FAST GAUGE RECORDER

El fast gauge recorder que se muestra en la figura 2.65 es un medidor en el fondo del pozo que registra presiones importantes y datos de temperatura en alta presión, fuertes entornos de choque y vibración.

FIGURA 2. 65 FAST GAUGE RECORDER



Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

El gauge (indicador) es típicamente usado con el ensamblaje StimGun o en la herramienta StimTube.

El perfil de presión que se muestra en la figura 2.65 obtenido es usado para verificar el correcto Propelente utilizado, así como para determinar la respuesta de fracturación de la formación analizando los datos con el software PulsFrac.

Los datos del “fast gauge recorder” recolectados pueden ser usados para determinar si el trabajo fue ejecutado o no apropiadamente, para validar los modelos de computadora, y hacer determinaciones iniciales de las propiedades de las rocas. Los datos pueden también ser usados para estimar los gradientes de fractura.

El fast gauge recorder puede utilizarse en ambientes operacionales de disparos exigentes, debido a que soporta soportar cargas de choque de 100.000 kg. La herramienta recopila y registra 115.000 puntos de datos por segundo para dar información precisa y confiable.

La función multi-velocidad programable permite flexibilidad en la recolección de la presión, aceleración, y datos de vibración a distintas velocidades de muestreo e intervalos de tiempo.

El gauge empieza recopilando información a bajas velocidades y cuando un pulso de presión o un evento de aceleración/vibración se produce, el indicador cambia automáticamente a una velocidad de muestreo alta, luego a una velocidad intermedia, y finalmente a una velocidad de muestreo lenta.

El proceso puede repetirse hasta que la memoria este llena. Cada gauge incluye un mitigador de choque el cual aísla el gauge de la herramienta, reduciendo el choque y la vibración (hasta un factor de 10) que ocurre cuando el cañón se enciende.

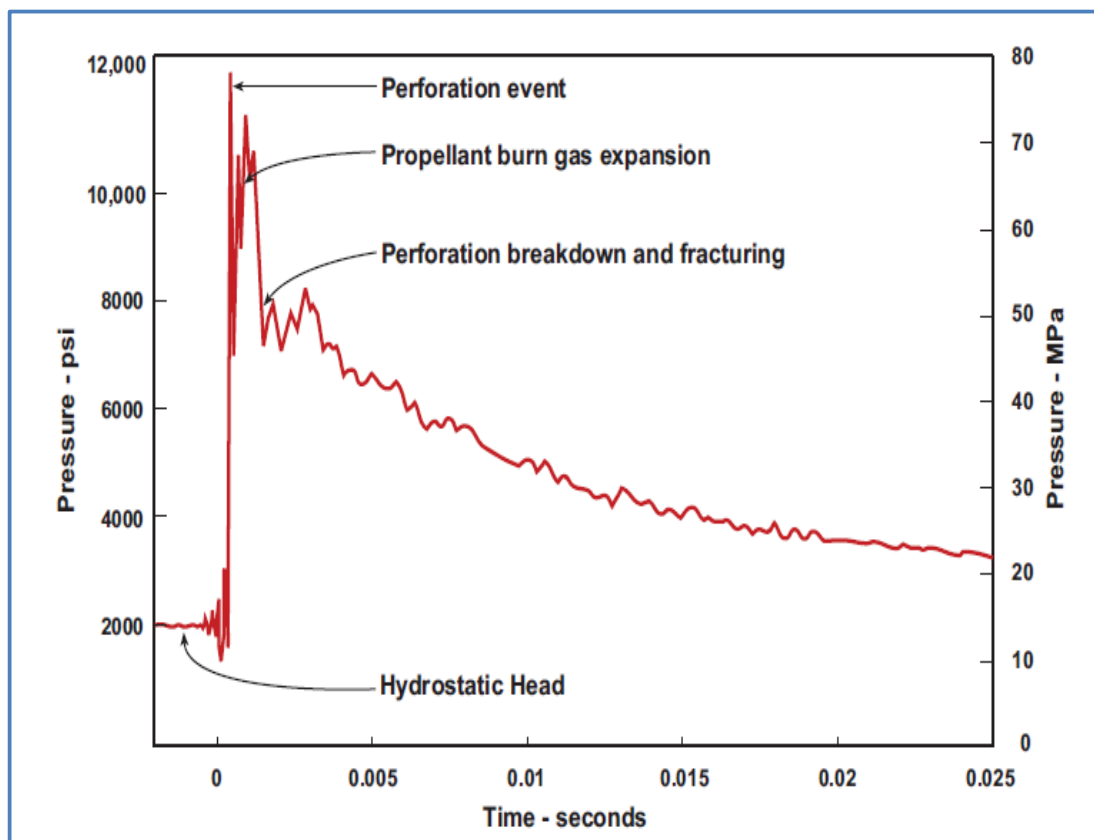
El uso del mitigador de choque alarga la vida del recorder, de la batería, y sensores. Una especial aplicación del gauge de 1 11/16 in (42.86 mm OD) es su uso como un “drop bar” (barra de descarga) para disparar propelente o un cañón de disparo.

Debido a que la barra de descarga puede hacer estallar la cabeza del disparo. Se puede dejar allí todo el tiempo necesario para recoger los datos de flujo de presión.

Con esta característica se puede recuperar los datos de presión del cañón y también determinar si el cañón realmente disparó.

El perfil de presión que se muestra en la figura 2.66 representa un ejemplo teórico al disparar con Propelente.

FIGURA 2. 66 PERFIL DE PRESIÓN CON PROPELENTE



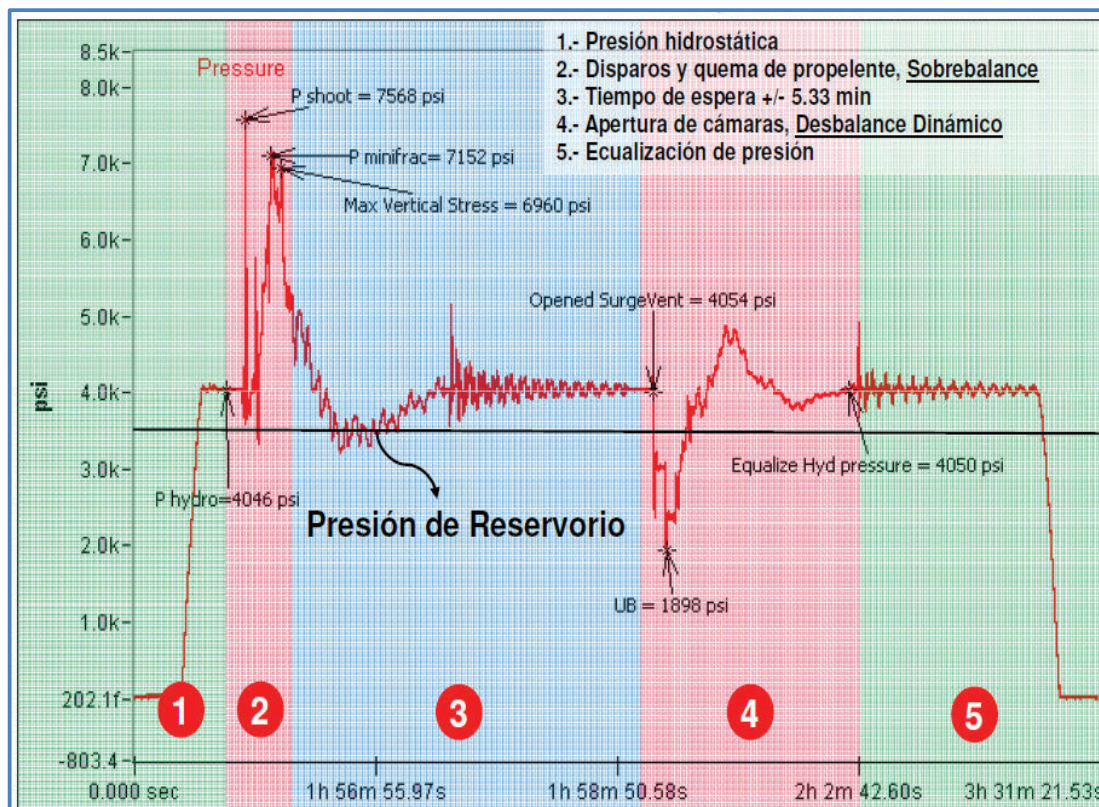
Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

2.8.9.1.1 Perfil de presión con StimPro

El perfil de presión que se muestra en la figura 2.67 representa un ejemplo real del comportamiento de la presión con Propelente y con la técnica de disparo STIMPRO (Cañoneo con Sobre Balance más Desbalance Dinámico).

En el primer intervalo de tiempo se puede observar el comportamiento de la presión hidrostática, en el segundo intervalo se muestra el comportamiento de los disparos y quema de Propelente; Luego se muestra el intervalo de espera de +/- 5.33 min para que se realice la apertura de las cámaras de surgencia para que finalmente se establezca la presión.

FIGURA 2. 67 PERFIL DE PRESIÓN CON PROPELENTE TÉCNICA DE CAÑONEO STIMPRO



Fuente: Halliburton/SPE/Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Patricia Poveda, Alvaro Izurieta, Julio Lozada, Federico Ríos, Martin Schoener Scott.

2.9 MODELAMIENTO DINÁMICO

El modelamiento Dinámico es usado para simular el rendimiento de los disparos, movimiento de la tubería, choque de las cargas, y la respuesta de la presión del pozo durante la intervención, para esto se utiliza dependiendo de la compañía paquetes computacionales que ayudan en este proceso.

2.9.1 NORMA API-19B

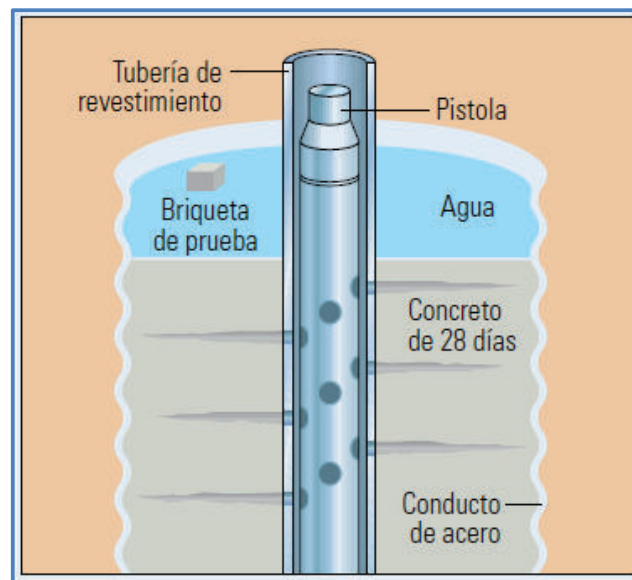
Para predecir el desempeño de las cargas, la mayoría de los paquetes computacionales utilizados en la industria se basan en la norma API 19B, la cual mediante pruebas realizadas en superficie, compara el desempeño de las cargas y proporciona un punto de partida para el modelamiento con programas computacionales que permiten predecir la geometría de la penetración y el comportamiento del pozo.

La Norma API, registra o establece las siguientes pruebas

2.9.1.1 Sección I

La figura 2.68 muestra un esquema del desarrollo de esta prueba

FIGURA 2. 68 PRUEBA DE LA SECCIÓN I-NORMA API 19B



Fuente: Oilfield Review, Schlumberger

Esta prueba es desarrollada a temperatura ambiente y a presión atmosférica. Se utiliza equipos de pozo estándar para disparar un bloque de concreto. La prueba requiere un mínimo de 12 disparos y el sistema de cañones debe ser verificado como un equipo estándar. Antes de la evaluación en la planilla de datos va

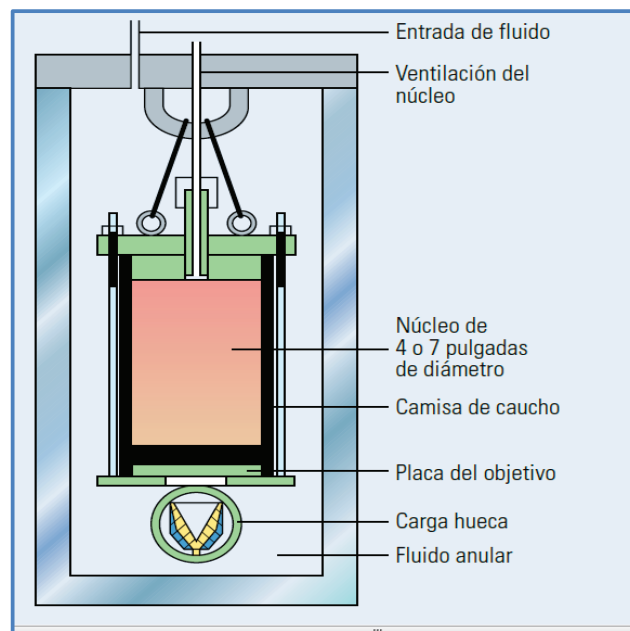
indicado: la posición del cañón, la densidad de disparo, la fase y el número de cargas en el cañón.

Se efectúa el disparo y se mide: el diámetro de entrada en la tubería de revestimiento y la profundidad de penetración en el bloque de concreto. Un esquema de la prueba correspondiente a la sección I se muestra en la figura siguiente:

2.9.1.2 Sección II

Esta prueba se realiza con un disparo de una sola carga en una muestra de la Arenisca Berea a temperatura ambiente. La muestra es sometida a un esfuerzo de confinamiento y una presión de pozo de 3000 psi. Cualquier presión de poro inducida, es venteadada a la atmósfera.

FIGURA 2. 69 PRUEBA DE LA SECCIÓN II-NORMA API 19B



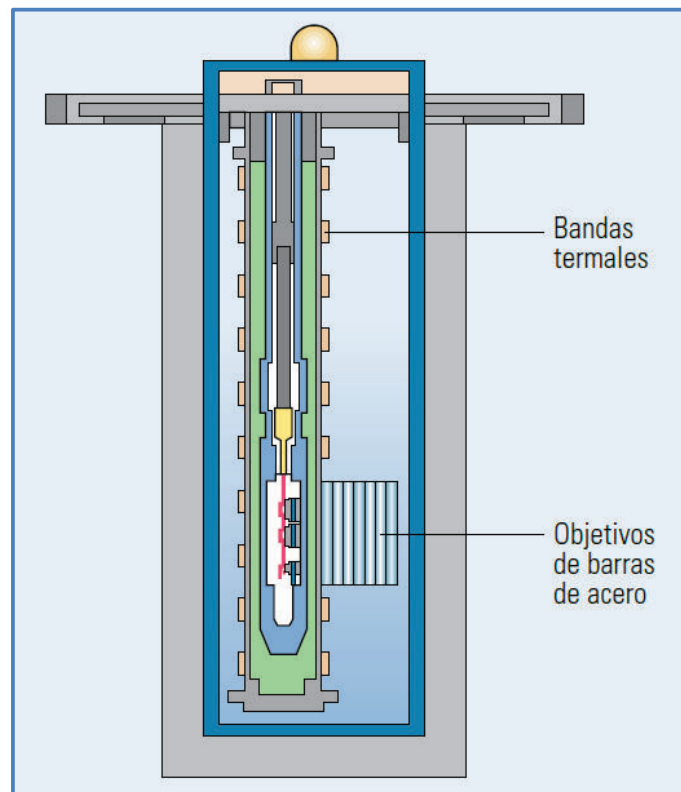
Fuente: Oilfield Review, Schlumberger

2.9.1.3 Sección III

La prueba de la sección III evalúa el desempeño del sistema, sometido a las altas temperaturas, como producto del calentamiento de los cañones. Se detonan un

mínimo de 6 cargas y se mide la profundidad de penetración a un conjunto de placas de acero, soldadas al sistema de cañones. La profundidad de penetración es comparada con resultados obtenidos a temperatura ambiente. El esquema de esta prueba se presenta en la figura 2.70.

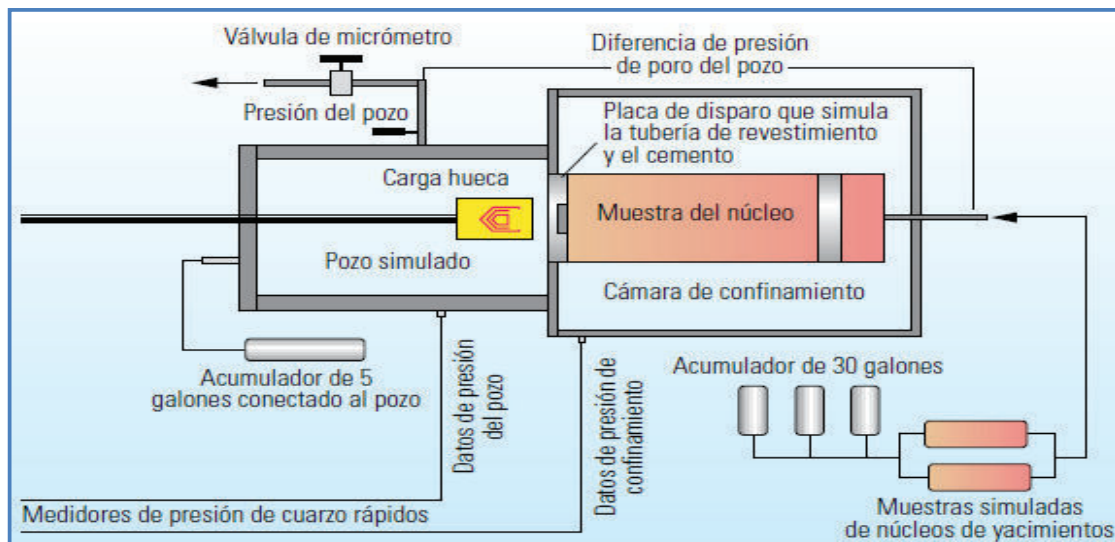
FIGURA 2. 70 PRUEBA DE LA SECCIÓN III-NORMA API 19B



Fuente: Oilfield Review, Schlumberger

2.9.1.4 Sección IV

Esta prueba se la realiza disparando una muestra de roca con un equipo de disparos de una sola carga. Mostrado en la figura 2.71 el equipo consta de tres cámaras: una de confinamiento, que entrega el esfuerzo de sobrecarga sobre la muestra de roca; otra cámara que presuriza el fluido del poro y simula la respuesta del yacimiento; y una última cámara que simula las condiciones de fondo existentes. Esta prueba proporciona una medida de la eficiencia de flujo en los núcleos, dicha eficiencia puede relacionarse con el daño de un solo disparo y utilizarse para cuantificar las características de la zona de daño de los disparos.

FIGURA 2. 71 PRUEBA DE LA SECCIÓN IV-NORMA API 19B

Fuente: Oilfield Review, Schlumberger

La prueba, proporciona una aproximación más precisa si se utiliza muestras de roca que tengan una composición similar a la de formación de fondo del pozo.

2.9.1.5 Sección V

La prueba de la sección V, dispone de un procedimiento para evaluar el volumen de los detritos que sale de un cañón luego de la detonación de las cargas y la recuperación del mismo.

Cabe mencionar que la mayoría de los modelos para predecir el desempeño de las cargas a condiciones de fondo, utilizan los datos obtenidos de las pruebas con la norma API RP 19B Sección I.

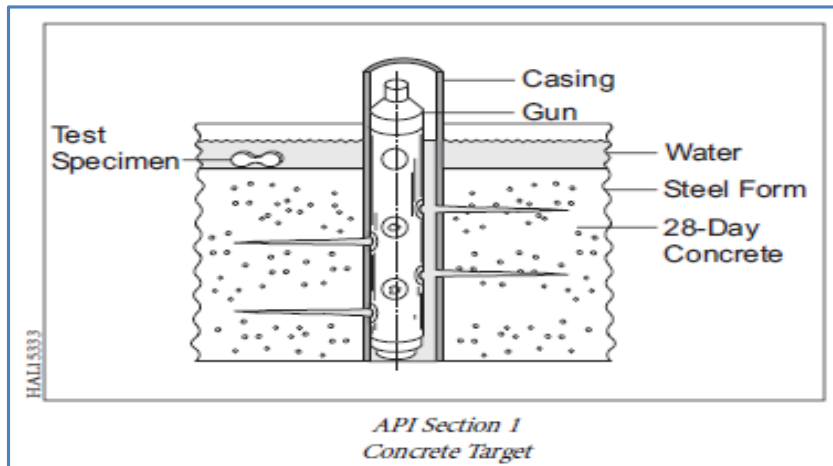
2.9.2 SOFTWARE PERFPRO

2.9.2.1 Predicción In-Situ del Rendimiento de la Carga.

Los cálculos para la penetración de la carga con el software PerfPro, está basado en modelos de acuerdo a estudios realizados en "Jet Research Center (JRC)", propiedad de Halliburton. El Programa PerfPro transforma los datos de prueba en superficie del API RP-19B Sección I a las condiciones de fondo de pozo, mediante

corrección por la resistencia de formación y la tensión efectiva. Para el cálculo del rendimiento de carga en el fondo del pozo (mostrado en la figura 2.72), se toma en cuenta la posición del cañón, el grado del casing, la densidad del fluido del pozo, y las condiciones del pozo.

FIGURA 2. 72: API RP-19B Sección I



Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

FIGURA 2. 73 PROCESO PERFPRO

PerfPro® Process

Datasource Required Info Results Report Post Job ?

Overview Graph

Gun No.	Charge Name	Formation Penetration (in)	Perforating Pressure (psi)	Average Exit Hole (in)	Total Skin	PI (STB/Day/psi)
1	4-5/8" MILLENNIUM	44.074	-2000	0.37	-0.036	0.94
2	4-5/8" OMNI	14.57	-2000	0.32	1.802	0.76
3	3-3/8" MILLENNIUM	34.057	-500	0.41	0.699	0.86
4	2-3/4" MILLENNIUM	22.424	-500	0.24	2.376	0.71

Gun No. 1-Downhole Charge Performance

Shot No.	Orientation (Deg)	Gun Clearance (in)	Formation Penetration (in)	EHD (in)
1	0.0	0.0	44.723	0.37
2	0.0	0.33	44.503	0.37
3	120.0	1.16	43.75	0.37
4	180.0	1.65	43.218	0.37
5	240.0	1.16	43.75	0.37
6	300.0	0.33	44.503	0.37

The photograph shows a cross-section of a perforated casing. Six numbered arrows (1-6) point to the locations of the perforating shots, corresponding to the data in the table above. The casing is surrounded by a granular material, likely sand or gravel.

PerfPro® Charge Performance Calculations

Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

El principal objetivo del software PerfPro es optimizar la selección del cañón y la ejecución del trabajo para obtener el mayor índice de productividad o el menor factor skin. Luego que los valores de rendimiento de la carga son calculados, el programa PerfPro calcula el índice de productividad y el factor skin.

El proceso PerfPro considera el factor skin debido a los perforados, daño por perforación del pozo, penetración parcial, flujo no Darcy y desviación del pozo.

Los datos ingresados en el software y los valores del desempeño de la carga son llevados a un modelo en 3D y realiza los cálculos por medio del método de elementos finitos. Como resultado el software simula el desempeño del sistema de cañoneo para una amplia gama de escenarios y genera el índice de productividad junto con el factor skin total.

El reporte del rendimiento de la carga se presenta como se muestra en la figura 2.74.

FIGURA 2. 74 REPORTE DEL RENDIMIENTO DE LA CARGA

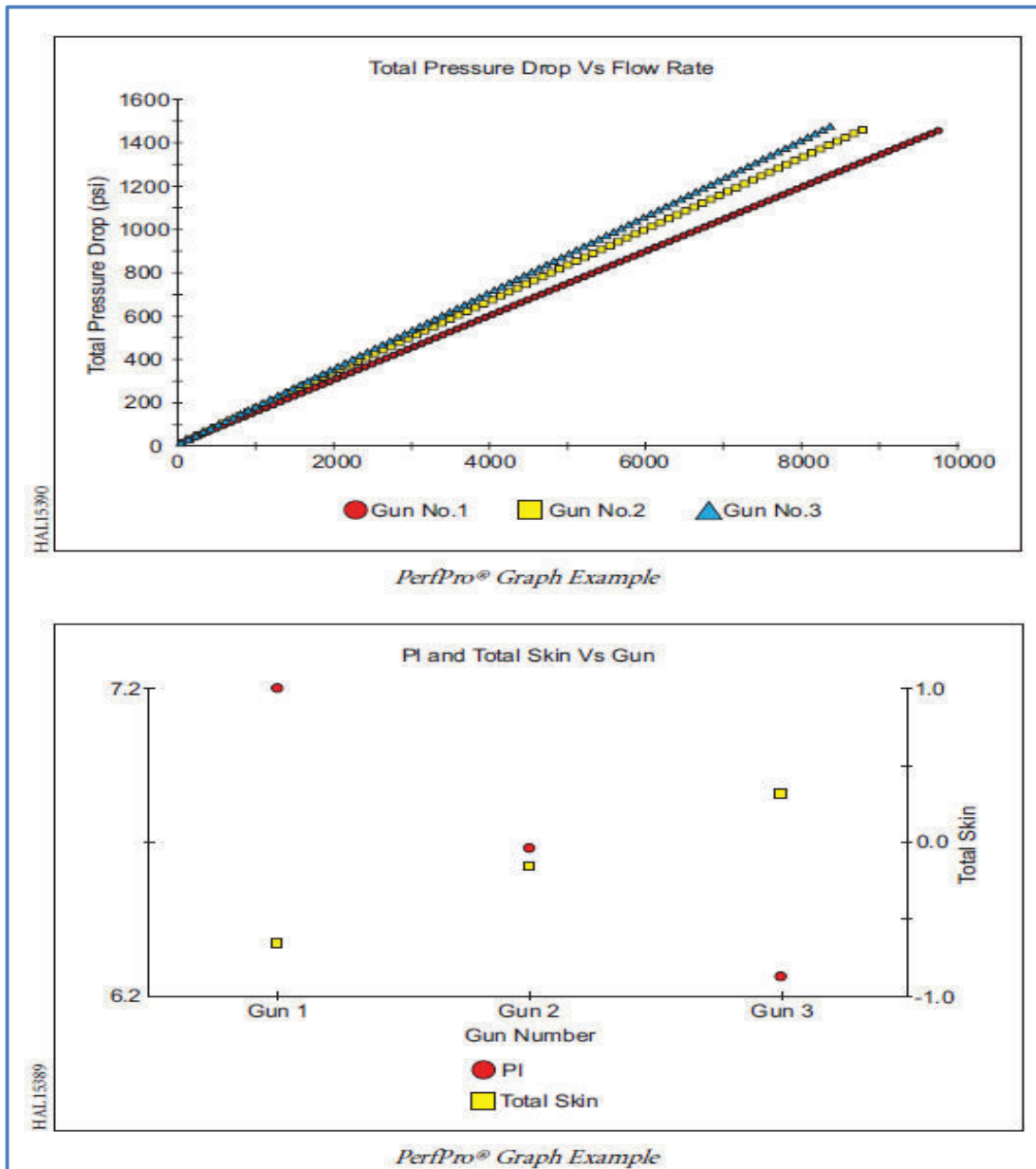
CHARGE PERFORMANCE REPORT				
General Data				
Reservoir fluid type	Oil	Mid-Perforation Depth	3250.0	ft - TVD
Borehole Diameter	12.25 in	Reservoir Pressure	1464.0	psi
Porosity	24.0 %	Reservoir Temperature	112.0	°F
Permeability	1191.0 md	Completion Fluid Type	Diesel	
Formation Compressive Strength	3891.0 psi	Completion Fluid Density	6.83	lb/gal
Drilling Damage Radius	3.0 in	Lithology	Sandstone	
Completion Data				
Casing Description	1			
Outer Diameter	9.63 in			
Inner Diameter	8.68 in			
Grade	N-80			
Weight	47.0 lb/ft			
Perforator Information				
Charge Name	Gun 1 7" MILLENNIU M	Gun 2 4" MILLENNIU M	Gun 3 4-1/2" MILLENNIU M	
Charge Type	DP	SDP	SDP	
Charge Loading, gm	39.0	39.0	22.7	
Phasing, deg	45.0	80.0	30.0	
Shot Density, spg	12	5	12	
Gun Position	Eccentered	Eccentered	Eccentered	
Avg Formation Penetration, in	40.68	43.22	23.78	
Avg Entrance Hole Dia*, in	0.36	0.29	0.28	
API 5th Edition Section I Data				
Total Target Penetration, in	43.3	52.0	26.8	
Entrance Hole Diameter, in	0.36	0.37	0.38	
PRODUCTIVITY REPORT				
Completion Data				
Reservoir Fluid Type	Oil	Well Deviation @ Perfs	56.2	deg
Drainage Radius	1500.0 ft	Net Sand Thickness	27.0	ft
Pseudo-Skin due to Well Deviation	-0.697	Perforated Total Length	27.0	ft
Distance To Top Perf Interval	0.0 ft			
Skin due to Partial Penetration	0.0			
Reservoir Data				
Permeability	1191.0 md	Reservoir Pressure	1464.0	psi
Anisotropic Ratio, kV/kH	0.2	Reservoir Temperature	112.0	°F
Formation Volume Factor	1.1	Porosity	24.0	%
Formation Fluid Viscosity	4.36 cp	API Gravity	32.6	°API
Perforator Information				
Charge Name	Gun 1 7" MILLENNIU M	Gun 2 4" MILLENNIU M	Gun 3 4-1/2" MILLENNIU M	
Gun Position	Eccentered	Eccentered	Eccentered	
Shot Phasing, deg	45.0	80.0	30.0	
Shot Density, spg	12	5	12	
Avg Formation Penetration, in	40.68	43.22	23.78	
Avg Entrance Hole Dia, in	0.36	0.29	0.28	
Underbalance Condition, psi	-350.0	-350.0	-500.0	
Productivity Analysis				
Total Skin		Perforation Skin		Productivity Index, STB/day/psi
Gun No. 1	-0.666	0.031	7.2	
Gun No. 2	-0.156	0.539	5.662	
Gun No. 3	0.319	1.016	8.261	

Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

El software también muestra resultados como: la caída de presión total vs el caudal ó el índice de productividad para cada sistema de cañoneo simulado.

La figura 2.75 muestra los resultados del proceso PerfPro.

FIGURA 2. 75 RESULTADOS DEL PROCESO PERFPRO



Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

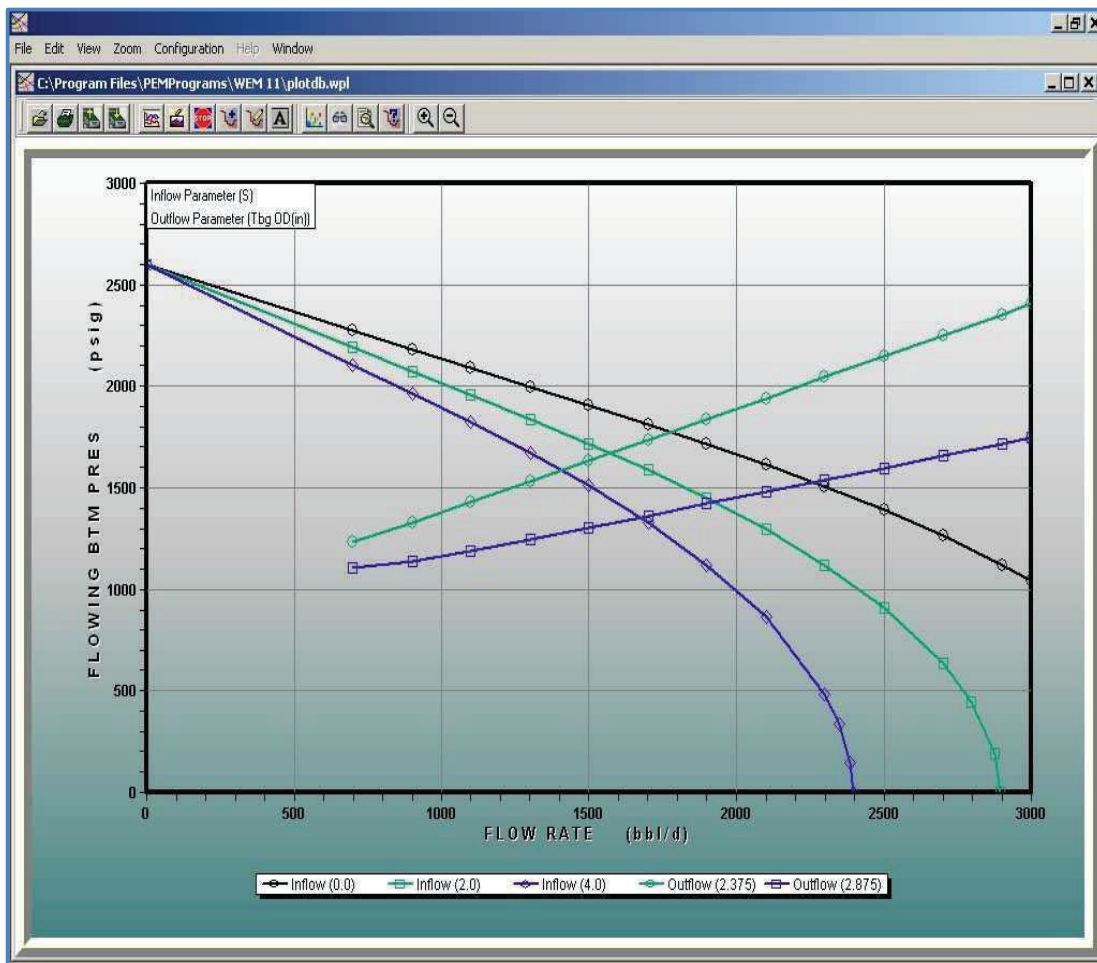
2.9.3 SOFTWARE WEM

EL software Well Evaluation Model (WEM), es un paquete que permite realizar un análisis Nodal completo, permitiendo probar varios escenarios para la producción del pozo como por ejemplo: cambios en el diámetro de la tubería de producción, presión de cabeza y de fondo del pozo, permeabilidad etc.

Con estos parámetros se puede obtener las curvas del índice de Rendimiento del Pozo (IPR) y la curva de desempeño de la tubería (TPR).

Los datos del software WEM es mostrado en la figura 2.76

FIGURA 2. 76 RESULTADOS DEL PROCESO WEM



Fuente: WEM-Software

2.9.4 SOFTWARE PULSFRAC

El software PulsFrac predice el efecto del cambio de la presión en el pozo y en los cañones, la compresión de los fluidos, la propagación de la onda de presión en el pozo, la expansión del casing, la creación de fracturas alrededor de los perforados. Esta predicción es modelada matemáticamente al detalle dentro del software, y los resultados permiten diseñar ensamblajes de cañones para alcanzar una óptima productividad del pozo. PulsFrac incorpora el uso de soluciones de diferencias finitas de las ecuaciones de Navier-Stokes utilizadas en pozos, disparos, flujo en las fracturas y mecánica de las rocas, así como ecuaciones de flujo de fluidos compresibles en varias fases. Ningún ajuste con curvas empíricas es realizado, sin embargo algunas aproximaciones son usadas para resolver más rápidamente las ecuaciones en ocasiones cuando no se requiere una gran exactitud. Los resultados mostrados son gráficos y fácilmente de ser interpretados, para usos en el trabajo. Un ejemplo es mostrado en la siguiente figura 2.77

FIGURA 2. 77 RESULTADOS SOFTWARE PULSFRAC



Fuente: Perforating Solutions 2008, Halliburton

2.9.4.1 Beneficios del Software PulsFrac

El programa SurgePro es ideal para predecir:

- Pozo, disparos y presurización de los cañones.
- Propagación de ondas - inyección de líquido / producción.
- Comportamiento del disparo – daño del disparo.
- Limpieza de la Completación – estallido / colapso y packer diferencial.

2.9.4.2 Aplicaciones del Software PulsFrac

- Evaluar el potencial de aumento natural de los sistemas de cañones convencionales.
- Evaluar la eficiencia de los disparos en bajo balance y las técnicas de back-surfing.
- Monitoreo de los efectos de los procedimientos operacionales en los procesos de disparos.

2.9.5 SOFTWARE SPAN ROCK

El software SPAN Rock se usa para modelar el rendimiento de la carga en las rocas reservorio, además permite al usuario optimizar la eficiencia del sistema de cañoneo comparando diversos tipos de configuraciones de carga bajo diferentes condiciones de reservorio.

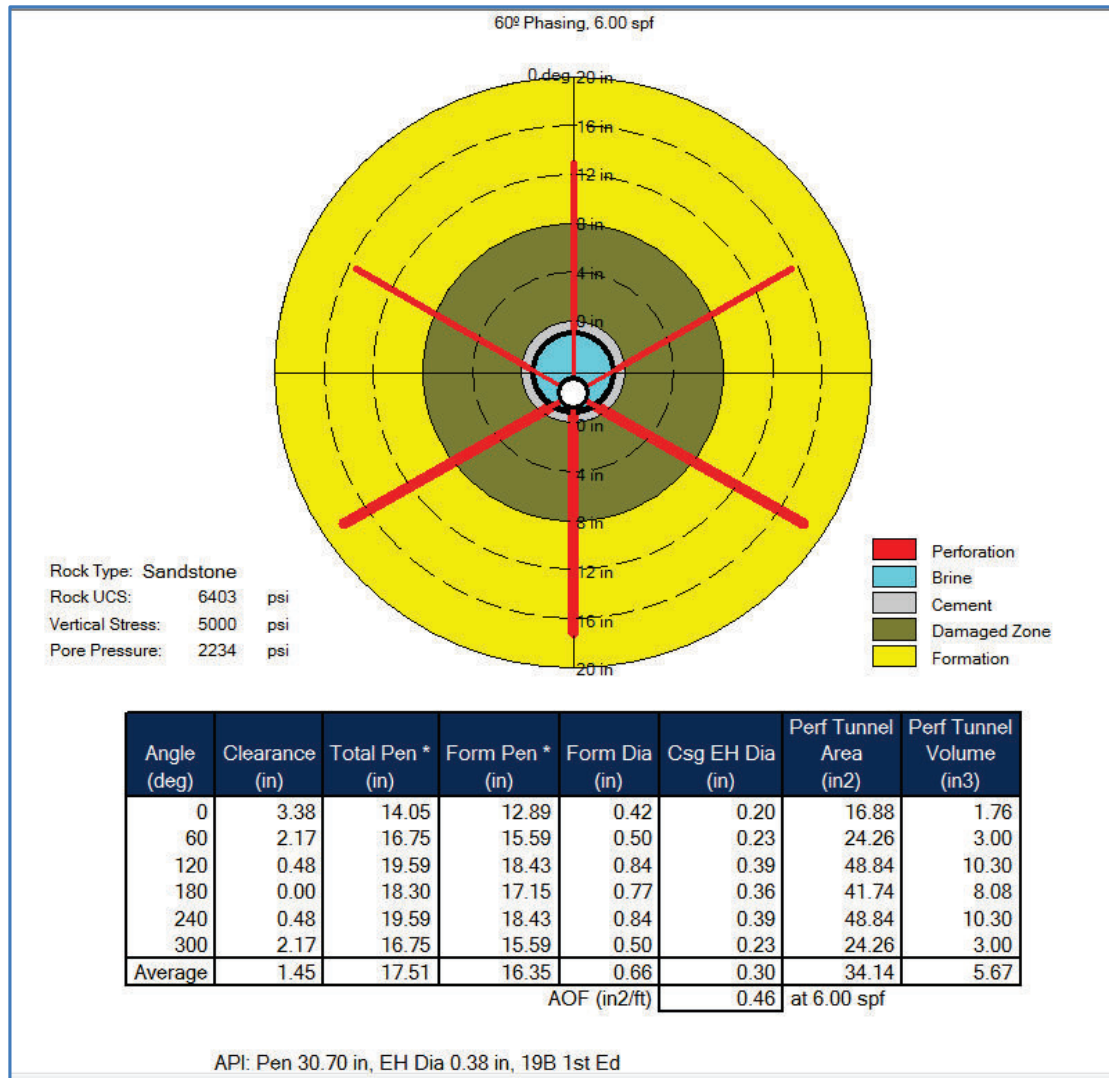
El SPAN Rock guía al usuario a través de un camino lógico para el mejor diseño de disparo.

La información del Casing, cemento, y formación es combinada con la geometría del pozo y las características del fluido de completación.

Esta información es emparejada con las características del rendimiento del sistema de la carga y posicionamiento de los datos para predecir el rendimiento de la carga bajo las condiciones especificadas.

El programa SPAN Rock genera los reportes de penetración, análisis de productividad, y reportes de bajo balance dinámico para un máximo de seis sistemas de disparo en un formato que es fácil de entender y usar. La figura 2. 78 muestra la geometría del disparo, como resultado de una simulación con el Software SPAN-Rock

FIGURA 2. 78 RESULTADOS DEL SOFTWARE SPAN-Rock



Fuente: Perforating Services, Diseño de Cañoneo 2013, Schlumberger

2.9.5.1 Características del Software SPAN Rock.

- Utiliza un modelo de predicción de penetración basado en datos reales de rocas bajo esfuerzos.

- Modelo de daño versus bajo balance dinámico.
- Modelo que combina los efectos del bajo balance estático y dinámico
- Análisis de re-cañoneo y múltiples zonas
- Base de datos con diferentes correlaciones de propiedades de rocas.

Investigadores han encontrada que los modelos para predecir la profundidad de penetración de las cargas, no están acorde al desarrollo de las mismas, y luego de varias pruebas se ha encontrado que dichos modelos conducen a datos erróneos para las cargas modernas.

Así mismo se ha encontrado que el desempeño de las cargas modernas se ve afectado mucho más por los esfuerzos en el lugar de la detonación, que aquellas cargas de generaciones anteriores.

Es por eso que este software introduce un nuevo modelo de predicción de la profundidad de penetración de las cargas, lo que permite tener una mayor exactitud entre el trabajo simulado y el ejecutado en campo.

Bajo esta premisa los investigadores desarrollaron un nuevo parámetro. La función del indicador balístico F_{bi} (por sus siglas en inglés). Esta función combina propiedades intrínsecas de la formación como: esfuerzo de no-confinamiento y porosidad, y propiedades extrínsecas: como el esfuerzo de sobrecarga y la presión de poro.

Este nuevo parámetro permite tener mayor exactitud para predecir el desempeño de los disparos bajo las condiciones de fondo de pozo. El nuevo parámetro fue definido luego de 200 experimentos, usando varios tipos de cargas con valores de esfuerzo de no-confinamiento entre 1 600 a 16 000 $\times 10^{14}$ psi. Basados en los resultados de los experimentos los investigadores introdujeron un nuevo modelo computacional para predecir la profundidad de penetración de una carga bajo las condiciones del pozo.

El nuevo modelo tiene 6 parámetros: dos parámetros específicos de la carga y cuatro parámetros de la formación (esfuerzo de no confinamiento, porosidad, presión de confinamiento y presión de poro).

El nuevo modelo se explica a continuación:

$$\ln\left(\frac{DoP}{DoP_{ref}}\right) = \alpha_0(F_{BI_{ref}} - F_{BI}) \quad (2.33)$$

$$F_{BI} = UCS + b \times P_{eff} \quad (2.34)$$

$$P_{eff} = P_c - a \times P_p \quad (2.35)$$

$$a(\Phi) = 0,0967 \times \Phi^{0,428} \quad (2.36)$$

$$b = \begin{cases} 0,7336 - 1,813 \times 10^{-5} \times UCS; & UCS < 30.000 \text{ psi} \\ 3,33 \times e^{-9,55 \times 10^{-5} \times UCS}, & UCS \geq 30.000 \text{ psi} \end{cases} \quad (2.37)$$

Dónde:

DoP = DoP en la formación de la producción.

DoP_{ref} = DoP en la formación de referencia usando $F_{BI_{ref}}$ a 10.000 psi.

α_0 = Coeficiente de carga exponencial.

F_{BI} = Función indicador de balística de la formación productora.

$F_{BI_{ref}}$ = Función indicador de balística en una formación de referencia a 10.000 pies.

UCS = UCS de formación productora, psi.

P_{eff} = Tensión efectiva de balística, psi.

P_c = Tensión de confinamiento, psi.

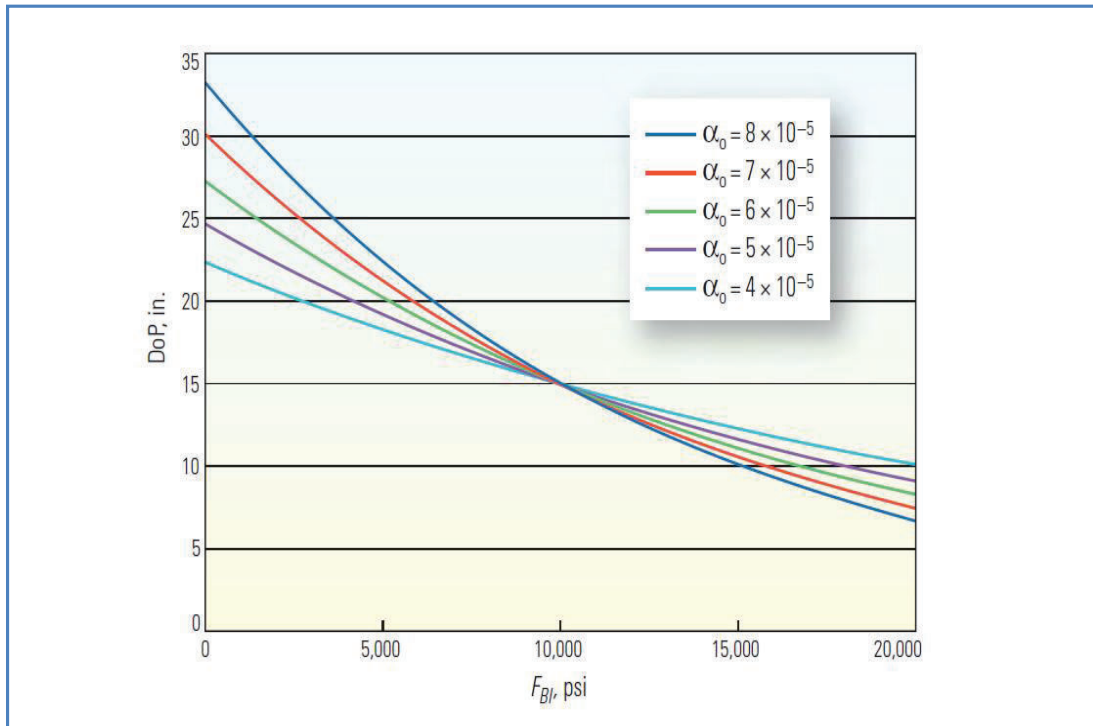
P_p = Presión del poro, psi.

a = Coeficiente de presión balístico en el poro.

b = Coeficiente de influencia de tensión.

Φ = Porosidad, %.

El coeficiente de carga exponencial se determina mediante la figura 2.79

FIGURA 2. 79 COEFICIENTE DE CARGA EXPONENCIAL

Fuente: Oilfield Review Autumn 2014, Schlumberger

CAPÍTULO III

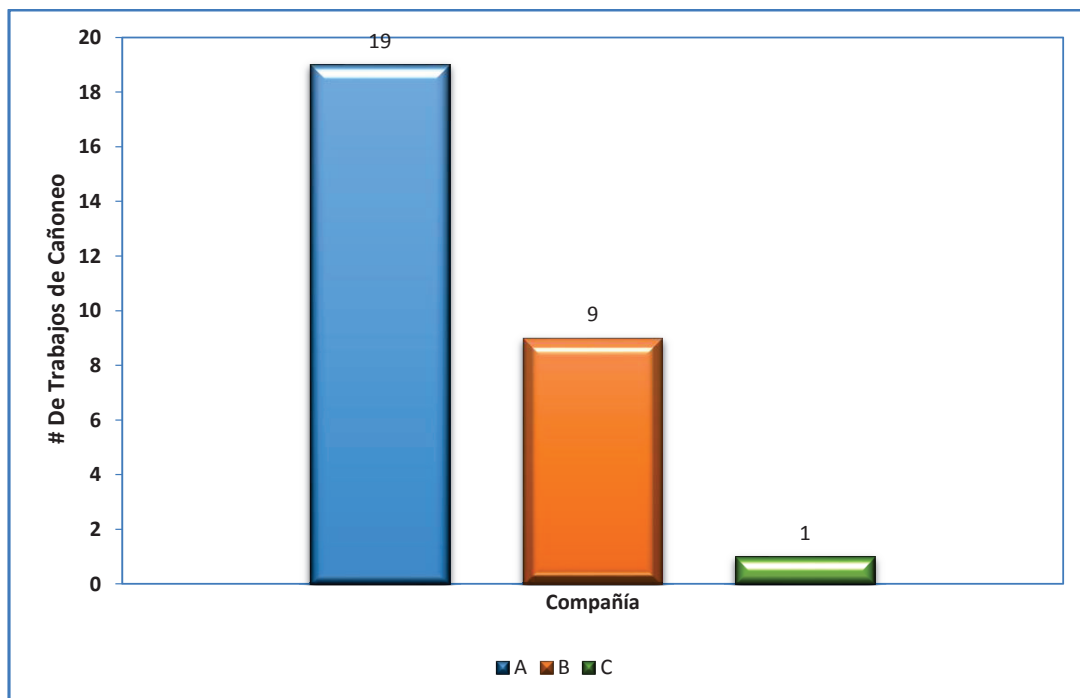
ESTUDIO TÉCNICO-COMPARATIVO DE LAS TÉCNOLOGIAS DE CAÑONEO UTILIZADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA EN BASE A LOS SOFTWARE WEM, PERFPRO, PULSFRAC Y CASOS HISTÓRICOS.

3.1 ESTADÍSTICA DE DISPAROS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA.

En el Complejo Yanaquincha se han utilizado diversas técnicas y tecnologías de cañoneo de diferentes compañías las cuales para el presente estudio se les ha designado por confidencialidad con el nombre de compañía A, B, C.

La figura 3.1 muestra el total de trabajos de cañoneo desde el 2012 hasta el 2014 que se han realizado en el complejo Yanaquincha por las diferentes compañías.

FIGURA 3. 1 TOTAL DE DISPAROS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.1.1 CAÑONEO CON WL Y PROPELENTE

En la tabla 3.1 describe todos los trabajos de cañoneo que se han realizado en el Complejo Yanaquincha con WL y Propelente por las diferentes compañías utilizando sus principales tecnologías de disparos para cada arena productora.

TABLA 3. 1 CAÑONEO CON WL Y PROPELENTE EN COMPLEJO YANAQUINCHA

CAÑONEO CON WL Y PROPELENTE					
Compañía	Pozo	Arena	Intervalo	Técnica	Condición del Pozo
A	YNEB023	Ui	9.935'-9.957'	StimPro	Sobre balance y bajo balance dinámico.
		UM	9.942' – 9.950'	StimGun	Sobre balance dinámico
		US	9.598' – 9.614'	StimGun	Sobre balance dinámico
A	YNEC09	HS	12.981' -12.999'	SurgePro	Bajo balance dinámico
A	YNOA002	UI	9.605' – 9.620'	SurgePro	Bajo balance dinámico
		TI	9.826' – 9.840'	StimPro	Sobre balance y bajo balance dinámico.
			9.792' – 9.799'		
			9.848' – 9.866'		
A	YNOA15	TS	9.782' –9.802'	SurgePro	Bajo balance dinámico
A	YNOB19	UI	10.116'- 10.156'	StimPro	Sobre balance y bajo balance dinámico.
		TS	10.331' – 10.337'	StimPro	Sobre balance y bajo balance dinámico.
			10.343' – 10.349'		

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.1.2 CAÑONEO CON TCP Y PROPELENTE

En la tabla 3.2 se describe todos los trabajos de cañoneo que se han realizado en el Complejo Yanaquincha con TCP y Propelente, además se describe la

profundidad a la cuál fue realizado el trabajo y la condición del pozo propia de cada tecnología de cañoneo aplicada en los diferentes pozos.

TABLA 3. 2 CAÑONEO CON TCP Y PROPELENTE EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA

CAÑONEO CON TCP Y PROPELENTE					
Compañía	Pozo	Arena	Intervalo	Técnica	Condición del Pozo
A	YNNA03	UI	9.992' – 10.010'	SurgePro	Bajo balance dinámico
		T	10.292' – 10.304'	SurgePro	Bajo balance dinámico
A	YNEA04	UM	10.025'-10.052'	StimPro	Sobre balance extremo y bajo balance dinámico
		UM (recañoneo)	10.025'-10.052'	PerfStim	Sobre balance extremo
A	YNEA08	Ui	10.236' – 10.264'	StimGun	Sobre balance dinámico
		TP	10.526' – 10.536'	TCP Convencional	Balance
A	YNEA27	UI	9.650' – 9.674'	StimGun	Sobre balance dinámico
		TP	9.910' – 9.932'	StimGun	Sobre balance dinámico
A	YNEA26	UI	9.862' – 9.875'	StimPro	Sobre balance extremo y bajo balance dinámico
A	YNEA29	TS	10.302' – 10.308'	StimPro	Sobre balance extremo y bajo balance dinámico
C	YNEB-11	HS	9.952'- 10.627'	TCP DYNA	Bajo balance
B	YNEA-017	UM	9.876' - 9.896'	PURE TCP	Desbalance Dinámico
B	YNNA-005	UI	10.503'-10.515'	PURE TCP	Desbalance Dinámico
		TP	10.826'-10.833'	StimGun TCP	Sobre Balance dinámico

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.1.3 DISPAROS CON CAÑONES ANCLADOS

En la tabla 3.3 se describe todos los trabajos de cañoneo que se han realizado en el Complejo Yanaquincha con cañones anclados.

TABLA 3. 3 DISPAROS CON CAÑONES ANCLADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA

DISPAROS CON CAÑONES ANCLADOS					
Compañía	Pozo	Arena	Intervalo	Técnica	Condición del Pozo
B	YNEA030	UI	9.665' - 9.680'	PURE-MAX-R	Desbalance Dinámico
B	YNNA-007	UI	11.544,1'	PURE-MAX-R	Desbalance Dinámico
B	YNNA-006	UM	11.310,4'	PURE-MAX-R	Desbalance Dinámico
B	YNNA-004	UI	10.075' – 10.082'	PURE-MAX-R	Desbalance Dinámico
			10.085' – 10.095'		
			10.097' – 10.110'		
B	YNNA-008	UI	10.912' - 10.926'	PURE-MAX-R	Desbalance Dinámico
B	YNNA-010	UI	11.576' - 11.612'	PURE-MAX-R	Desbalance Dinámico

Fuente: Petroamazonas Ep.

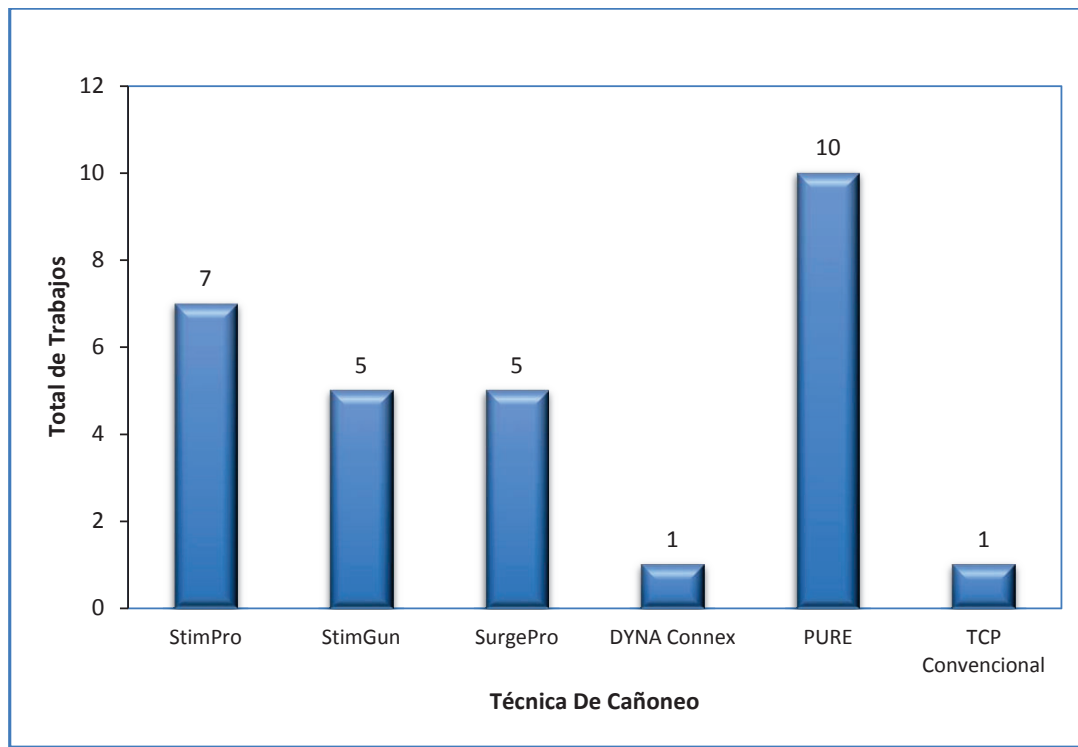
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.2 COMPARACIÓN DE LAS TÉCNOLOGÍAS DE CAÑONEO UTILIZADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA.

En el Complejo Yanaquincha se han usado diversas tecnologías de cañoneo tanto con WL, TCP y cañones anclados como son StimPro, StimGun, PerfStim, SurgePro, Wireline Conex, PURE con cañones anclados (Maxr) y PURE con TCP.

Los trabajos de disparo con las técnicas antes mencionadas en las arenas de los pozos del complejo Yanaquincha se muestran en la figura 3.2 en la cual se puede observar que la técnica más utilizada es la técnica PURE.

FIGURA 3. 2 COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

3.3 SELECCIÓN DE POZOS PARA REALIZAR EL ESTUDIO DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA.

Para realizar el estudio técnico-comparativo de las tecnologías de cañoneo utilizadas en el complejo Yanaquincha se escogió doce pozos de estudio históricos cada uno con una técnica de disparo distinta, para los cuales en el presente capítulo se muestra los resultados de las diferentes simulaciones en base a los software de disparo realizadas con las técnicas y tecnologías propias de cada empresa con el objetivo de comparar los resultados de las tecnologías de disparo y determinar si la aplicación de esa tecnología utilizada para el cañoneo del pozo dio el resultado esperado en base al historial propio de producción de cada pozo en estudio.

La compañía “A” para realizar los diferentes trabajos de cañoneo en el Complejo Yanaquincha utilizó técnicas de cañoneo convencional como son WL, TCP, CASING GUN CONVENCIONAL y además tecnologías nuevas con Propelente en el mercado de disparos como son SURGEPRO, STIMPRO, PERFSTIM y STIMGUN.

La compañía B utilizó como técnica de disparo “Cañones Anclados” con el sistema de disparos PURE MAX-R, PURE TCP y la compañía “C” utilizó cañoneo convencional con WL y TCP así como también cañoneo con Propelente. A continuación se describen los resultados de las técnicas utilizadas en cada pozo según las características propias del pozo.

3.3.1 POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON LA TÉCNICA TCP CONVENCIONAL

En el Complejo Yanaquincha se ha disparado un pozo con TCP convencional, cuyo pozo es el YNEA008 el mismo que se ha escogido para el presente estudio.

TABLA 3. 4 POZOS CAÑONEADOS CON TCP CONVENCIONAL

Pozo	Arena	Técnica de Disparo
YNEA-008	TP	TCP Convencional

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.1.1 Pozo YNEA 008 (Arena TP).

En el pozo YNEA008 se disparó la arena “TP” 10.526' – 10.536' (10') FT MD; mediante la técnica TCP Convencional en bajo balance, a fin de optimizar el flujo de fluido desde la formación “T” eliminando el daño generado por el proceso de invasión y filtrado de lodo de perforación.

El diseño de la carga se realizó con cargas MAXFORCE 390 DP, densidad simulada 5 spf y 72° de fase.

3.3.1.1.1 Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA008

Los resultados de la simulación del cañoneo mediante el software PerfPro se muestran en la tabla 3.5 cuyo IP estimado es 0,768 bl/psi lo que traducido a productividad implica puntualmente una producción estimada de alrededor de 691,6 BFPD.

En el Anexo 02 se muestra el diagrama de cañoneo del pozo YNEA-008.

TABLA 3. 5 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA008

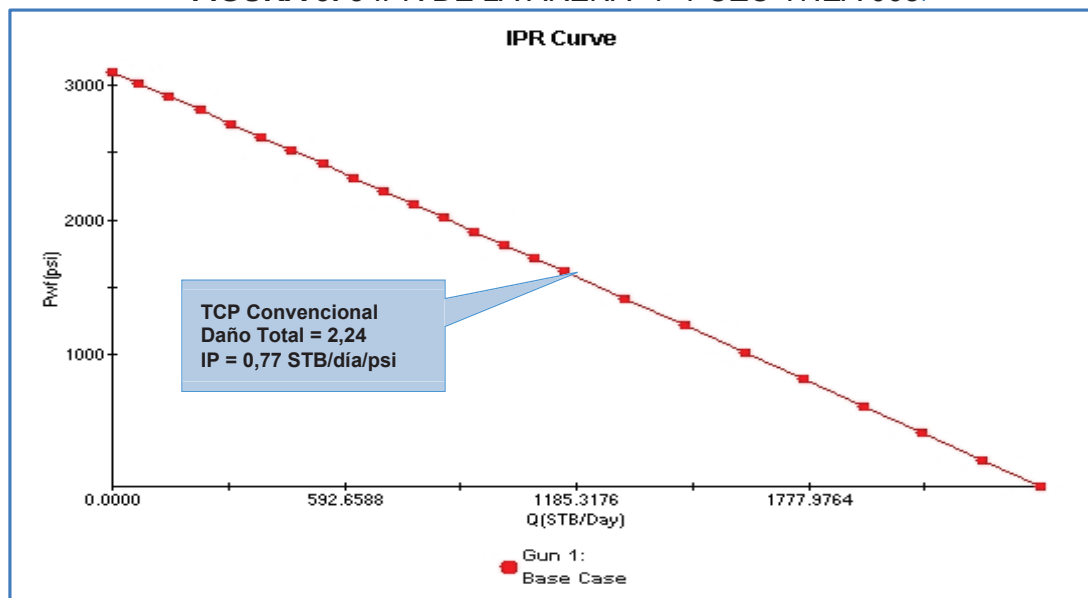
Gun No.	Nombre de la carga	Corr. Penetración en la formación	Penetración en la formación	AEH	AF	WC		S _t	IP
		in	in	In	In ² /ft	Psi			STB/día/psi
1	4-5/8" MAXFORCE 390	9,83	26,55	0,35	0,48	0	UB	2,24	0,77

Fuente: Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

En la figura 3.3 se muestra el IPR estimado con el software PerfPro para la arena T principal del pozo YNEA 008.

FIGURA 3. 3 IPR DE LA ARENA "T" POZO YNEA 008



Fuente: Halliburton

Modificado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.1.1.2 Producción después del cañoneo Pozo YNEA-008

La arena “TP” del pozo YNEA-008, fue disparada por primera vez el 24 de marzo del 2009. Para el presente estudio se tomara el re-disparo con TCP Convencional realizado a la arena “TP” en agosto del 2013.

Una vez disparados los cañones con cargas Max Force, el ensamblaje TCP convencional fue retirado del pozo y además un ensamblaje de completación con bombeo electrosumergible fue bajado.

En la tabla 3.6 se observa que en la arena “TP” el IP antes del trabajo de cañoneo, es de 1,9 STB/día/psi, que implica una producción de 684 BFPD. Luego de realizados los disparos con TCP, el IP una vez que se estabiliza la producción, es de 1,39 STB/día/psi, lo que implica una producción de 1.272 BFPD.

TABLA 3. 6 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNEA-008 “ARENA TP”

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
4-oct-11	OPERACIONES DE WORKOVER						
5-oct-11	TP	645	64	581	90,1	2.625	1,3
28-dic-11	TP	696	251	445	63,9	2.710	1,7
25-ene-12	TP	685	247	438	63,9	2.759	1,9
30-ene-12	TP	684	246	438	64	2.760	1,9
27-ago-13	ARRANCA POZO CON 2 BOMAS P-23 (104 + 68 STG), MOTOR SERIE 562, 336 HP, 2650 VOLT, 77 AMP						
28-ago-13	TP	1.388	430	958	69,0	2.056	1,30
29-ago-13	TP	1.500	1.125	375	25,0	2.094	1,46
30-ago-13	TP	1.342	1.020	322	24,0	2.149	1,38
31-ago-13	TP	1.275	969	306	24,0	2.195	1,38
01-sep-13	TP	1.272	967	305	24,0	2.200	1,39
02-sep-13	TP	1.290	980	310	24,0	2.198	1,40
03-sep-13	TP	1.268	964	304	24,0	2.200	1,38
21-oct-14	TP	785	275	510	65,0	2.261	0,91
28-oct-14	TP	767	268	499	65,1	2.262	0,89
04-nov-14	TP	778	272	506	65,0	2.269	0,91
11-nov-14	TP	789	276	513	65,0	2.234	0,89
22-nov-14	TP	819	287	532	65,0	2.227	0,92
29-nov-14	TP	821	287	534	65,0	2.225	0,92

Fuente: Departamento de Reservorios, Ep Petroamazonas.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.1.1.3 Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-008

La figura 3.4 muestra el IPR estimado con el cañoneo simulado mediante el software PerfPro y el IPR real después del cañoneo con TCP convencional a la arena "TP", con el objetivo de obtener el caudal estimado y real a una presión de fondo fluuyente p_{wf} . La tabla 3.7 muestra los datos de reservorio para el cálculo del IPR.

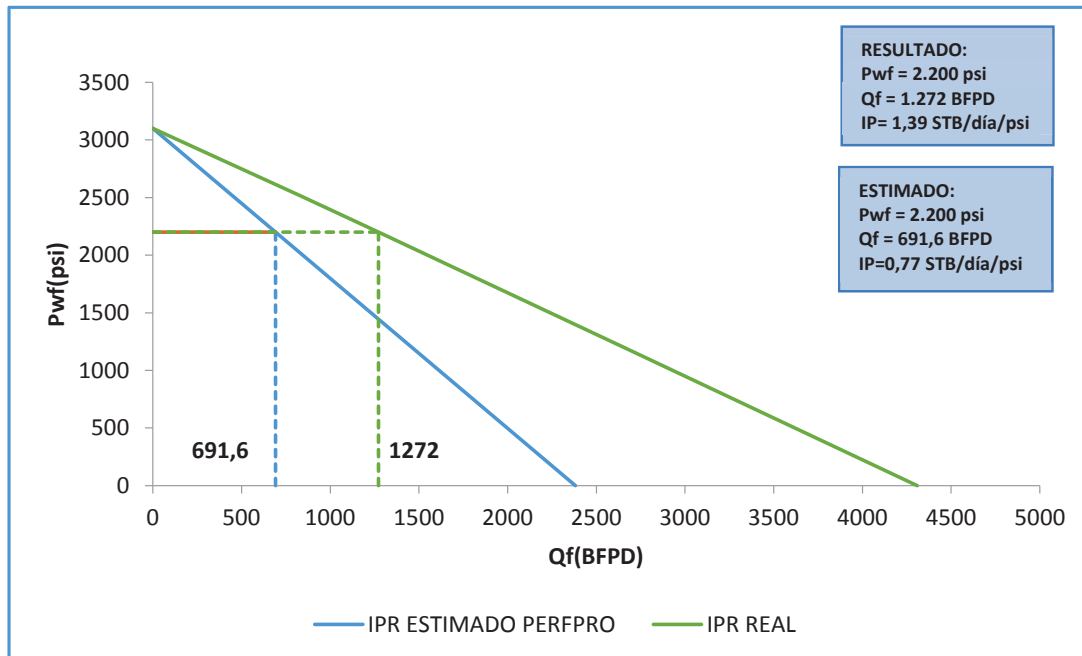
TABLA 3. 7 DATOS DE RESERVORIO ARENA "TP" - POZO YNEA-008

Parámetros		Arena "Tp"	Unidad
Presión promedio Reservorio	Pr	3.100	psi
Presión dinámica	Pwf	2.200	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	154	md
Espesor útil	h	10	pies
Factor volumétrico del petróleo	Bo	1,21	Bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	1,07	cp
Radio de drenaje	re	1.500	pies
Radio del pozo	rw	0,35	pies
Daño total	S	2,24	

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 4 IPR ARENA "TP" POZO YNEA-008



Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La tabla 3.8 muestra los resultados después del cañoneo con TCP Convencional realizado al pozo YNEA-008 arena "TP".

Para la arena "TP" y a una Presión de fondo fluyente $p_{wf}=2.200$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f= 691,6$ BFPD y un caudal real después del cañoneo de $Q_f = 1.272$ BFPD, que en comparación al caudal real antes del disparo $Q_f = 684$ BFPD representa un incremento de 588 BFPD como se observa en la figura 3.5.

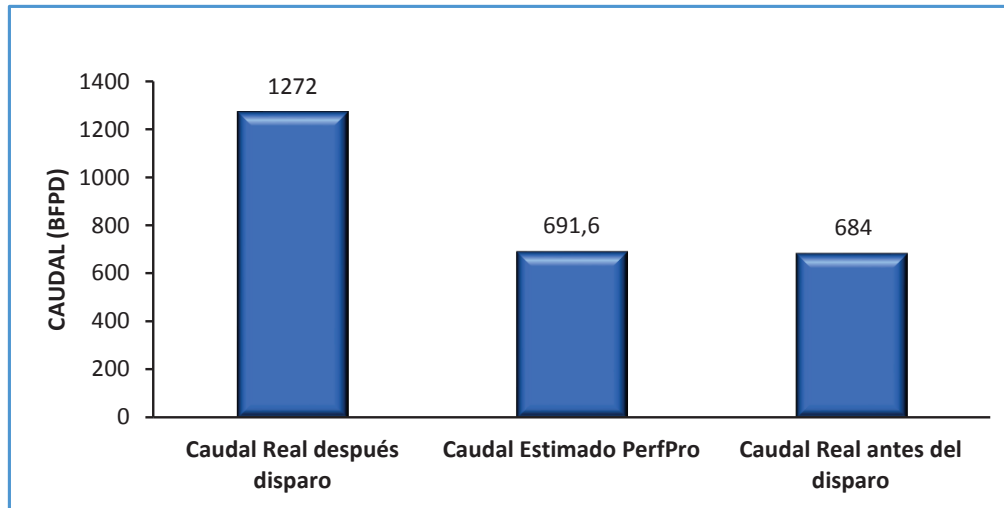
TABLA 3. 8 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA-008

Arena	Técnica de Cañoneo	Qf Real antes del disparo (BFPD)	IPR Estimado (STB/día/psi)	Caudal Estimado o BFPD	IPR Real después del disparo STB/día/psi	Qf Real después del disparo BFPD
TP	TCP Conv.	684	0,77	691,6	1,39	1.272

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 5 RESULTADOS CON TCP CONVENCIONAL POZO YNEA-008



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.2 POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON LA TÉCNICA STIMGUN

En el Complejo Yanaquincha se ha disparado tres pozos con StimGun, para el presente estudio se han escogido los siguientes casos históricos.

TABLA 3. 9 POZOS CAÑONEADOS CON STIMGUN

Pozo	Arena	Técnica de Disparo
YNEA-27	UI y TP	StimGun
YNEA-008	UI	StimGun
YNNA-005	UI	TCP + Propelente

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.2.1 Pozo YNEA-27 (Arena UI Y TP).

En el pozo YNEA-27 se disparó la arenisca “U inferior” 9.650’ – 9.674’ (24’) FT MD y la arenisca “T” 9.910’ – 9.932’ (22’) FT, mediante la técnica TCP StimGun (Sobre balance Dinámico); con el objetivo de estimular, fracturar y lavar la zona dañada – craqueada, a fin de optimizar la interconectividad hacia la formación “U inferior” y “T” eliminando el daño generado. El diseño de la carga se realizó con cañones de 4 5/8” y cargas Max Force 390 DP, densidad 5 spf, y 60° de fase.

3.3.2.1.1 Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA-27

La simulación para la arena “U inferior” y “T principal” se realizó con dos opciones de cañoneo: TCP convencional y con StimGun. Los resultados de la simulación del cañoneo con el software Perfpro que se muestran en la tabla 3.10 determinan que la mejor opción de disparo es con StimGun cuyo IP estimado es 0,45 STB/día/psi para la arena “UI” y 0,28 STB/día/psi para la arena “TP”. En el Anexo 3 se presenta el diagrama de cañoneo del pozo YNEA-27.

TABLA 3. 10 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA-27

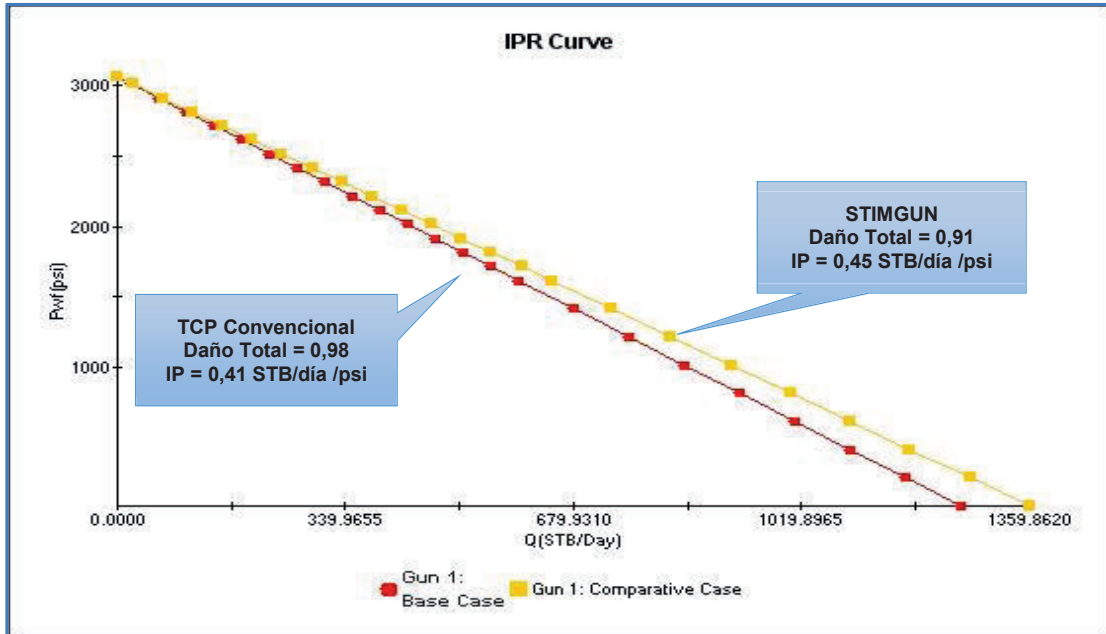
Gun No.	Nombre de la carga	Corr. Penetración en la formación	Penetración en la formación	AEH	AF	WC		S _t	IP
		In	In	In	In ² /ft	Psi			
Ui	4-5/8" MAXFORCE 390	12,95	25,72	0,35	0,48	-2000	TCP Conv. (UB)	0,98	0,41
	4-5/8" MAXFORCE 390	12,95	25,72	0,35	0,48	-2000	StimGun	0,91	0,45
Tp	4-5/8" MAXFORCE 390	12,80	25,43	0,35	0,48	-2000	TCP Conv. (UB)	0,93	0,24
	4-5/8" MAXFORCE 390	12,80	25,43	0,35	0,48	-2000	StimGun	0,53	0,28

Fuente: Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La figura 3.6 y 3.7 muestra el IPR simulado para la arena "UI" y "TP" respectivamente, con el software de disparo PerfPro.

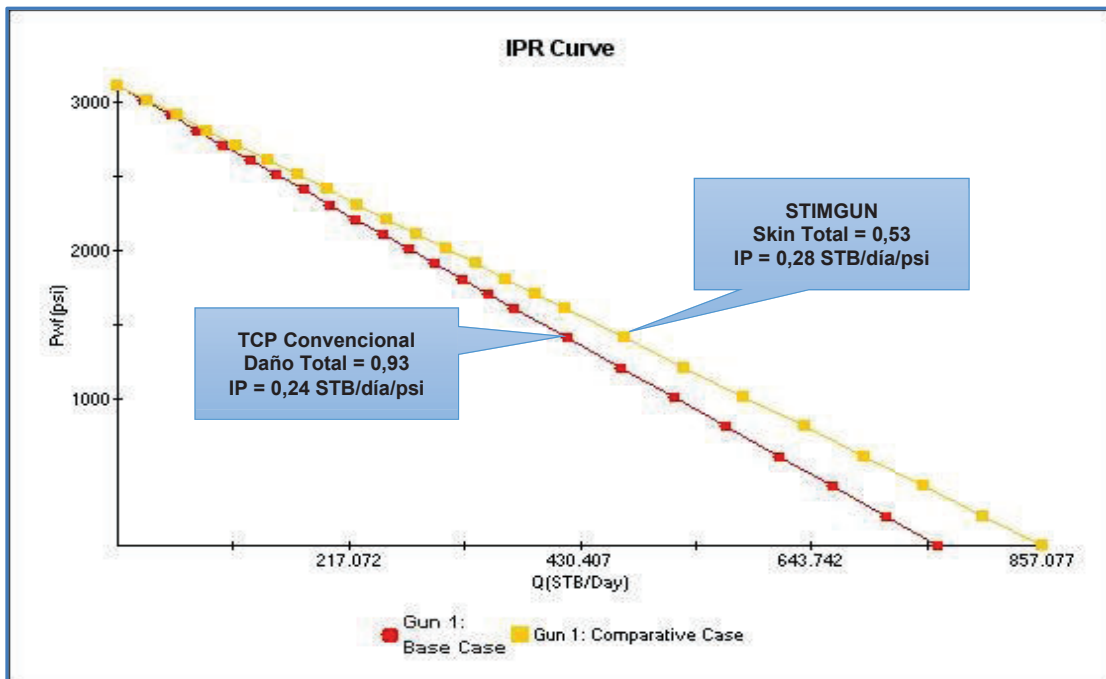
FIGURA 3. 6 IPR DEL POZO YNEA-27 "ARENA U INFERIOR"



Fuente: Halliburton

Modificado por: Alex Acaro/Jimmy León

FIGURA 3. 7 IPR DEL POZO YNEA-27 "ARENA T PRINCIPAL"



Fuente: Halliburton

Modificado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.2.1.2 Producción después del cañoneo Pozo YNEA-27

Una vez disparados los cañones Max Force y el ensamblaje TCP STIMGUN fue retirado del pozo y además un ensamblaje de completación con tres bombas electrosumergibles fueron corridas en el pozo para ponerlo en producción, se observa en la tabla 3.11 que en la arena “Ui” el rendimiento de la producción ha sido un éxito ya que las ratas de producción son relativamente estables durante los dos primeros meses con 1 bl de producción de agua, alcanzando un máximo BSW de aproximadamente 40 % en un año de producción.

Para la arena “TP” en la tabla 3.12 se muestra una producción estable con 0,2 % de producción de agua durante los tres primeros meses y de 0 – 0,8% durante los seis meses próximos y con un IP que empieza con 0,34 STB/día/psi.

TABLA 3. 11 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNEA-27 “ARENA UI”

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
04-sep-12	UI	ARRANCA POZO CON 3 BOMBAS P 18, (134+98+98)ETAPAS					
04-sep-12	UI	560	213	347	62	1.771	0,183
06-sep-12	UI	609	608	1	0,2	1.678	0,484
11-sep-12	UI	586	585	1	0,2	1.651	0,456
23-sep-12	UI	571	570	1	0,2	1.621	0,434
29-sep-12	UI	546	545	1	0,2	1.611	0,412
02-oct-12	UI	543	542	1	0,2	1.612	0,410
27-nov-12	UI	450	409	41	9,1	1.544	0,324
07-dic-12	UI	438	385	53	12,1	1.550	0,316
25-ago-13	UI	457	274	183	40	1.777	0,395
04-sep-13	UI	451	271	180	39,9	1.170	0,387
11-ene-14	UI	438	263	175	40	1.829	0,396
27-mar-14	UI	421	253	168	39,9	1.826	0,380

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

TABLA 3. 12 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNEA-27 "ARENA TP"

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (stb/día/psi)
04-sep-12	TP	ARRANCA POZO CON 3 BOMBAS P18, (134+134+134) ETAPAS, MOTOR: 180 HP, SERIES 562, 2360 VOLT, 48 AMP					
04-sep-12	TP	650	604	46	7,1	1.220	0,34
08-sep-12	TP	752	751	1	0,1	1.258	0,40
14-sep-12	TP	756	755	1	0,1	1.249	0,40
29-sep-12	TP	651	650	1	0,2	1.190	0,34
17-oct-12	TP	546	545	1	0,2	1.105	0,27
31-oct-12	TP	517	516	1	0,2	1.027	0,25
09-nov-12	TP	476	476	0	0	978	0,22
20-nov-12	TP	392	392	0	0	951	0,18
26-nov-12	TP	405	405	0	0	935	0,18
03-dic-12	TP	380	380	0	0	919	0,17
18-dic-12	TP	288	288	0	0	890	0,13
26-dic-12	TP	315	315	0	0	814	0,14
23-ene-13	TP	237	235	2	0,8	1.005	0,11
01-mar-13	TP	254	246	8	3,1	799	0,11

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.2.1.3 Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-27

La figura 3.8 y 3.9 muestra el IPR estimado con el cañoneo simulado mediante el software Perfpro y el IPR real después del cañoneo con TCP Stimgun a la arena "U inferior" y "TP", con el objetivo de obtener el caudal estimado y real a una pwf se utilizaron los datos de la tabla 3.13.

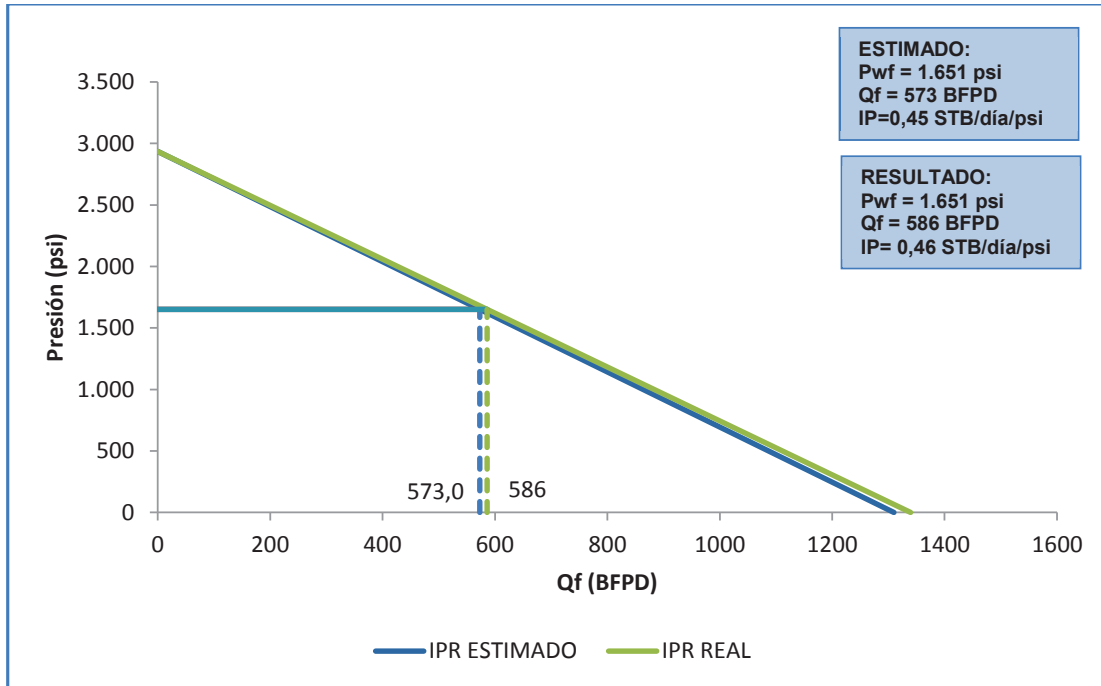
TABLA 3. 13 DATOS DE RESERVOIRIO ARENA "TP" Y "UI"- POZO YNEA-27

Datos				
Parámetro		Arena "UI"	Arena "TP"	Unidad
Presión promedio Reservoirio	Pr	2.935	3.130	Psi
Presión dinámica	Pwf	1.651	1.249	Psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	320	204	Md
Espesor útil	h	24	22	Pies
Factor volumétrico de petróleo	Bo	1,14	1,16	bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	12,54	12,28	Cp
Radio de drenaje	re	1.500	1.500	Pies
Radio del pozo	rw	0,35	0,35	Pies
Factor Skin	S	0,91	0,53	

Fuente: Petroamazonas Ep

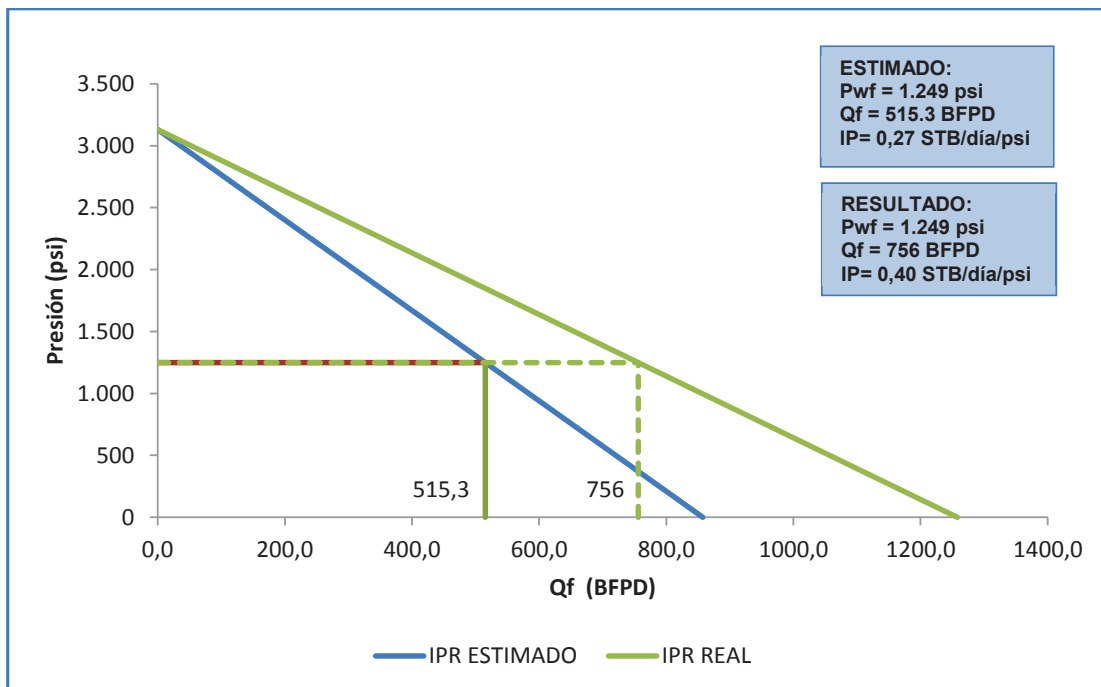
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 8 IPR CON STIMGUN POZO YNEA-27 “ARENA U INFERIOR”



Fuente: Petroamazonas Ep
 Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 9 IPR CON STIMGUN POZO YNEA-27 “ARENA T PRINCIPAL”



Fuente: Petroamazonas Ep
 Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La tabla 3.14 y figura 3.10 muestra los resultados después del cañoneo con StimGun realizado al pozo YNEA-27 arena “UI” y “TP”. Para la arena “UI” y a una presión de fondo fluyente $p_{wf}=1651$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f=573$ BFPD y un caudal real $Q_f=586$ BFPD.

Para la arena “TP” y a una presión de fondo fluyente $p_{wf}=1249$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f=515,3$ BFPD y un caudal real $Q_f=756$ BFPD.

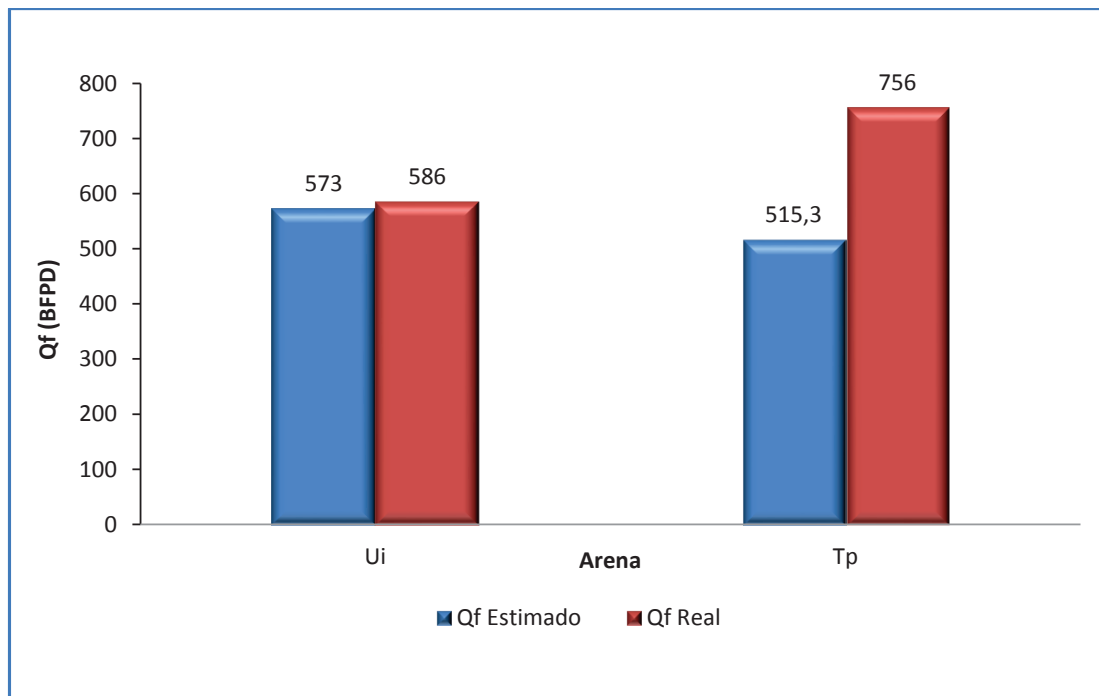
TABLA 3. 14 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA-27

Arena	Técnica de Cañoneo	Pwf (psi)	IPR Estimado Stb/día/psi	Qf Estimado BFPD	IPR Real Stb/día/psi	Qf Real BFPD
Ui	StimGun	1.651	0,45	573	0,46	586
Tp	StimGun	1.249	0,27	515,3	0,40	756

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

FIGURA 3. 10 RESULTADOS CON STIMGUN POZO YNEA-27



Fuente: Halliburton/ Petroamazonas Ep.

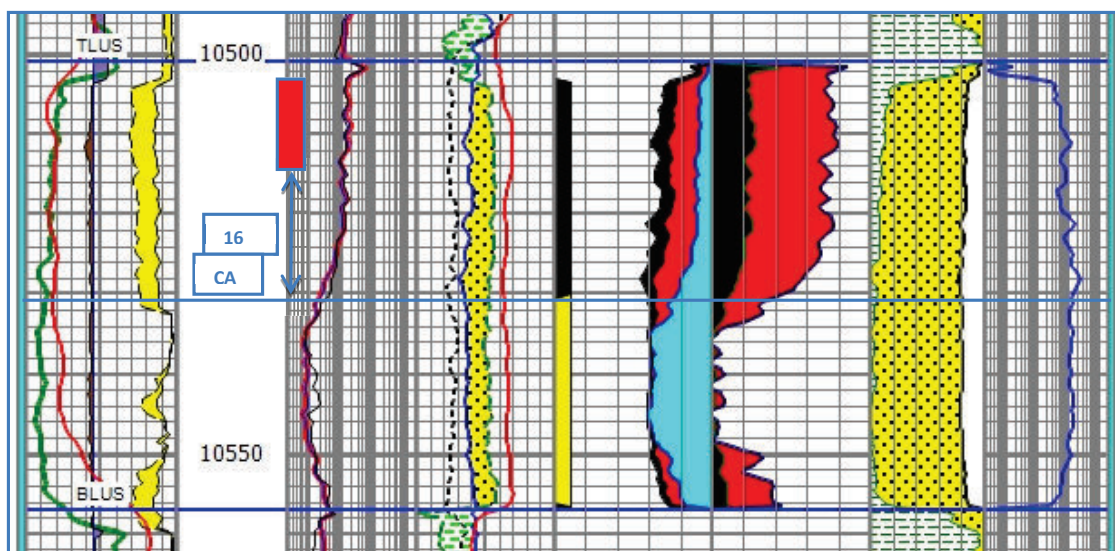
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.2.2 Pozo YNNA005 (Arena U inferior)

En el pozo YNNA05 se disparó la arenisca “U inferior” 10.503’ – 10.515’ que se muestra en la figura 3.11, mediante la técnica TCP + Propelente (Sobre balance Dinámico); con el objetivo de estimular y lavar las zona dañada – craqueada, a fin de optimizar el flujo de fluido desde la formación hacia la cara del pozo.

El diseño del cañoneo se realizó con cañones 7" cargados con PowerJet Nova 4505, HMX a 5 DDP y 72° fase.

FIGURA 3. 11 ARENA U INFERIOR POZO YNNA-005



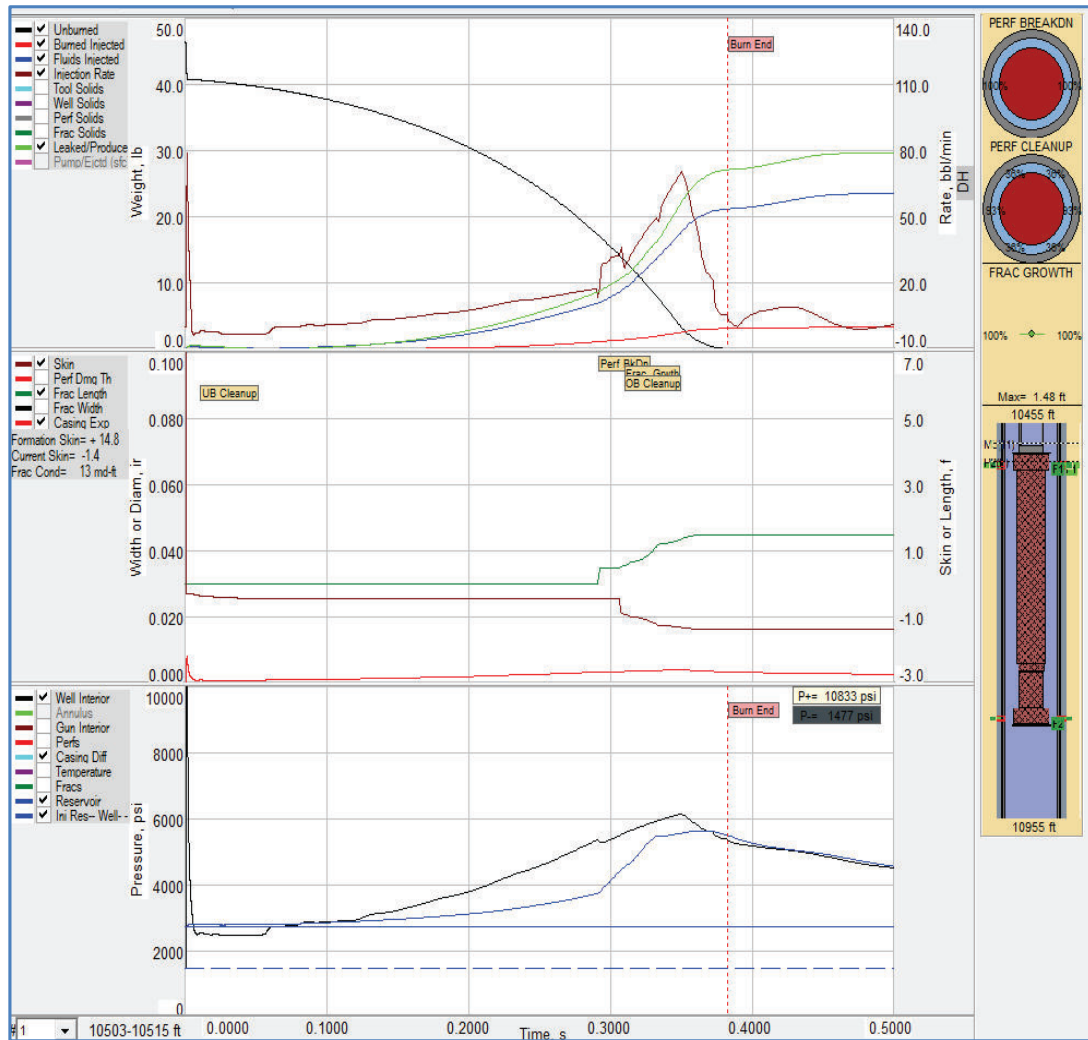
Fuente: Petroamazonas Ep.

En el Anexo 08 se encuentra adjunto el diagrama mecánico, Gun diagram sheet y el diagrama completo del cañoneo del pozo YNNA-005 “Arena Ui.

3.3.2.2.1 Simulación del diseño de Propelente con PulsFrac Pozo YNNA-005 Arena “U inferior”

Antes de realizar la simulación del cañoneo se necesita conocer el comportamiento de las presiones en el pozo al disparar con propelente para la arena U inferior, razón por la cual a continuación se muestra la simulación con el software PulsFrac para determinar el mejor diseño de propelente con el objetivo de limpiar y tener un buen túnel de perforados. Para la simulación consta una camisa de propelente que va desde 9504,5 a 9513,5 pies (9 pies)

FIGURA 3. 12 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PULSFRAC PARA LA ARENA U INFERIOR POZO YNNA-005



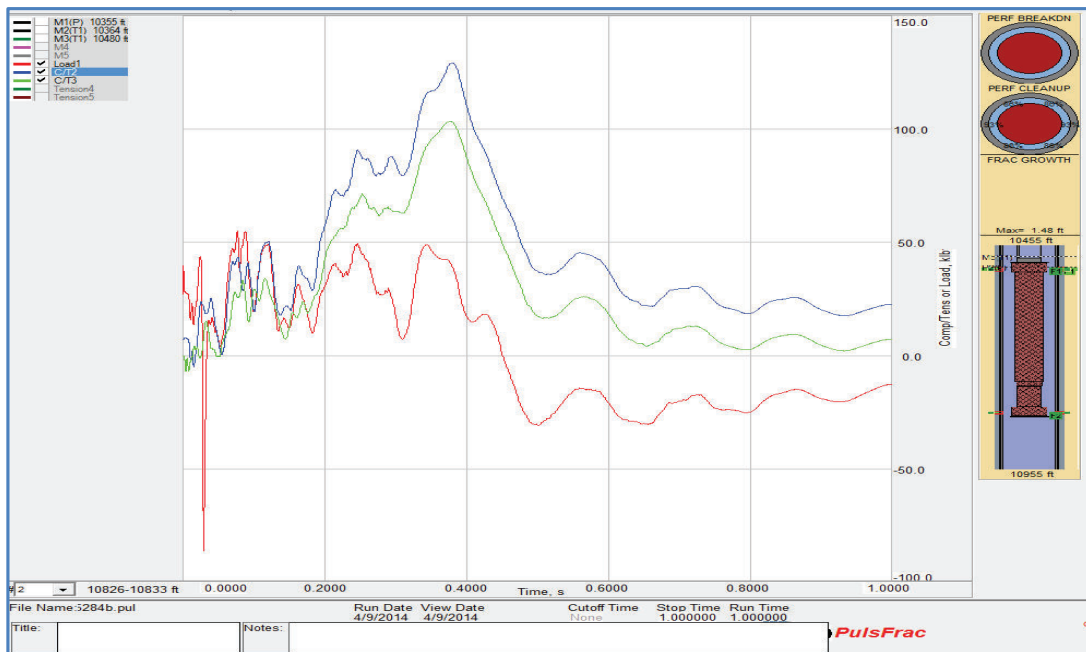
Fuente: Schlumberger

Elaborado por: Schlumberger.

La figura anterior muestra que se alcanza un pico de presión de aproximadamente 6000 psi al interior del pozo, producto de la quema del propelente

La figura 3.13 muestra los resultados simulados con el software pulsfrac de Tensión/Compresión, la cual muestra que la tensión y compresión en el packer (línea roja) sería de 55 klbs y 86 klbs respectivamente. En la tubería bajo el packer (línea azul) la máxima tensión y compresión sería 129 klb y 5 klbs respectivamente.

FIGURA 3. 13 RESULTADOS CON EL SOFTWARE PULSFRACT DE LA TENSION/ COMPRESION POZO YNNA-005



Fuente: Schlumberger

3.3.2.2.2 Simulación del cañoneo con el Software SpanRock para la Arena U inferior- Pozo YNNA-005.

La simulación para la arena “U inferior” se realizó con la técnica de disparo TCP Y cargas Power Jet Nova 4505 HMX. Los resultados de la simulación del cañoneo con el software Perfpro que se muestran en la tabla 3.15 determinan un IP estimado de 0,35 STB/día/psi para la arena “U inferior”.

TABLA 3. 15 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-005 (ARENA “U INFERIOR”)

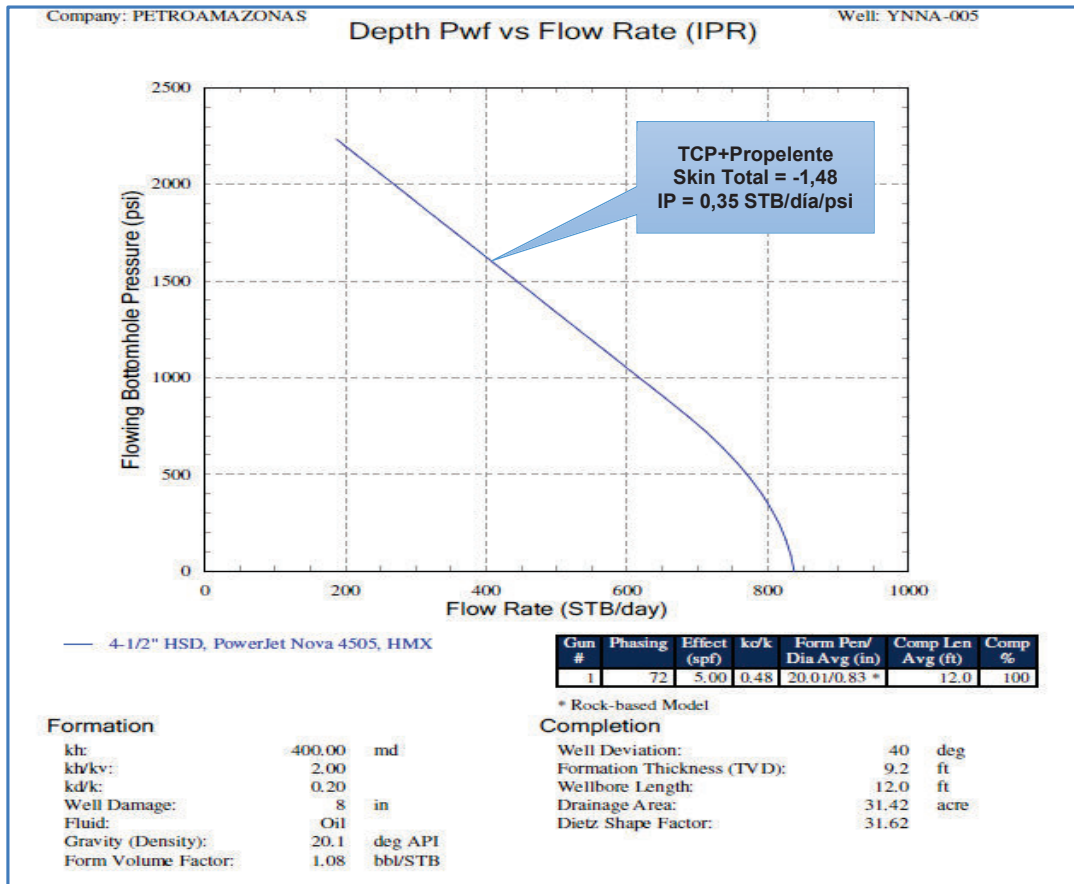
Perf #	Loaded Length (ft)	Phasing Angle (deg)	Shot Density /Open Perfs (spf/%)	Eff Shot Density (spf)	Crush Zone kc/k	Crush Zone (in)	Form Pen Avg (in)	Form Dia Avg (in)	EH Dia Avg (in)
1	12.0	72	5.00/100	5.00	0.48	0.50	20.01 *	0.83	0.41

Perf #	Perf Skin	Crush Zone Skin	PR	PI * (STB/day) (/psi)	Flow * Rate (STB/day)	UB (psi)	Behrmann UB (psi)
1	-1.06	0.10	1.28	0.35	303.6	-1300	-1377

Fuente: Schlumberger

La figura 3.14 muestra el IPR simulado para la arena "Ui" con el software de disparo SpanRock, obteniéndose un índice de productividad estimado $IP = 0,35$ STB/día/psi y una producción estimada de aproximadamente 304 BFPD

FIGURA 3. 14 IPR ESTIMADO CON SPANROCK ARENA UI-POZO YNNA-005



Fuente: Well Testing Services, Schlumberger

Modificado por: Alex Acaro/Jimmy León

3.3.2.2.3 Producción después del cañoneo Pozo YNNA-005 Arena U inferior

Una vez disparados los cañones 4-1/2" PURE cargados con PowerJet Nova 4505 y el ensamblaje TCP STIMGUN fue retirado del pozo y además un ensamblaje de completación con bombeo electrosumergible fue corrido en el pozo para ponerlo en producción, en la tabla 3.16 se observa que en la arena "UI" el rendimiento de la producción ha alcanzado lo esperado aunque la producción comienza a declinar rápidamente con un BSW relativamente alto con el pasar del tiempo.

TABLA 3. 16 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNNA05 “ARENA U INFERIOR”

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
ARRANCA POZO BOMBA FLEX-10 (238 STG), MOTOR SERIE 562, 120 HP, 2125 VOLT, 34 AMP							
20-abr-14	UI	350	0	350	100,0	2.348	0,83
21-abr-14	UI	475	123	352	74,1	1.717	0,45
22-abr-14	UI	545	425	120	22,0	1.658	0,49
23-abr-14	UI	449	415	34	7,6	1.725	0,43
27-abr-14	UI	291	201	90	30,9	4.600	-0,16
28-abr-14	UI	280	168	112	40,0	1.921	0,33
29-abr-14	UI	263	163	100	38,0	1.961	0,32
30-abr-14	UI	213	128	85	39,9	2.079	0,31
01-may-14	UI	209	117	92	44,0	2.150	0,34
02-may-14	UI	167	87	80	47,9	2.157	0,27
03-may-14	UI	151	75	76	50,3	2.321	0,34
04-may-14	UI	100	52	48	48,0	2.374	0,25
05-may-14	APAGADO POZO POR ALARMA DE BAJA PRESION, NO FLUYE (POSIBLE EJE ROTO)						
17-nov-14	ARRANCA EQUIPO BES CON 2 BOMBAS P8 (180 + 180 STG), MOTOR SERIE 562, 120 HP, 2125 VOLT, 35 AMP						
17-nov-14	UI	634	0	634	100,0	2.185	1,08
18-nov-14	UI	424	0	424	100,0	1.605	0,36
30-nov-14	UI	460	230	230	50,0	949	0,25

Fuente: Departamento de Reservorios/Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.2.2.4 Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA-005-Arena U inferior.

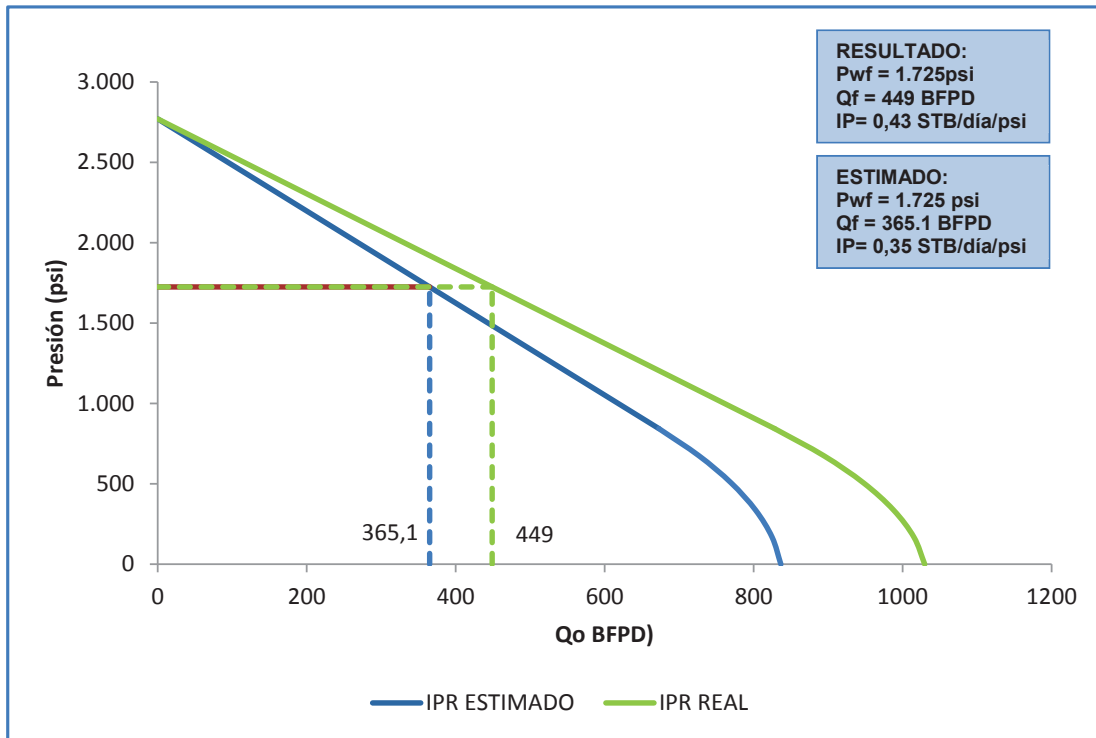
En la figura 3.15 se muestra el IPR estimado con el cañoneo TCP+Propelente, simulado mediante el software SpanRock y el IPR real después del cañoneo, con el objetivo de obtener el caudal estimado y real a una pwf.

TABLA 3. 17 DATOS DE RESERVORIO ARENA “UI” POZO YNNA-005

Parámetro		Arena "UI"	Unidad
Presión promedio Reservorio	Pr	2.770	psi
Presión dinámica	Pwf	1.725	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	400	md
Espesor útil	H	9,20	pies
Factor volumétrico de Petróleo	Bo	1,08	bls/STB
Viscosidad del petróleo	uo	13	cp
Radio de drenaje	Re	660	Pies
Radio del pozo	Rw	0,35	pies
Daño Total	S	-1,48	

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 15 IPR CON STIMGUN POZO YNNA-005 “ARENA U INFERIOR”

Fuente: Petroamazonas Ep
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

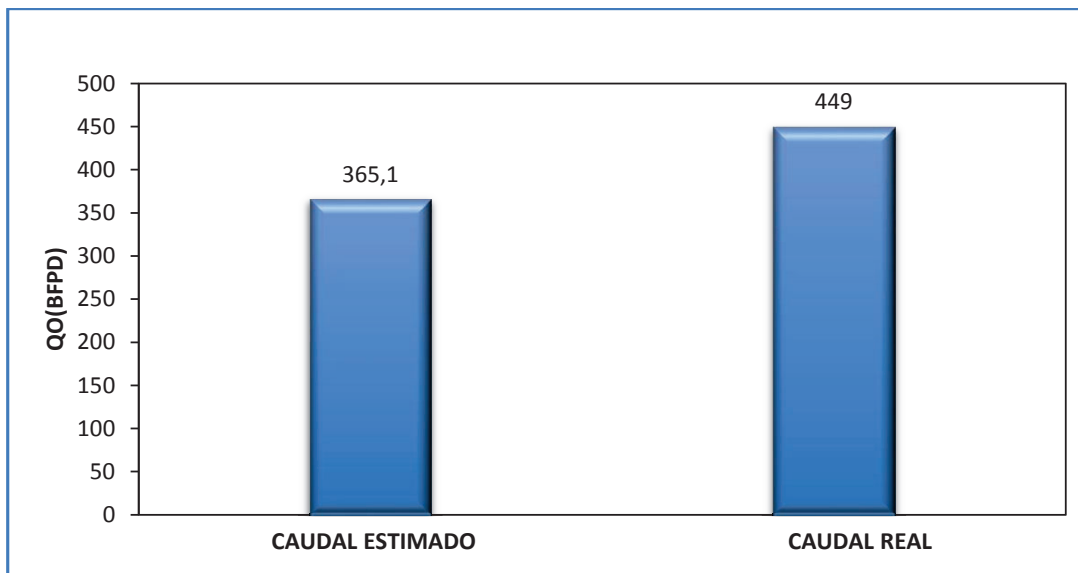
La tabla 3.18 y la figura 3.16 muestran los resultados después del cañoneo de TCP + propelente realizado al pozo YNNA-005 arena “U”. A una presión de fondo de flujo $p_{wf}=1725$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f= 365,1$ BFPD y un caudal real $Q_f = 449$ BFPD

TABLA 3. 18 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNNA-005

Pozo	Arena	Técnica de Cañoneo	Pwf (psi)	IPR Estimado STB/día/psi	Caudal Estimado BFPD	IPR Real STB/día/psi	Caudal Real BFPD
YNNA-005	Ui	TCP+Propelente	1.725	0,35	365,1	0,43	449

Fuente: Petroamazonas Ep.
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

FIGURA 3. 16 RESULTADOS CON STIMGUN POZO YNNA-005 ARENA U INFERIOR



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

3.3.3 POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON LA TÉCNICA STIMPRO

En el complejo Yanaquincha se dispararon siete pozos con la técnica de cañoneo StimPro, es decir bajo las condiciones de sobre balance extremo (propelente) y bajo balance dinámico, obteniendo excelentes resultados.

Para el presente estudio se han escogido tres casos históricos que se muestran en la tabla 3.19 cuyos resultados se detallan a continuación.

TABLA 3. 19 POZOS CAÑONEADOS CON STIMPRO

Pozo	Arena	Técnica de Disparo
YNEA 04	UM	StimPro
YNEA 029	TS	StimPro
YNEA 26	UI	StimPro

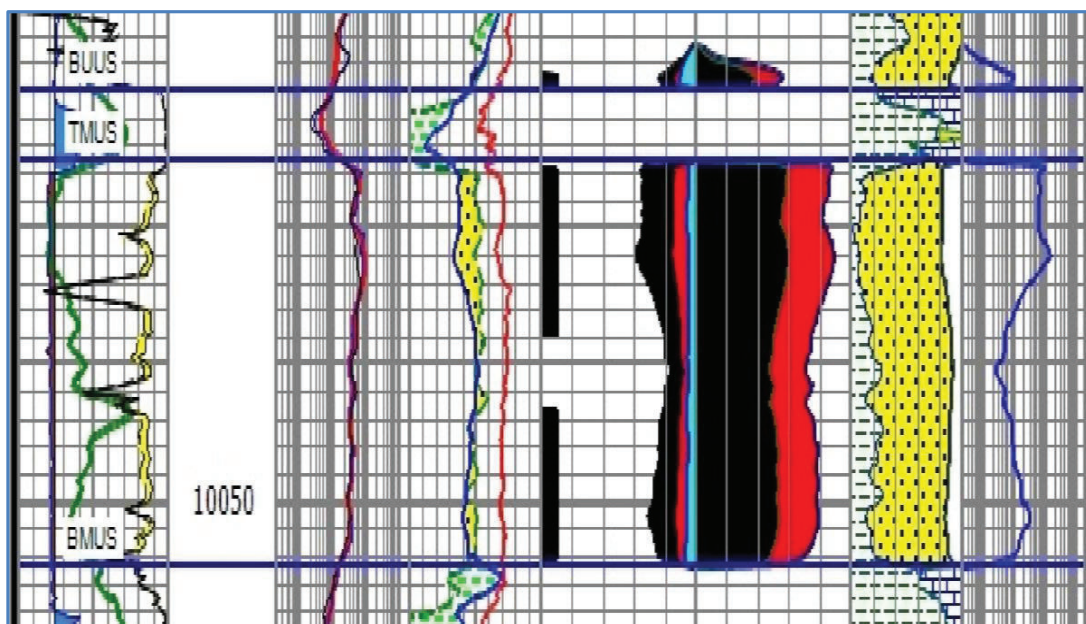
Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.3.1 Pozo YNEA 04 (Arena “UM”)

En el pozo YNEA04 se disparó la arena “U media” 10.025ft – 10.052 ft (27’) MD que se muestra en la figura 3.17, mediante la técnica StimPro (Sobre balance Extremo y Bajo balance Dinámico) con el objetivo de lavar la zona dañada–craqueada, a fin de optimizar el flujo de fluido desde la formación hacia la cara del pozo. El diseño de la carga se realizó con cañones de 4-5/8" y cargas MAXFORCE 390, densidad de 5 spf y 72° fase.

FIGURA 3. 17 ARENA PRODUCTORA “U MEDIA” POZO YNEA04



Fuente: Petroamazonas Ep.

3.3.3.1.1 Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA04

La simulación para la arena “U media” se realizó con dos opciones de comparación de cañoneo: La primera opción de comparación es TCP convencional y la segunda StimPro.

Los resultados de la simulación del cañoneo con el software Perfpro que se muestran en la tabla 3.20 determinan que la mejor opción de disparo es con StimPro, cuyo IP estimado es 0,48 STB/día/psi para una pwf=1600 psi. En el Anexo 04 se presenta el diagrama de completación del pozo YNEA04.

TABLA 3. 20 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA04 (ARENA UM)

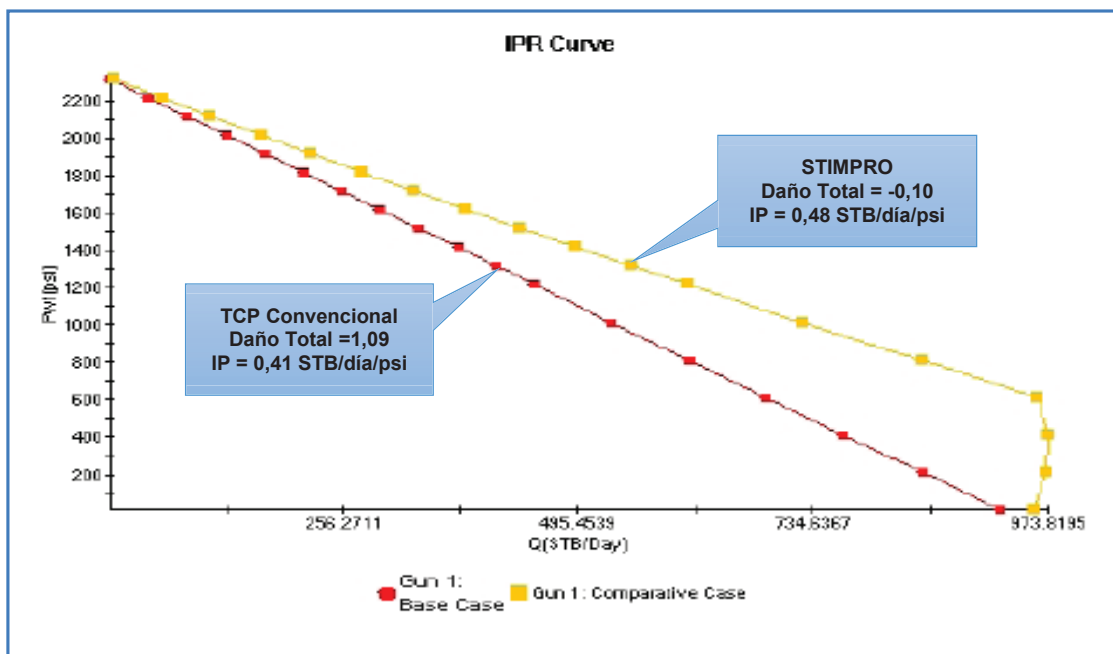
Gun No.	Nombre de la carga	Corr. Penetración en la formación	Penetración en la formación	AEH	AF	WC		S _t	IP
		in	in	In	In ² /ft	Psi			STB/día/psi
1	4-5/8" MAXFORCE 390(TCP)	13,26	30,35	0,35	0,48	-1000	UB	1,09	0,41
2	4-5/8" MAXFORCE 390 (STIMPRO)	13,26	30,35	0,35	0,48	-1000	UB	-0,10	0,48

Fuente: Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La figura 3.18 muestra el IPR con la técnica TCP Convencional y StimPro cuyos mejores resultados se observan para la técnica STIMPRO.

FIGURA 3. 18 IPR DEL POZO YNEA04 (ARENA UM)



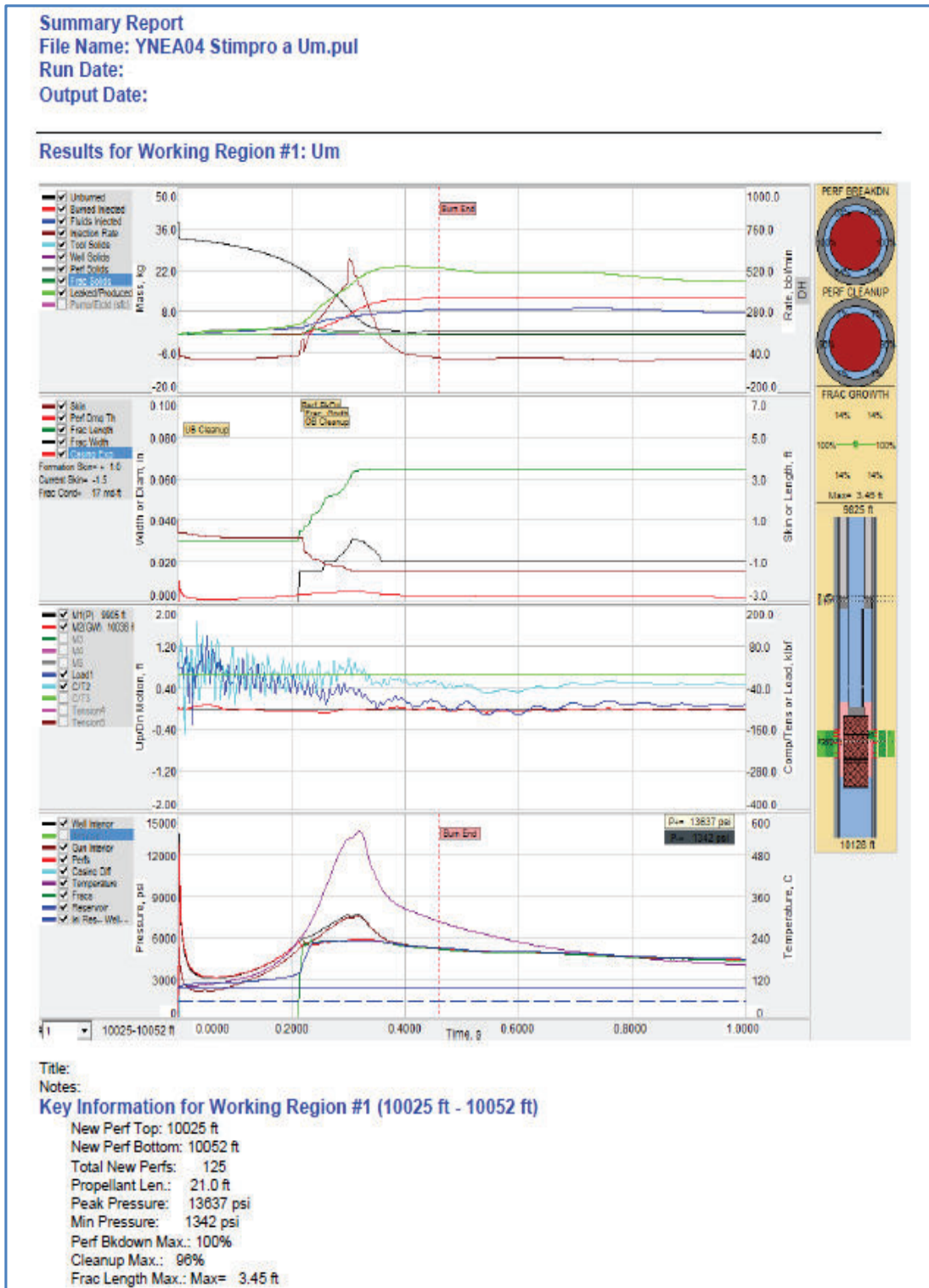
Fuente: Halliburton

Modificado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.3.1.2 Simulación del diseño de propelente con el software de disparo PULSFRAC Pozo YNEA04 (Arena "Napo U media")

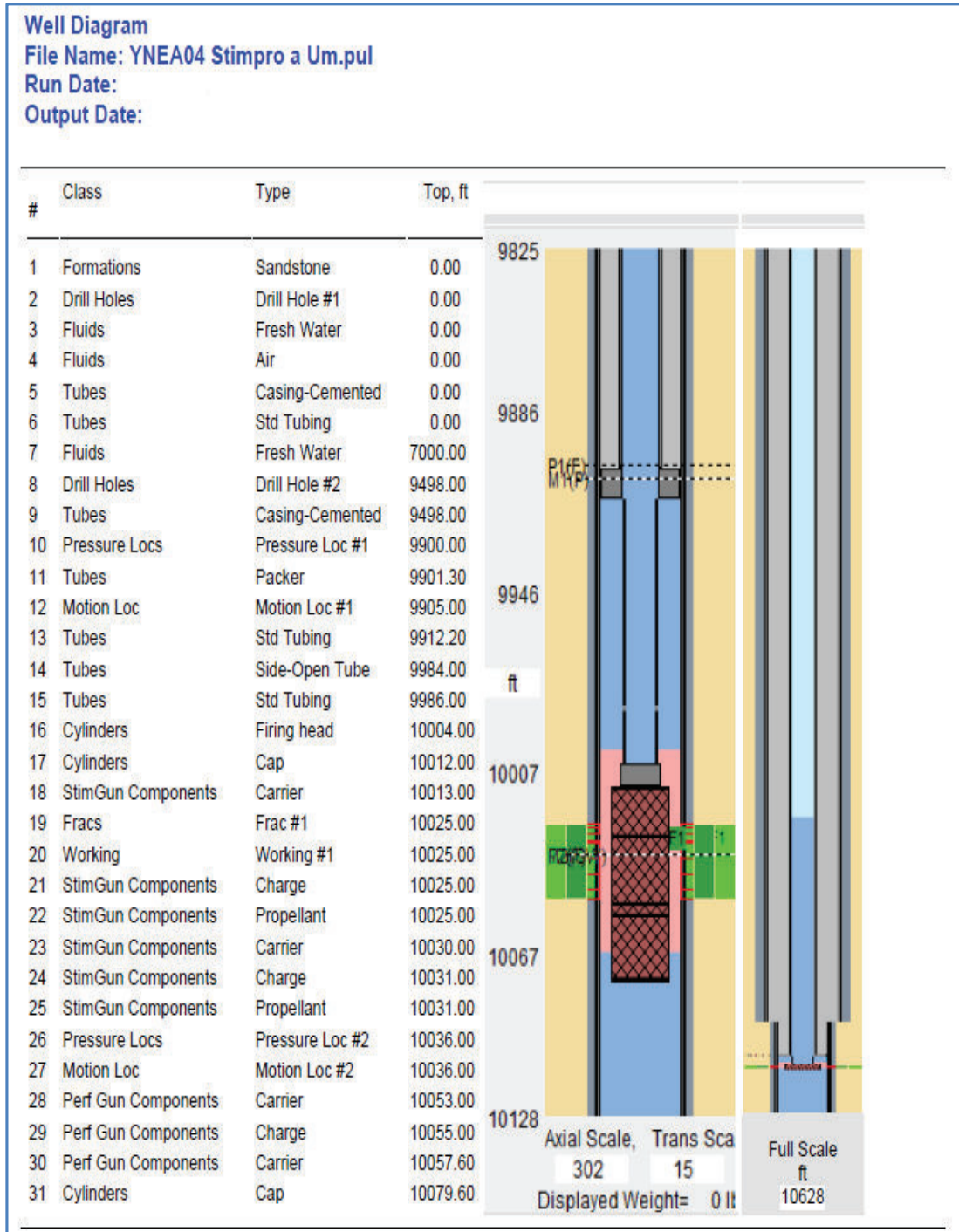
La figura 3.19 muestra el reporte sobre el comportamiento de las presiones en el pozo YNEA04 arena Napo "U media" en el evento de disparo realizado con el software Pulsfrac.

FIGURA 3. 19 SIMULACIÓN PULSFRAC DEL POZO YNEA04 (ARENA U MEDIA)



Fuente: Halliburton.

FIGURA 3. 20 DIAGRAMA DEL POZO YNEA04 (SOFTWARE DE DISPARO PULSFRAC)

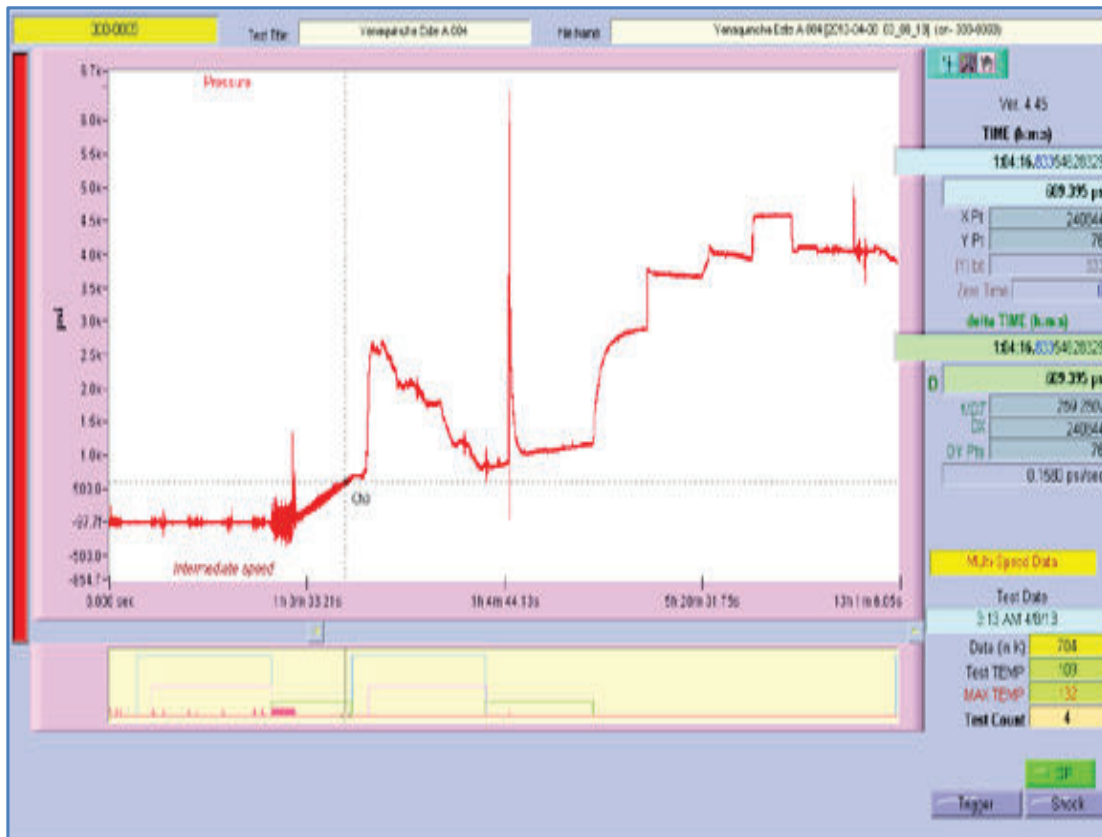


Fuente: Halliburton

3.3.3.1.3 Perfil de presión del pozo YNEA04 (Napo U media) con la técnica StimGun.

La figura 3.21 muestra el perfil de presión del pozo YNEA004 arena U media con la técnica StimPro.

FIGURA 3. 21 PERFIL DE PRESIÓN DEL POZO YNEA04 NAPO U MEDIA



Fuente: Halliburton

3.3.3.1.4 Producción después del cañoneo Pozo YNEA04 Arena "U media"

Como muestra el historial de producción, la arena "U Media" del pozo YNEA04 ha sido puesta en producción el 11 de abril del 2013.

Por lo tanto una vez disparados los cañones 4-5/8" MAXFORCE 390, el ensamblaje STIMPRO fue retirado del pozo y además un ensamblaje de completación con 2 BOMBAS P-6 (180 STGS / 113 STGS) fueron corridas en el pozo. Se observa en la tabla 3.21 que en la arena "U media" el rendimiento de la producción no alcanzó lo que se esperaba.

TABLA 3. 21 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNEA04 “ARENA U MEDIA”

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
02-abr-13	WO PERFORAR TAPON DE CEMENTO, DISPARAR UM, AISLAR UI.						
11-abr-13	ARRANCA POZO A LAS 08:45 45 HZ / 47 AMP, CON 2 BOMBAS P-6 (180 STGS / 113 STGS) SERIES 400 / MOTOR 105 HP, SERIES 450, 2090 VOLT 32 AMP						
11-abr-13	UM	350	0	350	100,0	1.531	0,20
12-abr-13	UM	289	150	139	48,1	1.365	0,15
13-abr-13	UM	300	195	105	35,0	1.286	0,15
14-abr-13	UM	282	147	135	47,9	1.299	0,14
15-abr-13	UM	297	178	119	40,1	1.258	0,15
16-abr-13	UM	245	147	98	40,0	1.249	0,12
17-abr-13	UM	236	142	94	39,8	1.293	0,12
05-may-13	UM	268	129	139	51,9	1.155	0,12
09-may-13	UM	270	130	140	51,9	1.152	0,13
15-may-13	UM	273	131	142	52,0	1.136	0,13
28-may-13	UM	262	126	136	51,9	1.112	0,12
14-jun-13	UM	188	90	98	52,1	1.223	0,09
15-jun-13	UM	132	63	69	52,3	1.435	0,07
16-jun-13	UM	100	48	52	52,0	1.449	0,05

Fuente: Departamento de Reservorios/ Petroamazonas Ep.

3.3.3.1.5 Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-04-Arena U media.

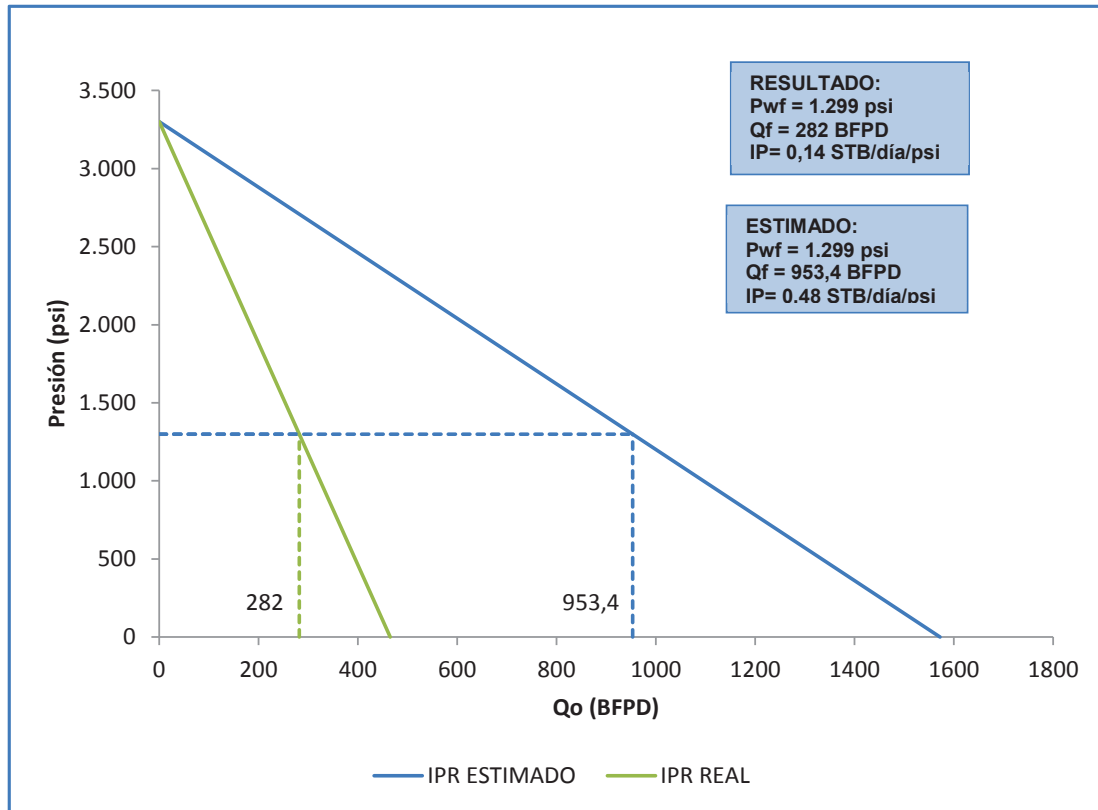
La figura 3.22 muestra el IPR estimado, simulación llevada a cabo mediante el software PerfPro y el IPR real después del cañoneo con TCP Stimpro, con el objetivo de obtener el caudal estimado y real a una pwf.

TABLA 3. 22 DATOS DE RESERVORIO ARENA “U MEDIA”- POZO YNEA04

Parámetro		Arena "U media"	Unidad
Presión promedio Reservorio	Pr	3.300	psi
Presión dinámica	Pwf	1.299	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	149	md
Espesor útil	h	27	pies
Factor volumétrico del Petróleo	Bo	1,12	bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	7,10	cp
Radio de drenaje	re	1.500	pies
Radio del pozo	rw	0,35	pies
Daño Total	S	-0,10	

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 22 IPR CON STIMPRO POZO YNEA04 “ARENA U MEDIA”

Fuente: Petroamazonas Ep
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

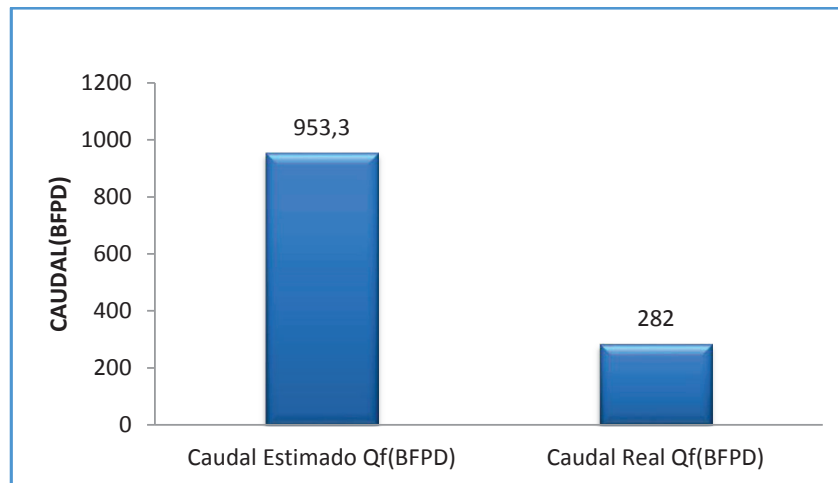
En la tabla 3.23 y en la figura 3.23 se muestran los resultados después del cañoneo con StimPro realizado al pozo YNEA04 arena “U media”.

Para la arena “U media” y a una presión de fondo fluyente $p_{wf}=1.299$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f= 953,4$ BFPD y un caudal real $Q_f= 282$ BFPD, por lo que la tecnología de cañoneo StimPro dio los resultados esperados.

TABLA 3. 23 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA04 ARENA “U MEDIA”

Pozo	Arena	Técnica de Cañoneo	IPR Estimado (STB/día/psi)	Qf Estimado (BFPD)	IPR Real (STB/día/psi)	Qf Real (BFPD)
YNEA04	Um	StimPro	0,48	953,3	0,14	282

Fuente: Petroamazonas Ep.
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

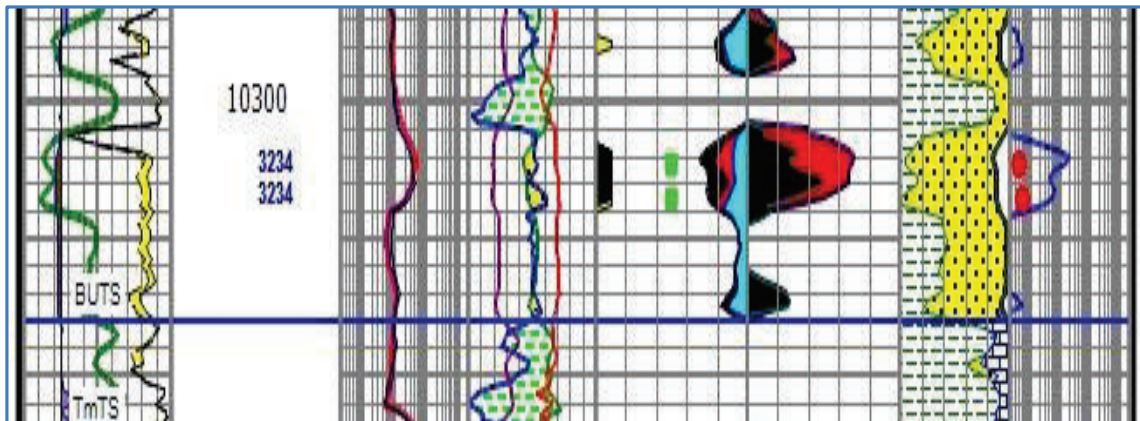
FIGURA 3. 23 RESULTADOS CON STIMPRO POZO YNEA-04 ARENA U MEDIA

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

3.3.3.2 Pozo YNEA029 (Arena “TS”)

En el pozo YNEA029 se disparó la arena “T superior” 10.302’ – 10.308’ (6’) FT MD que se muestra en la figura 3.24, mediante la técnica StimPro (Sobre balance Extremo y Bajo balance Dinámico) con TCP; con el objetivo de estimular, la zona cañoneada, a fin de optimizar la interconectividad hacia la formación “Ts” eliminando el daño generado. El diseño de la carga se realizó con cañones de 4 5/8” y cargas Max Force 390, y dos camisas de propelente de 3 pies cada una, con una densidad de 5 spf, y 72° de fase. En el Anexo 05 se encuentra adjunto el diagrama del pozo YNEA029.

FIGURA 3. 24 ARENA “T SUPERIOR” POZO YNEA029

Fuente: Petroamazonas Ep

3.3.3.2.1 Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA029

La simulación para la arena "T superior" se realizó con la técnica de cañoneo StimPro. Los resultados de la simulación del cañoneo con el software Perfpro se muestran en la tabla 3.24.

TABLA 3. 24 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA29 (ARENA T SUPERIOR)

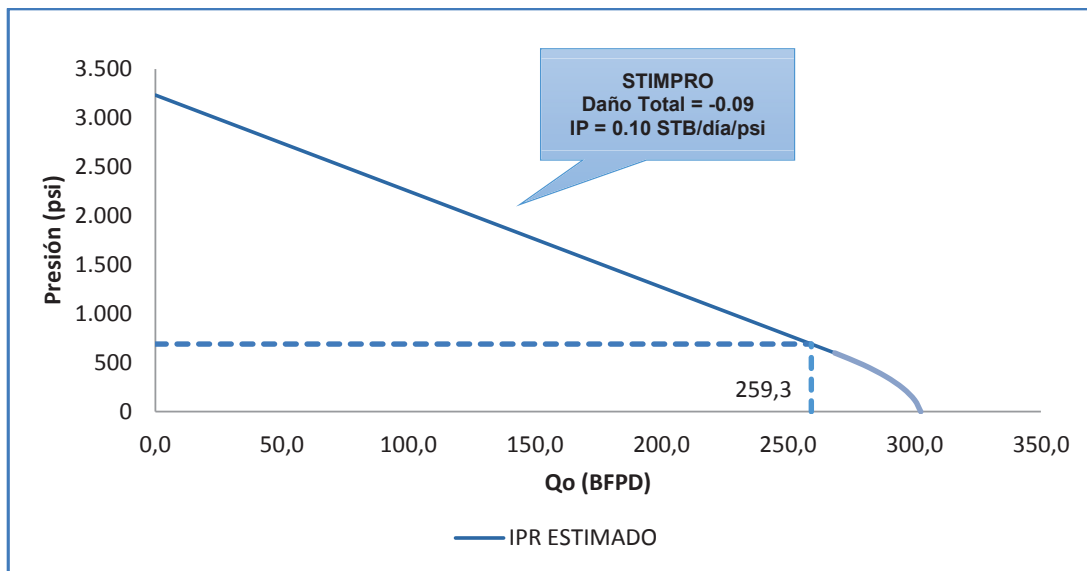
Gun No.	Nombre de la carga	Corr. Penetración en la formación	Penetración en la formación	AEH	AF	WC		S _t	IP
		in	in	In	In ² /ft	Psi			
1	4-5/8" MAXFORCE 390	13,263	30,354	0,35	0,48	-1100	StimPro	-0.09	0.10

Fuente: Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La figura 3.25 muestra el IPR estimado con el software PerfPro mediante la técnica de cañoneo StimPro, cuyo IPR esperado a una presión de fondo fluyente $p_{wf}= 691$ psi es de $IP=0.10$ BFPD/psi lo que traducido en producción representa 258,3 BFPD

FIGURA 3. 25 IPR ESTIMADO CON STIMPRO POZO YNEA-029 "ARENA T SUPERIOR"



Fuente: Petroamazonas -Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.3.2.2 Producción después del cañoneo Pozo YNEA-029

Una vez disparados los cañones Max Force a la arena T superior y retirado el ensamblaje TCP stim/surge del pozo, un ensamblaje de completación con una bomba electrosumergible fue corrido en el pozo para ponerlo en producción, se observa en el historial de producción de la tabla 3.25 que el rendimiento de la producción ha sido un éxito ya que las ratas de producción son relativamente estables con cero producción de agua durante los primeros seis meses de producción del pozo.

TABLA 3. 25 DATOS DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNEA029

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	Pwf (psi)	IP (STB/día/psi)
29-dic-12	ARRANCA POZO CON 2 BOMBAS P4, SGT 465 Y UN MANEJADOR DE GAS P18 35 STGS , MOTOR MSP1X-H, 1775 VOLT, 50 AMP, 135 HP.					
29-dic-12	TS	516	5	511	1.866	0,41
30-dic-12	TS	445	182	263	815	0,19
01-ene-13	TS	463	463	0	702	0,19
03-ene-13	TS	463	463	0	733	0,19
05-ene-13	TS	454	454	0	746	0,19
11-ene-13	TS	475	475	0	875	0,21
20-ene-13	TS	468	468	0	863	0,21
02-mar-13	TS	468	468	0	791	0,20
09-mar-13	TS	462	462	0	751	0,20
14-mar-13	TS	472	472	0	706	0,20
20-mar-13	TS	475	475	0	661	0,19
26-mar-13	TS	472	472	0	618	0,19
01-abr-13	TS	466	466	0	566	0,18
06-abr-13	TS	460	460	0	548	0,18
12-abr-13	TS	451	451	0	543	0,18
21-abr-13	TS	462	462	0	514	0,18
29-abr-13	TS	463	463	0	739	0,19
08-may-13	TS	468	468	0	656	0,19
13-may-13	TS	484	484	0	689	0,20
14-may-13	TS	474	474	0	848	0,21
15-may-13	TS	484	484	0	809	0,21
03-jun-13	TS	490	490	0	611	0,20
15-jun-13	TS	488	488	0	555	0,19

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Jimmy León / Alex Acaro.

3.3.3.2.3 Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-029

La tabla 3.26 muestra los datos de reservorio de la arena TS del pozo YNEA029.

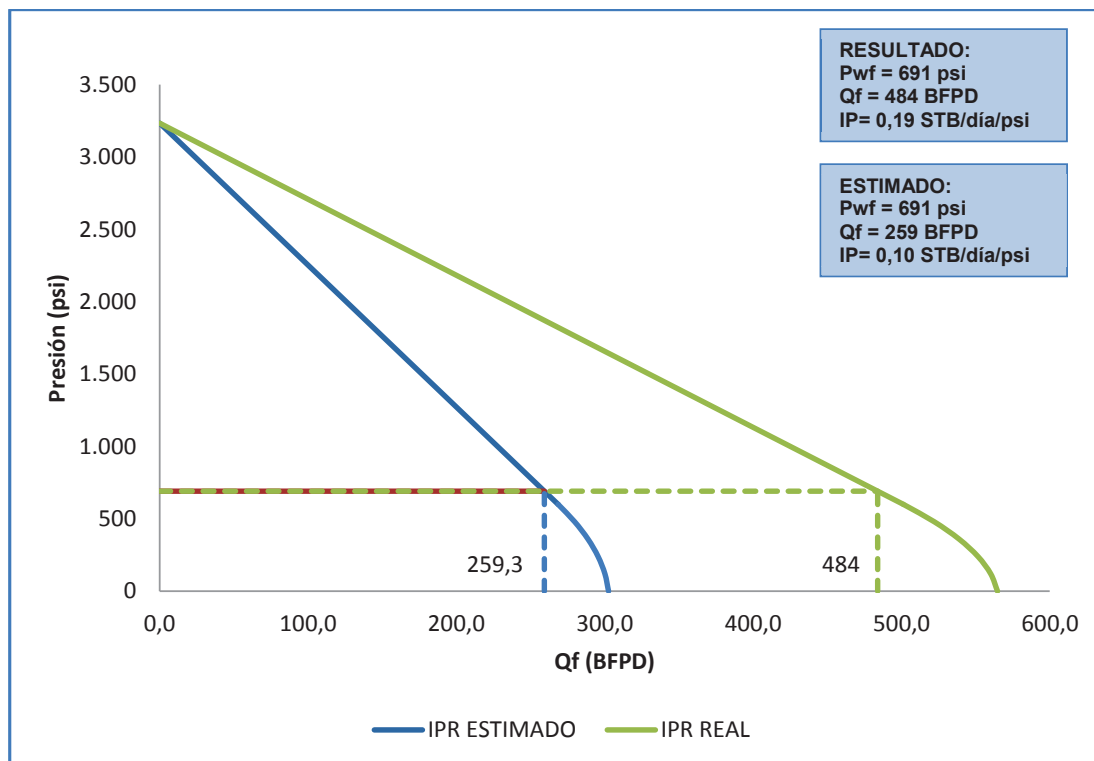
TABLA 3. 26 DATOS DE RESERVORIO ARENA "TS"- POZO YNEA-029

Parámetro		Arena "U media"	Unidad
Presión Promedio Reservoirio	Pr	3.233	psi
Presión dinámica	Pwf	691	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	76	md
Espesor útil	h	5	pies
Factor volumétrico del petróleo	Bo	1,12	bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	1,08	cp
Radio de drenaje	re	1.500	pies
Radio del pozo	rw	0,35	pies
Daño Total	S	-0,09	

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La figura 3.26 muestra el IPR estimado con el cañoneo simulado mediante el software PerfPro y el IPR real después del cañoneo con StimPro, con el objetivo de obtener el caudal estimado y real a una pwf.

FIGURA 3. 26 IPR DEL POZO YNEA-29 ARENA T SUPERIOR

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

La tabla 3.27 y figura 3.27 muestran los resultados después del cañoneo con StimPro realizado al pozo YNEA-029, obtenidos de la simulación con el software Perfpro para el caudal estimado y del historial de producción para el caudal real del pozo.

Para la arena "T superior" y a una Presión de fondo fluyente $p_{wf}=691$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f=484$ BFPD y un caudal real $Q_f=496$ BFPD.

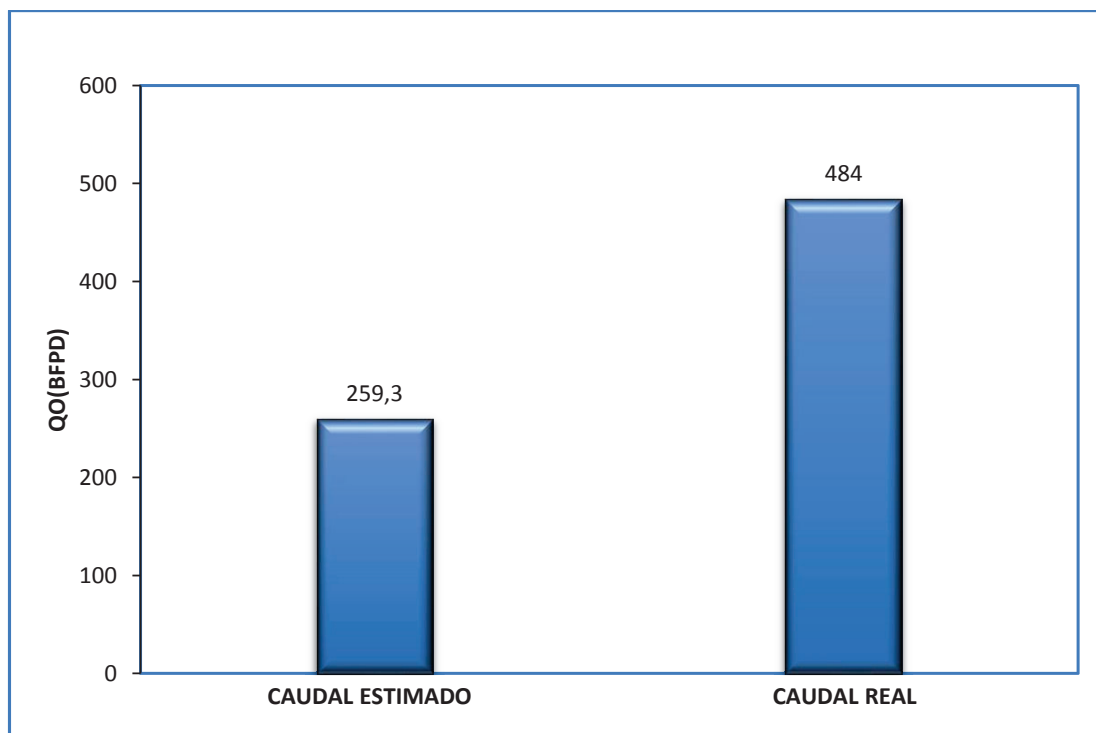
TABLA 3. 27 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA-029

Pozo	Arena	Técnica de Cañoneo	Pwf (psi)	IPR Estimado (STB/día/psi)	Caudal Estimado BFPD	IPR Real (STB/día/psi)	Caudal Real BFPD
YNEA04	TS	StimPro	691	0,10	259,3	0,19	484

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 27 RESULTADOS CON STIMPRO POZO YNEA-029



Fuente: Halliburton/ Petroamazonas Ep.

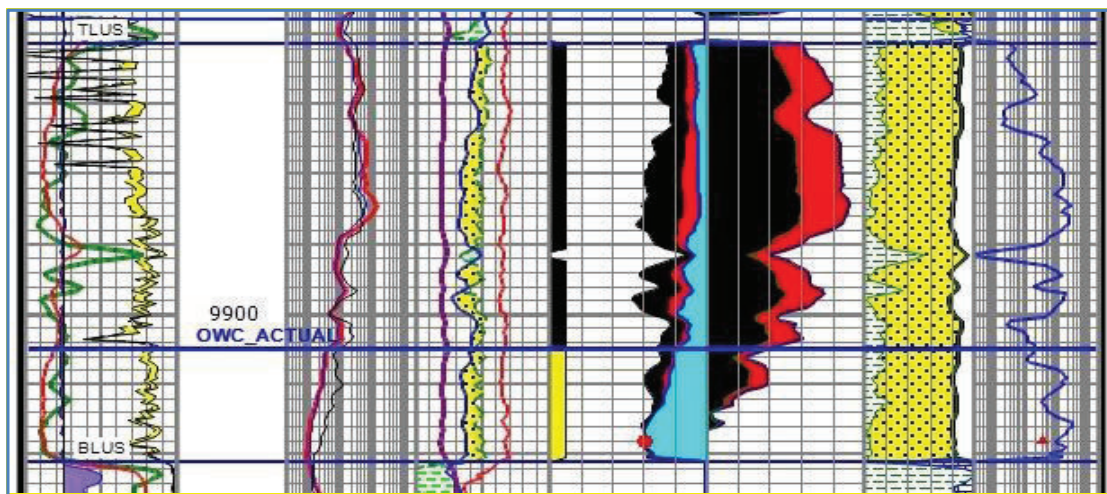
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.3.3 Pozo YNEA-26 (Arena “UI”)

En el pozo YNEA26 se disparó la arena “U inferior” 9.862’ – 9.880’ (18’) FT MD que se muestra en la Perfil de Registro Petrofísico de la figura 3.28, mediante la técnica StimPro (Sobre balance Extremo y Bajo balance Dinámico) con WL, el diseño de la carga se realizó con cargas de alta penetración 4-5/8" MAXFORCE 390, densidad de 5 spf y 72° fase.

En el Anexo 06 se indica la sarta de testeo usada, correspondiente a la configuración de cañoneo convencional acoplado a Cámaras de Surgencia SurgePro, con el fin de generar un desbalance Dinámico hacia el hardware en la cara del pozo con el fin de minimizar la generación de la zona pulverizada y lavar efectivamente los punzados.

FIGURA 3. 28 ARENA PRODUCTORA U INFERIOR POZO YNEA26



Fuente: Petroamazonas EP

3.3.3.3.1 Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEA26

La simulación para la arena “U inferior” se realizó con la opción de cañoneo: StimPro (sobre balance extremo y bajo balance dinámico).

La tabla 3.28 muestra los resultados de la simulación del cañoneo con el software Perfpro del pozo YNEA-26.

TABLA 3. 28 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEA26 (ARENA U INFERIOR)

Gun No.	Nombre de la carga	Corr. Penetración en la formación	Penetración en la formación	AEH	AF	WC		S _t	IP
		In	in	In	In ² /ft	Psi			Stb/día/psi
1	4-5/8" MAXFORCE 390	12,26	30,35	0,35	0,48	-1000	STIMPRO	-0.05	0,29

Fuente: Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

En el pozo YNEA-26 se corrió el fastgauge con el objetivo de obtener el comportamiento de la presión una vez disparado el pozo.

3.3.3.3.2 *Perfiles de presiones del sensor fastgauge pozo YNEA26*

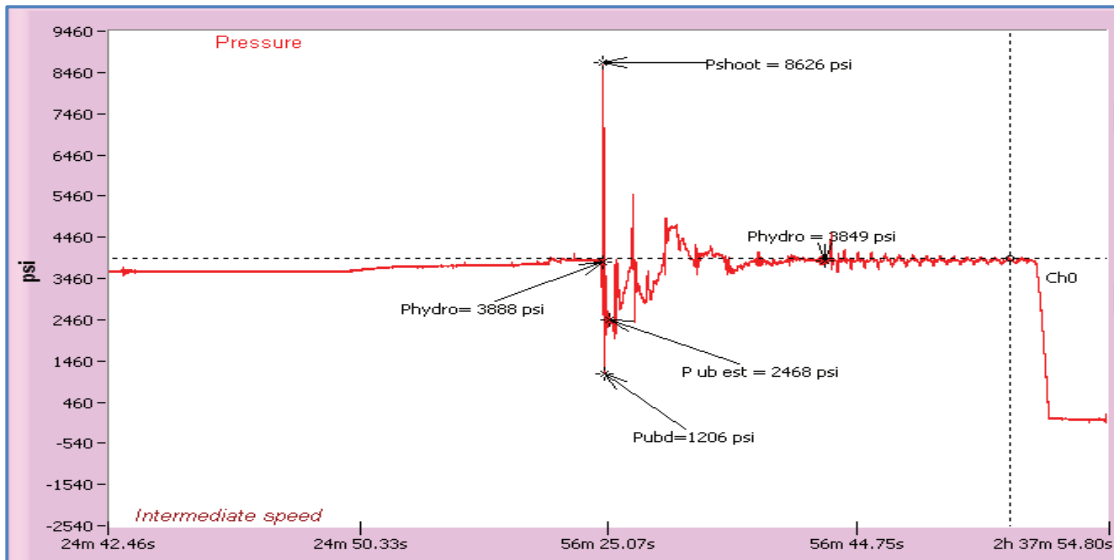
El objetivo del perfil de presiones es validar el modelo de presiones obtenidas por el sensor FastGauge acoplado a la sarta de cañoneo con cable para obtener las presiones de modelamiento de la técnica StimPro e investigar sobre la existencia de límites con la finalidad de conocer el potencial productivo de la arena “U Inferior” y sus relaciones de afluencia del sistema Yacimiento – Pozo.

Por razones operacionales debidas a condiciones del pozo el objetivo principal para la obtención de las presiones de yacimiento y fondo fluyente con esta metodología no es posible obtenerlas, pero el presente reporte indica los eventos registrados por el sensor FastGauge, remarcando el perfil de presiones obtenidos al momento de disparar posteriores horas de data donde se evidencia:

- Desbalance dinámico
- Presión hidrostática a la altura de los punzados
- Sacada del equipo.

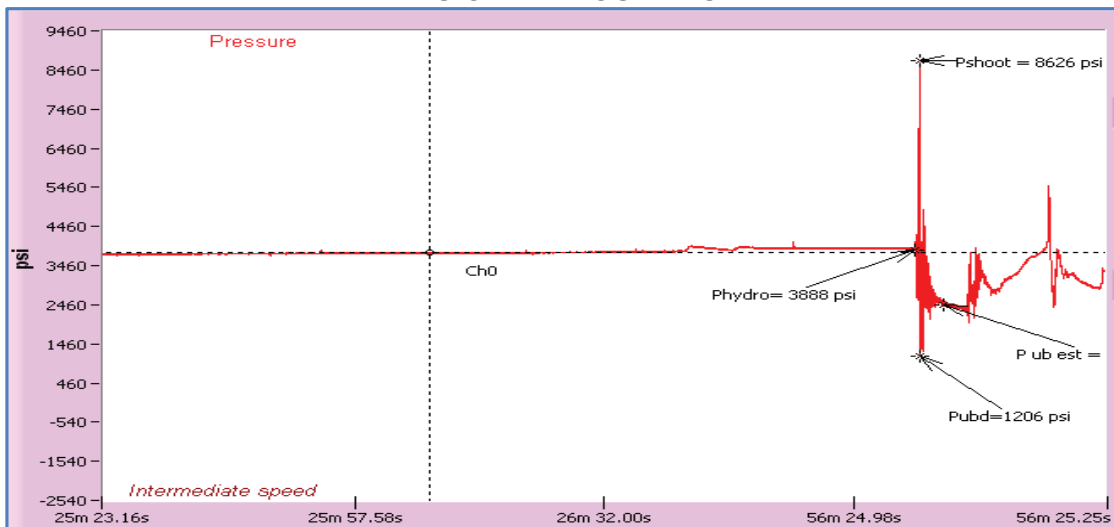
La figura 3.29 muestra el perfil completo en alta y baja velocidad del sensor fast gauge.

FIGURA 3. 29 PERFIL COMPLETO DE SAMPLEO DEL SENSOR FAST GAUGE POZO YNEA 26



Fuente: Halliburton

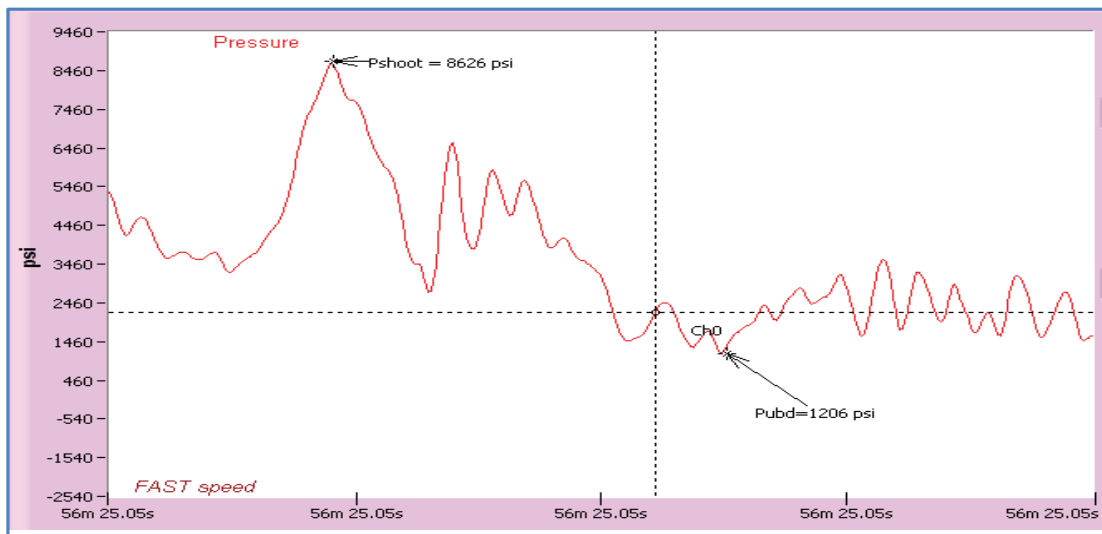
FIGURA 3. 30 INMERSIÓN DE SENSOR FASTGAUGE CONTRA EL FLUIDO Y PRESIÓN HIDROSTÁTICA



Fuente: Halliburton

La figura 3.30 muestra la inmersión de sensor Fastgauge contra el fluido y presión hidrostática frente a la zona a dispararse igual a 3888 psi. La figura 3.31 muestra el evento de detonación y pico de presión 8626 psi generado por el jet de las cargas; posterior apertura de las cámaras a una presión de 1.206 psi para generar un desbalance de 1.700 psi aproximadamente

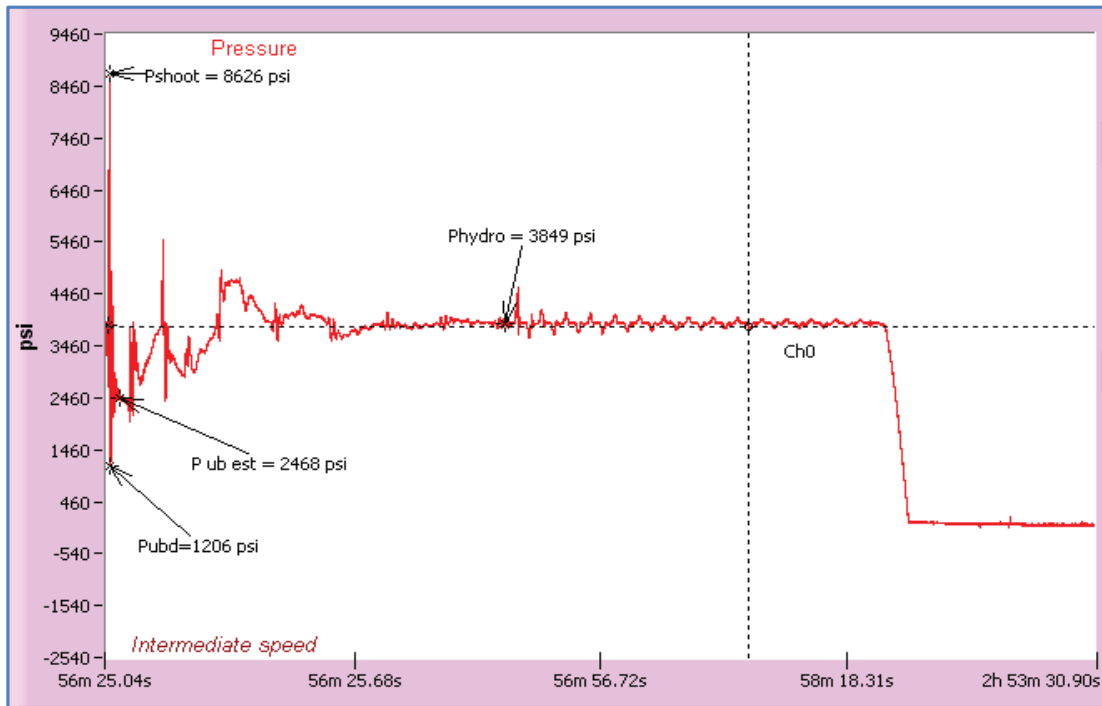
FIGURA 3. 31 EVENTO DE DETONACIÓN Y PICO DE PRESIÓN GENERADO POR EL JET DE LAS CARGAS



Fuente: Halliburton.

La figura 3.32 muestra la presión de ecualización con la hidrostática del pozo igual a 3849 psi, posterior apertura del by pass para ecualizar las presiones.

FIGURA 3. 32 PRESIÓN DE ECUALIZACIÓN CON LA HIDROSTATICA DEL POZO YNEA-26



Fuente: Halliburton

3.3.3.3.3 Producción después del cañoneo Pozo YNEA-26

Una vez disparados los cañones Max Force y el ensamblaje WL STIMPRO fue retirado del pozo, un ensamblaje de completación con dos bombas ESP fueron corridas en el pozo para ponerlo en producción, se observa en la tabla 3.29 que el rendimiento de la producción ha sido un éxito ya que las tasas de producción son relativamente estables con un BSW máximo del 40% y IP de 0,30 STB/día/psi durante el primer año

TABLA 3. 29 DATOS DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNEA26 “ARENA U INFERIOR”

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP STB/día/psi
01-oct-12	ARRANCA POZO CON 2 BOMBAS MODELO P6 SSD SERIE 400, SGT 226, MOTOR MSP1-H, 2300 VOLT, 33 AMP, 126 HP.						
01-oct-12	UI	180	2	178	98,9	2.091	0,18
02-oct-12	UI	380	171	209	55	2.073	0,36
04-oct-12	UI	454	449	5	1,1	2.051	0,43
09-oct-12	UI	442	442	0	0	1.647	0,3
18-oct-12	UI	436	414	22	5	1.623	0,29
11-nov-12	UI	268	236	32	11,9	1.832	0,21
07-ene-13	UI	260	198	62	23,8	1.841	0,2
28-mar-13	UI	232	153	79	34,1	1.852	0,18
30-abr-13	UI	307	196	111	36,2	1575	0,2
26-may-13	UI	359	223	136	37,9	1.534	0,23
01-jun-13	UI	370	229	141	38,1	1.530	0,23
31-jul-13	UI	404	250	154	38,1	1.482	0,25
25-ago-13	UI	395	237	158	40	1.477	0,24
20-sep-13	UI	398	239	159	39,9	1.456	0,24
31-oct-13	UI	414	248	166	40,1	1.744	0,3
27-nov-13	UI	408	228	180	44,1	1.431	0,24
03-dic-13	UI	415	232	183	44,1	1.427	0,25
30-dic-13	UI	443	230	213	48,1	1.420	0,26
28-ene-14	UI	426	222	204	47,9	1.440	0,25
17-feb-14	UI	412	214	198	48,1	1.447	0,25
29-mar-14	UI	392	188	204	52	1.269	0,21

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.3.3.4 Resultados después del cañoneo en el pozo YNEA-26

La figura 3.33 muestra los resultados, después del cañoneo con StimPro realizado al pozo YNEA-026, obtenido de la simulación con el software PerfPro para el caudal estimado. Para la arena "U inferior" y a una Presión de fondo fluyente de 1647 psi se muestra un caudal estimado $Q_f=430$ BFPD

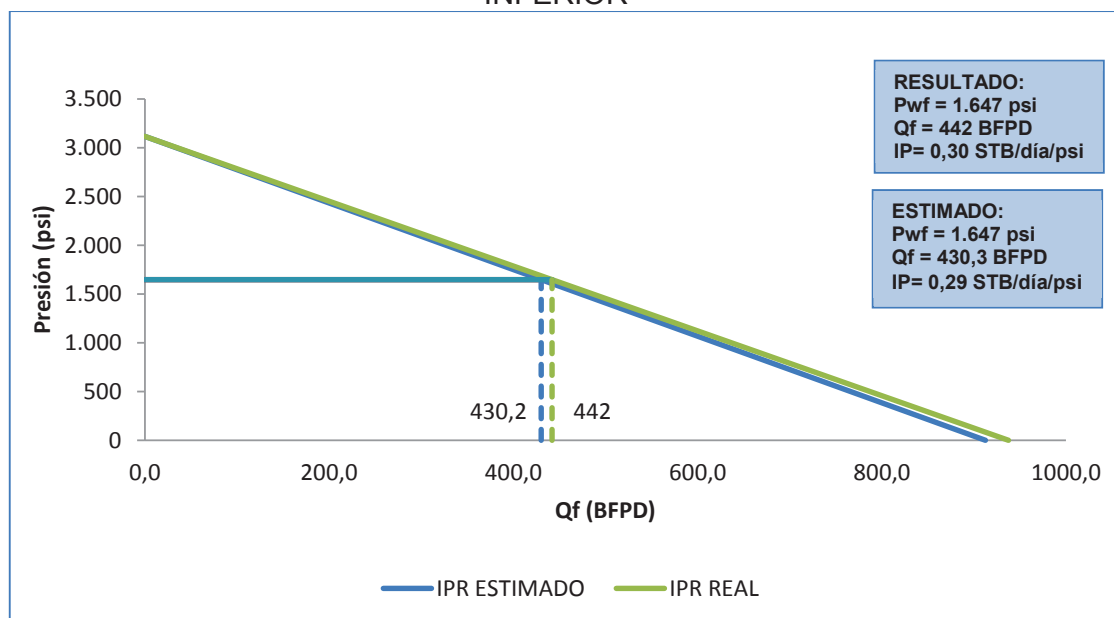
TABLA 3. 30 DATOS PARA EL CÁLCULO DEL IPR ESTIMADO POZO YNEA-26

Datos			
Presión promedio Reservorio	Pr	3.116	psi
Presión dinámica	Pwf	1.647	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	216	md
Espesor útil	h	18	pies
Factor volumétrico del Petróleo	Bo	1,14	bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	11,52	cp
Radio de drenaje	re	1500	pies
Radio del pozo	rw	0,35	pies
Daño Total	S'	-0,05	

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

FIGURA 3. 33 IPR ESTIMADO CON STIMPRO POZO YNEA-026 "ARENA U INFERIOR"



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

La tabla 3.31 y figura 3.34 muestran los resultados después del cañoneo con StimPro realizado al pozo YNEA-026 obtenidos de la simulación con el software WEM para el caudal estimado y del historial de producción para el caudal real del pozo.

Para la arena “U inferior” y a una Presión de fondo fluyente $p_{wf}=1.647$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f = 430$ BFPD y un caudal real $Q_f = 442$ BFPD

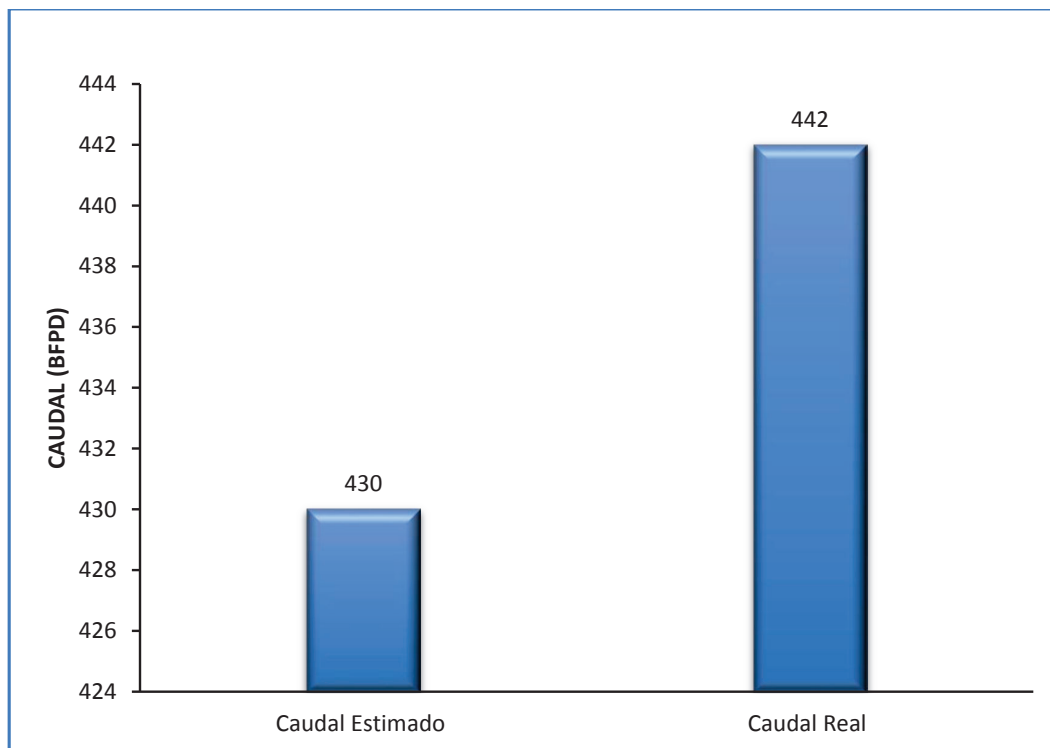
TABLA 3. 31 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA-026

Pozo	Arena	Técnica de Cañoneo	Pwf (psi)	IPR Estimado (STB/día/psi)	Caudal Estimado BFPD	IPR Real (STB/día/psi)	Caudal Real BFPD
YNEA-026	UI	StimPro	1.647	0,29	430,3	0,30	442

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

FIGURA 3. 34 RESULTADOS CON STIMPRO POZO YNEA-026



Fuente: Halliburton/ Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.4 POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON LA TÉCNICA SURGEPRO.

En el Complejo Yanaquincha se han disparado cinco pozos con la técnica de disparo SurgePro con bajo balance dinámico.

Para el presente estudio se han escogido dos casos históricos que se muestran en la tabla 3.32 cuyos resultados se detallan a continuación.

TABLA 3. 32 POZOS CAÑONEADOS CON TCP CONVENCIONAL

Pozo	Arena	Técnica de Disparo
YNEC09	HS	SurgePro
YNNA03	TP y UI	SurgePro

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.4.1 Pozo YNEC-09 (Arena “HS”)

En el pozo YNEC09 se disparó la arena “H superior” 12.981’-12.999’; (18) pies TVD, mediante la técnica SurgePro (Bajo balance Dinámico) con TCP; con el objetivo de estimular, fracturar y lavar la zona dañada – craqueada, a fin de optimizar la interconectividad hacia la formación “Hs” eliminando el daño generado.

El diseño se realizó con cañones de 4 5/8” y cargas Max Force 390 DP, densidad 5 spf, y 72° de fase.

3.3.4.1.1 Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNEC09

La simulación para la arena “H superior” se realizó con dos opciones de cañoneo: SurgePro con TCP y SurgePro con WL.

Los resultados de la simulación del cañoneo con el software Perfpro que se muestran en la tabla 3.33 determinan que la mejor opción de disparo es con TCP SurgePro cuyo IPR estimado es 1,87 STB/día/psi.

TABLA 3. 33 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON PERFPRO EN EL POZO YNEC09 (ARENA “HOLLÍN SUPERIOR”)

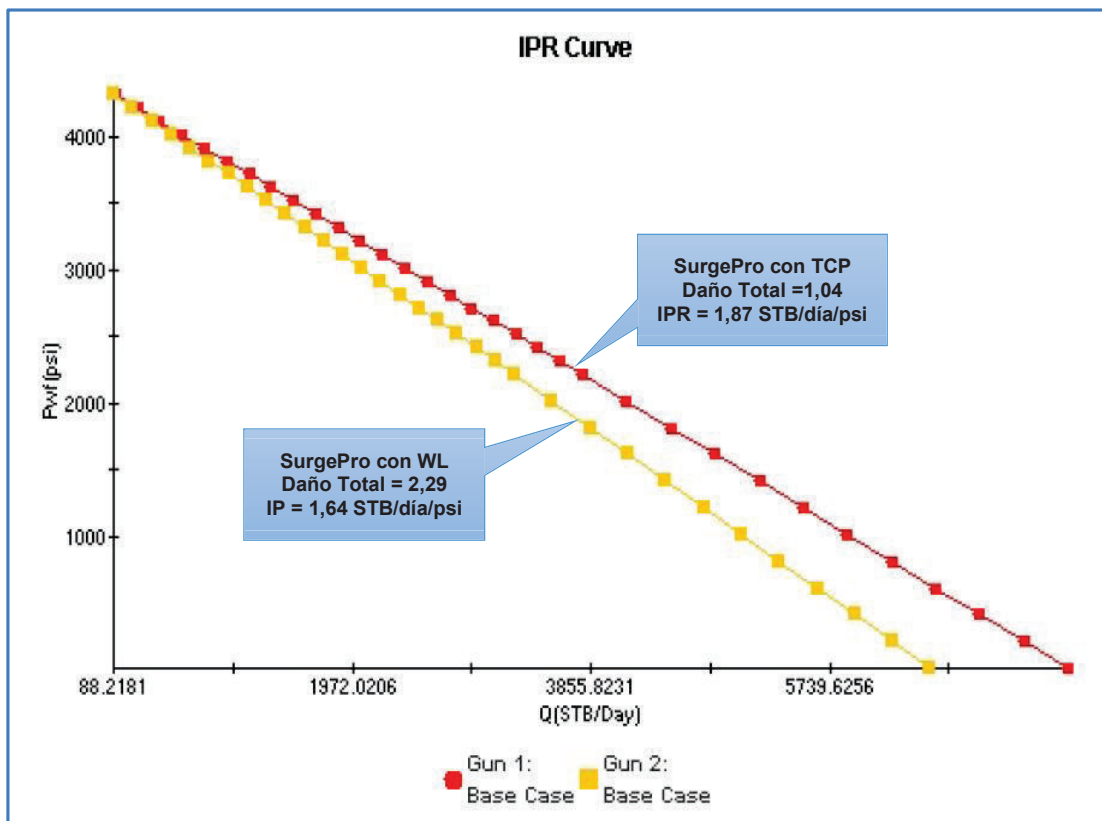
Gu n No.	Nombr e de la carga	Corr. Penetración en la formación	Penetración en la formación	AEH	AF	WC		S _t	IP
		in	In	In	in ² /ft	Psi			
1	4-5/8" MAX FORCE 390	13,89	29,54	0,35	0,48	-1500	SurgePro con TCP (UB)	1,04	1,87
2	4-5/8" MAX FORCE 390	9,48	29,54	0,35	0,48	800	SurgePro con WL (OB)	2,29	1,64

Fuente: Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

En la figura 3.35 se presenta el IPR simulado con el software PerfPro del pozo YNEC09 Arena “H superior”, en la cual se puede observar que la mejor opción técnicamente debido al mayor IP es con TCP SurgePro.

FIGURA 3. 35 IPR DEL POZO YNEC09 (ARENA HS)



Fuente: Halliburton

Modificado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.4.1.2 Producción después del cañoneo Pozo YNEC-09

La tabla 3.34 muestra el reporte de producción del pozo YNEC09 en la cual se puede observar que una vez disparados los cañones Max Force en la arena “HS” y además un ensamblaje de completación con dos bombas electrosumergibles fue corrido en el pozo para ponerlo en producción, se observa en la tabla 3.34 que el IP real es mejor que el IP esperado, pero con una alta producción de agua

TABLA 3. 34 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNEC09

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
04-ago-13	ARRANCA POZO CON 2 BOMBAS P-62 (85 + 42 STG), MOTOR SERIE 562, 504 HP, 2810 VOL, 108 AMP						
4-Aug-13	HS	3.400	68	3.332	98,0	2.932	2,36
5-Aug-13	HS	3.898	195	3.703	95,0	2.916	2,68
6-Aug-13	HS	4.071	285	3.786	93,0	2.880	2,73
7-Aug-13	HS	4.417	353	4.064	92,0	2.886	2,97
8-Aug-13	HS	4.490	359	4.131	92,0	2.885	3,02
9-Aug-13	HS	4.495	360	4.135	92,0	2.885	3,02
10-Aug-13	HS	4.505	360	4.145	92,0	2.882	3,02
13-Aug-13	HS	4.550	364	4.186	92,0	2.910	3,11
14-Aug-13	HS	4.528	362	4.166	92,0	2.910	3,10
16-Aug-13	HS	4.518	361	4.157	92,0	2.906	3,08
10-Sep-13	HS	4.515	361	4.154	92,0	2.910	3,09
3-Oct-13	HS	4.544	364	4.180	92,0	2.909	3,10
11-Oct-13	HS	4.536	363	4.173	92,0	2.927	3,14
13-Nov-13	HS	4.547	227	4.320	95,0	2.931	3,15
3-Dec-13	HS	4.540	227	4.313	95,0	2.924	3,13
6-Jan-14	HS	4.538	227	4.311	95,0	2.925	3,13
4-Feb-14	HS	4.825	241	4.584	95,0	2.849	3,17
7-Mar-14	HS	5.187	259	4.928	95,0	2.739	3,18
17-Mar-14	HS	5.186	259	4.927	95,0	2.738	3,17
10-Apr-14	HS	5.445	272	5.173	95,0	2.666	3,19
31-May-14	HS	5.468	273	5.195	95,0	2.673	3,22
13-Jun-14	HS	5.459	273	5.186	95,0	2.667	3,20
12-Aug-14	HS	5.832	292	5.540	95,0	2.676	3,44

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.4.1.3 Resultados después del cañoneo en el pozo YNEC-09

La figura 3.36 muestra el IPR de la arena “H superior” con la técnica de cañoneo SurgePro, con el objetivo de obtener el caudal estimado a una p_{wf} y poder compararlo con el caudal real después del cañoneo

TABLA 3. 35 DATOS DEL IPR ESTIMADO PARA EL POZO YNEC-09 “ARENA H

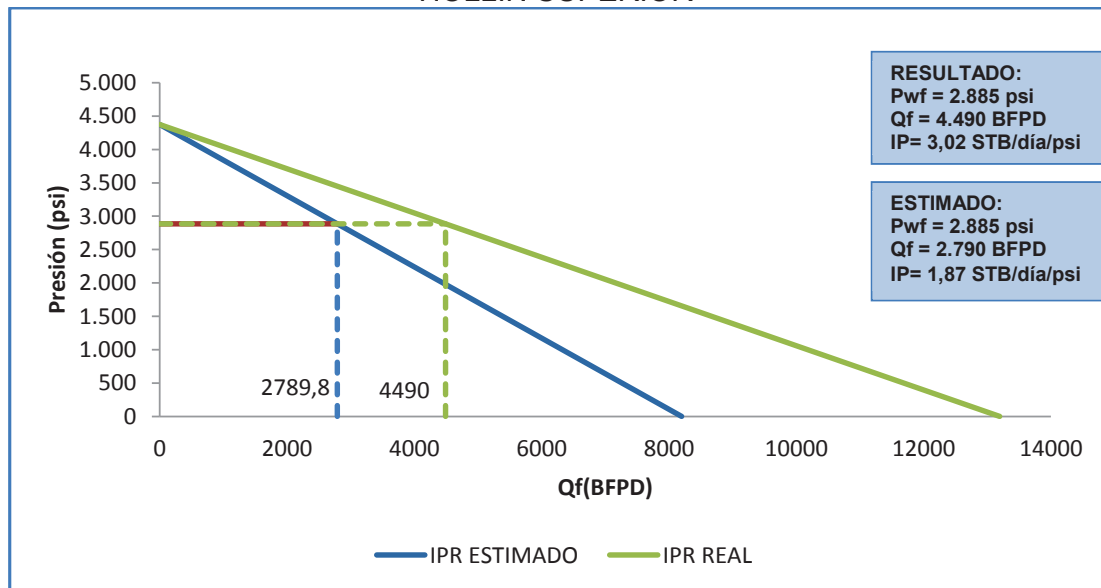
DATOS			
Presión promedio Reservorio	Pr	4.373	psi
Presión dinámica	Pwf	2.885	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	550	md
Espesor útil	h	18	pies
Factor volumétrico del Petróleo	Bo	1,2	bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	3,6	cp
Radio de drenaje	re	1.500	pies
Radio del pozo	rw	0,35	pies
Daño Total	S	1,04	

SUPERIOR”

Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 36 IPR ESTIMADO CON SURGPRO PARA POZO YNEC-09 “ARENA HOLLÍN SUPERIOR”



Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La tabla 3.36 y figura 3.37 muestra los resultados después del cañoneo con SurgePro realizado al pozo YNEC-09 obtenidos de la simulación con el software

Per- Pro para el caudal estimado y del historial de producción para el caudal real del pozo. Para la arena “Hollín superior” y a una presión de fondo fluyente $p_{wf}=2885$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f= 2790$ BFPD y un caudal real de $Q_f = 4490$ BFPD.

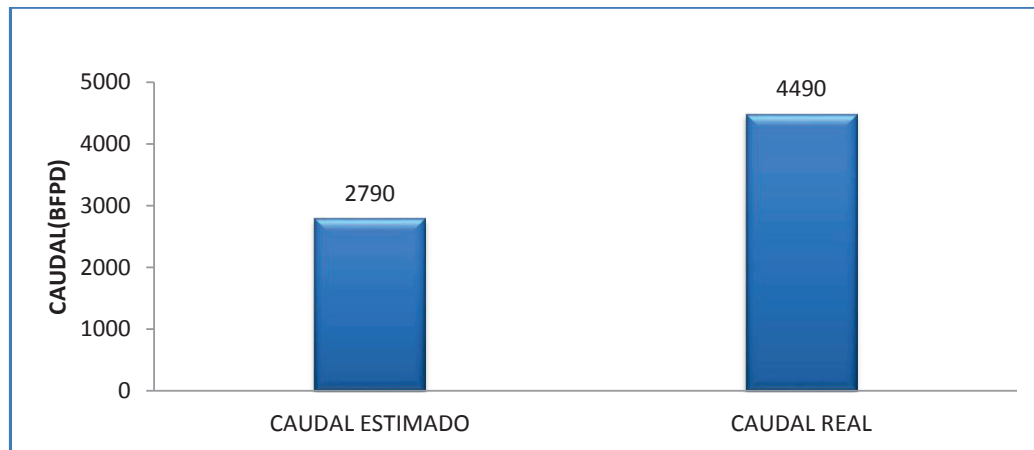
TABLA 3. 36 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEC-09

Pozo	Arena	Técnica de Cañoneo	Pwf (psi)	IPR Estimado STB/día/psi	Caudal Estimado BFPD	IPR Real STB/día/psi	Caudal Real BFPD
YNEC-09	HS	TCP SurgePro	2.885	1,87	2.790	3,02	4.490

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

FIGURA 3. 37 RESULTADOS CON SURGEPRO POZO YNEC-09



Fuente: Halliburton/ Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.4.2 Pozo YNNA-03 (Arena “TP” Y “UI”)

En el pozo YNNA03 se disparó la arena “TP” en el intervalo 10.292’ – 10.304’ MD, y además la arena “UI” en el intervalo de 9.992’ – 10.010’ MD, mediante la técnica de cañoneo SurgePro (Bajo balance Dinámico) con TCP; con el objetivo de estimular, fracturar y lavar la zona dañada – craqueada, a fin de optimizar la interconectividad hacia la formación “T” y “U” eliminando el daño generado. El diseño de la carga se realizó con cargas 4 5/8 Max Force 390 DP, densidad 5 spf, y 72° de fase. En el anexo 10 se presenta el diagrama mecánico y diagrama de herramientas de cañoneo del pozo YNNA03.

3.3.4.2.1 Simulación del cañoneo con el Software PerfPro Pozo YNNA03

La simulación para la arena “TP” y para la “UI” se realizó con dos opciones de cañoneo: SurgePro con TCP y SurgePro con WL. Los resultados de la simulación del cañoneo con el software PerfPro que se muestran en la tabla 3.37 determinan que la mejor opción de disparo es con TCP SurgePro cuyo IPR estimado es 0,51 STB/día/psi para la arena “UI”. Para la arena “TP” se muestra en la tabla 3.38 que técnicamente la mejor opción de cañoneo para es con TCP SurgePro con un IP= 2,03 STB/día/psi, con el objetivo de establecer si la técnica tiene los mismos efectos en la formación se realizó un caso de sensibilidad con una disminución en la permeabilidad a K=80md en comparación a la permeabilidad original de K=358 md, como se observa en la tabla 3.38 los resultados no son similares para estas condiciones de permeabilidad.

TABLA 3. 37 RESULTADOS DEL CAÑONEO CON PERFPRO EN EL POZO YNNA03 (ARENA “U INFERIOR”)

Gun No.	Nombre de la carga	Corr. Penetración en la formación	Penetración en la formación	AEH	AF	WC		S _t	IP
		in	in	In	In ² /ft	Psi			
1	4-5/8" MAX FORCE 390	15,82	33,61	0,35	0,48	-1500	SurgePro con TCP (UB)	1,46	0,51
2	4-5/8" MAX FORCE 390	7,51	26,49	0,35	0,48	1500	SurgePro con WL (OB)	6,86	0,32

Fuente: Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

TABLA 3. 38 RESULTADOS DEL CAÑONEO CON PERFPRO EN EL POZO YNNA03 (ARENA “TP”)

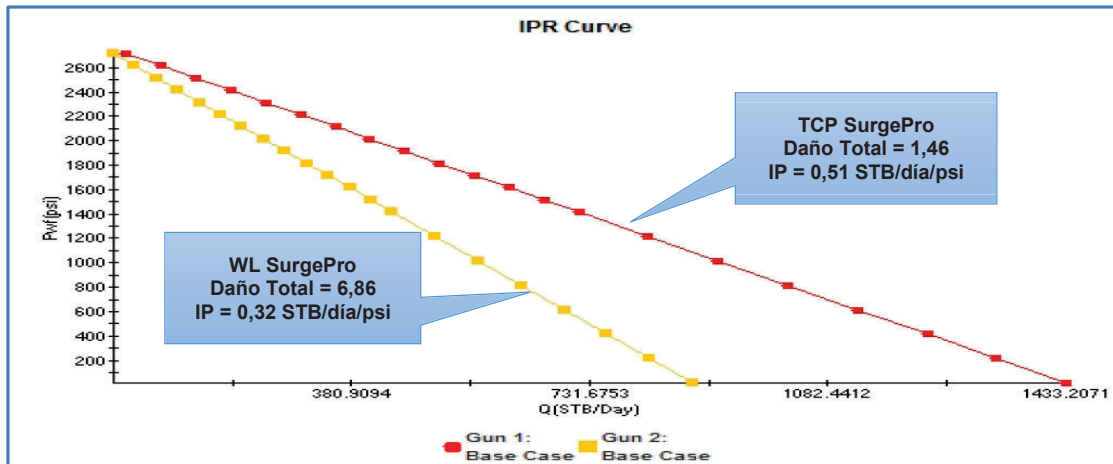
Gun No.	Nombre de la carga	Corr. Penetración en la formación	Penetración en la formación	AEH	AF	WC		S _t	IP
		in	in	In	In ² /ft	Psi			
1	4-5/8" MAX FORCE 390	10,55	22,42	0,35	0,48	-1500	SurgePro con TCP (UB)	3,11	2,03
S1 80 md	4-5/8" MAX FORCE 390	10,55	22,42	0,35	0,48	-1500	SurgePro con TCP (UB)	0,19	0,63
2	4-5/8" MAX FORCE 390	5,00	17,66	0,35	0,48	1500	SurgePro con WL (OB)	15,39	0,97

Fuente: Halliburton

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

En la figura 3.38 se presenta el IPR simulado con el software PerfPro del pozo YNNA03 Arena "U inferior", en la cual se puede observar que la mejor opción técnicamente debido al mayor IPR es con TCP SurgePro.

FIGURA 3. 38 IPR DEL POZO YNNA03 (ARENA U INFERIOR)

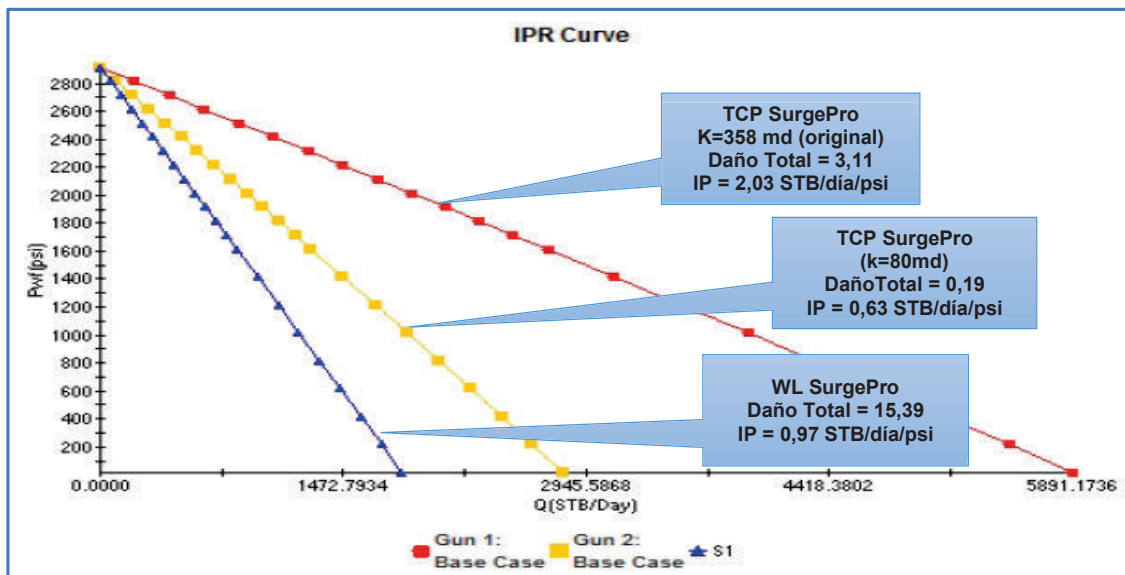


Fuente: Halliburton

Modificado por: Alex Acaro/Jimmy León.

En la figura 3.39 se presenta el IPR simulado con el software PerfPro del pozo YNNA03 Arena "T", en la cual se puede observar que la mejor opción técnicamente debido al mayor IPR es con TCP SurgePro.

FIGURA 3. 39 IPR DEL POZO YNNA03 (ARENA TP)



Fuente: Halliburton

Modificado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.4.2.2 Producción después del cañoneo Pozo YNNA03

La tabla 3.39 muestra el reporte de producción del pozo YNNA03 en la cual se puede observar que una vez disparados los cañones con cargas MAX FORCE en la arena “U inferior” un ensamblaje de completación con dos bombas Electrosumergibles fue corrido en el pozo para ponerlo en producción, la tabla 3.39 muestra que las ratas de producción son relativamente estables, aunque no se logró la producción estimada.

TABLA 3. 39 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNNA03 – ARENA U INFERIOR

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
10-Feb-14	INSTALACIÓN No.1. ARRANCA BES CON 2 BOMBAS P-6 SSD (113 Y 180 STGS) / MOTOR SERIES 562, 120 HP, 2125 VOLT, 34 AMP.						
10-Feb-14	UI	339	0	339	100,0	1.842	0,35
11-Feb-14	UI	330	195	135	40,9	1.815	0,33
12-Feb-14	UI	320	301	19	5,9	1.849	0,33
13-Feb-14	UI	340	337	3	0,9	1.846	0,35
14-Feb-14	UI	329	319	10	3,0	1.847	0,34
15-Feb-14	UI	328	305	23	7,0	1.850	0,34
16-Feb-14	UI	310	282	28	9,0	1.767	0,30
17-Feb-14	UI	320	294	26	8,1	1.766	0,31
18-Feb-14	UI	410	357	53	12,9	1.770	0,39
19-Feb-14	UI	414	360	54	13,0	1.770	0,40
3-Mar-14	UI	375	225	150	40,0	1.561	0,30
4-Mar-14	UI	415	249	166	40,0	1.561	0,33
6-Mar-14	UI	480	288	192	40,0	1.561	0,38
8-Mar-14	UI	478	287	191	40,0	1.561	0,38
9-Mar-14	UI	472	283	189	40,0	1.561	0,38
10-Mar-14	UI	474	228	246	51,9	1.570	0,38
12-Mar-14	UI	465	223	242	52,0	1.570	0,37
7-Apr-14	UI	450	180	270	60,0	1.575	0,36
10-Apr-14	UI	440	176	264	60,0	1.575	0,36
12-Apr-14	UI	418	167	251	60,0	1.575	0,34
30-Apr-14	UI	399	140	259	64,9	1.579	0,32
5-May-14	UI	402	121	281	69,9	1.548	0,32
1-Jun-14	UI	387	93	294	70,0	1.549	0,31
5-Jun-14	UI	395	95	300	70,0	1.549	0,31
8-Jun-14	UI	402	96	306	70,0	1.549	0,32
1-Aug-14	UI	349	84	265	70,0	1.401	0,25

Fuente: Departamento de Reservorios, Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La tabla 3.40 muestra el reporte de producción del pozo YNNA03 en la cual se puede observar que una vez disparados los cañones con cargas Max Force en la arena “TP”, un ensamblaje de completación con dos bombas ESP fue corrido en el pozo para ponerlo en producción, la tabla 3.40 muestra que no se logró los caudales esperados.

TABLA 3. 40 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN POZO YNNA03 – ARENA TP

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
10-feb-14	INSTALACIÓN No.1. ARRANCA BES CON 2 BOMBAS P-8 SSD (113+113 STGS) MOTOR SERIES 562, 120 HP, 2125 VOLT, 34 AMP.						
10-feb-14	TP	296	50	246	83,1	1.839	0,28
11-feb-14	TP	500	375	125	25,0	1.792	0,45
12-feb-14	TP	460	350	110	23,9	1.829	0,43
13-feb-14	TP	444	320	124	27,9	1.848	0,42
14-feb-14	TP	428	300	128	29,9	1.770	0,38
15-feb-14	TP	294	176	118	40,1	1.916	0,30
16-feb-14	TP	307	184	123	40,1	1.774	0,27
17-feb-14	TP	302	193	109	36,1	1.774	0,27
18-feb-14	TP	287	210	77	26,8	2.095	0,35
19-feb-14	TP	280	204	76	27,1	1.797	0,25
20-feb-14	TP	282	214	68	24,1	1.775	0,25
22-feb-14	TP	281	214	67	23,8	1.812	0,26
28-feb-14	TP	315	239	76	24,1	1.681	0,26
03-mar-14	TP	300	228	72	24,0	2.067	0,36
04-mar-14	TP	304	213	91	29,9	1.797	0,27
05-mar-14	TP	309	173	136	44,0	1.755	0,27
07-mar-14	TP	291	163	128	44,0	1.696	0,24
08-mar-14	TP	294	165	129	43,9	2.153	0,39
09-mar-14	TP	285	114	171	60,0	2.017	0,32
11-mar-14	TP	287	115	172	59,9	2.195	0,40
12-mar-14	TP	280	112	168	60,0	1.724	0,24
14-mar-14	TP	284	114	170	59,9	1.692	0,23
17-mar-14	TP	307	89	218	71,0	1.850	0,29
22-mar-14	TP	318	92	226	71,1	1.804	0,29
28-mar-14	OFF FASES DESBALANCEADAS						

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.4.2.3 Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA03

La figura 3.40 y 3.41 muestra el IPR estimado, simulado mediante el software PerfPro y el IPR real después del cañoneo con TCP SurgePro para la arena “U inferior” y “TP”, con el objetivo de obtener el caudal estimado y real a una presión

de fondo fluyente pwf. La tabla 3.41 muestra los datos de reservorio del pozo YNNA03 para UI y TP

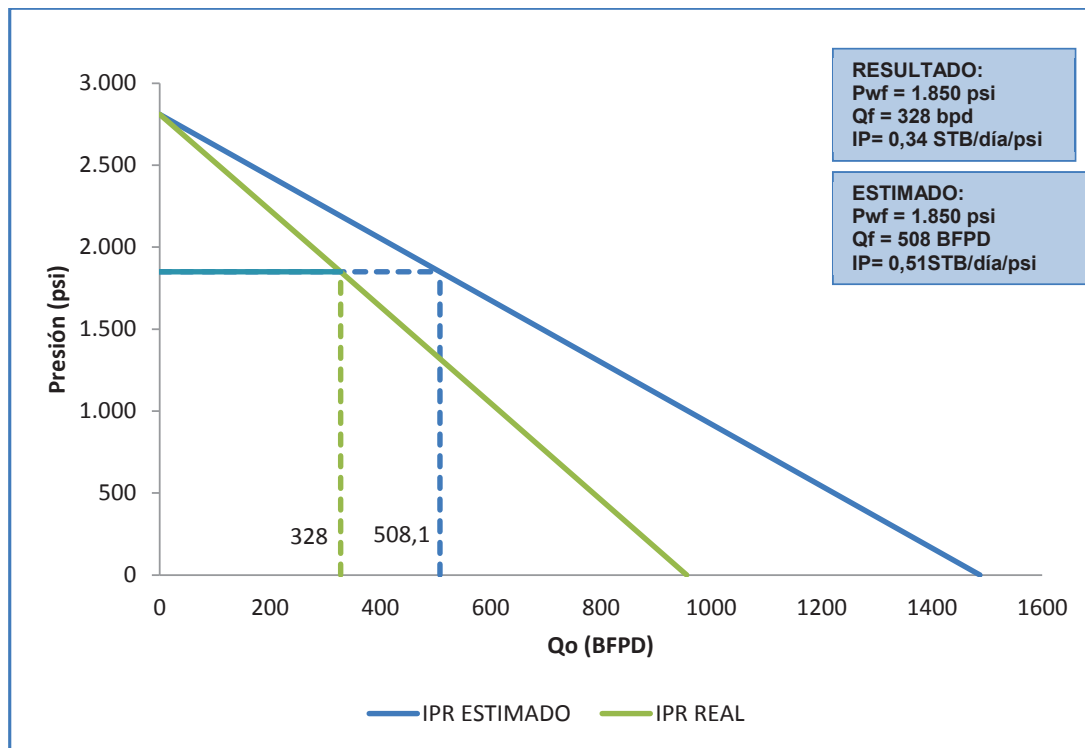
TABLA 3. 41 DATOS DE RESERVORIO ARENA "TP" Y "UI"- POZO YNNA03

Datos				
		Arena "UI"	Arena "TP"	Unidad
Presión promedio Reservorio	Pr	2.810	2.910	psi
Presión dinámica	Pwf	1.850	1.792	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	500	358	md
Espesor útil	h	18	12	pies
Factor volumétrico del Petróleo	Bo	1,09	1,2	bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	11,9	1,03	cp
Radio de drenaje	re	1.500	1.500	pies
Radio del pozo	rw	0,29	0,19	pies
Daño Total	S	1,46	3,11	

Fuente: Petroamazonas Ep

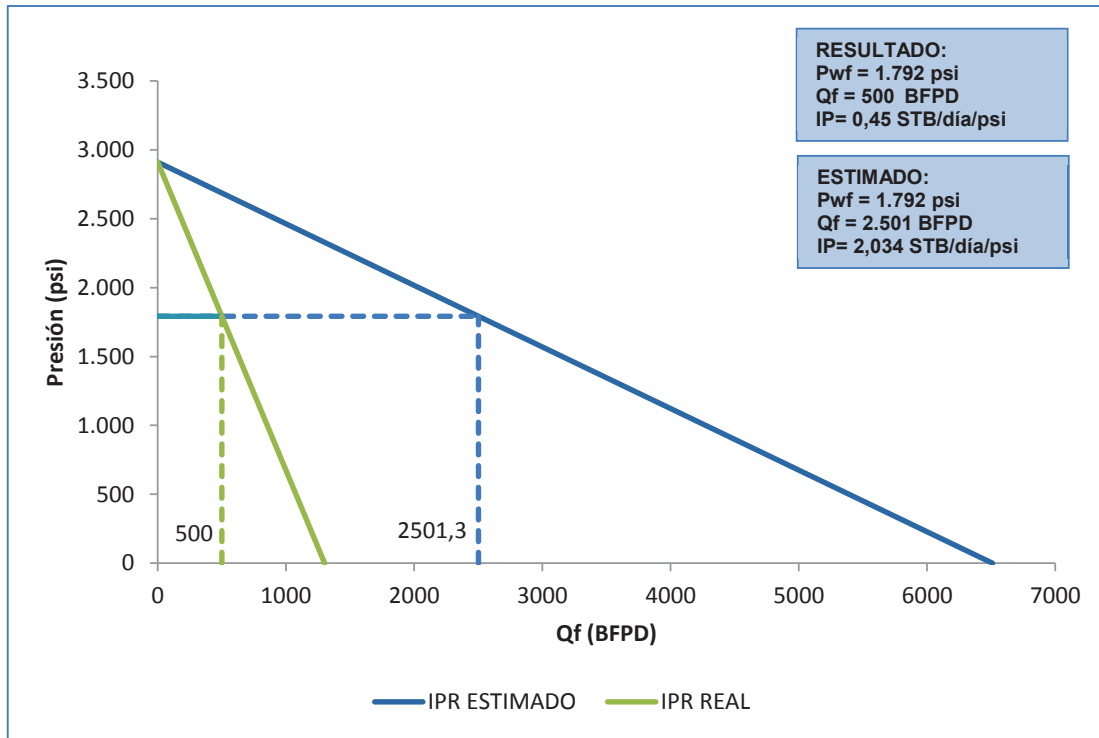
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 40 IPR ARENA UI POZO YNNA03



Fuente: Petroamazonas Ep

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 3. 41 IPR ARENA TP POZO YNNA03

Fuente: Petroamazonas Ep
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La tabla 3.42 y figura 3.42 muestran los resultados después del cañoneo realizado al pozo YNNA03, obtenidos de la simulación con el software PerfPro para el caudal estimado y del historial de producción para el caudal real del pozo.

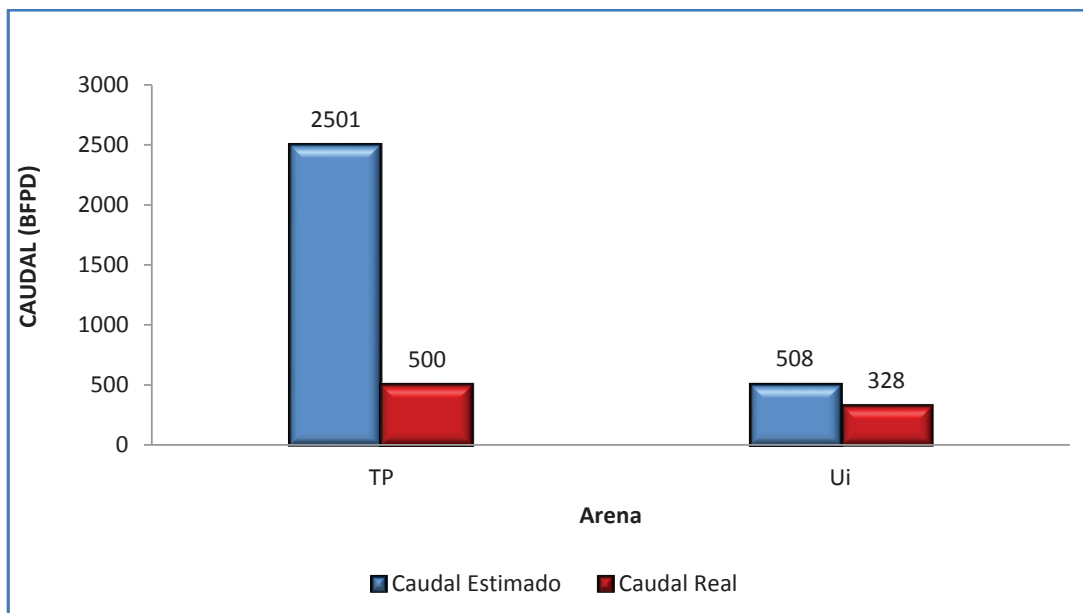
Para la arena “TP” y a una presión de fondo fluyente $p_{wf}=1.792$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f= 2.501$ BFPD y un caudal real $Q_f = 500$ BFPD

TABLA 3. 42 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNEA-03

Pozo	Arena	Técnica de Cañoneo	Pwf (psi)	IPR Estimado STB/día/psi	Caudal Estimado BFPD	IPR Real STB/día/psi	Caudal Real BFPD
YNNA03	TP	SurgePro	1.792	2,03	2.501	0,45	500
YNNA03	Ui	SurgePro	1.850	0,51	508	0,34	328

Fuente: Petroamazonas Ep.
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

Para la arena “Ui” y a una presión de fondo fluyente $p_{wf}=1.850$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f= 508$ BFPD y un caudal real $Q_f= 328$ BFPD

FIGURA 3. 42 RESULTADOS CON SURGEPRO POZO YNNA03

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

3.3.5 POZOS DISPARADOS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA CON CAÑONES ANCLADOS Y TCP, MEDIANTE EL SISTEMA PURE.

Para el análisis se han escogido los pozos descritos a continuación.

3.3.5.1 Pozo YNNA-004 (Arena “UI”).

En el pozo YNNA04 se disparó la arena “U inferior” que se muestra en la figura 3.43 con el Sistema TCP + Quantum Packer o MaxR.

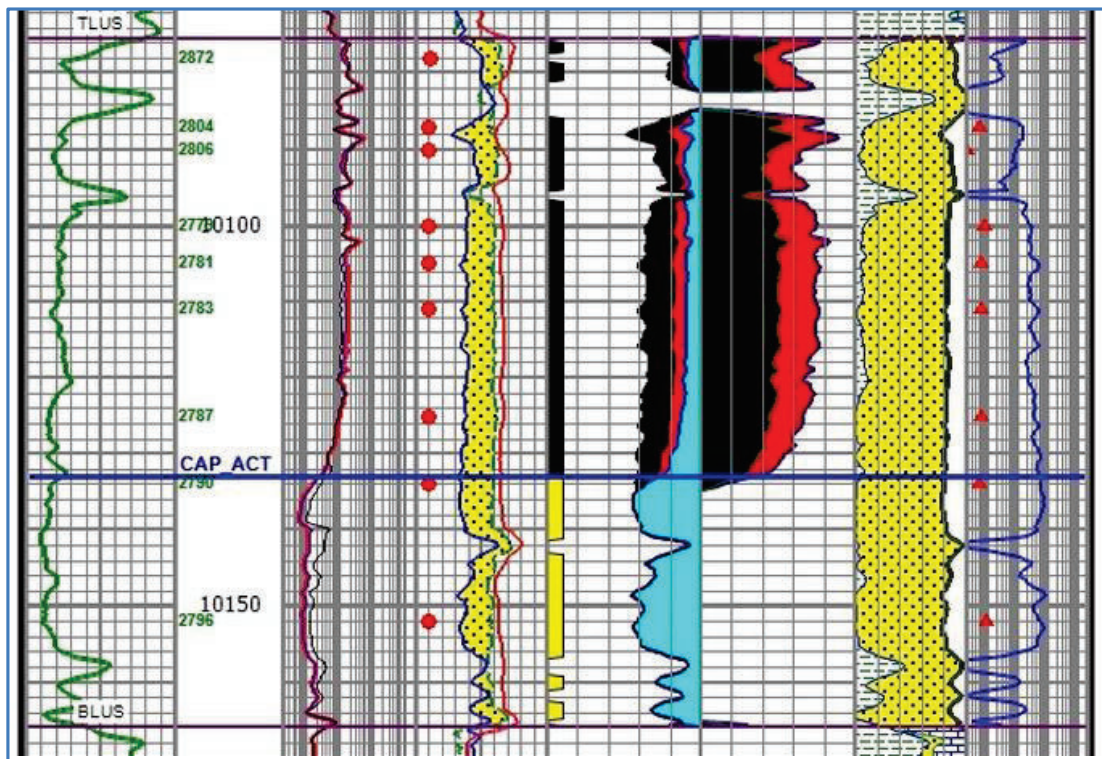
El diseño del cañoneo se realizó con cañones de 4.5” cargados con cargas Power Jet NOVA 4505 a 5 DPP, el objetivo es realizar disparos con propelente debido a las bajas permeabilidades que posee. Son tres intervalos en la misma arena con diferentes K promedios de 40, 80 y 280 md.

Los intervalos de disparo en la Arena “Ui” se describen a continuación:

- 10.075' – 10.082' PJ NOVA 4505 @ 5SPF + 3ft PROPELENTE
- 10.085' – 10.095' PJ NOVA 4505 @ 5SPF + 6ft PROPELENTE
- 10.097' – 10.110' PJ OMEGA 4505 @ 5SPF SIN PROPELENTE

En el Anexo 07 se encuentra adjunto el diagrama mecánico, y el diagrama completo del cañoneo del pozo YNNA-004 Arena “Ui”.

FIGURA 3. 43 ARENA U INFERIOR POZO YNNA004

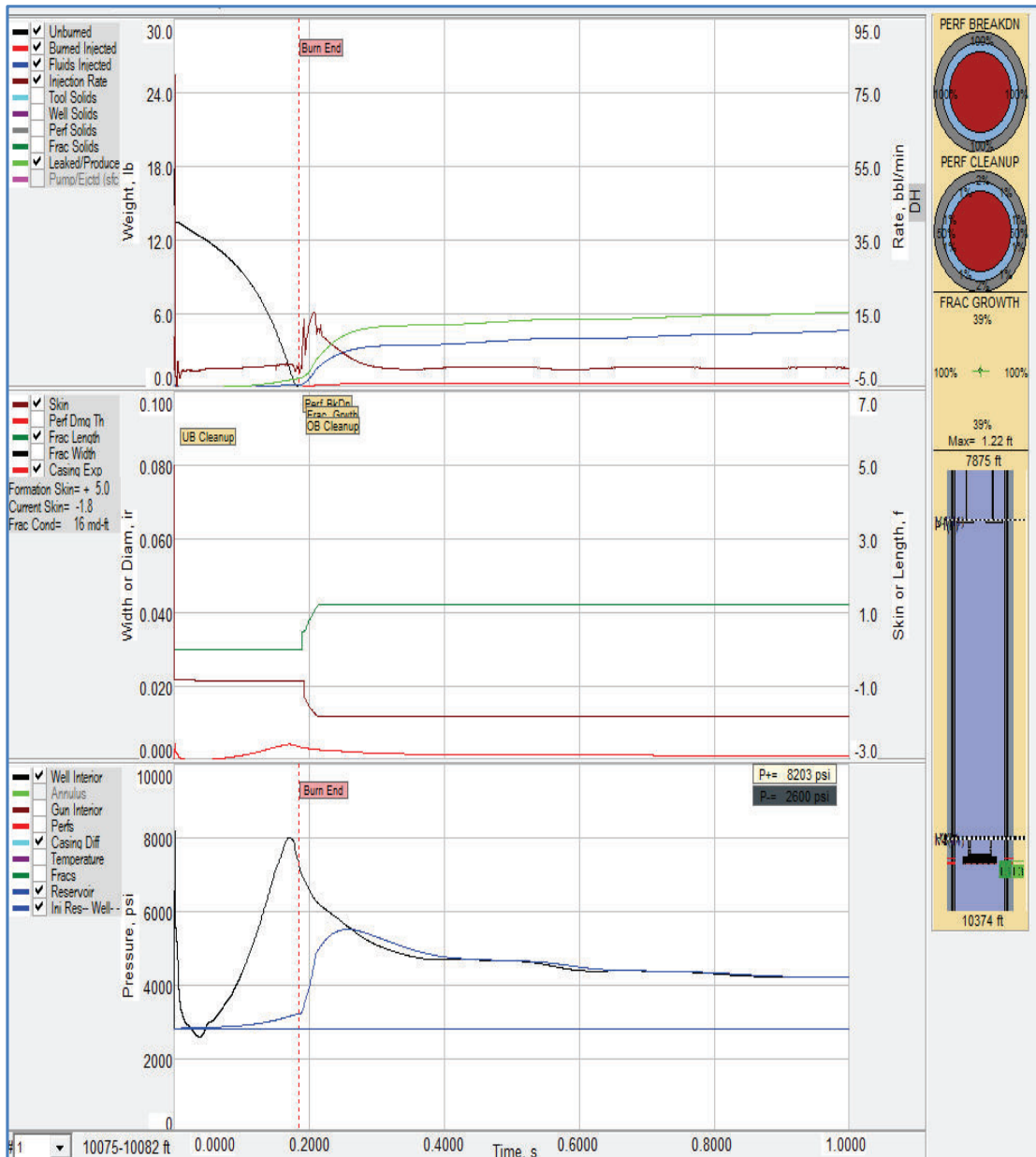


Fuente: Petroamazonas Ep.

3.3.5.1.1 Simulación del diseño de Propelente con el software PulsFrac Pozo YNNA-004 Arena “U inferior”

La figura 3.44 muestra la simulación con 3 pies de camisa de propelente para el intervalo de 10.075' – 10.082'. Se determinó la longitud máxima de fractura de 1,22 pies y un pico de presión de 8.203 psi.

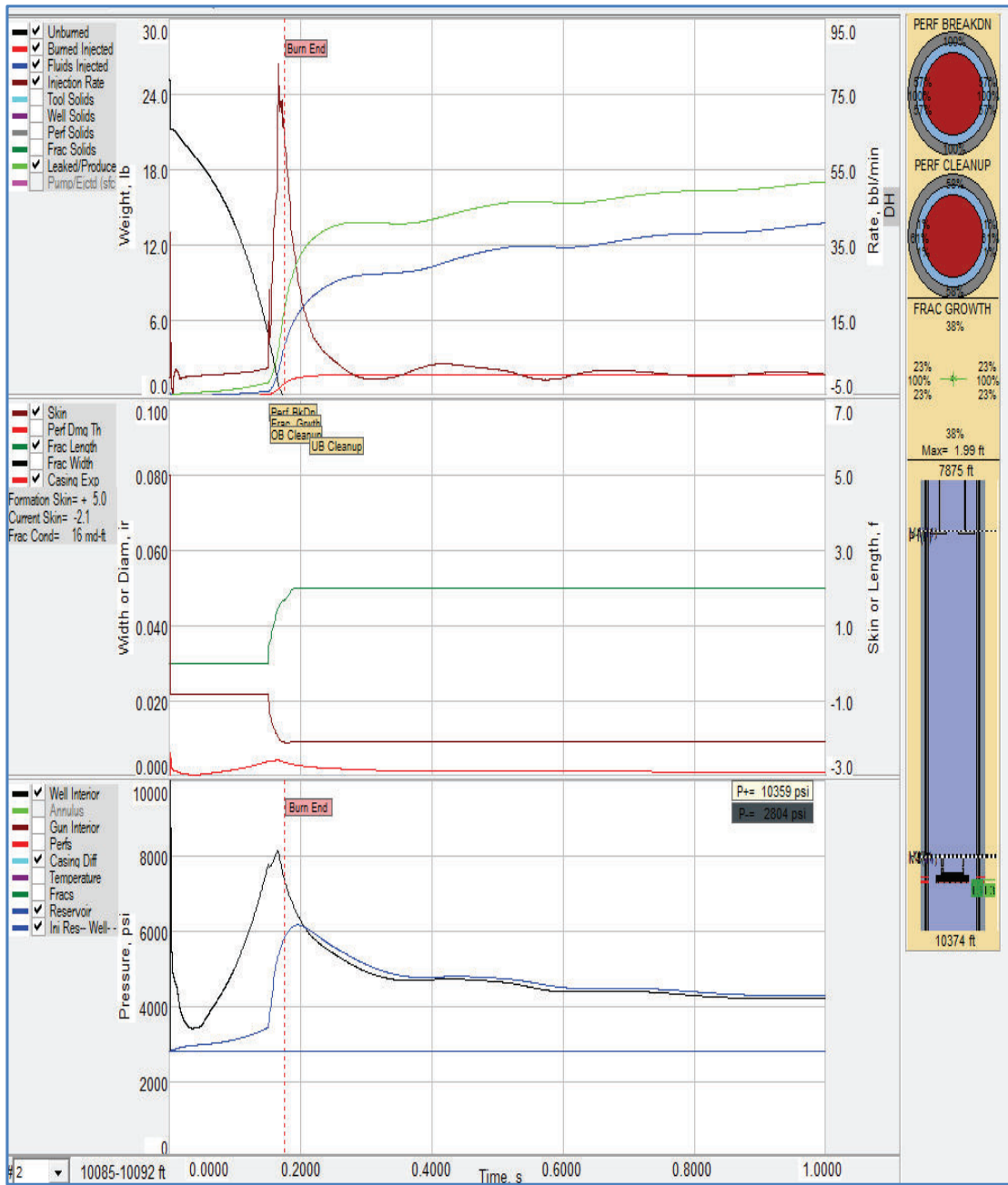
FIGURA 3. 44 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PULSFRAC PARA EL INTERVALO 1 DE LA ARENA U INFERIOR POZO YNNA-004



Fuente: Schlumberger.

La figura 3.45 muestra la simulación con el software PulsFrac con 6 pies de camisa de propelente para el intervalo: 10.085' – 10.095' en el primer intervalo de la Arena "U inferior", pozo YNNA-004. La simulación presentó una longitud máxima de fractura de 1,99 pies y un pico de presión generado por la quema de propelente de 10.359 psi.

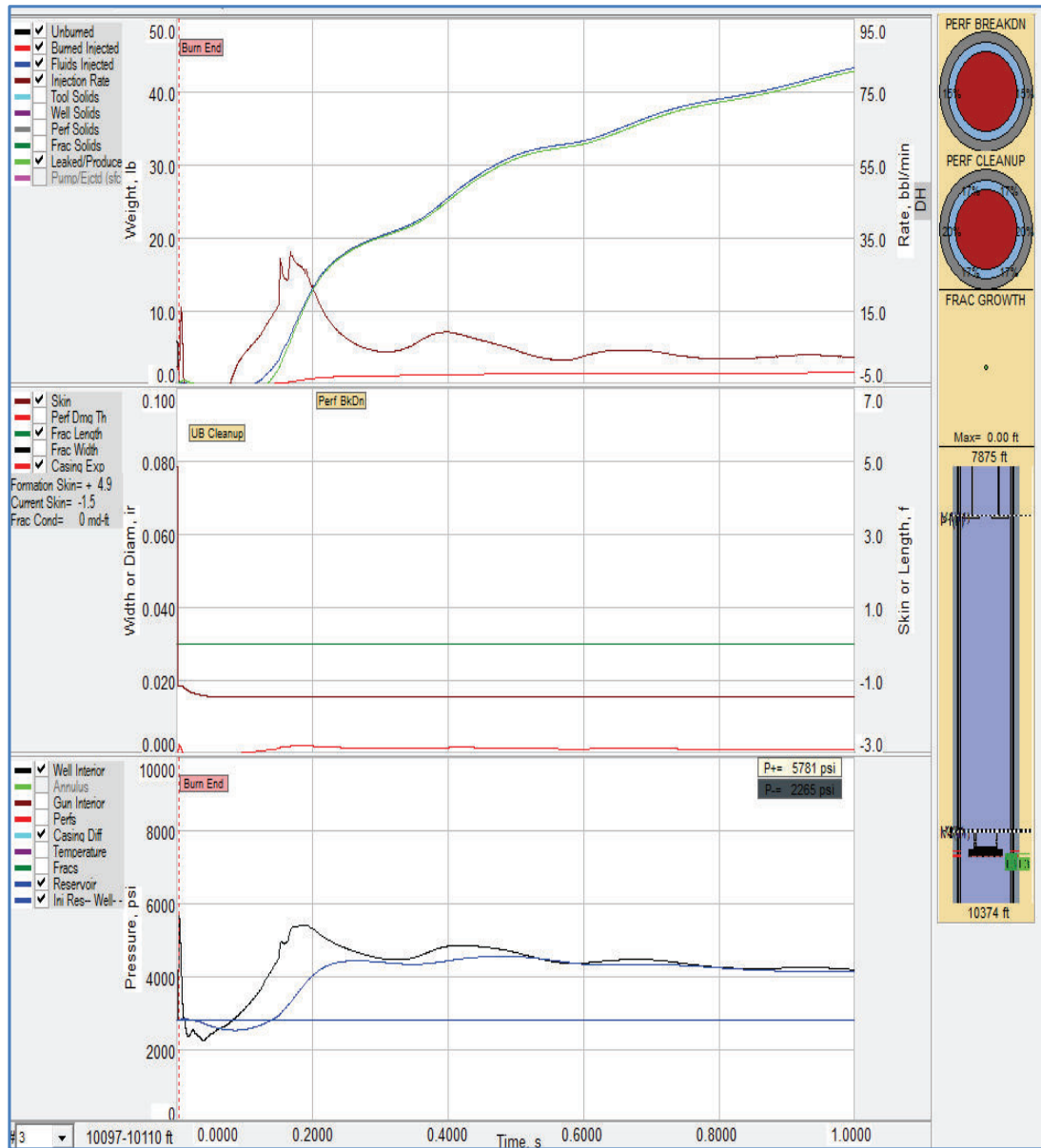
FIGURA 3. 45 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PULSFRAC PARA EL INTERVALO 2 DE LA ARENA U INFERIOR POZO YNNA-004



Fuente: Schlumberger.

La figura 3.46 muestra la simulación con el software PulsFrac sin propelente para el intervalo de 10.097' – 10.110' en el segundo intervalo de la Arena “U inferior” pozo YNNA-004. La simulación presenta un pico de presión de 5.781 psi.

FIGURA 3. 46 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PULSFRAC PARA EL INTERVALO 3 DE LA ARENA U INFERIOR POZO YNNA-004

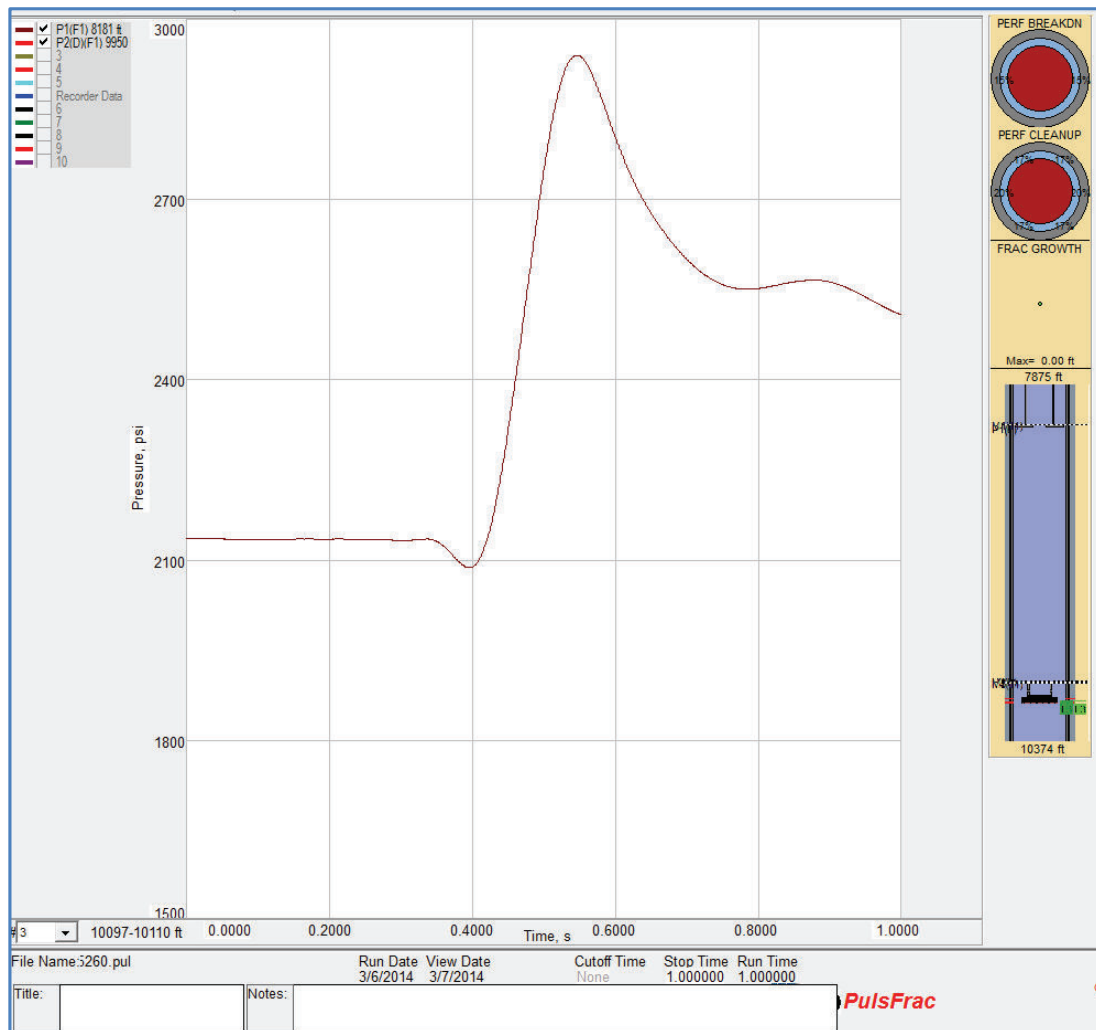


Fuente: Schlumberger.

En el diseño de este pozo la bomba electrosumergible se colocó a 8.170 pies, alrededor de 1.900 pies sobre el primer disparo, razón por la cual se simuló también la presión alrededor de la bomba

La figura 3.47 muestra que la máxima presión a la que estaría sometida la bomba al instante de los disparos es de 2.940 psi.

FIGURA 3. 47 MÁXIMA PRESIÓN ALREDEDOR DE LA BOMBA ESP PARA EL POZO YNNA-004



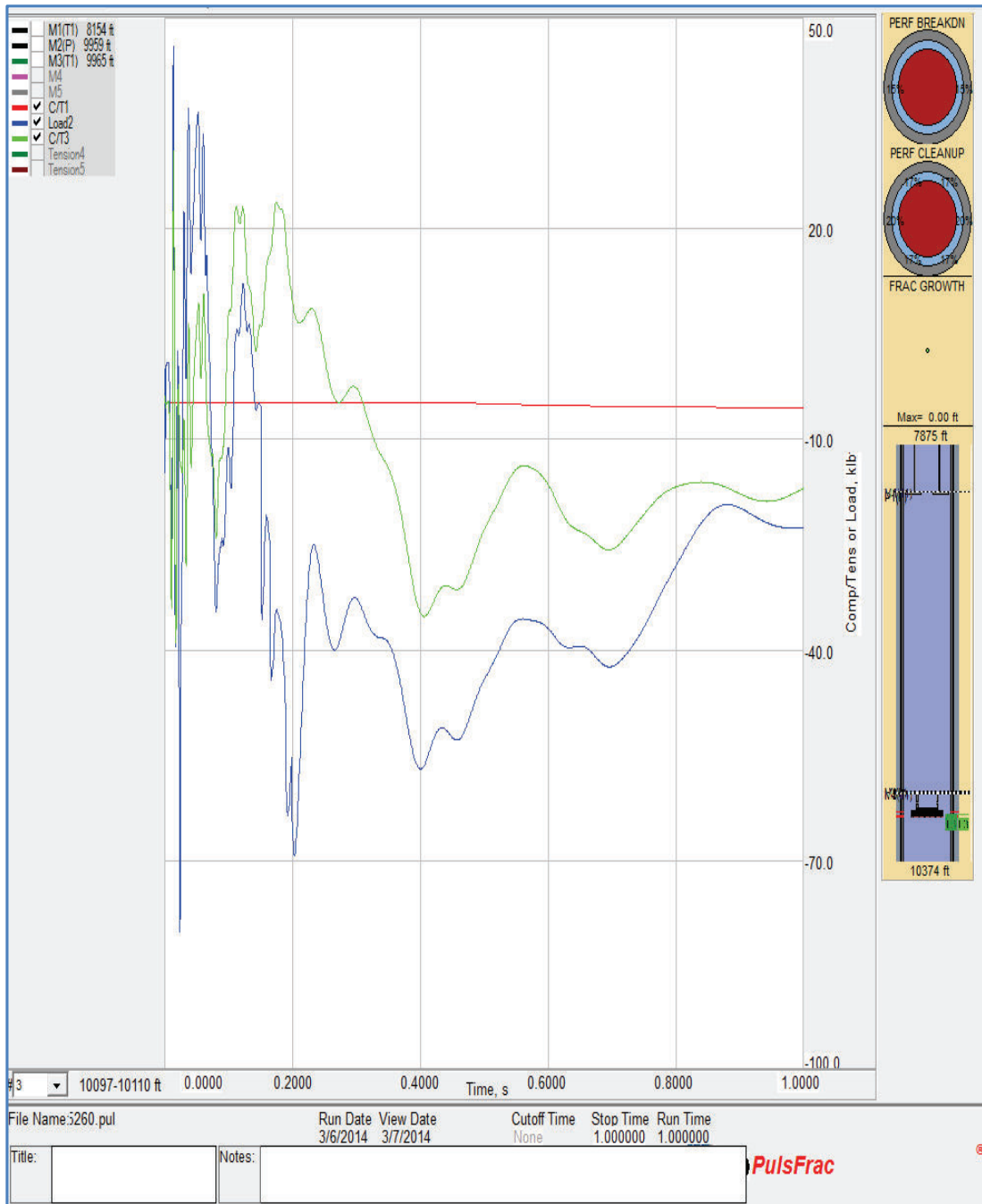
Fuente: Schlumberger.

La figura 3.48 muestra los cálculos de la Tensión/Comprensión que se produce al disparar con propelente como se muestra a continuación.

La línea azul muestra la tensión generada por la quema de propelente que soporta el packer, llegando a una tensión y compresión máxima de 46 y 80 klbs respectivamente.

La fuerza que se ejerce en la tubería bajo el packer, representada por la línea verde, muestra una tensión y compresión máxima de 31 y 39 klbs, respectivamente.

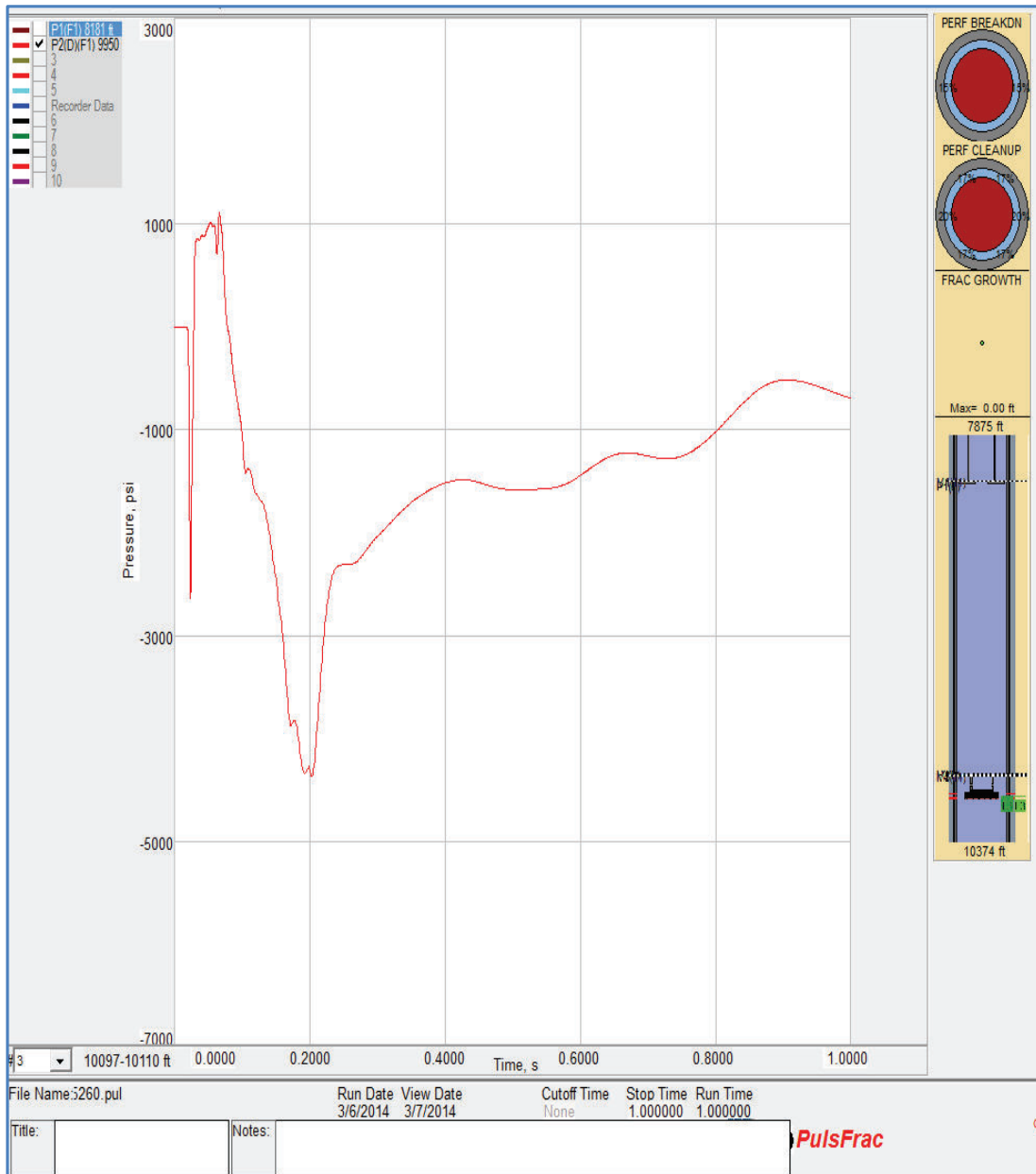
FIGURA 3. 48 TENSIÓN/COMPRESIÓN AL DISPARA CON PROPELENTE POZO YNNA-004



Fuente: Schlumberger.

La figura 3.49 muestra la presión diferencial alrededor del packer, llegando a un máximo de 4.400 psi.

FIGURA 3. 49 PRESIÓN DIFERENCIAL ALREDEDOR DEL PACKER POZO YNNA004



Fuente: Schlumberger.

3.3.5.1.2 Simulación del cañoneo con el Software SpanRock Pozo YNNA-004 Arena "U inferior".

La simulación para la arena "U inferior" se realizó con el sistema de cañones anclados Pure MaxR. A continuación se muestran los resultados para el primer intervalo (10075' – 10082') de cañoneo de la arena U inferior. Los resultados de la

simulación del cañoneo con el software SpanRock se muestran en la tabla 3.43 cuyo IPR estimado es 0,02 STB/día/psi lo que traducido a producción es 24,8 BFPD a una presión de fondo fluyente pwf=1.800psi.

TABLA 3. 43 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-004 (TOP ARENA “U INFERIOR”)

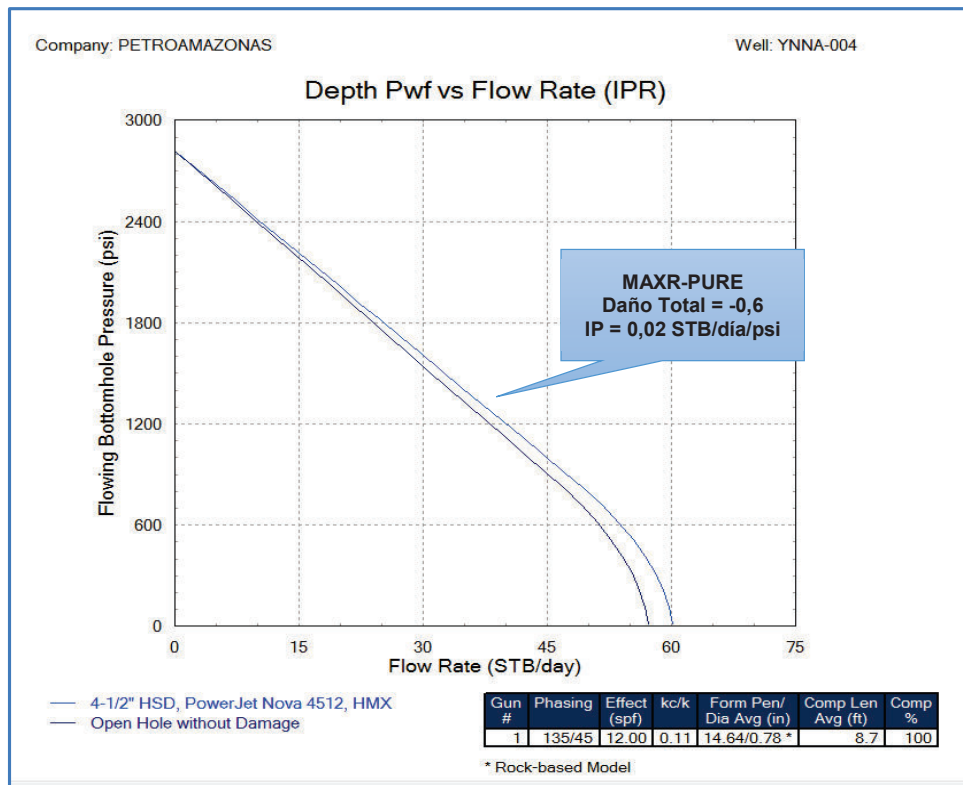
Perf #	Loaded Length (ft)	Phasing Angle (deg)	Shot Density /Open Perfs (spf/%)	Eff Shot Density (spf)	Crush Zone kc/k	Crush Zone (in)	Form Pen Avg (in)	Form Dia Avg (in)	EH Dia Avg (in)
1	7.0	135/45	12.00/100	12.00	0.11	0.50	14.67 *	0.75	0.38

Perf #	Perf Skin	Crush Zone Skin	PR	PI * (STB/day) (/psi)	Flow * Rate (STB/day)	UB (psi)	Behrmann UB (psi)
1	-0.32	0.47	1.10	0.02	24.8	-900	-3293

Fuente: Schlumberger.

La figura 3.50 muestra el IPR simulado con el software SPAN-rock, al pozo YNNA-004, arena “UI” intervalo 1

FIGURA 3. 50 IPR YNNA004 ARENA “UI” INTERVALO 1



Fuente: Schlumberger.

Modificado por: Alex Acaro/ Jimmy León

La tabla 3.44 muestra los resultados de la simulación para el cañoneo del segundo intervalo 10.085' – 10.095' cuyo IPR estimado es 0,06 STB/día/psi lo que traducido a producción es 58,2 BFPD a una presión de fondo fluyente $p_{wf}=1,800$ psi. .

TABLA 3. 44 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-004 (INTERVALO 2 ARENA "U INFERIOR")

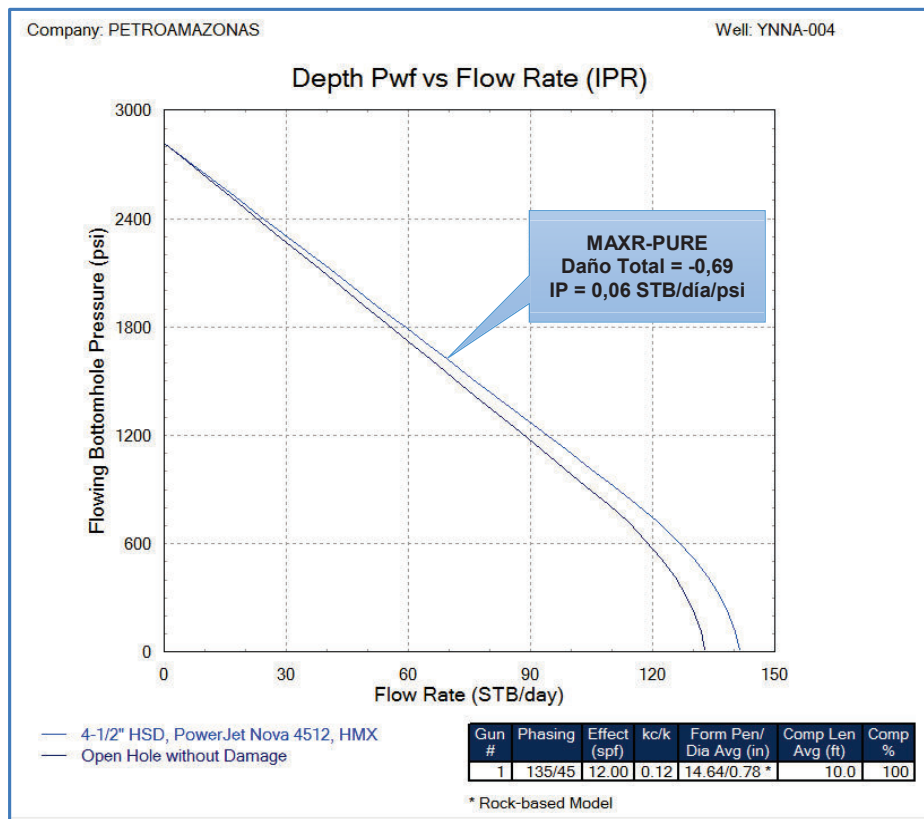
Perf #	Loaded Length (ft)	Phasing Angle (deg)	Shot Density /Open Perfs (spf/%)	Eff Shot Density (spf)	Crush Zone kc/k	Crush Zone (in)	Form Pen Avg (in)	Form Dia Avg (in)	EH Dia Avg (in)
1	10.0	135/45	12.00/100	12.00	0.12	0.50	14.67 *	0.75	0.38

Perf #	Perf Skin	Crush Zone Skin	PR	PI * (STB/day) (/psi)	Flow * Rate (STB/day)	UB (psi)	Behrmann UB (psi)
1	-0.40	0.43	1.12	0.06	58.2	-900	-2613

Fuente: Schlumberger.

La figura 3.51 muestra el IPR simulado con el software SPAN-rock, al pozo YNNA-004, arena "UI" intervalo 2

FIGURA 3. 51 IPR YNNA004 ARENA "UI" INTERVALO 2



Fuente: Schlumberger.

Modificado por: Alex Acaro/ Jimmy León

La tabla 3.45 muestra los resultados de la simulación para el cañoneo del último intervalo 10.097' – 10.110' cuyo IPR estimado es 0,28 STB/día/psi lo que traducido a producción representa 279,5 BFPD a una presión de fondo fluyente pwf=1.800psi.

TABLA 3. 45 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-004 (INTERVALO 3 ARENA “U INFERIOR”)

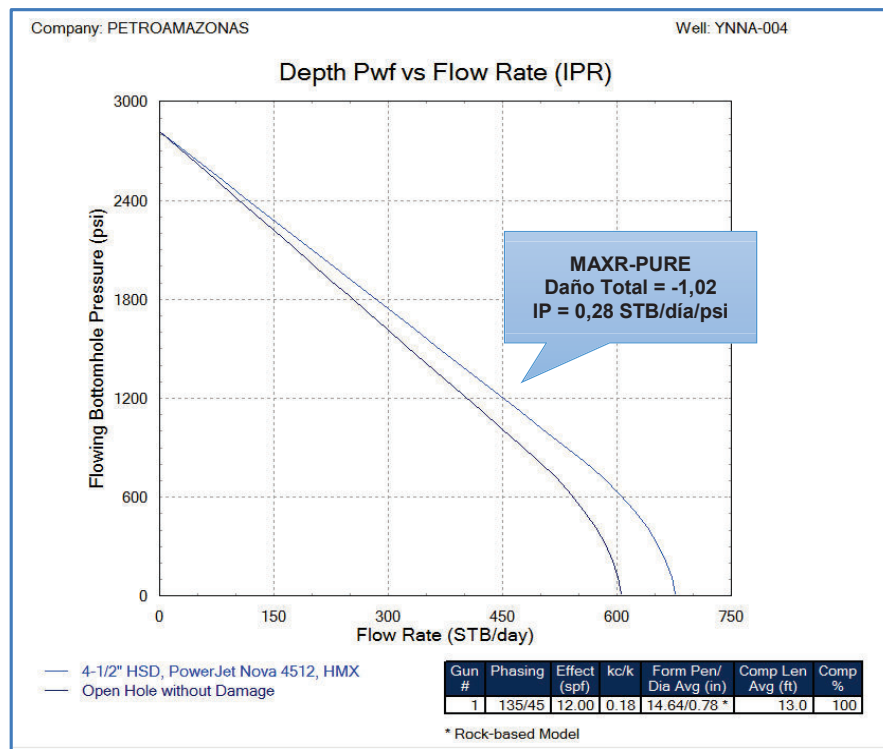
Perf #	Loaded Length (ft)	Phasing Angle (deg)	Shot Density /Open Perfs (spf/%)	Eff Shot Density (spf)	Crush Zone kc/k	Crush Zone (in)	Form Pen Avg (in)	Form Dia Avg (in)	EH Dia Avg (in)
1	13.0	135/45	12.00/100	12.00	0.18	0.50	14.67 *	0.75	0.38

Perf #	Perf Skin	Crush Zone Skin	PR	PI * (STB/day) (/psi)	Flow * Rate (STB/day)	UB (psi)	Behrmann UB (psi)
1	-0.69	0.26	1.18	0.28	279.5	-900	-1510

Fuente: Schlumberger.

La figura 3.52 muestra el IPR simulado con el software SPAN-rock, al pozo YNNA-004, arena “UI” intervalo 3

FIGURA 3. 52 IPR YNNA004 ARENA “UI” INTERVALO 3



Fuente: Schlumberger.

Modificado por: Alex Acaro/ Jimmy León.

3.3.5.1.3 Producción después del cañoneo Pozo YNNA004

La tabla 3.46 muestra el reporte de producción del pozo YNNA04 en la cual se puede observar que una vez disparados los cañones con cargas Power Jet NOVA 4505 en la arena “U inferior”, un ensamblaje de completación con dos bombas electrosumergibles fue corrido en el pozo para ponerlo en producción, se observa en la tabla 3.46 que el rendimiento de la producción es un éxito ya que como se observa durante los dos primeros meses de producción se presenta un BSW=0% y además la producción de petróleo ha alcanzado lo esperado.

TABLA 3. 46 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNNA004- ARENA U INFERIOR

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
18-Mar-14	ARRANCA POZO CON 2 BOMBAS FLEX 10 (119 + 119 STG), MOTOR SERIE 562, 120 HP, 2125 VOLT, 34 AMP.						
18-Mar-14	UI	570	0	570	100,0	1.924	0,65
19-Mar-14	UI	600	300	300	50,0	1.748	0,57
20-Mar-14	UI	555	549	6	1,1	1.699	0,50
21-Mar-14	UI	560	560	0	0,0	1.690	0,50
22-Mar-14	UI	562	562	0	0,0	1.675	0,50
23-Mar-14	UI	554	554	0	0,0	1.672	0,49
24-Mar-14	UI	550	550	0	0,0	1.684	0,49
26-Mar-14	UI	540	540	0	0,0	1.701	0,49
27-Mar-14	UI	480	480	0	0,0	1.735	0,45
1-Apr-14	UI	395	395	0	0,0	1.735	0,37
4-Apr-14	UI	435	435	0	0,0	1.685	0,39
6-Apr-14	UI	460	460	0	0,0	1,678	0,41
11-Apr-14	UI	480	480	0	0,0	1.661	0,42
12-Apr-14	UI	475	461	14	2,9	1.656	0,42
1-May-14	UI	420	382	38	9,0	1.623	0,36
5-May-14	UI	419	335	84	20,0	1.598	0,35
10-May-14	UI	429	343	86	20,0	1.578	0,35
17-May-14	UI	451	338	113	25,1	1.595	0,37
2-Jun-14	UI	288	190	98	34,0	1.607	0,24
7-Jun-14	UI	286	189	97	33,9	1.624	0,24
10-Jun-14	UI	289	191	98	33,9	1.655	0,25
7-Jul-14	UI	275	165	110	40,0	1.571	0,22
1-Aug-14	UI	256	148	108	42,2	1.651	0,22
15-Aug-14	UI	238	138	100	42,0	1.665	0,21

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.5.1.4 Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA04 Arena U inferior

La tabla 3.47 muestra los datos de reservorio del pozo YNNA03 para la arena U inferior, los mismos que se utilizarán en el cálculo del índice de productividad con el objetivo de comparar con el índice de productividad real y determinar la eficiencia de la técnica de cañones anclados PURE MAXR.

La permeabilidad, el espesor y el daño están registrados, para los intervalos antes mencionados

TABLA 3. 47 DATOS DE RESERVORIO ARENA "UI"- POZO YNNA04

Parámetro		Arena "U inf"	Unidad
Presión promedio Reservorio	Pr	2.810	psi
Presión dinámica	Pwf	1.675	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	40 (Intervalo 1) 80 (Intervalo 2) 280 (Intervalo 3)	md
Espesor útil	h	7 (Intervalo 1) 8.1 (Intervalo 2) 10.5 (Intervalo 3)	Pies
Factor volumétrico del Petróleo	Bo	1,09	bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	11,92	Cp
Radio de drenaje	re	660	Pies
Radio del pozo	rw	0,35	pies
constante	x	0,75	
Daño Total	S'	-0,6 (Intervalo 1) -0,69 (Intervalo 2) -1,02 (Intervalo 3)	

Fuente: Petroamazonas Ep

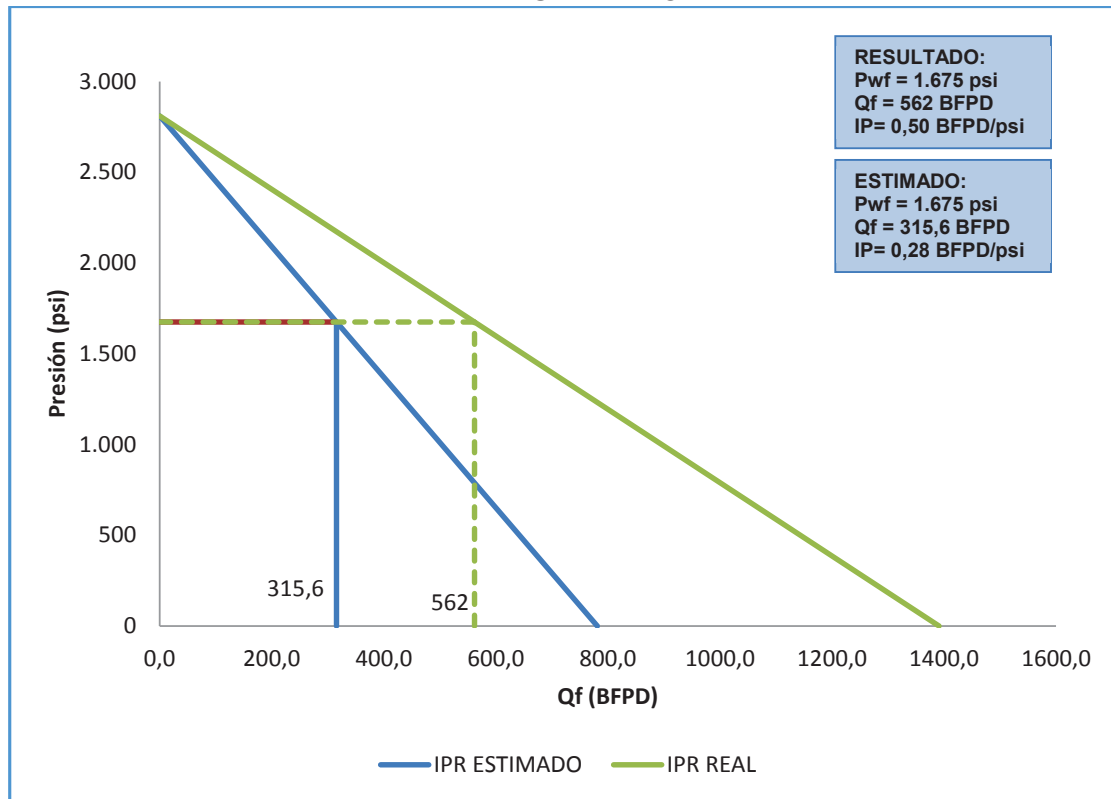
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

Para efectos de comparación se utilizó IP del intervalo 3, debido a que es el intervalo de mayor espesor y que más aporte tiene al pozo.

La tabla 3.48 y figura 3.53 muestran los resultados después del cañoneo con PURE-MAXR realizado al pozo YNNA004, obtenidos de la simulación con el software Span-Rock para el caudal estimado y del historial de producción para el caudal real del pozo.

Para la arena "U inferior" y a una presión de fondo fluyente $p_{wf}=1.675$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f= 315,16$ BFPD y un caudal real $Q_f = 562$ BFPD.

**FIGURA 3. 53 IPR ESTIMADO CON PURE MAXR PARA POZO YNNA-004
“ARENA U INFERIOR”**



Fuente: Schlumberger

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

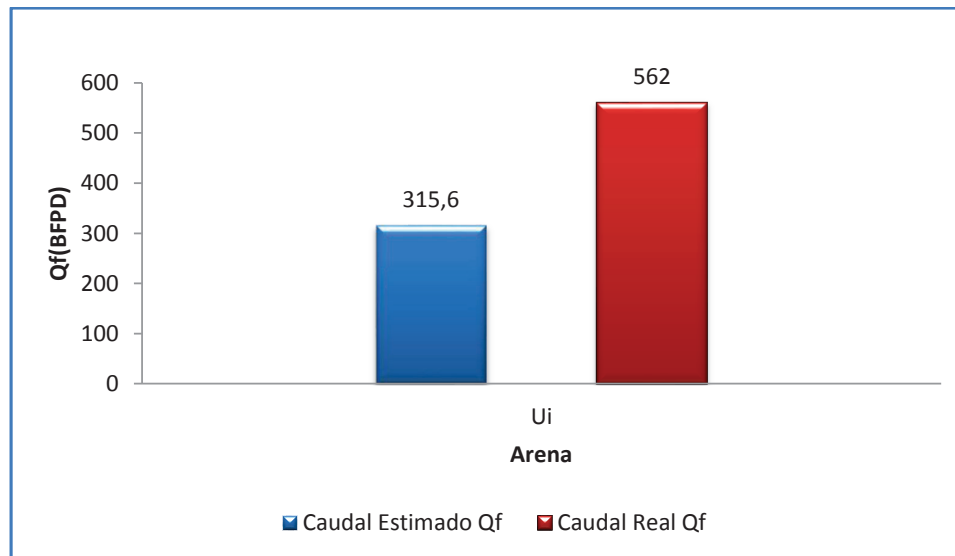
TABLA 3. 48 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNNA-004

Pozo	Arena	Técnica de Cañoneo	Pwf (psi)	IPR Estimado BFPD/psi	Caudal Estimado BFPD	IPR Real BFPD/psi	Caudal Real BFPD
YNNA-004	Ui	PURE MAXR	1.675	0,28	315,6	0,50	562

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La figura 3.54 muestra que el disparo con Pure MaxR al pozo YNNA004 ha sido un éxito que se obtuvo los resultados esperados con un caudal real mucho mayor al estimado.

FIGURA 3. 54 RESULTADOS CON PURE MAXR POZO YNNA004

Fuente: Petroamazonas Ep.

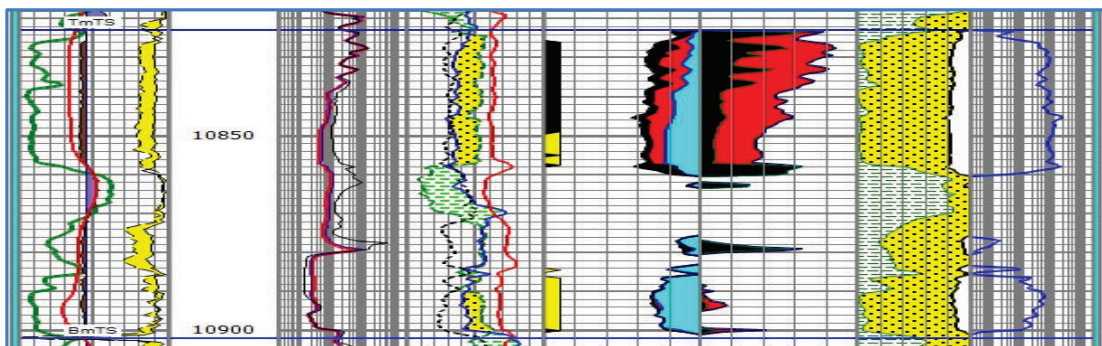
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

3.3.5.2 Pozo YNNA-005 (Arena “TP”)

En el pozo YNNA005 se disparó la arena “T principal” con el Sistema PURE TCP. El diseño del cañoneo se realizó con cañones 4-1/2" PURE cargados con PowerJet Nova 4505, HMX a 5 DDP y 72° fase. El intervalo disparado a “TP” es el siguiente

- Tp:10.826' – 10.833' (PURE) PJ NOVA 4505@ 5SPF

La figura 3.55 muestra el registro petrofísico de la arena “T principal” del pozo YNNA-005.

FIGURA 3. 55 ARENA T PRINCIPAL POZO YNNA-005

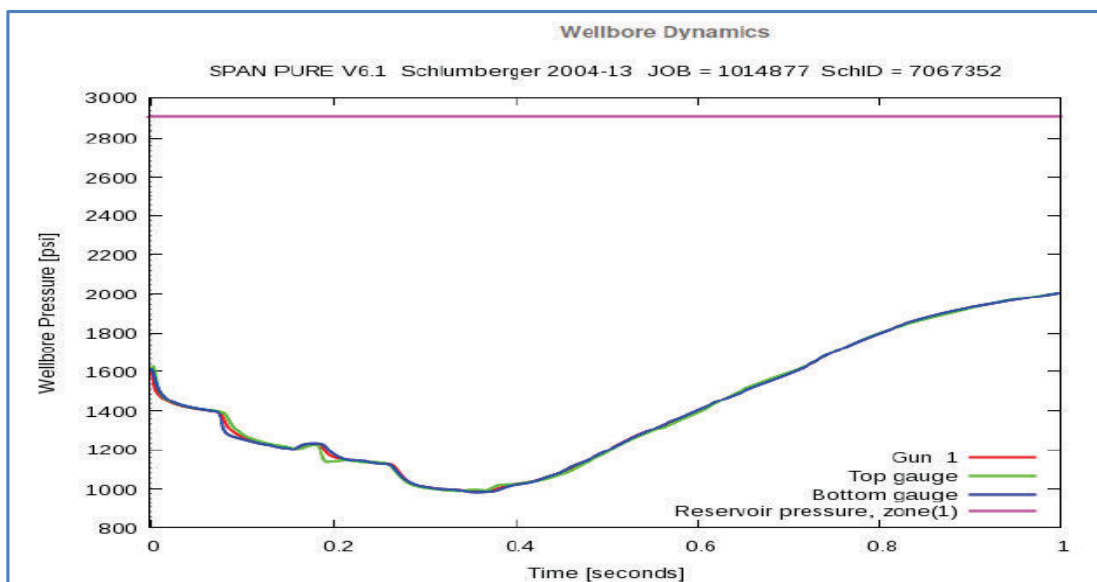
Fuente: Petroamazonas EP

En el Anexo 08 se encuentra adjunto el diagrama mecánico, Gun diagram sheet y el diagrama completo del cañoneo del pozo YNNA-005 “Arena Ui y Tp”.

3.3.5.2.1 Simulación con el software Span mediante el sistema Pure para el diseño del cañoneo Pozo YNNA-005 Arena “Tp”

La figura 3.56 muestra la simulación con el software Pure en el que se observa el comportamiento de la presión en el pozo.

FIGURA 3. 56 SIMULACIÓN CON EL SOFTWARE PURE PARA EL POZO YNNA-005 ARENA TP



Fuente: Schlumberger

La tabla 3.49 muestra los resultados de la simulación del cañoneo en la arena TP con el software SpanRock.

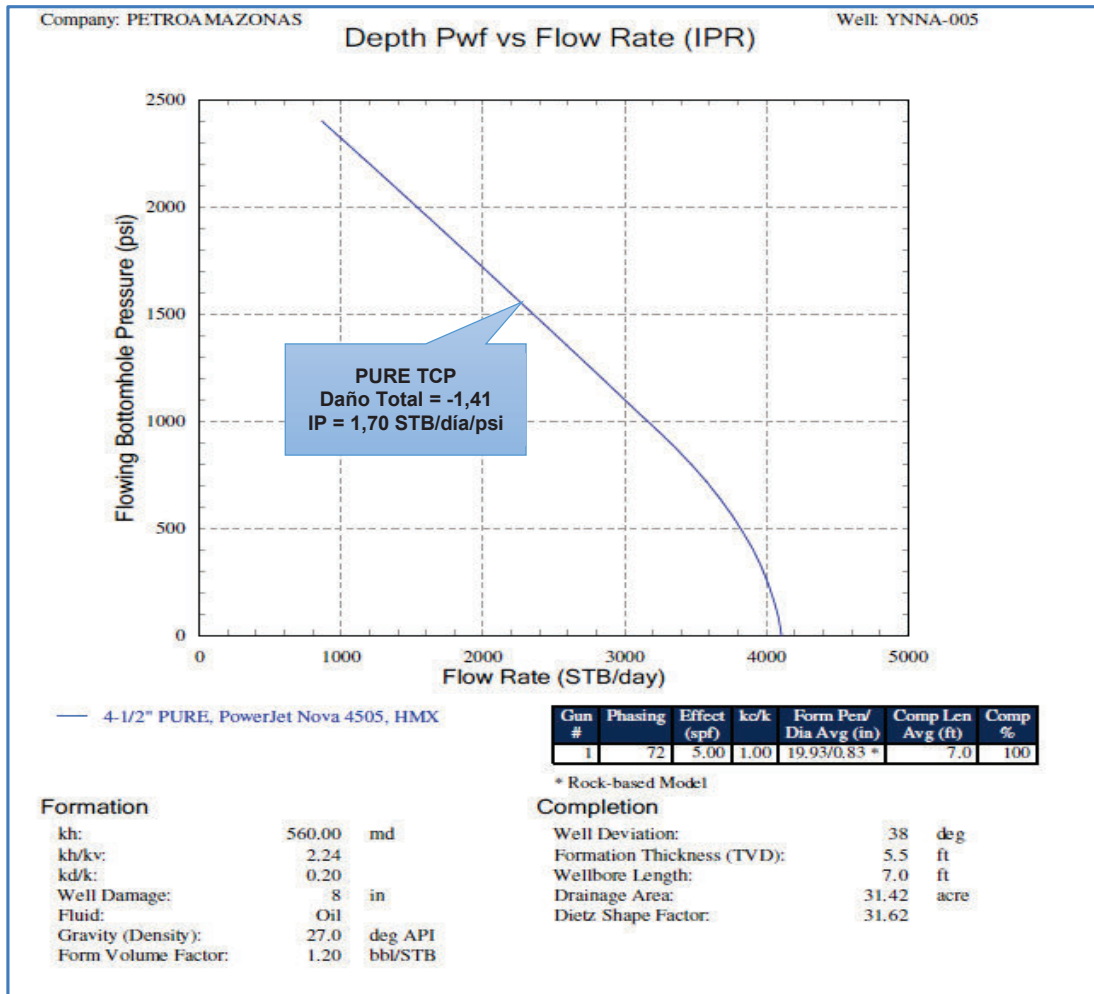
TABLA 3. 49 RESULTADOS DEL CAÑONEO Y SIMULACIÓN CON SPANROCK EN EL POZO YNNA-005 (ARENA “TP”)

Perf #	Loaded Length (ft)	Phasing Angle (deg)	Shot Density /Open Perfs (spf/%)	Eff Shot Density (spf)	PURE Density (spf)	Crush Zone kc/k	Crush Zone (in)	Form Pen Avg (in)	Form Dia Avg (in)	EH Dia Avg (in)
1	7.0	72	5.00/100	5.00	0.00	1.00	0.50	19.93 *	0.83	0.41
Perf #	Perf Skin	Crush Zone Skin	PR	PI * (STB/day) (/psi)	Flow * Rate (STB/day)	UB (psi)	Behrmann UB (psi)			
1	-1.19	0.00	1.28	1.70	865.9	PURE	n/a			

Fuente: Schlumberger

La figura 3.54 muestra el IPR estimado con el software SPANROCK.

FIGURA 3. 57 IPR SIMULADO CON SPANROCK POZO YNNA005 –ARENA T PRINCIPAL



Fuente: Well Testing Services, Schlumberger

Modificado por: Alex Acaro/ Jimmy León

3.3.5.2.2 Producción después del cañoneo Pozo YNNA005

La tabla 3.50 muestra el reporte de producción del pozo YNNA005 en la cual se puede observar que, una vez disparados los cañones con cargas Power Jet NOVA 4505 en la arena "TP", un ensamblaje de completación con dos bombas ESP fue corrido en el pozo para ponerlo en producción. La tabla 3.50 muestra que el rendimiento de la producción es un éxito ya que al cambiar de la arena Ui a la arena Tp se obtuvo los resultados esperados con un incremento de índice de productividad de 0,27 a 0,66 STB/día/psi.

TABLA 3. 50 HISTORIAL DE PRODUCCIÓN DEL POZO YNNA005

Fecha	Arena	Fluido (Bls)	Petróleo o (Bls)	Agua (Bls)	BS&W	PWF (psi)	IP (STB/día/psi)
16-ene-15	CAMBIO DE ARENA DE "UI" A "TP"						
20-ene-15	TP	440	321	119	27,0	2.099	0,66
21-ene-15	TP	495	346	149	30,1	2.074	0,71
22-ene-15	TP	505	343	162	32,1	2.068	0,72
23-ene-15	TP	452	280	172	38,1	2.073	0,65
25-ene-15	TP	480	288	192	40,0	2.081	0,70
26-ene-15	TP	476	286	190	39,9	2.087	0,70
27-ene-15	TP	474	284	190	40,1	2.087	0,69
30-ene-15	TP	441	265	176	39,9	2.087	0,65
31-ene-15	TP	448	269	179	40,0	2.112	0,68
01-feb-15	TP	424	254	170	40,1	2.112	0,64
02-feb-15	TP	425	255	170	40,0	2.121	0,65
03-feb-15	TP	417	250	167	40,0	2.123	0,64

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.3.5.2.3 Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA-005

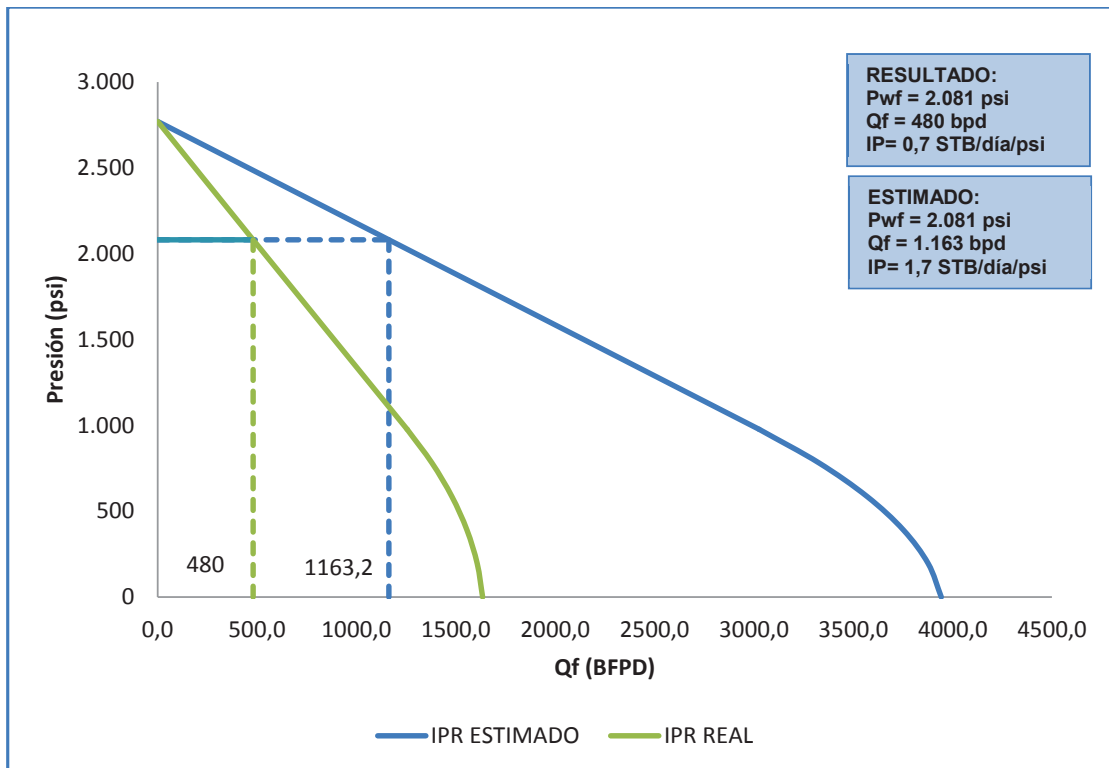
En la figura 3.55 se presenta el IPR simulado con el software WEM del pozo YNNA-005 Arena "TP".

TABLA 3. 51 DATOS PARA EL CÁLCULO DEL IPR DE LA ARENA "T PRINCIPAL"

DATOS			
Presión promedio Reservorio	Pr	2.770	psi
Presión dinámica	Pwf	2.081	psi
Permeabilidad al petróleo	Ko	560	md
Espesor útil	h	5,5	pies
Factor volumétrico del Petróleo	Bo	1,2	bls/STB
Viscosidad del petróleo	μ_o	2	cp
Radio de drenaje	re	660	pies
Radio del pozo	rw	0,35	pies
Daño Total	S	-1,41	
Presión de Burbuja	Pb	977	psi

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

FIGURA 3. 58 IPR ESTIMADO PARA LA “ARENA TP” POZO YNNA-005

Fuente: Departamento de Reservorios, Petroamazonas Ep.
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

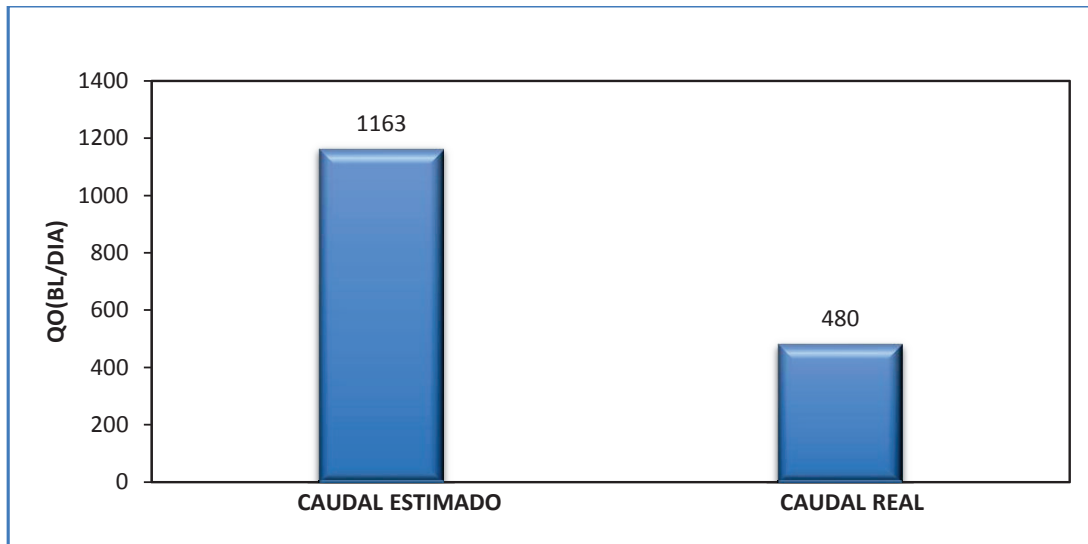
La tabla 3.52 y figura 3.58 muestran los resultados después del cañoneo con TCP PURE realizado al pozo YNNA005 obtenidos de la simulación con el software WEM para el caudal estimado y del historial de producción para el caudal real del pozo.

Para la arena “TP” y a una presión de fondo fluente $p_{wf}=2081$ psi se muestra un caudal estimado $Q_f=1163$ BFPD y un caudal real $Q_f = 480$ BFPD.

TABLA 3. 52 RESULTADOS DESPUES DEL CAÑONEO EN EL POZO YNNA-005

Pozo	Arena	Técnica de Cañoneo	Pwf (psi)	IPR Estimado STB/día/psi	Caudal Estimado BFPD	IPR Real STB/día/psi	Caudal Real BFPD
YNNA005	TP	TCP PURE	2.081	1,7	1.163	0,7	480

Fuente: Petroamazonas Ep.
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

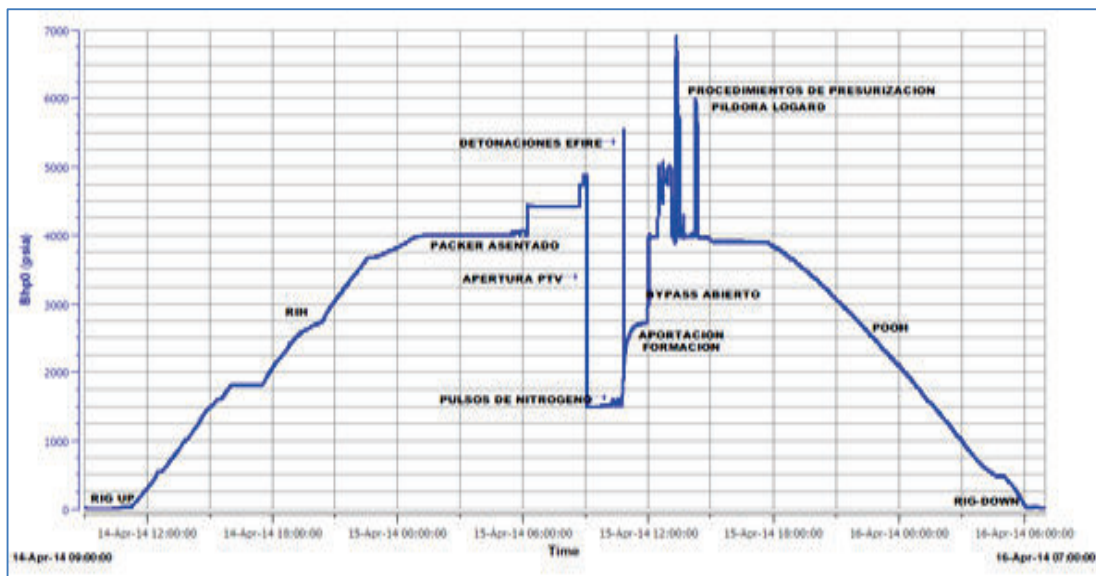
FIGURA 3. 59 RESULTADOS CON TCP PURE POZO YNNA005

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

3.3.5.2.4 Resultados después del cañoneo en el pozo YNNA-005

La figura 3.57 muestra el perfil de presión del pozo YNNA-005 obtenidos del sensor fastgauge, cuyos eventos del comportamiento de la presión se muestran a continuación.

FIGURA 3. 60 DATOS DE PRESIÓN DEL POZO YNNA 005

Fuente: Schlumberger

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

3.4 RESUMEN DE RESULTADOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA

TABLA 3. 53 RESULTADOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA

Pozo	Aréna	h(ft)	k(md)	Opción disparo	Nombre Carga	SPF	Fase (Grados)	Gun Position	Zona de debris (in)	Área de Flujo (in ² /ft)	Técnica	Condición del Pozo	Presión (psi)	IP Estimado (STR/día/p)	Estimado (BFPD)	IP Real (STR/día/p)	Qf Real (BFPD)	Daño (s)
YNEA08	TP	10	154	1	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0.48	TCP CONVENCIONAL	SB	0	0,77	691,6	1,39	1272	2,24
YNEA027	Ui	24	320	1	4-5/8" MAXFORCE 390	5	60	C	0.5	0,48	TCP CONVENCIONAL	UB	-2000	0,41				
				2	4-5/8" MAXFORCE 390	5	60	C	0.5	0,48	STIMGUN	DOB	-2000	0,45	573	0,46	586	0,91
YNEA005	TP	22	204	1	4-5/8" MAX FORCE 390	5	60	C	0.5	0,48	TCP CONVENCIONAL	UB	-2000	0,24				
				2	4-5/8" MAX FORCE 390	5	60	C	0.5	0,48	STIMGUN	DOB	-2000	0,27	515,3	0,40	756	0,53
YNEA004	Ui	12	400	1	4-1/2" HSD, PowerJet Nova 4505, HMX	5	72	EC	0.5	0,67	TCP+Propelente	DUB	-1300	0,35	365,1	0,43	449	-1,48
YNEA029	Um	27	149	1	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	TCP CONVENCIONAL	UB	-1000	0,39				
				2	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	TCP STIMPRO	UB	-1000	0,48	953,4	0,14	282	-0,10
YNEA26	Ts	6	76	1	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	TCP STIMPRO	EOBY DUB	-1100	0,10	259	0,19	484	-0,09
				1	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	WL STIMPRO	EOBY DUB	-1000	0,29	430	0,30	442	-0,05
YNEC09	Hs	18	550	1	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	TCP SURGEPRO	DUB	-1500	1,87	2790	3,02	4490	1,04
				2	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	WL SURGEPRO	OB	800	14,9				
YNEA 003	TP	12	358	1	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	TCP SURGEPRO	UB	-1500	2,03	2501	0,45	500	3,11
				2	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	TCP SURGEPRO	UB	-1500	0,63				
				3	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	EC	0.5	0,48	WL SURGEPRO	OB	1500	0,97				

Continuación tabla 3.53

	Uj	18	500	1	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	C	0.5	0,48	TCP SURGEPRO	DUB	-1500	0,52	508	0,34	328	1,46
				2	4-5/8" MAXFORCE 390	5	72	EC	0.5	0,48	WL SURGEPRO	OB	1500	0,32				
YNNA004		7	40	1	4-1/2" HSD, PowerJet Nova 4512, HMX	12	135 /45	C	0.47	1,33	MAXR PURE (PROPELENTE)	DUB	-900	0,02	24,8	0,5	562	-1,02
	Uj	10	80	1	4-1/2" HSD, PowerJet Nova 4512, HMX	12	135 /54	C	0.43	1,33	MAXR PURE (PROPELENTE)	DUB	-900	0,06	58,2	0,5		
		3	280	1	4-1/2" HSD, PowerJet Nova 4512, HMX	12	135 /45	C	0.5	1,33	MAXR PURE SIN (PROPELENTE)	DUB	-900	0,28	279,5	0,7	480	-1,41
YNNA005	Tp	7	560	1	4-1/2" PURE, PowerJet Nova 4505, HMX	5	72	EC	0.5	0,67	TCP PURE	DUB	-1919	1,7	1163	0,7	480	-1,41

Fuente: Petroamazonas Ep.
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La tabla 3.53 muestra en resumen los resultados del análisis de los diez pozos seleccionados, la tabla describe las diferentes opciones de cañoneo que se tomaron para cada pozo y arena respectivamente, además se puede observar los resultados obtenidos del cañoneo.

Los resultados mostrados en la siguiente tabla permiten estimar que las mejores opciones de cañoneo para el Complejo Yanaquincha son mediante cañones anclados o con Wireline mas un desbalance dinámico, este análisis se complementa en el capítulo cuatro mediante una comparación de todas las técnicas empleadas a las diferentes arenas cuyos resultados de eficiencia permitirán estimar las mejores alternativas de cañoneo.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS TÉCNICO PARA DETERMINAR LA MEJOR ALTERNATIVA DE CAÑONEO PARA POZOS NUEVOS DEL COMPLEJO YANAQUINCHA.

Con el objetivo de realizar el análisis técnico para determinar la mejor alternativa de cañoneo para el punzonamiento de nuevos pozos del Complejo Yanaquincha se ha resumido todos los eventos de disparo con las diferentes técnicas de cañoneo.

4.1 ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ARENA U INFERIOR

La tabla 4.1 muestra los eventos de disparo realizados en la arena UI, así como también el IP y la PR que servirán como indicativos de la eficiencia de cada tecnología de disparo.

TABLA 4. 1 DISPAROS REALIZADOS A LA ARENA U INFERIOR

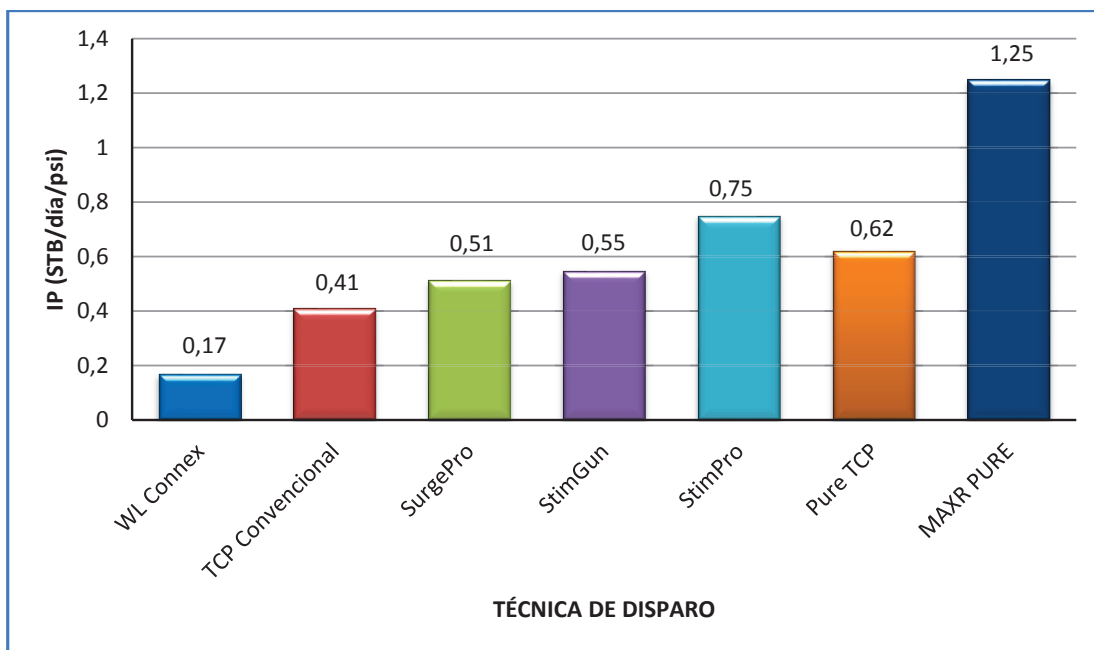
Formación	Técnica de disparo	Pozo	RIH	Permeabilidad K(md)	Presión de Reservorio (psi)	Daño por disparo(SD)	IP(STB/día/psi)	Relación de Productividad PR	Relación de Productividad Promedio PR
ARENA U INFERIOR	WL	YNOA002	WL Connex	135	3.049	6,096	0,17	0,58	0,58
	TCP Convencional	YNEA27	TCP	320	3.065	2,52	0,41	0,77	0,77
	StimGun	YNEA08	TCP	255	3.058	3,03	0,32	0,73	0,80
		YNEA27	TCP	320	3.065	1,35	0,55	0,86	
	StimPro	YNEA26	WL	216	3.042	0,154	0,29	0,98	0,97
		YNEB023	WL	368	2.900	0,346	0,27	0,96	
		YNOB19	WL	311	2.930	0,222	0,75	0,97	
	SurgePro	YNOA002	WL	135	3.054	2,217	0,20	0,79	0,78
		YNNA03	TCP	500	2.910	2,463	0,51	0,77	
	Pure TCP	YNNA-005	TCP	400	2.770	0,32	0,62	0,96	0,96
		YNEA-029	TCP	33	3.050	0,45	0,15	0,95	
	MAXR PURE	YNNA004	Cañones anclados	280	2.805	-0,32	1,25	1,04	1,03
		YNEA030	Cañones anclados	292	3.045	-0,28	0,94	1,03	
		YNNA-007	Cañones anclados	360	2.710	-0,12	0,79	1,02	
YNNA-008		Cañones anclados	420	2.660	-0,13	0,83	1,02		
YNNA-010		Cañones anclados	440	2.630	-0,22	0,86	1,03		

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León

4.1.1 ANÁLISIS A PARTIR DEL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (IP)

La figura 4.1 muestra el índice de productividad obtenido después del cañoneo a la arena “U inferior” con las diferentes técnicas de disparo, para la representación de la figura 4.1 se escogió el mejor escenario de disparo de la tabla 4.1 realizado por cada técnica a la arena U inferior con el objetivo de mostrar la eficiencia de cada técnica en términos del índice de productividad.

FIGURA 4. 1 IP OBTENIDO DESPUES DEL CAÑONEO A LA ARENA U INFERIOR “COMPLEJO YANAQUINCHA”



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

4.1.2 ANÁLISIS A PARTIR DE LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD (PR)

4.1.2.1 Relación de Productividad (PR)

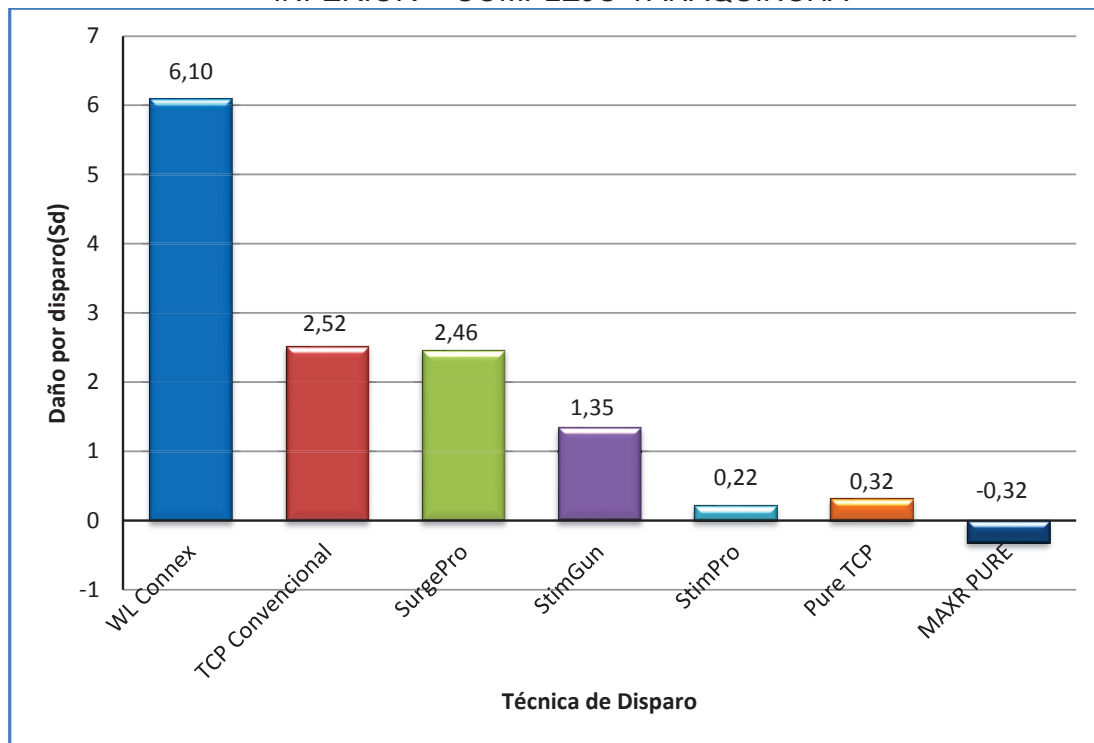
La relación de productividad es un parámetro de referencia usada para evaluar la eficiencia de los disparos. La PR es la relación del índice de productividad actual sobre el índice de productividad de una completación de hueco abierto sin daño en un reservorio con la misma geometría y propiedades.

La fórmula para determinar la PR se muestra a continuación:

$$PR = \frac{\ln \frac{r_e}{r_w}}{\ln \frac{r_e}{r_w} + SD} \quad (4.1)$$

Con el propósito de hacer un análisis completo de la eficiencia de las técnicas de disparo utilizadas en la arena “U inferior” del Complejo Yanaquincha, la figura 4.2 y 4.3 muestra la eficiencia de las técnicas de disparo en términos de la Relación de Productividad PR y del daño causado por el disparo, para lo cual se calculó el PR con la fórmula 4.1 para cada pozo y con el objetivo de estimar el PR más aproximado para cada técnica se determinó un promedio de los PR de todos los pozos de cada técnica.

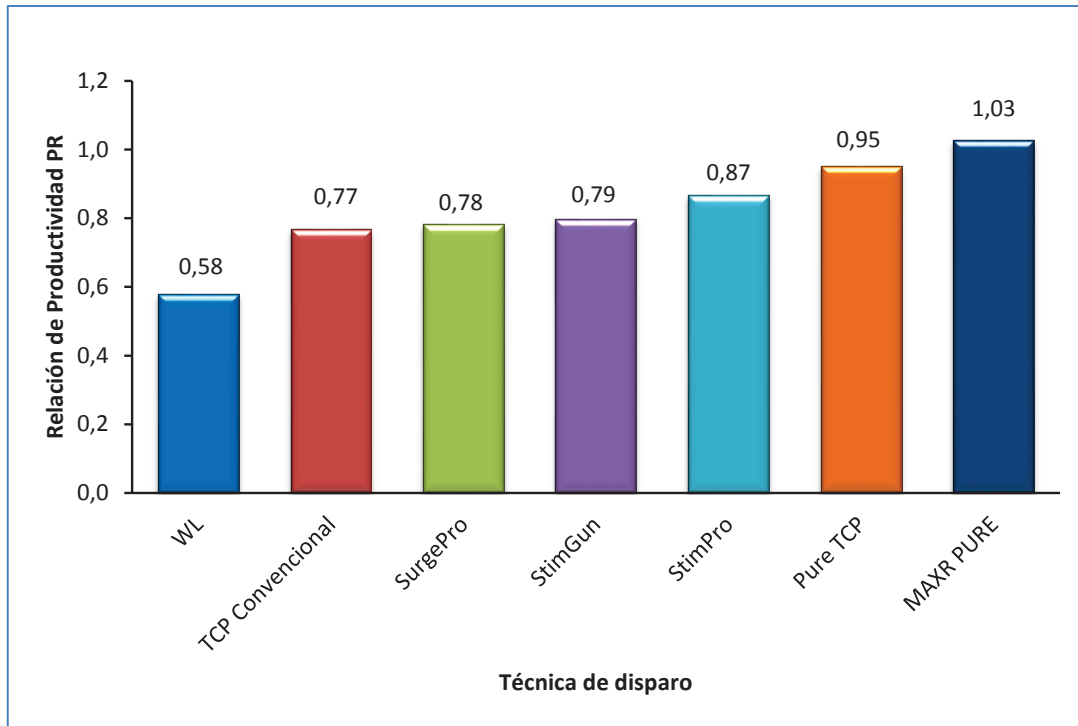
FIGURA 4. 2 DAÑO POR CAÑONEO VS TÉCNICA DE DISPARO ARENA “U INFERIOR” - COMPLEJO YANAQUINCHA



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La figura 4.3 muestra la relación de productividad PR determinada para cada técnica de disparo aplicada a la arena U inferior del Complejo Yanaquincha.

FIGURA 4. 3 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD VS TÉCNICA DE DISPARO

Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

Las figuras 4.1 y 4.2 y 4.3 muestran que la técnica con mayor eficiencia tanto en términos de daño de formación por disparos, índice de productividad y relación de productividad PR es la técnica de cañones anclados Max-R, otra técnica que si se correlaciona en la graficas anteriores que también tiene una eficiencia aceptable en el cañoneo a la arena “U inferior” es la técnica StimPro.

4.2 ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ARENA U MEDIA

La tabla 4.2 muestra los eventos de disparo realizados en la arena U media, el daño causado a la formación con cada técnica de disparo, el índice de productividad obtenido con cada disparo y la relación de productividad que servirán como indicativos de la eficiencia de cada tecnología de disparo aplicada a la arena “U media”.

TABLA 4. 2 DISPAROS REALIZADOS A LA ARENA U MEDIA “COMPLEJO YANAQUINCHA”

Formación	Técnica de disparo	Pozo	RIH	Permeabilidad K(md)	Presión de Reservorio(psi)	Daño por disparo(SD)	IP(lb/psi/día)	PR
ARENA U MEDIA	WL Convencional	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	TCP Convencional	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	StimGun	YNOB23	WL	276	2.455	0,75	0,13	0,92
	StimPro	YNEA04	TCP	149	2.358	0,28	0,41	0,97
	SurgePro	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Pure TCP	YNEA-017	TCP	229	2.362	0,65	0,37	0,93
	MAXR PURE	YNN-006	cañones anclados	240	2.370	-0,55	0,89	1,07
	PerfStim	YNEA04 (recañoneo)	TCP	149	2.358	0,98	0,24	0,89

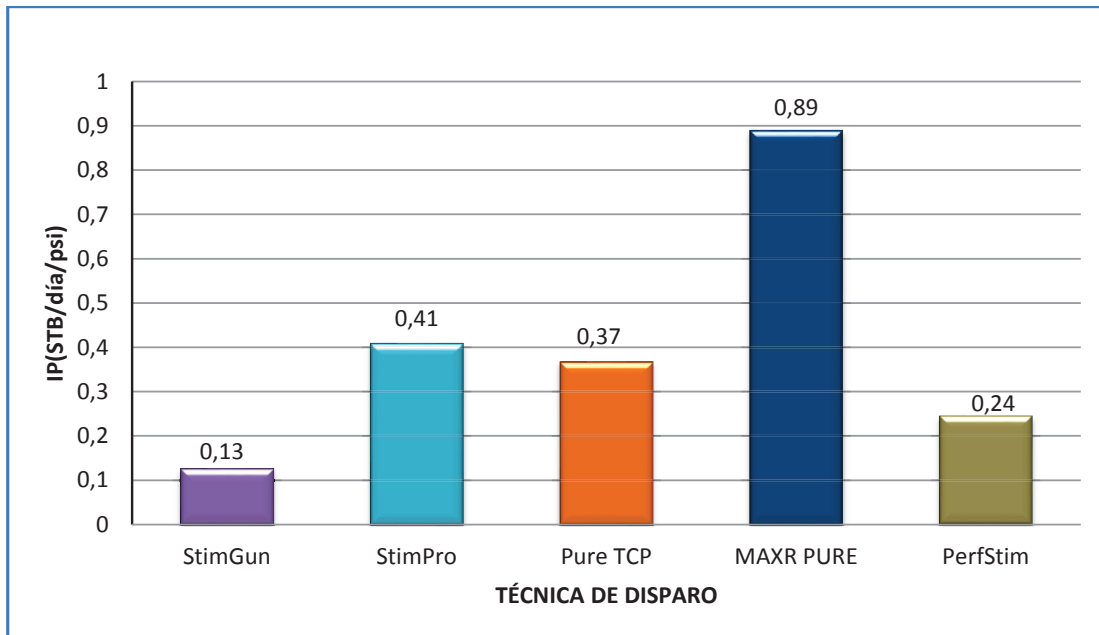
Fuente: Departamento de Reservorios, Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

4.2.1 ANÁLISIS A PARTIR DEL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (IP)

La figura 4.4 muestra el índice de productividad obtenido después del cañoneo a la arena “U media” con las diferentes técnicas de disparo, para la representación de la figura 4.4 de la misma forma que para la arena “U inferior” se escogió el mejor escenario de disparo de la tabla 4.2 realizado por cada técnica a la arena U media con el objetivo de mostrar la eficiencia de cada técnica en términos del índice de productividad y establecer de acuerdo a estos resultados cuales serían las mejores opciones de cañoneo para nuevos pozos.

FIGURA 4. 4 IP OBTENIDO DESPUES DEL CAÑONEO A LA ARENA U MEDIA “COMPLEJO YANAQUINCHA”



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

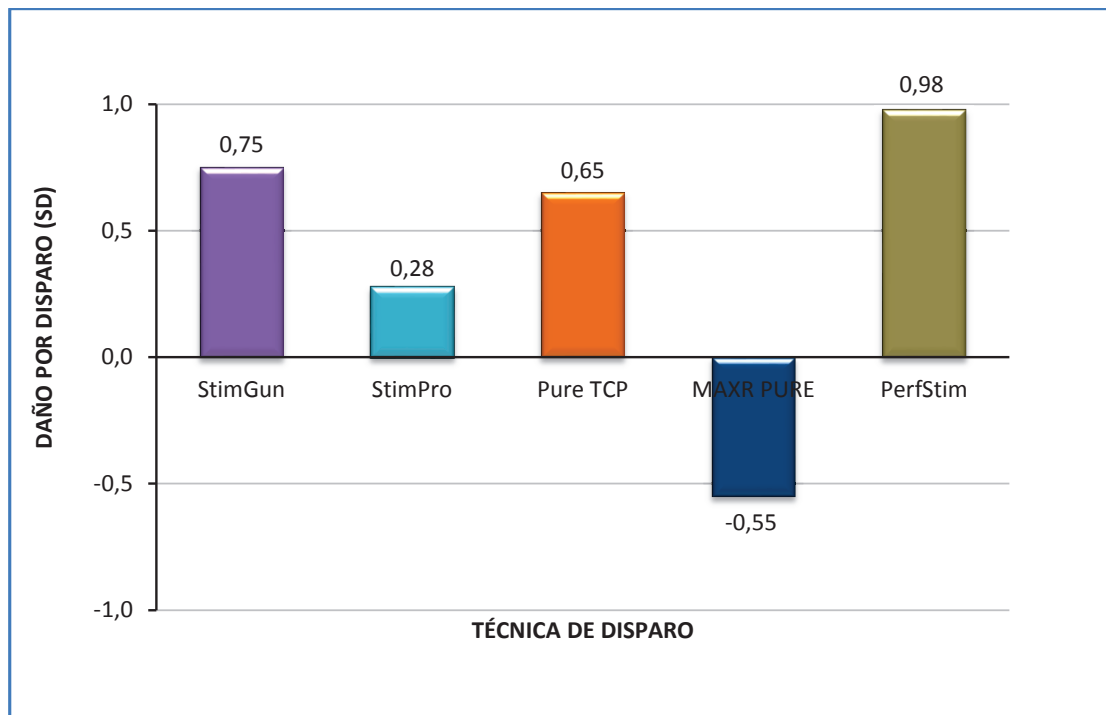
4.2.2 ANÁLISIS A PARTIR DE LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD (PR)

Con el propósito de hacer un análisis completo de la eficiencia de las técnicas de disparo utilizadas en la arena “U media” del Complejo Yanaquincha, la figura 4.5 muestra la eficiencia de las técnicas de disparo en términos del daño para lo cual se utilizó el mejor escenario de disparo de la tabla 4.2.

Las figuras 4.5 y 4.6 muestran que la técnica con mayor eficiencia tanto en términos de daño de formación por disparos como en índice de productividad es la técnica de cañones anclados PURE Max-R.

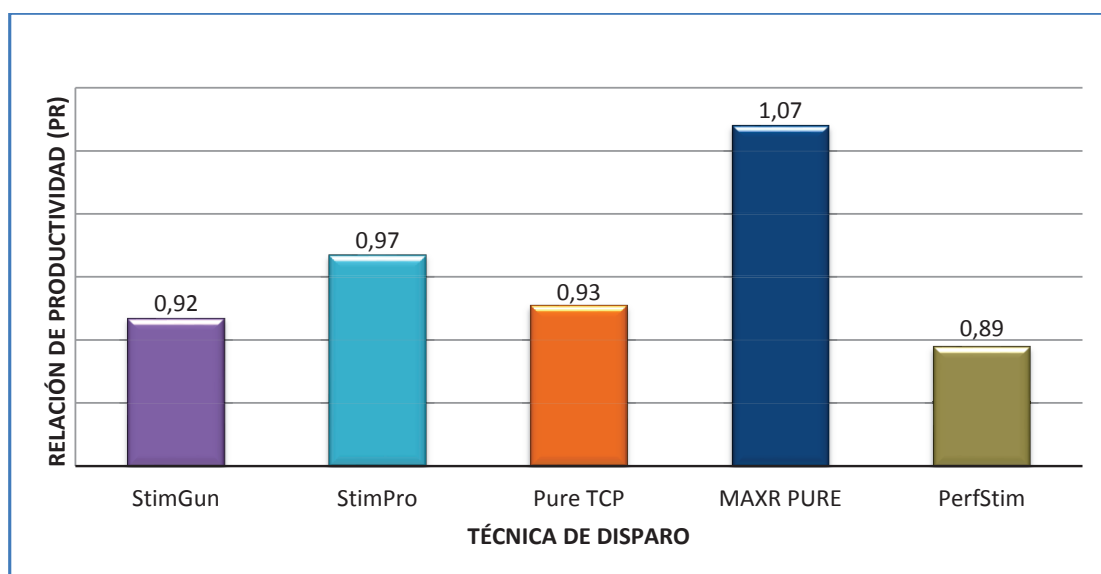
A continuación en la figura 4.5 y 4.6 se muestran el daño por disparo y la Relación de productividad versus la técnica de disparo.

FIGURA 4. 5 DAÑO POR CAÑONEO VS TÉCNICA DE DISPARO ARENA “U MEDIA” - COMPLEJO YANAQUINCHA



Fuente: Petroamazonas Ep.
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 4. 6 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD VS TÉCNICA DE DISPARO



Fuente: Petroamazonas Ep.
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

4.3 ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ARENA U SUPERIOR

En el Complejo Yanaquincha se ha disparado en un solo pozo YNEB023 a la arena U superior. La técnica usada en el punzonamiento de la arena U superior fue realizada con la técnica StimPro obteniéndose un daño por disparo de 0.55 y un índice de productividad IP= 0,1141 STB/día/psi lo que traducido a producción implica un caudal máximo $Q_f = 317$ BFPD, la técnica con propelente se utilizó debido a la baja permeabilidad $k=93$ md.

4.4 ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ARENA TP

La tabla 4.3 muestra los eventos de disparo realizados en la arena TP, el daño causado a la formación con cada técnica de disparo, así como también el índice de productividad obtenido con cada disparo y la relación de productividad PR.

TABLA 4. 3 DISPAROS REALIZADOS A LA ARENA T “COMPLEJO YANAQUNCHA”

Formación	Técnica de disparo	POZO	RIH	K(md)	Pr(psi)	Daño por disparo(S _D)	IP (STB/día/psi)	PR	PR promedio
ARENA TP	WL Convencional	YNEA002	WL	151	2.360	5,90	0,75	0,59	0,59
	TCP Convencional	YNEA027	TCP	204	3.130	4,52	0,24	0,65	0,66
		YNEA08	TCP	154	3.100	4,24	0,77	0,66	
	StimGun	YNEA027 (recañoneo)	TCP	204	3.130	1,53	0,28	0,84	0,86
		YNNA005	TCP	560	2.770	1,19	1,20	0,88	
	StimPro	YNOA002 (recañoneo)	WL	151	2.887	0,28	0,96	0,97	0,97
		YNEA29	WL	76	3.050	0,28	0,19	0,97	
		YNOB19	WL	311	2.930	0,22	0,75	0,97	
	SurgePro	YNNA03	TCP	358	2.910	2,89	0,33	0,74	0,74
		YNOA15	TCP	213	3.000	3,02	0,40	0,74	
MAXR PURE	YNEA029 (recañoneo)	cañones anclados	33	3.050	-1,15	1,74	1,16	1,16	

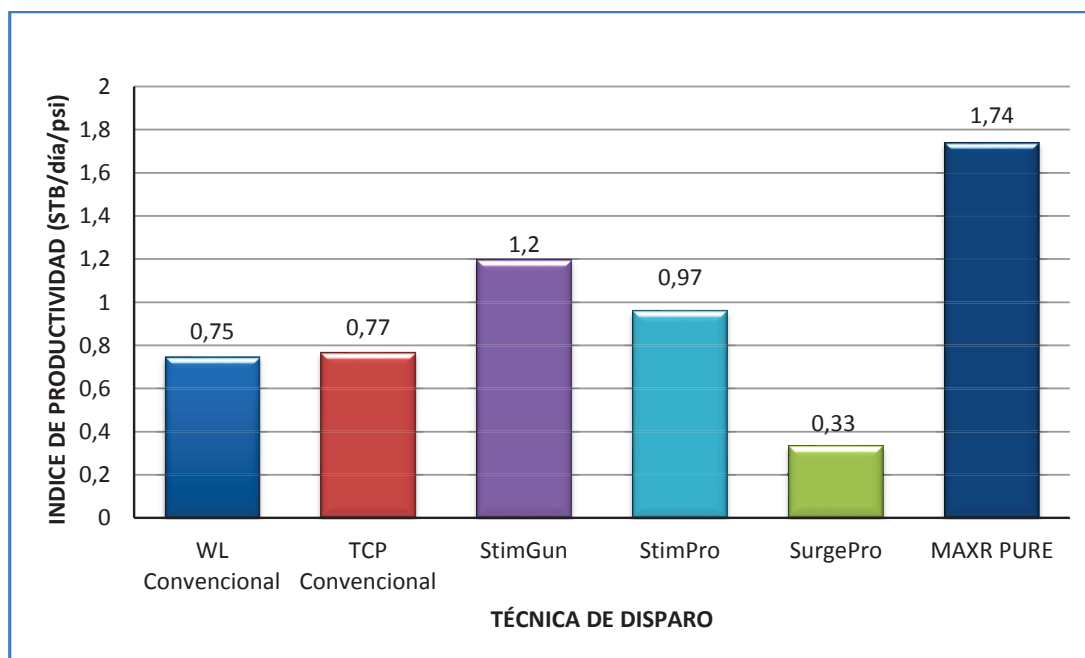
Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

4.4.1 ANÁLISIS A PARTIR DEL INDICE DE PRODUCTIVIDAD (IP)

Con el propósito de hacer un análisis de la eficiencia de las técnicas de disparo utilizadas en la arena “TP”, la figura 4.7 muestra la eficiencia de las técnicas de disparo en términos del IP.

FIGURA 4. 7 IP OBTENIDO DESPUES DEL CAÑONEO A LA ARENA TP “COMPLEJO YANAQUINCHA”



Fuente: Petroamazonas Ep.

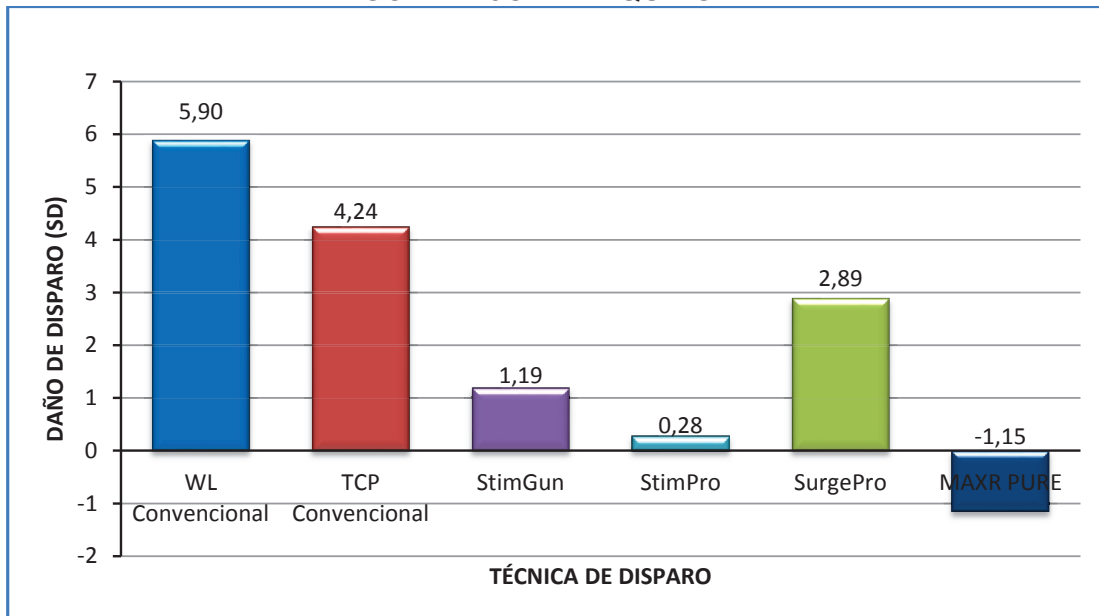
Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

4.4.2 ANÁLISIS A PARTIR DE LA RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD (PR)

La figura 4.8 muestra la eficiencia en términos del daño por disparo y de la relación de productividad para lo cual se utilizó el mejor escenario de disparo de la tabla 4.3.

Las figuras 4.8 y 4.9 muestran que la técnica con mayor eficiencia tanto en términos de daño de formación por disparos como en PR es la técnica de cañones anclados PURE Max-R mediante la combinación de desbalance estático y dinámico

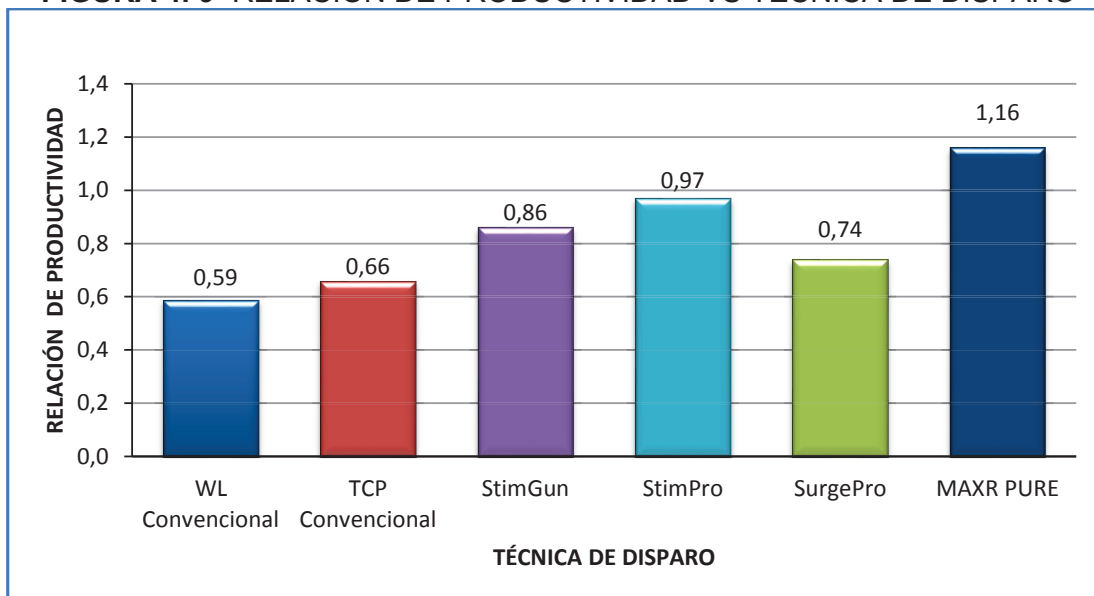
FIGURA 4. 8 DAÑO POR CAÑONEO VS TÉCNICA DE DISPARO ARENA "TP" - COMPLEJO YANAQUINCHA



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

FIGURA 4. 9 RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD VS TÉCNICA DE DISPARO



Fuente: Petroamazonas Ep.

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

De acuerdo al estudio técnico - comparativo de las técnicas de disparo utilizadas por las diferentes compañías en los pozos del Complejo Yanaquincha realizado en el capítulo tres y del análisis de los perfiles de presión se puede determinar en

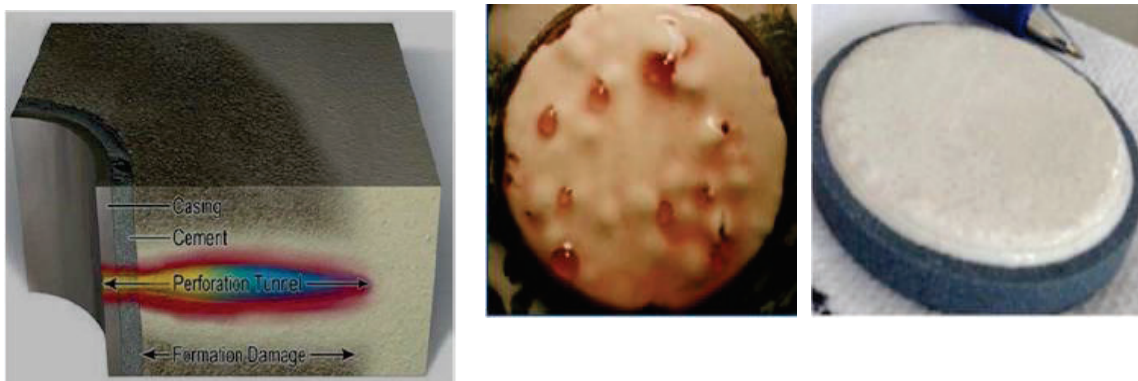
base a los resultados mostrados que la mejor alternativa de cañoneo para disparar las arenas productoras es como se describe a continuación:

Arena T superior: La mejor alternativa de cañoneo para la arena “T superior” es la Técnica de cañones Anclados mediante la combinación de desbalance estático y dinámico. Además otra alternativa que da el mismo resultado es mediante la aplicación de cañones anclados pero con un desbalance de 1800 psi.

Arena U inferior: Para la arena “U inferior” la mejor alternativa de cañoneo es mediante cañones anclados o se puede utilizar cañones con WL más desbalance dinámico en presencia de un fluido de control especial que evite la pérdida de fluido en la formación. Las píldoras de sello para punzados y workovers que se pueden utilizar se describen a continuación:

- CLEAN PERF: Es una píldora especializada de baja movilidad y sello efectivo para minimizar invasión durante las operaciones de cañoneo o en operaciones de workover.
- PERF-N-PEEL: Es una píldora organofílica para minimizar la invasión en las arenas resultantes en el momento del cañoneo o en operaciones de workover.

FIGURA 4. 10 FLUIDOS DE CONTROL EN OPERACIONES DE CAÑONEO



Fuente: Well Testing Services, Schlumberger.

Para Reacondicionamientos en arena “U” y “T”: Para el caso de reacondicionamientos de pozos en las arenas la mejor alternativa de cañoneo es disparo de pozo en balance más desbalance dinámico.

Para TCP: Para el cañoneo con TCP no se han observado diferencias significativas es decir el rendimiento TCP Vs WL es similar.

CAPÍTULO V

ESTUDIO ECONÓMICO

5.1 INTRODUCCIÓN

Con el pasar del tiempo la industria petrolera ha desarrollado diferentes técnicas y tecnologías de disparo, ya sea con TCP (Tubing-Conveyed Perforating), Wireline, cañones anclados obteniéndose excelentes resultados técnicos; sin embargo en la industria hidrocarburífera otro factor que determina la decisión de utilizar esa técnica de cañoneo para punzar la arena productora es el aspecto económico, cada técnica de cañoneo tiene un precio diferente dependiendo de los pies disparados, si se utiliza WL, TCP o cañones anclados que dependerá del tipo de configuración del pozo, además el precio del disparo dependerá de cada compañía dependiendo de la eficiencia de su tecnología de disparo y de la publicidad que realice para obtener ese trabajo, del número de disparos por pie(densidad de disparo), si se utiliza Propelente y cámaras de surgencia para obtener en el pozo un desbalance dinámico que como se analizó en los capítulos anteriores el desbalance dinámico presenta excelentes resultados, todos estos factores determinar el precio del cañoneo de un pozo. En el presente capítulo se realizara el estudio económico de las diferentes técnicas y tecnologías de cañoneo aplicadas en el Complejo Yanaquincha con el objetivo de determinar si son técnicamente y económicamente rentables. Este análisis económico permitirá tomar decisiones económicas en desarrollo de nuevos disparos en pozos del Complejo Yanaquincha.

5.2 ESTUDIO ECONÓMICO DE LAS TÉCNICAS DE CAÑONEO

Con el propósito de establecer un estudio económico de las tecnologías de cañoneo a continuación se describen los indicadores económicos que permitirán establecer si las técnicas de cañoneo son económicamente rentables, además este análisis permitirá obtener una mejor idea real de cuanto se debe invertir en

una operación de cañoneo para poner a producir un pozo utilizando las diferentes técnicas y tecnologías de disparo.

5.2.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El indicador VAN de una inversión de un proyecto en este caso un cañoneo se entiende como la suma de los valores actuales de todos los flujos netos de caja que se espera, menos la inversión inicial para la realización del proyecto.

Si el valor actual neto del proyecto se determina como positivo entonces el proyecto será aceptable.

La ecuación 5.1 que se muestra a continuación determinara si el proyecto es o no aceptable.

$$VAN = - I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{Fn}{(1+r)^n} \quad (5.1)$$

Donde;

VAN: Valor Actual Neto de la inversión realizada para el proyecto.

I_0 : Inversión inicial del proyecto.

Fn : Representa el valor neto de cada uno los flujos de caja

r : Representa la tasa de retorno del periodo.

n : Es el número de periodos a considerar para el proyecto.

5.2.1.1 Interpretación del Valor Actual Neto

La tabla 6.1 muestra la interpretación del valor actual neto en la toma de decisión, para determinar la rentabilidad del proyecto.

TABLA 5. 1 INTERPRETACIÓN DEL VALOR ACTUAL NETO

Condición	Significado	Decisión
$VAN > 0$	La inversión lograra ganancias por encima de la rentabilidad.	El proyecto es aceptable.
$VAN < 0$	La inversión logrará perdidas por encima de la rentabilidad.	El proyecto no es aceptable.
$VAN = 0$	La inversión no producirá ni perdida ni ganancias.	Como el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad, entonces la decisión debe estimarse en otros criterios.

Fuente: Ramos, Evaluación de Proyectos

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

5.2.2 FLUJO NETO DE CAJA

El método menos complejo para determinar la rentabilidad de un proyecto es mediante el indicador flujo neto de caja el mismo que constituye la suma de todos los cobros menos los pagos realizados durante la vida útil del proyecto.

5.2.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno se establece como la tasa de descuento para que el valor actual neto de una inversión de un proyecto sea igual a cero ($VAN=0$). El indicador TIR se entiende como una tasa efectiva anual de descuento o retorno que produce que el VAN de los flujos de caja de una inversión sea igual a cero.

La ecuación 5.2 muestra la forma para determinar el indicador económico TIR, por lo tanto con el VAN=0, entonces el valor de la tasa de descuento se establecerá como el indicador TIR.

$$VAN = 0 = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} \quad (5.2)$$

Donde:

n : el tiempo del flujo de caja

TIR : Tasa interna de retorno

F_i : El flujo neto de caja.

5.2.4 RELACIÓN COSTO/BENEFICIO (R C/B) DEL PROYECTO

Otro indicador económico en el desarrollo de un proyecto es la relación C/B cuyo resultado es el cociente de dividir el valor actualizado de los ingresos para el valor actualizado de los costos (egresos) a una determinada tasa de actualización igual a la tasa de rendimiento mínima aceptable. La ecuación 5.3 muestra cómo se determina el indicador económico costo/beneficio.

$$R C/B = \frac{\text{Ingresos actualizados}}{\text{Egresos actualizados}} \quad (5.3)$$

5.2.4.1 Criterios de decisión mediante R C/B

La tabla 5.2 muestra los criterios de decisión mediante la relación costo-beneficio.

TABLA 5. 2 CRITERIOS DE DECISIÓN MEDIANTE R C/B

Condición	Criterio de decisión
R C/B > 1	La inversión es aceptable
R C/B = 1	La inversión inicial se recuperó satisfactoriamente después de haber sido evaluado a una tasa determinada
R C/B < 1	El proyecto no presenta rentabilidad.

Fuente: Enciclopedia Financiera

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

5.2.5 PARAMETROS ECONÓMICOS A CONSIDERAR

Seguidamente se describe los parámetros económicos a considerar para la estimación de la rentabilidad del proyecto y estimar aproximadamente si la inversión en las técnicas de cañoneo en estudio influye en la vida económica del pozo.

- Para la evaluación del proyecto se consideró un análisis de sensibilidad que establece escenarios para el precio del crudo desde 50 dólares como escenario pesimista, hasta 100 dólares por barril como escenario optimista que es un precio promedio establecido en la última reforma del plan de desarrollo del complejo Yanaquincha.
- La tasa de descuento utilizada en la evaluación económica de este proyecto es de 12% anual y como se desarrolló el proyecto para periodos de tiempos mensual la tasa mensual es de 1%.
- La tasa de declinación de la producción fue tomada del plan de desarrollo del Complejo Yanaquincha en la cual establece un tasa de declinación propia para cada campo y arena productora; en este estudio se tomó pozos del campo Yanaquincha Este cuya tasa de declinación anual es del 36% para la arena T principal, U inferior 26%, H superior 91% y para el campo Yanaquincha norte 0 %, los valores de declinación para los otros campos se encuentran descritos en el cálculo de reservas en el primer capítulo.
- El costo de producción de cada barril es de \$ 2.35.

5.2.6 INGRESOS DEL PROYECTO

Para determinar los ingresos del proyecto se estableció la producción de petróleo obtenida después del cañoneo, la declinación de producción se estima con la ecuación 5.4. Para obtener el valor de los ingresos en dólares se realizó el cálculo multiplicando la producción por el costo del barril (ecuación 5.5) que para el

presente estudio se tomara dos valores de 100\$ y 50\$ para estimar dos escenarios diferentes.

$$Q_0 = q_{0\text{real}} \times e^{d \cdot n} \quad (5.4)$$

$$\text{Ingresos} = Q_0 \times \text{costo del barril} \quad (5.5)$$

Donde:

Q_0 : Caudal estimado

$q_{0\text{real}}$: Caudal real después del disparo.

d : Declinación anual efectiva de la producción

n : Periodo de tiempo.

5.2.7 EGRESOS DEL PROYECTO

Los egresos del proyecto se determinaron de la siguiente manera:

- La inversión es de \$3'500.000 cuyo valor incluye los gastos al principio del desarrollo del pozo como es perforación, cementación, completación, fluidos de control, registros de open hole.
- Los egresos se determinaron multiplicando el valor de la producción mensual por el costo de barril producido como se muestra en la ecuación 5.6.

$$\text{Egresos} = \text{Producción} \times \text{Costo de barril producido} \quad (5.6)$$

- El factor primordial son los egresos por cañoneo para los cual se toma en consideración los principales parámetros en el costo de una operación de cañoneo como son: si el cañón se corre con Wireline o con TCP o si se va a realizar con cañones anclados y sobre todo el precio dependerá de que tecnología se utiliza como se muestra en la tabla 5.3 la cual describe los precios aproximados por cada técnica, es decir el precio promedio por pie, el servicio de cañoneo(cargas, propelente, cabezas de disparo etc), con el objetivo de establecer una comparación más real se tomó como espesor de disparo $h=20$ pies, además se agregó el valor de la correlación de la

profundidad que se realiza para el disparo con una consideración de 10000 pies de profundidad del pozo y 500 pies registrados y como parámetro adicional el costo por el taladro de workover para realizar el cañoneo.

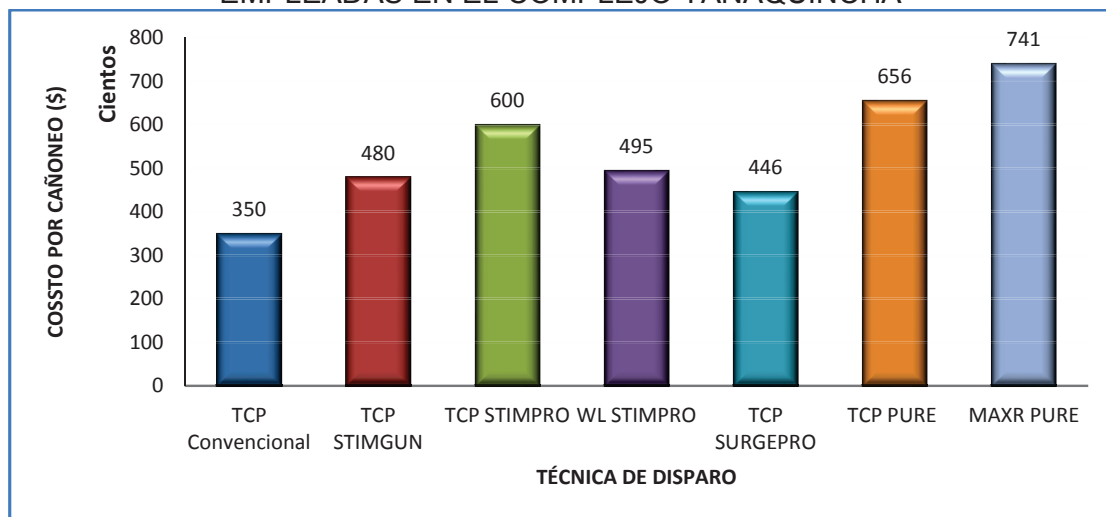
TABLA 5. 3 COSTOS PRODUCIDOS EN LAS OPERACIONES DE CAÑONEO

Técnica de cañoneo	Costo por unidad (cañón corrido con TCP o WL) (\$)	Número de pies disparados (ft)	Precio por pie Perforating Services (\$)	Costo total del cañoneo (\$)	Registro de Profundidad CCL Y GR @10000 pies y logging 500pies (\$)	Costo por taladro workover (\$)	Costo por barril producido (\$)
TCP Convencional	11.000	20	1.200	35.000	1.500	25.000	2,51
TCP STIMGUN	12.000	20	1.800	48.000	1.500	25.000	2,51
TCP STIMPRO	12.000	20	2.400	60.000	1.500	25.000	2,51
WL STIMPRO	7.500	20	2.100	49.500	1.350	25.000	2,51
TCP SURGEPRO	12.000	20	1.630	44.600	1.500	25.000	2,51
TCP PURE	13.200	20	2.620	65.600	1.500	25.000	2,51
MAXR PURE	14.500	20	2.980	74.100	1.500	25.000	2,51

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La figura 5.1 muestra el costo aproximado de las diferentes técnicas de cañoneo empleadas en el complejo Yanaquincha.

FIGURA 5. 1 COSTO POR CAÑONEO DE LAS TÉCNICAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA



Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

5.2.8 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA REALIZADA A LAS TÉCNOLOGÍAS DE CAÑONEO EMPLEADAS EN EL COMPLEJO YANAQUINCHA.

La evaluación económica de las técnicas de cañoneo empleadas en el Complejo Yanaquincha se realizó mediante el análisis de dos escenarios comparativos, uno pesimista con un precio de cada barril de \$50 y un escenario optimista con un precio de \$100 el valor del barril de petróleo.

5.2.8.1 Análisis del escenario pesimista (\$50 el valor de cada barril)

La tabla 5.4 muestra los resultados obtenidos en el escenario pesimista de \$50 el barril de petróleo. Los resultados que se muestran en la tabla 5.4 y muestran que el mayor VAN que se obtiene es mediante la técnica de disparo Pure MaxR pese al bajo precio del crudo, así mismo el TIR obtenido es mayor en comparación a las otras técnicas, la R B/C no es muy variable entre técnica pese a los costos diferentes por el uso de las diferentes tecnologías; como se observa en las siguientes figuras de los resultados del TIR, VAN Y R B/C se obtiene un mejor resultado económico en el siguiente orden: Pure MaxR -TCP PURE – STIMPRO - STIMGUN TCP CONVENCIONAL.

TABLA 5. 4 RESULTADOS ECONÓMICOS ESCENARIO PESIMISTA \$50 PRECIO DEL BARRIL

Ecenario Optimista 50 \$				
Técnica de cañoneo	VAN (\$)	TIR (%)	R B/C (\$)	Interpretación
TCP Convencional	5'025.715,69	19%	7,51	Aceptable
TCP STIMGUN	6'530.985,17	24%	7,45	Aceptable
TCP STIMPRO	9'057.622,78	32%	7,86	Aceptable
WL STIMPRO	7'081.606,12	25%	7,84	Aceptable
TCP SURGEPRO	5'226.494,62	22%	7,04	Aceptable
TCP PURE	9'487.365,54	31%	7,71	Aceptable
MAXR PURE	12'570.349,92	40%	8,66	Aceptable

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

5.2.8.2 Análisis del escenario optimista (\$100 el valor de cada barril)

La tabla 5.5 muestra los resultados obtenidos en el escenario optimista de \$100 el barril de petróleo.

Los resultados que se muestran en la tabla 5.5 muestran que el mayor VAN que se obtiene es mediante la técnica de disparo Pure MaxR de la misma manera que en el caso pesimista, el TIR obtenido es mayor en comparación a las otras técnicas, la R B/C no es muy variable entre técnica pese a los costos diferentes por el uso de las diferentes tecnologías.

TABLA 5. 5 RESULTADOS ECONÓMICOS ESCENARIO OPTIMISTA \$100 PRECIO DEL BARRIL

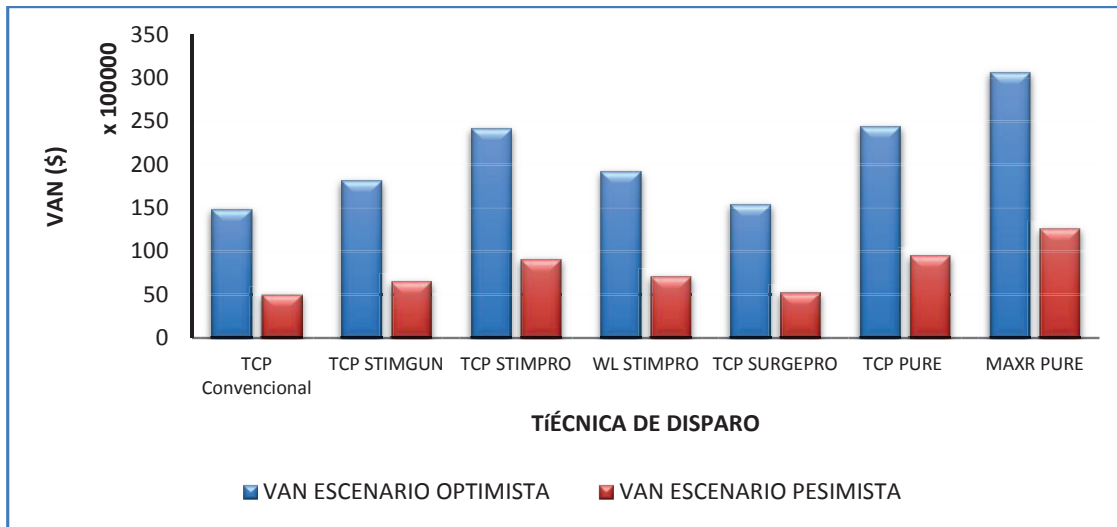
Escenario Optimista 100 \$				
Técnica de cañoneo	VAN(\$)	TIR(%)	R B/C(\$)	Interpretación
TCP Convencional	14'861.164,00	50%	15,02	Aceptable
TCP STIMGUN	18'117.160,54	58%	14,90	Aceptable
TCP STIMPRO	24'178.506,40	73%	15,96	Aceptable
WL STIMPRO	19'210.177,22	61%	15,68	Aceptable
TCP SURGEPRO	15'398.943,10	57%	14,07	Aceptable
TCP PURE	24'408.954,51	72%	15,43	Aceptable
MAXR PURE	30'637.272,16	88%	16,53	Aceptable

Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

5.2.8.3 Comparación de los resultados obtenidos en los dos escenarios económicos

La figura 5.2 muestra la comparación del VAN obtenido con las diferentes técnicas de disparo y además muestra la comparación entre los dos escenarios económicos cuyo VAN es aceptable en los dos escenarios y mayor en el caso de la técnica MAXR PURE.

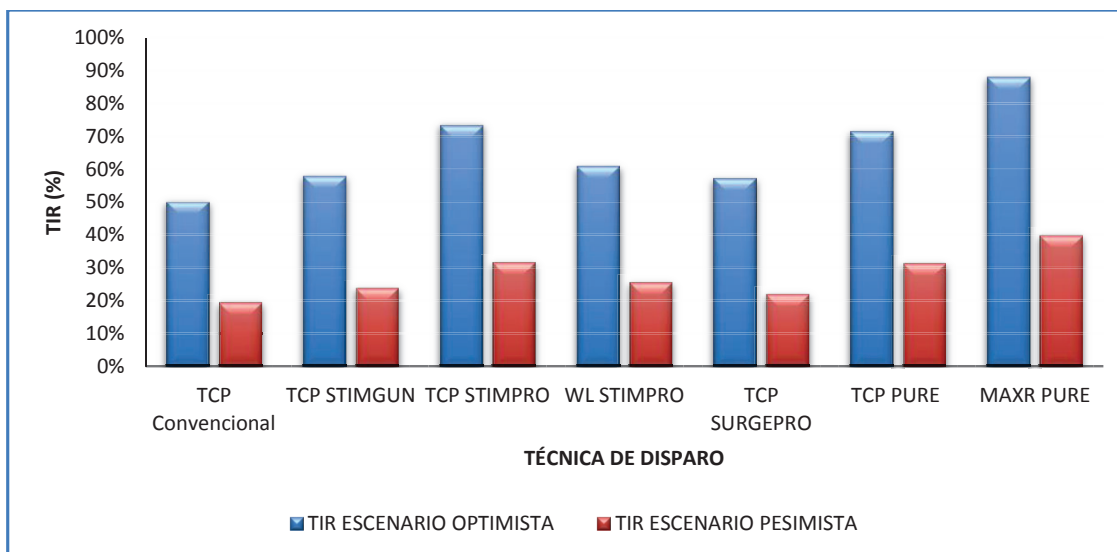
FIGURA 5. 2 COMPARACIÓN DEL VAN VS TÉCNICA DE CAÑONEO PARA LOS ESCENARIOS ECONÓMICOS



Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

En la figura 5.3 se muestra la comparación del TIR para los dos y escenarios económicos y entre las diferentes técnicas de disparo obteniendo un proyecto aceptable para todos los casos y de la misma forma que en el caso del VAN, el TIR es mayor para la técnica MaxR.

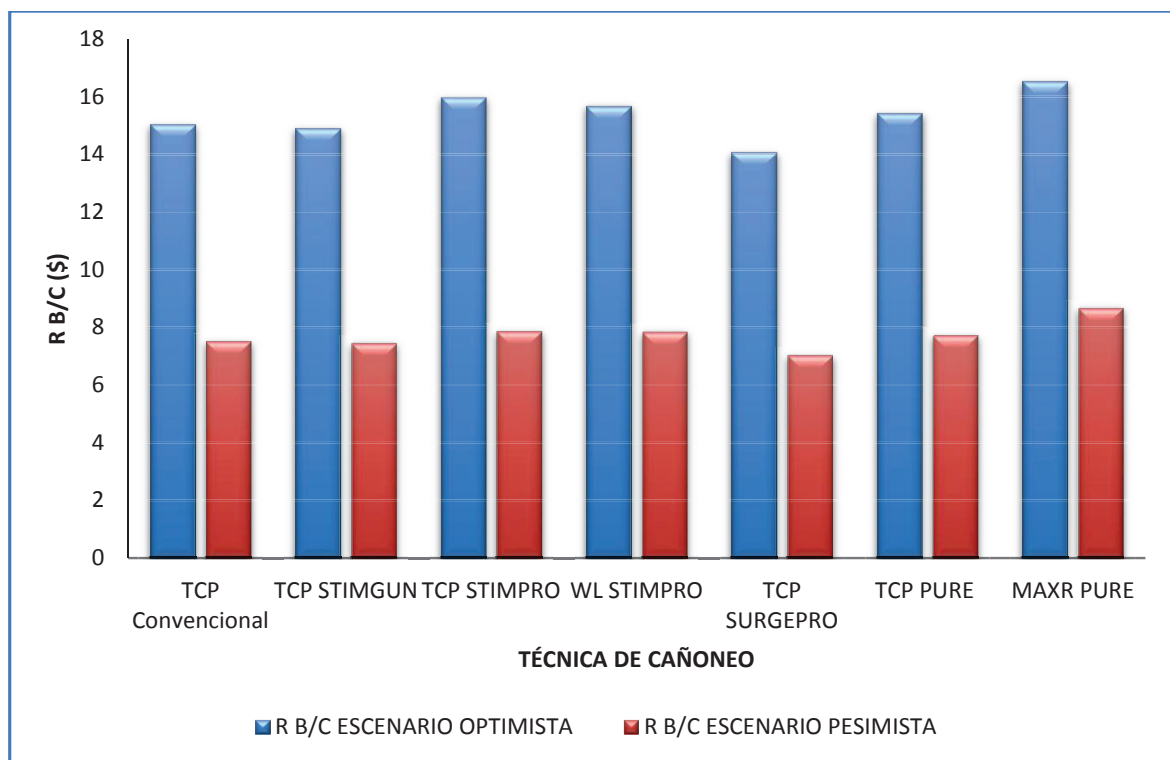
FIGURA 5. 3 COMPARACIÓN TIR VS TÉCNICA DE CAÑONEO PARA LOS ESCENARIOS ECONÓMICOS



Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

La figura 5.4 muestra la comparación de la relación beneficio-costos para los dos escenarios y al igual que para los otros indicadores económicos también se representa la comparación entre las diferentes técnicas de cañoneo obteniéndose un valor máximo de \$16.53 para la técnica Maxr-Pure para el escenario optimista y \$8.66 para el escenario pesimista, pese al alto costo que tiene esta técnica por cada pie, aunque los resultados de la R B/C de las otras técnicas no varía considerablemente.

FIGURA 5. 4 COMPARACIÓN R B/C VS TÉCNICA DE CAÑONEO PARA LOS ESCENARIOS ECONÓMICOS



Elaborado por: Alex Acaro/Jimmy León.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Para la arena “T superior” la a mejor alternativa de cañoneo es la técnica de cañones anclados mediante la combinación de desbalance estático y dinámico, además otra alternativa que da el mismo resultado es mediante la aplicación de cañones anclados pero con un desbalance dinámico de 1800 psi.
- Para la arena “U inferior” la mejor alternativa de cañoneo es mediante cañones anclados o se puede utilizar cañones con Wireline más desbalance dinámico en presencia de un fluido de control especial que evite la pérdida de fluido en la formación.
- Para reacondicionamientos de pozos en arena “U” y “T” la mejor alternativa de cañoneo es disparo de pozo en balance más desbalance dinámico.
- Para el cañoneo con TCP no se han observado diferencias significativas es decir el rendimiento TCP Vs WL es similar.
- Como se observa en las estadísticas de disparo realizadas en el Yanaquincha la una de las mejores técnicas de disparo es con desbalance dinámico.
- Para disparar con la tecnología PURE se debe realzar el disparo con el pozo no totalmente matado.
- En los trabajos de workover de disparo no se siempre se logra alcanzar la producción previa debido a que siempre se da el pozo en el evento de matado a pesar de utilizar un fluido especial de control, es decir el objetivo del re

disparo es producir la mismos barriles antes del re disparo o producir un poco más.

- Según el análisis que se realizó en los capítulos anteriores la técnica StimPro muestra también excelentes resultados debido a su combinación de cañoneo convencional (TCP o WL) más la aplicación de sobrebalance y bajo balance dinámico ya que mejora la conectividad del reservorio creando micro fracturas.
- Las técnicas con Propelente como son PerfStim, StimPro, StimGun, SurgePro son aplicables para reservorios con baja permeabilidad menor a 300 md y también para pozos antiguos, obteniéndose mejores resultados con StimPro ya que es la combinación de las técnicas StimGun(sobre balance extremo) y SurgePro(cámaras de surgencia que proporcionan un desbalance dinámico).
- De acuerdo al estudio económico realizado en el capítulo cinco, los indicadores económicos muestran que se obtienen excelentes resultados económicos con las diferentes técnicas de disparo y pese a que los costos de las técnicas de cañoneo más eficientes como la técnica de cañones anclado MaxR Pure y StimPro son considerablemente altos se obtiene una buena relación beneficio-costos; sin embargo el precio por barril de petróleo es crucial en los beneficios económicos que se obtiene como se muestra en los dos escenarios económicos propuestos.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para la validación de las diferentes técnicas y tecnologías de disparo se recomienda utilizar los sensores de presión (fast gauge), cuyo objetivo de los perfiles de presión es validar el modelo de presiones obtenidas por el sensor FastGauge acoplado a la sarta de cañoneo ya sea con cable o TCP para obtener las presiones de modelamiento de las técnica de cañoneo e investigar sobre la existencia de límites con la finalidad de conocer el potencial

productivo de la arena productora y sus relaciones de afluencia del sistema yacimiento – pozo.

SIMBOLOGÍA

SIMBOLO	SIGNIFICADO
AF	Área de Flujo
AEH	Diámetro promedio del hoyo hecho por la detonación de la carga
API	American Petroleum Institute
BFPD	Barriles de fluido por día
Boi	Factor volumétrico del petróleo
Bob	Factor volumétrico del petróleo
b	Fracción de la zona de pago completada
C	Posición del cañón centrada
CCL	Registro de profundidad casing collar locator
DOB	Sobre Balance dinámico
DUB	Bajo Balance dinámico
Ecf	Esfuerzo compresivo de la formación
EC	Posición del cañón no centrada
Fr	Factor de recobro del petróleo
Fase	Angulo entre disparos
Fn	Representa el valor neto de cada uno de los flujos de caja
GR	Registro de profundidad gamma ray
h	Espesor de la zona a disparar
HS	Arena H superior
ld	Longitud de la zona alterada por la perforación
ID	Diámetro interno de la tubería
lo	Inversión inicial de un proyecto
k	Permeabilidad
Kh	Permeabilidad horizontal
Kv	Permeabilidad vertical
Kv/kh	Razón entre la permeabilidad vertical y horizontal
Kd	Permeabilidad en la zona alterada por la perforación
MAXR	Monobore anchor with automatic release
n	Tiempo del flujo de caja

OB	Sobre Balance
OD	Diámetro externo de la tubería
Pi	Presión inicial
POES	Petróleo Original In-situ
Pb	Presión de burbuja
PI	Índice de Productividad
Pwf	Presión de fondo fluyente
PR	Razón de productividad
Ph	Presión hidrostática del pozo
	Mínimo diferencial de presión de bajo balance para remover el
P1	daño total
P2	Máximo diferencial de presión de Bajo Balance seguro
pf	Presión de la formación
ps	Presión de sobrecarga
Pc	Presión límite de Colapso de las herramientas utilizadas
Pm	Punto medio entre el mínimo y el máximo diferencial de presión
Pbb	Presión de bajo balance que se debe utilizar
PURE	Perforating for ultimate reservoir exploitation
Qf	caudal de fluido
Rsi	Relación Gas Petróleo inicial
re	Radio de drenaje
rw	Radio del pozo
rd	Radio de la zona alterada por la perforación
R B /C	Relación beneficio-costos
St	Daño total
spf	Densidad de disparo
Sp	Daño por cañoneo
Sd	Daño por la perforación
Sc	Daño causado por penetración parcial y la desviación del pozo
STB	Barriles a condiciones Estándar
TCP	Tubing Coved Perforating
Tr	Temperatura del reservorio
TTP	Cañones transportados a través del tubing

Ts	Arena T superior
Ti	Arena T inferior
TP	Arena T principal
TIR	Tasa interna de retorno
uo	Viscosidad del petróleo
UB	Bajo balance
UI	Arena U inferior
UM	Arena U media
US	Arena U superior
VAN	Valor actual neto
WL	Wireline
WC	Condición del Pozo
WCP	Well casing perforating

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Al Busaidy A, Zaouali Z, Baumann C, Vegliante E. (2011). Paper SPE 144080 Controlled Wellbore Implosions Show That Not All Damage is Bad Technique to Increase Production from Damaged Wells. Netherlands.
2. Bellarby, Jonathan. (2009). Well Completion Design. Primera Edición. Amsterdam. Elsevier.
3. Behrmann L, Grove B, Walton I, Zhan L, Graham C, Atwood D, Harvey J. (2009). Paper SPE 125020 A Survey of Industry Models for Perforator Performance. Louisiana.
4. Benavides, Marcia. (2013). Taller de Diseño de Cañoneo. Perforation Domain Champion SLB. Ecuador.
5. Ecomides M, Hill D y Cristine Ehlig Ecomides. (1993). Petroleum Production Systems. Segunda Edición. New Jersey. Prentice Hall PTR.
6. Guo B, Lyons W y Ali Ghalambor. (2007). Petroleum Production Engineering. Primera Edición. Louisiana. Gulf Professional Publishing.
7. Halliburton. (2011). Catalog Wireline and Perforating Services. Houston.
8. Halliburton. (2013). Catalog Perforating Solutions. Houston.
9. Hirschfelt M, Ruiz R. (2008). Nota Técnica OilProduction de Well Performance. Argentina.

10. Harvey J, Grove B, Zhan L, Behrmann L. (2010). Paper SPE 127920 New Predictive Model of Penetration Depth for Oilwell Perforating Shaped Charges. Louisiana.
11. Harvey J, Grove B, Zhan L. (2012). Paper SPE 151846 Stressed Rock Penetration Depth Correlation. Louisiana.
12. Janet, Emr. (2005). StimGun Technology. Technology Development Group. USA.
13. Poveda P, Izurieta A, Lozada J, Ríos F, Schoener Scott M. (2012). Paper SPE 166420 Case History Combining Extreme Overbalance and Dynamic Underbalance Perforating Techniques in Ecuador. Ecuador.
14. Ruiz M, Guerrero D, Sequera R, Fuentes M, Rodríguez R, Barreto J, Saavedra P, Marmol A. (2011). Paper SPE WVS023 Innovative Dynamic Implosion Stimulation Technique Triples Wells Production: Lake Maracaibo, Ceuta Field Case Studies. Venezuela.
15. Salazar, Eduardo. (2013). Estudio Técnico- Económico de la Aplicación de Diferentes Tecnologías de Cañoneo para incrementar la Producción en el Campo Sacha. Quito.
16. Zhan L, Doombosch F, Martin A, Harvey J, Grove B. (2012). Paper SPE151800 Perforated Completion Optimization Using a New, Enhanced and Integrated Perforating Job Design Tool. Louisiana.

ANEXOS

ANEXO 1 PROPIEDADES PETROFÍSICAS DEL COMPLEJO YANAQUINCHA
PROPIEDADES PETROFÍSICAS POR POZO, COMPLEJO YANAQUINCHA,
“U” SUPERIOR

POZO	ARENA	BRUTO [ft]	NETO [ft]	Φ [fraccion]	Sw [fraccion]	K [md]	Vsh [fraccion]
YNEA-004	US	2	0	0.113	0.537	4	0.289
YNEA-006S1	US	8	1	0.118	0.512	2	0.259
YNEA-008	US	8	1	0.136	0.543	29	0.258
YNEA-017	US	3	1	0.110	0.582	18	0.234
YNEA-019	US	6	1	0.142	0.570	28	0.241
YNEB-014	US	16	5	0.112	0.413	6	0.137
YNEB-015	US	15	10	0.140	0.434	23	0.169
YNEC-009S1	US	13	0	0.131	0.562	14	0.349
YNOB-010	US	7	1	0.123	0.585	14	0.255

PROPIEDADES PETROFÍSICAS POR POZO, COMPLEJO YANAQUINCHA,
“U” MEDIA

POZO	ARENA	BRUTO [ft]	NETO [ft]	Φ [fraccion]	Sw [fraccion]	K [md]	Vsh [fraccion]
YNEA-001	UM	13	13	0.136	0.216	73	0.107
YNEA-002	UM	2	1	0.123	0.504	29	0.297
YNEA-003	UM	2	0	0.122	0.424	3	0.299
YNEA-004	UM	29	29	0.146	0.237	103	0.168
YNEA-006S1	UM	31	20	0.127	0.411	13	0.214
YNEA-007	UM	7	7	0.127	0.468	135	0.158
YNEA-008	UM	4	2	0.130	0.418	32	0.232
YNEA-010	UM	8	2	0.112	0.526	405	0.157
YNEA-016	UM	7	2	0.151	0.479	33	0.350
YNEA-017	UM	37	35	0.131	0.242	94	0.132
YNEA-019	UM	5	5	0.132	0.323	10	0.154
YNEA-020	UM	3	3	0.139	0.323	19	0.289
YNEB-011	UM	0	0	0.107	0.247	0	0.223
YNEB-012	UM	6	5	0.173	0.188	52	0.315
YNEB-013	UM	0	0	0.104	0.283	2	0.338
YNEB-014	UM	2	1	0.120	0.422	2	0.094
YNEB-015	UM	1	0	0.110	0.148	1	0.278
YNEB-021	UM	19	19	0.126	0.226	80	0.143
YNEB-022	UM	0	0	0.103	0.425	4	0.091
YNEB-023	UM	4	0	0.117	0.275	31	0.350
YNEC-009S1	UM	10	6	0.124	0.289	12	0.252
YNOA-001	UM	3	1	0.125	0.266	5	0.217
YNOA-002	UM	1	0	0.106	0.581	7	0.137
YNOA-003	UM	5	0	0.127	0.547	13	0.251
YNOA-004	UM	6	2	0.178	0.560	149	0.294
YNOA-005	UM	1	1	0.110	0.271	65	0.056
YNOA-007	UM	18	18	0.136	0.214	28	0.126
YNOA-008	UM	14	12	0.124	0.235	15	0.238
YNOA-009	UM	0	0	0.107	0.355	12	0.055
YNOA-013	UM	14	13	0.141	0.270	46	0.104
YNOA-014	UM	1	1	0.127	0.243	15	0.276
YNOA-015	UM	0	0	0.165	0.250	3	0.085
YNOB-010	UM	6	5	0.141	0.360	34	0.242
YNOB-011	UM	10	8	0.133	0.454	97	0.259
YNOB-012	UM	15	15	0.141	0.149	80	0.095
YNOB-018	UM	3	2	0.117	0.461	8	0.234
YNSA-001	UM	2	2	0.174	0.417	135	0.204

Continuación Anexo No1

PROPIEDADES PETROFÍSICAS POR POZO, COMPLEJO YANAQUINCHA,
"U" INFERIOR

POZO	ARENA	BRUTO [ft]	NETO [ft]	Φ [fraccion]	Sw [fraccion]	K [md]	Vsh [fraccion]
YNEA-001	UI	42	41	0.163	0.155	550	0.099
YNEA-002	UI	58	47	0.170	0.226	346	0.125
YNEA-003	UI	73	53	0.179	0.173	936	0.219
YNEA-004	UI	42	28	0.164	0.210	365	0.151
YNEA-005	UI	56	42	0.180	0.172	1289	0.100
YNEA-006S1	UI	45	32	0.167	0.231	379	0.111
YNEA-007	UI	50	42	0.182	0.237	461	0.080
YNEA-008	UI	29	22	0.158	0.200	192	0.128
YNEA-010	UI	37	20	0.145	0.246	107	0.130
YNEA-016	UI	55	40	0.146	0.171	135	0.075
YNEA-017	UI	43	29	0.167	0.192	335	0.078
YNEA-018	UI	45	35	0.155	0.262	228	0.093
YNEA-019	UI	50	34	0.159	0.277	520	0.108
YNEA-020	UI	41	39	0.160	0.163	192	0.087
YNEB-011	UI	33	23	0.172	0.197	769	0.126
YNEB-012	UI	40	20	0.192	0.185	1488	0.129
YNEB-013	UI	38	32	0.165	0.160	383	0.131
YNEB-014	UI	43	31	0.169	0.209	397	0.113
YNEB-015	UI	31	21	0.161	0.275	114	0.141
YNEB-021	UI	16	8	0.149	0.338	330	0.138
YNEB-022	UI	30	30	0.143	0.337	149	0.019
YNEB-023	UI	51	26	0.165	0.192	708	0.093
YNEC-009S1	UI	55	42	0.175	0.159	598	0.110
YNOA-001	UI	52	50	0.147	0.197	152	0.075
YNOA-002	UI	39	32	0.154	0.273	707	0.145
YNOA-003	UI	42	41	0.135	0.247	58	0.121
YNOA-004	UI	40	26	0.177	0.258	1049	0.122
YNOA-005	UI	38	26	0.148	0.280	144	0.120
YNOA-006	UI	41	38	0.162	0.383	532	0.074
YNOA-007	UI	46	43	0.164	0.221	383	0.074
YNOA-008	UI	50	49	0.164	0.174	362	0.147
YNOA-009	UI	54	49	0.147	0.262	365	0.070
YNOA-013	UI	46	11	0.175	0.252	480	0.117
YNOA-014	UI	44	30	0.163	0.211	544	0.121
YNOA-015	UI	44	42	0.165	0.197	754	0.122
YNOB-010	UI	38	38	0.164	0.206	295	0.084
YNOB-011	UI	46	46	0.153	0.170	516	0.203
YNOB-012	UI	44	42	0.161	0.215	632	0.110
YNOB-016	UI	32	32	0.130	0.327	293	0.100
YNOB-017	UI	32	31	0.151	0.265	358	0.176
YNOB-018	UI	38	32	0.153	0.249	376	0.184

Continuación Anexo No1

PROPIEDADES PETROFÍSICAS POR POZO, COMPLEJO YANAQUINCHA, "T"
SUPERIOR

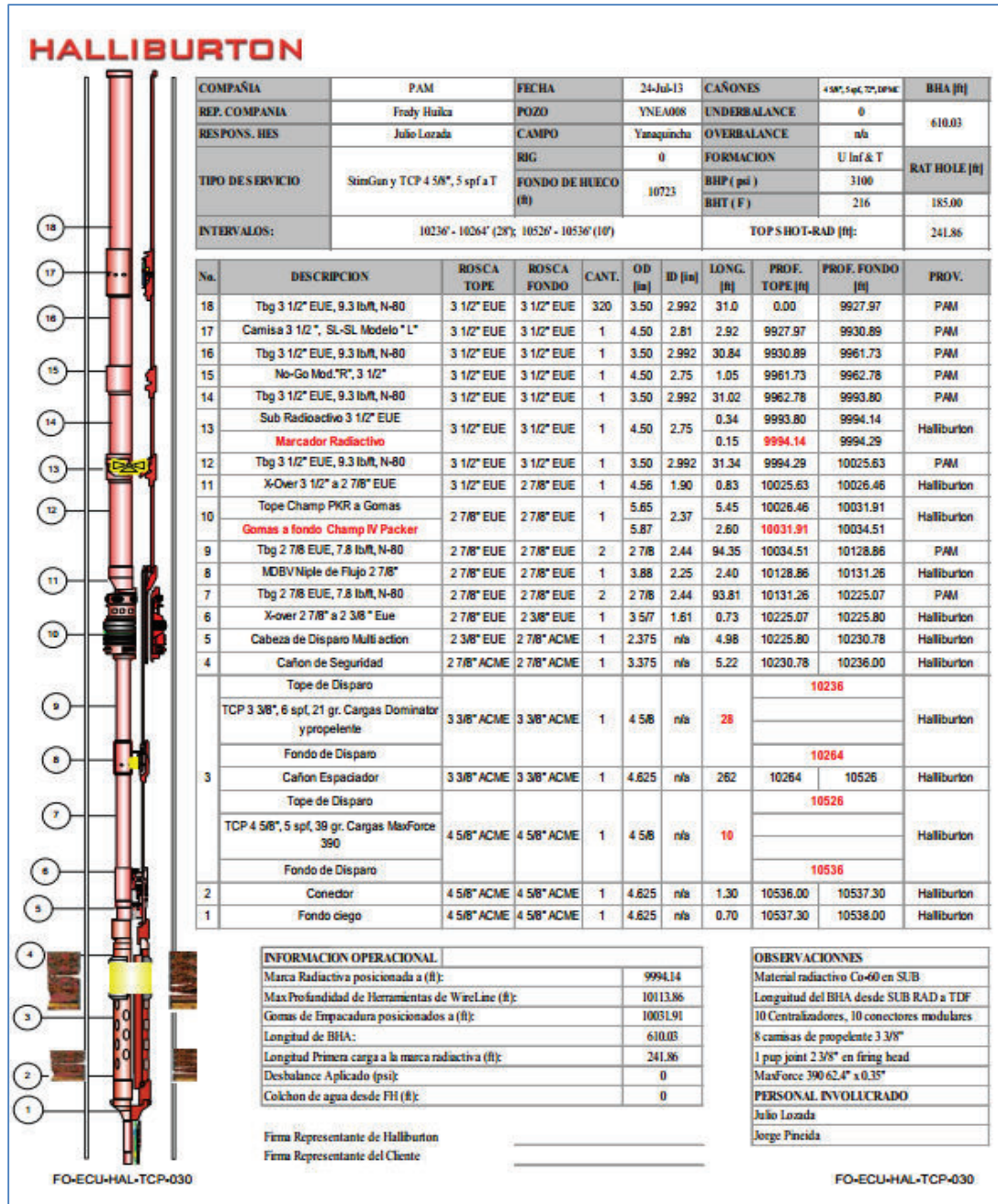
POZO	ARENA	BRUTO [ft]	NETO [ft]	Φ [fraccion]	Sw [fraccion]	K [md]	Vsh [fraccion]
YNEA-001	TS	4	2	0.118	0.452	10	0.302
YNEA-002	TS	2	1	0.125	0.460	2	0.173
YNEA-003	TS	23	12	0.145	0.450	32	0.221
YNEA-004	TS	29	17	0.133	0.490	26	0.251
YNEA-005	TS	22	8	0.133	0.430	23	0.236
YNEA-006S1	TS	5	5	0.156	0.448	8	0.330
YNEA-007	TS	4	1	0.118	0.466	4	0.347
YNEA-008	TS	13	8	0.124	0.376	8	0.229
YNEA-010	TS	8	3	0.114	0.268	5	0.246
YNEA-016	TS	15	7	0.112	0.408	5	0.166
YNEA-017	TS	25	6	0.121	0.524	11	0.150
YNEA-018	TS	0	0	0.188	0.310	3	0.288
YNEA-019	TS	7	2	0.120	0.523	4	0.242
YNEA-020	TS	8	5	0.129	0.535	10	0.243
YNEB-011	TS	15	2	0.131	0.531	18	0.194
YNEB-012	TS	8	3	0.157	0.435	9	0.245
YNEB-013	TS	29	8	0.135	0.452	23	0.199
YNEB-014	TS	3	1	0.105	0.550	1	0.193
YNEB-015	TS	5	3	0.115	0.425	5	0.220
YNEB-021	TS	7	3	0.110	0.569	4	0.332
YNEB-022	TS	10	4	0.123	0.524	4	0.197
YNEC-009S1	TS	20	8	0.131	0.473	13	0.315
YNOA-001	TS	11	11	0.129	0.310	9	0.189
YNOA-002	TS	41	34	0.146	0.237	72	0.168
YNOA-003	TS	18	18	0.123	0.322	8	0.134
YNOA-004	TS	26	18	0.129	0.261	9	0.256
YNOA-005	TS	29	16	0.128	0.419	15	0.266
YNOA-006	TS	22	14	0.133	0.485	26	0.170
YNOA-007	TS	22	5	0.124	0.394	9	0.210
YNOA-008	TS	35	19	0.137	0.349	25	0.186
YNOA-009	TS	9	2	0.118	0.427	1	0.119
YNOA-015	TS	13	13	0.142	0.406	26	0.163
YNOB-010	TS	17	14	0.131	0.472	11	0.226
YNOB-011	TS	7	5	0.119	0.494	1	0.281
YNOB-012	TS	10	3	0.120	0.504	2	0.284
YNOB-016	TS	15	4	0.155	0.553	35	0.220
YNOB-017	TS	8	2	0.125	0.529	2	0.190
YNOB-018	TS	7	4	0.137	0.410	8	0.249
YNSA-001	TS	3	1	0.138	0.497	12	0.225

Continuación Anexo No 1

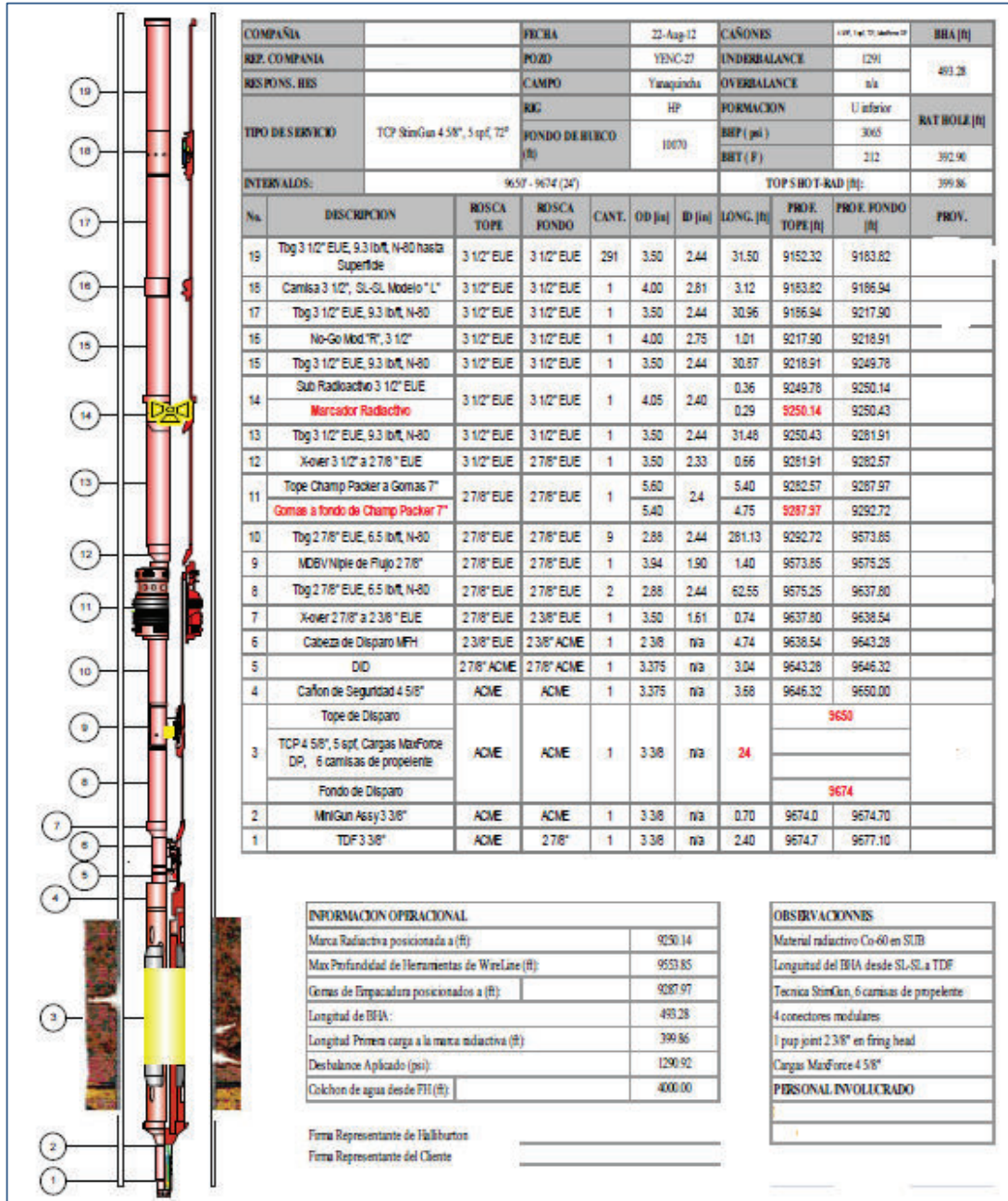
PROPIEDADES PETROFÍSICAS POR POZO, COMPLEJO YANAQUINCHA, "T"
PRINCIPAL

POZO	ARENA	BRUTO [ft]	NETO [ft]	Φ [fraccion]	Sw [fraccion]	K [md]	Vsh [fraccion]
YNEA-001	TP	37	37	0.150	0.182	329	0.112
YNEA-002	TP	72	65	0.156	0.266	276	0.111
YNEA-003	TP	76	19	0.189	0.272	734	0.127
YNEA-004	TP	43	38	0.151	0.399	148	0.121
YNEA-005	TP	23	10	0.166	0.328	214	0.105
YNEA-006S1	TP	42	35	0.173	0.287	149	0.165
YNEA-007	TP	82	79	0.167	0.185	333	0.076
YNEA-008	TP	34	34	0.153	0.213	144	0.086
YNEA-010	TP	63	34	0.147	0.359	122	0.089
YNEA-016	TP	50	33	0.157	0.249	225	0.071
YNEA-017	TP	65	12	0.157	0.256	215	0.072
YNEA-018	TP	25	8	0.165	0.504	448	0.041
YNEA-019	TP	72	4	0.165	0.395	281	0.092
YNEA-020	TP	73	27	0.151	0.231	226	0.097
YNEB-011	TP	64	41	0.148	0.230	137	0.106
YNEB-012	TP	35	22	0.144	0.461	119	0.226
YNEB-013	TP	43	21	0.168	0.310	302	0.116
YNEB-014	TP	27	27	0.144	0.313	151	0.172
YNEB-015	TP	36	25	0.174	0.477	141	0.098
YNEB-021	TP	15	11	0.124	0.528	35	0.109
YNEB-022	TP	14	14	0.113	0.394	9	0.035
YNEB-023	TP	30	11	0.134	0.486	72	0.161
YNEC-009S1	TP	60	30	0.167	0.369	827	0.162
YNOA-001	TP	47	46	0.159	0.221	290	0.061
YNOA-002	TP	29	21	0.157	0.281	281	0.092
YNOA-003	TP	35	27	0.137	0.434	75	0.086
YNOA-004	TP	19	19	0.188	0.142	1198	0.087
YNOA-005	TP	16	10	0.141	0.541	105	0.101
YNOA-006	TP	53	24	0.147	0.421	168	0.111
YNOA-007	TP	8	7	0.148	0.401	111	0.069
YNOA-008	TP	27	14	0.157	0.424	200	0.087
YNOA-014	TP	14	1	0.150	0.574	35	0.111
YNOA-015	TP	24	15	0.139	0.399	129	0.137
YNOB-010	TP	32	19	0.167	0.358	223	0.090
YNOB-011	TP	48	12	0.187	0.283	1455	0.106
YNOB-012	TP	21	7	0.142	0.444	41	0.103
YNOB-016	TP	21	7	0.159	0.360	246	0.097
YNOB-017	TP	8	4	0.120	0.514	9	0.149
YNOB-018	TP	18	11	0.137	0.495	279	0.120
YNSA-001	TP	17	9	0.139	0.406	55	0.092

ANEXO 2 DIAGRAMA DE CAÑONEO CON TCP CONVENCIONAL POZO YNEA 008 ARENA "Uj y TP"

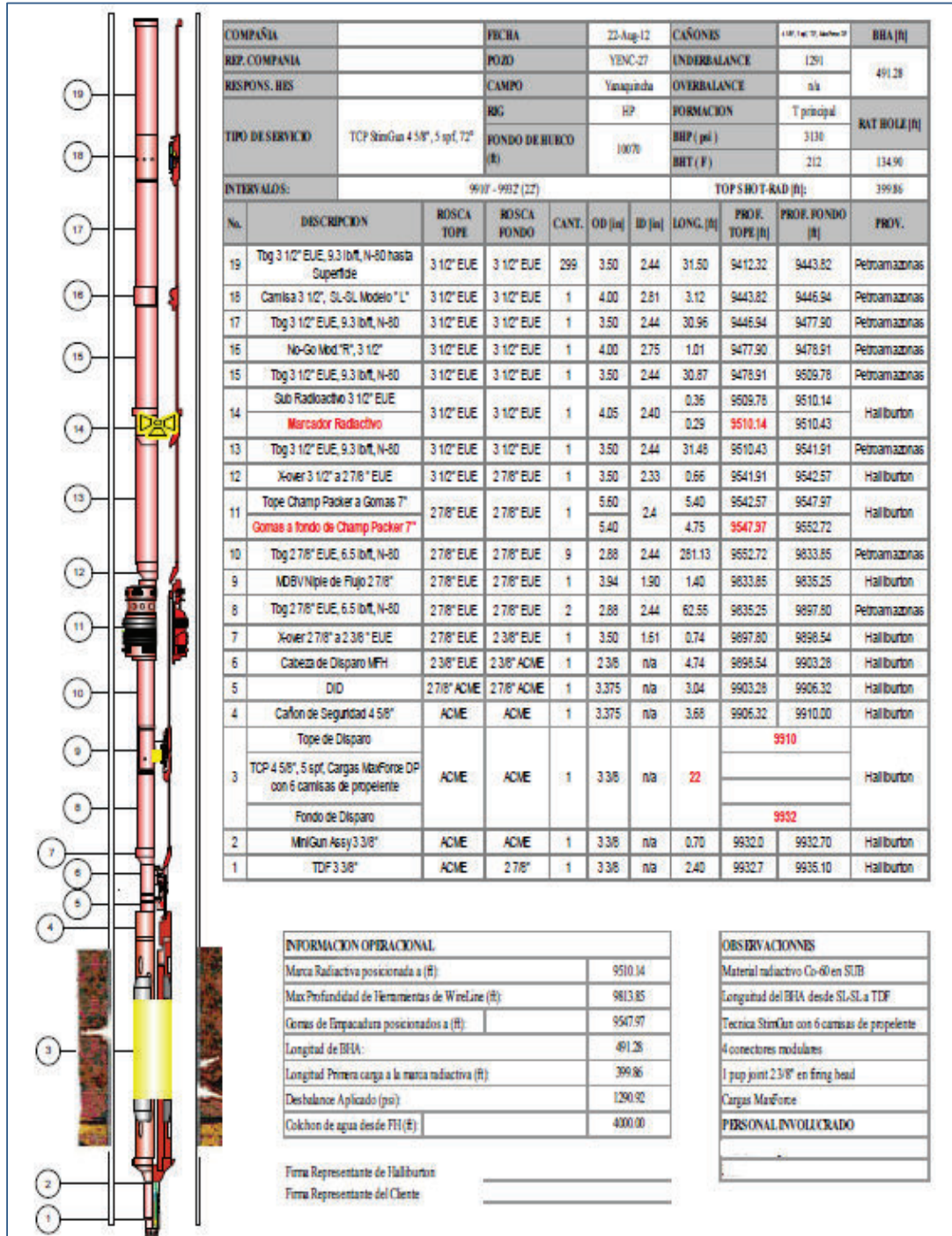


ANEXO 3 DIAGRAMA DE CAÑONEO CON STINGUN POZO YNEA-27 ARENA UI

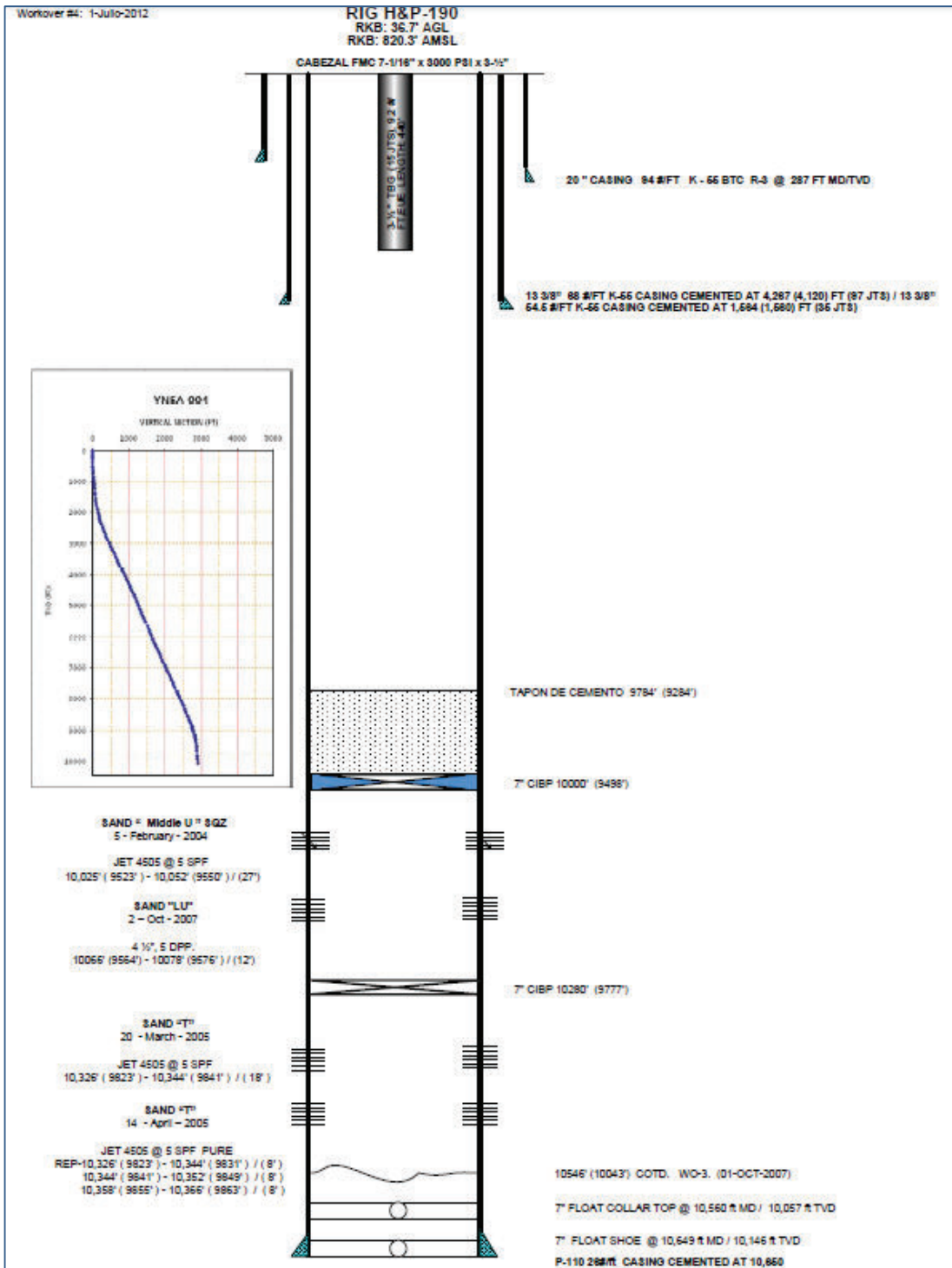


Continuación Anexo No 03

DIAGRAMA DE CAÑONEO YNEA27 (ARENA T PRINCIPAL)

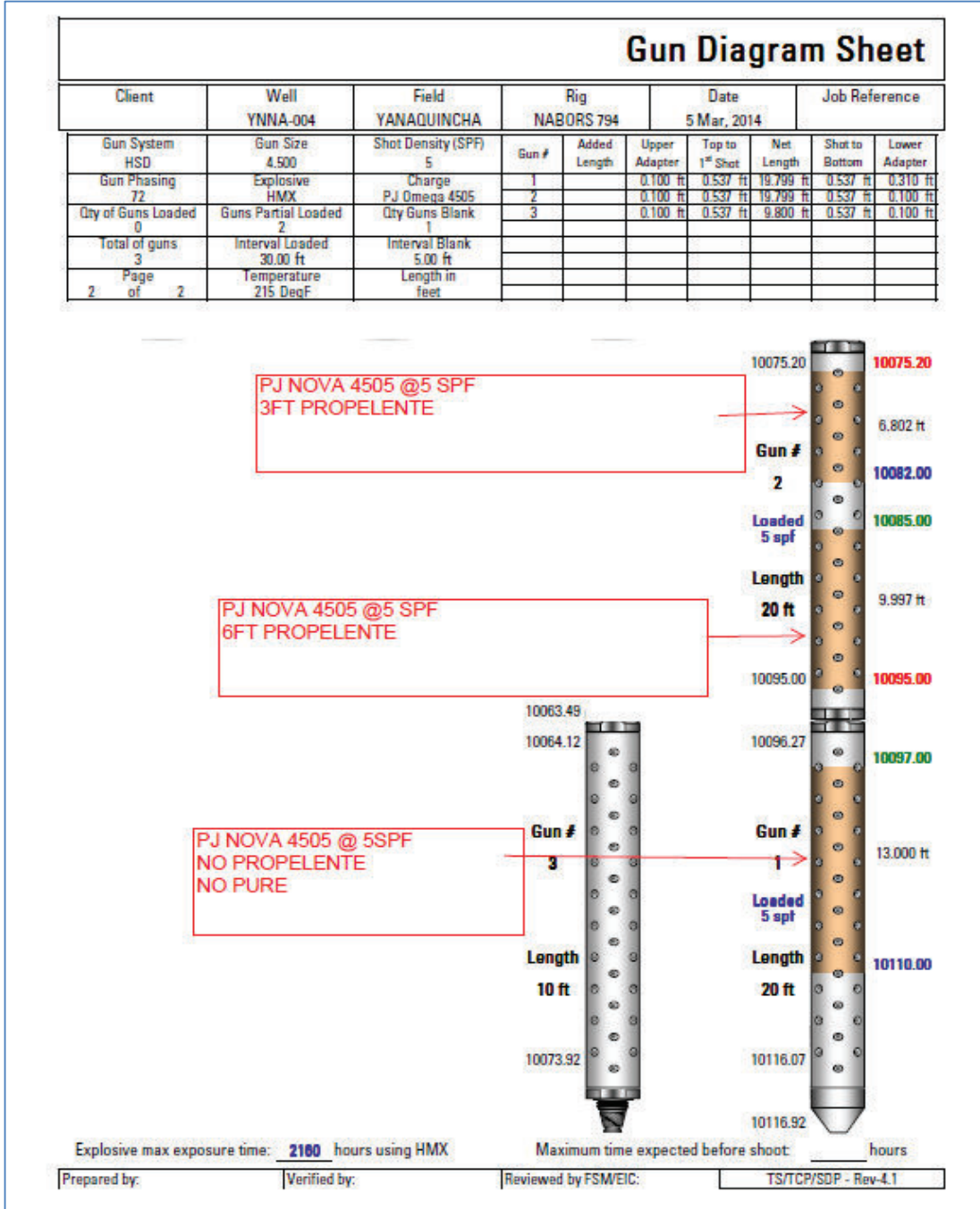


ANEXO 4 DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN DEL POZO YNEA04



Continuación Anexo No 04

ESQUEMA DE CAÑONES YNNA-004

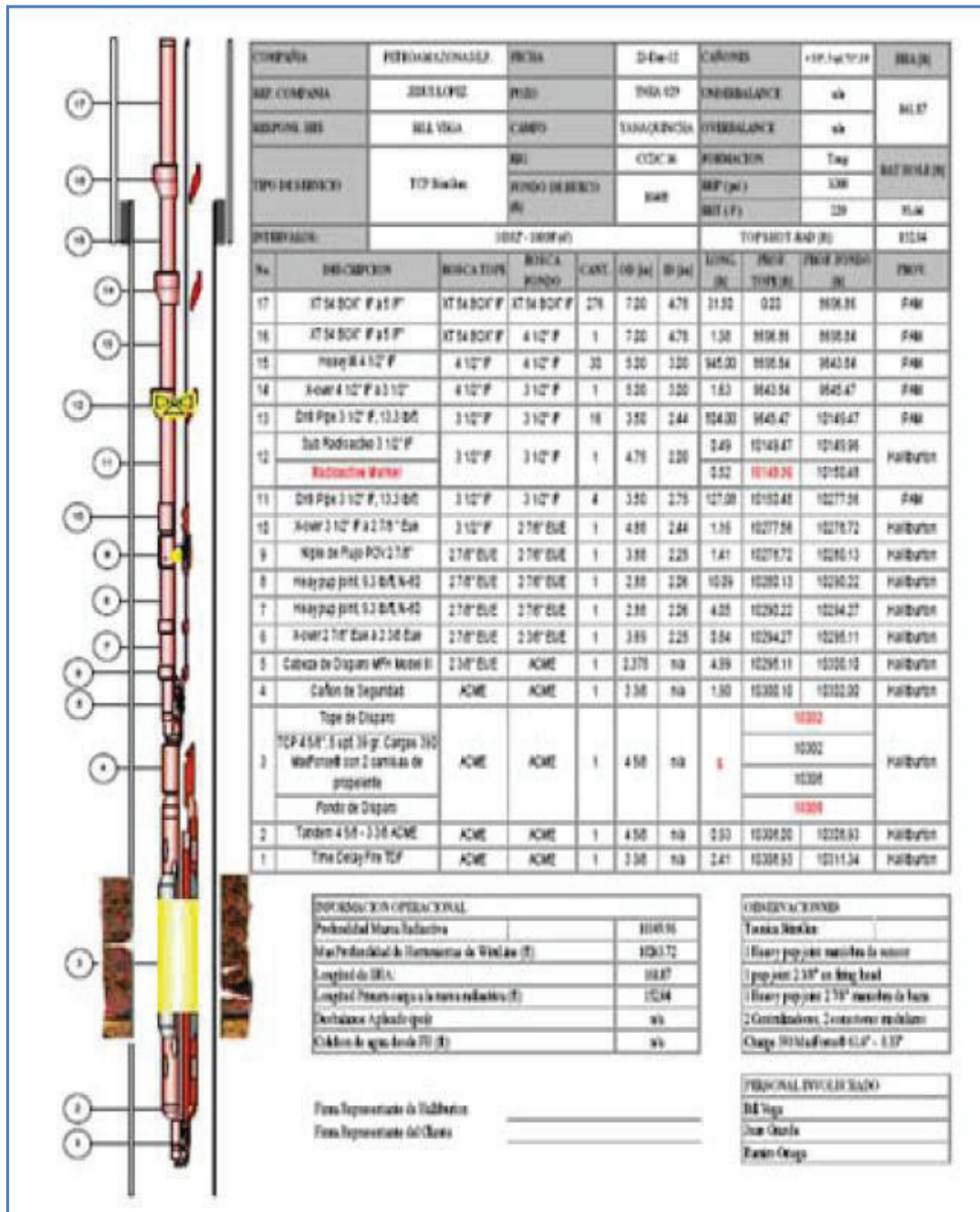


Continuación Anexo No 04

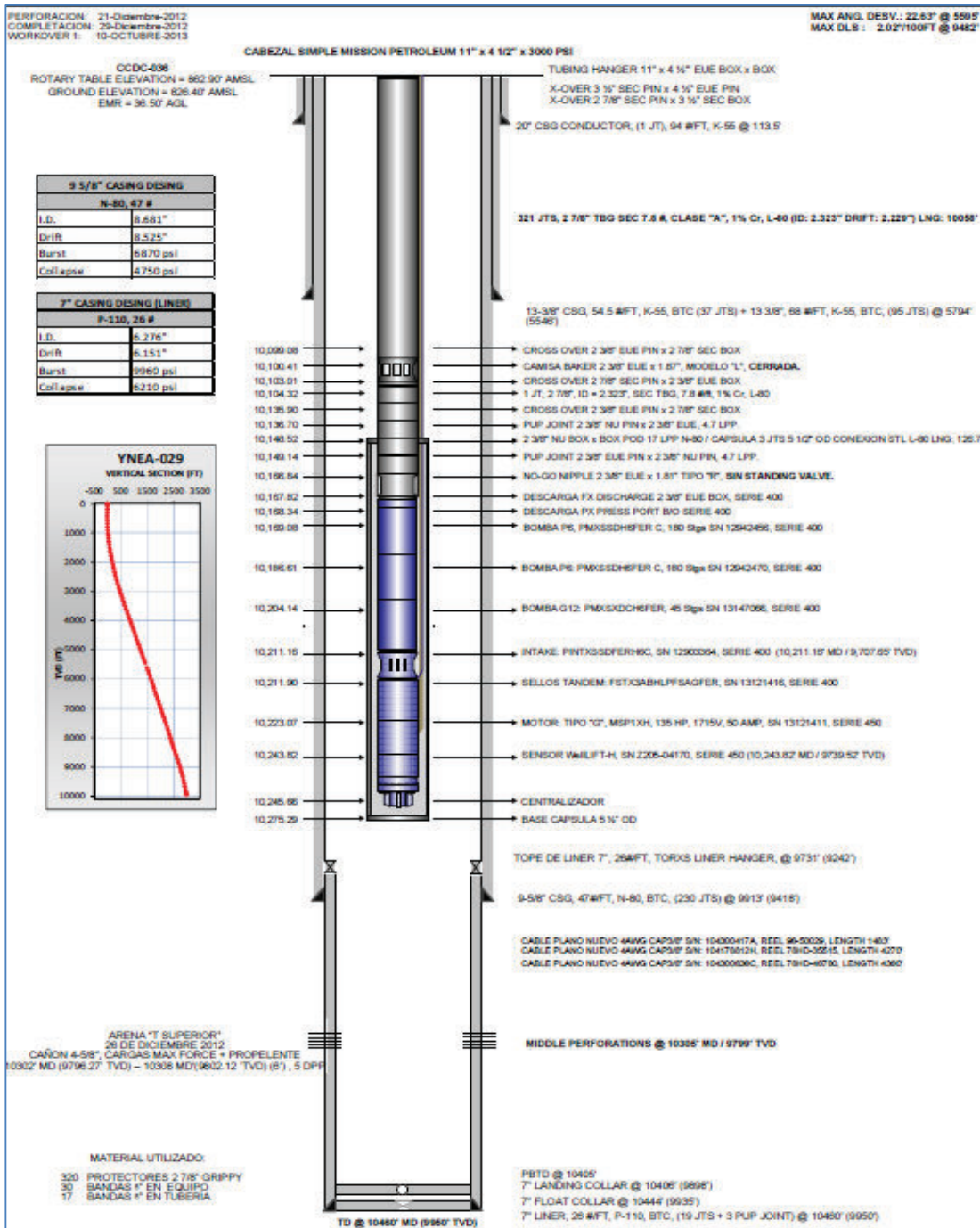
DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNNA-004

String Diagram													
Client		Well YNNA-004		Field YANAQUINCHA		Rig		Date 6-Mar-13		Job Reference			
Run # 1		Temperature 215 DegF		Interval 10075' - 10110'		Mud Weight 8.30 lb/gal		Mud Type Fresh Water		Max. Deviation 34			
#	Tool	Description	Tensile Rating		Working Pressure		Diameter		Threads		Length feet	Depth	
			Klb	psi	OD	ID	in.	Top	Bottom	Top		Bottom	
String Preliminar YNNA-004													
1		CABLE ELECTRIC					0.30		special Box	special Pin	9943.40		9943.40
2		WL Tools					4.50		special Box	special Pin	9.96	9943.40	9953.36
3		Quantum Packer PACKER	115	20,000	5.75	2.99			special Box	2 7/8" EUE Pin	9.52	9953.36	9962.88
4		2 7/8" Tubing - N-80 Tubing 2 Joints	N/A	145	10,570	3.68	2.44		2 7/8" EUE Box	2 7/8" EUE Pin	60.00	9962.88	10022.88
5		Long Slot Debris Sub LSDS	235	N/A	3.67	2.44			2 7/8" EUE Box	2 7/8" EUE Pin	1.76	10022.88	10024.64
6		2 7/8" Tubing - N-80 Tubing 1 joint	N/A	145	10,570	3.68	2.44		2 7/8" EUE Box	2 7/8" EUE Pin	30.00	10024.64	10054.64
7		HDF redundant HDF/HDF	145	10,000	4.00				2 7/8" EUE Box	3 3/8" API Pin	11.36	10054.64	10066.00
8		4.50" - Spacer	133	11,000	4.50				3 3/8" API Box	3 3/8" API Pin	9.00	10066.00	10075.00
9		High Shot Density 4.50" HSD	133	11,000	4.50				3 3/8" API Box	3 3/8" API Pin	7.00	10075.00	10082.00
10		4.50" - Spacer	133	11,000	4.50				3 3/8" API Box	3 3/8" API Pin	3.00	10082.00	10085.00
11		High Shot Density 4.50" HSD	SLB	133	11,000	4.50			3 3/8" API Box	3 3/8" API Pin	10.00	10085.00	10095.00
12		4.50" - Spacer	133	11,000	4.50				3 3/8" API Box	3 3/8" API Pin	2.00	10095.00	10097.00
13		High Shot Density 4.50" HSD	133	11,000	4.50				3 3/8" API Box	3 3/8" API Pin	13.00	10097.00	10110.00
14		4.50" - Spacer	133	11,000	4.50				3 3/8" API Box	4.625 S. A. Box	6.07	10110.00	10116.07
15		BullNose 4.50" HSD	133	11,000	4.50				4.625 S. A. Pin	N/A N/A	0.85	10116.07	10116.92
P.J Omega 4505													
Penetracion= 65.2 pulg													
Diametro de hueco=0.47 pulg													
Cantidad explosivo= 38.8 gr													
Client Representative:						Page 1		Rev Number: 56 06-Mar-14 16:05		TS/TCP/SDP - Rev-4.1			

ANEXO 5 DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN Y DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNEA-029

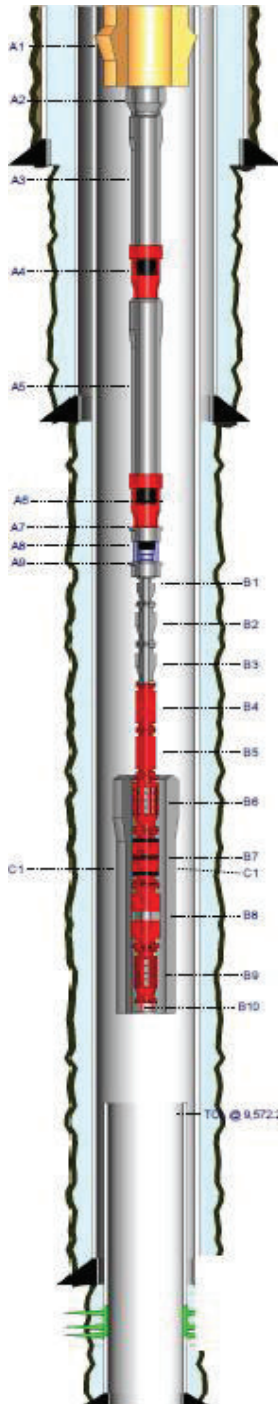


ANEXO 6 DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN Y DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNEA-029



ANEXO 7 DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN Y DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNEA26

DIAGRAMA DE COMPLETACIÓN DEL POZO YNEA26



TUBING STRING W/ ESP						
No	Joints	Top MD (ft)	TVD (top)	Length (ft)	OD Frac	Item Description
A1	1	36.50	36.50	1.00	11.000	11" x 3000 PSI x 4-1/2" EUE Box DOWN x 4-1/2" EUE Box UP, Tubing Hanger
A2	1	37.50	37.50	1.07	4 1/2	X-over 4-1/2" EUE Pin Up x 3-1/2" SEC Pin Down
A3	136	38.57	38.57	4,476.44	3 1/2	Tubing 3-1/2" SEC Box Up Pin Down, L-80, 9.2 Lbs/Ft, CLASE A
A4	1	4,515.01	4,221.88	4.02	3 1/2	Camisa CMD SEC 3-1/2" ID= 2.81"
A5	128	4,519.03	4,225.76	4,275.94	3 1/2	Tubing 3-1/2" SEC Box Up Pin Down, L-80, 9.2 Lbs/Ft, CLASE A
A6	1	8,794.97	8482.48	4.02	3 1/2	Camisa CMD SEC 3-1/2" ID= 2.81"
A7	1	8,798.99	8486.50	33.60	3 1/2	Tubing 3-1/2" SEC Box Up Pin Down, 9.2 Lbs Ft
A8	1	8,832.59	8520.10	0.80	3 1/2	No-go 3-1/2" sec (con stg valve 2.75")
A9	1	8,833.39	8520.90	33.63	3 1/2	Tubing 3-1/2" SEC Box Up Pin Down, 9.2 Lbs Ft

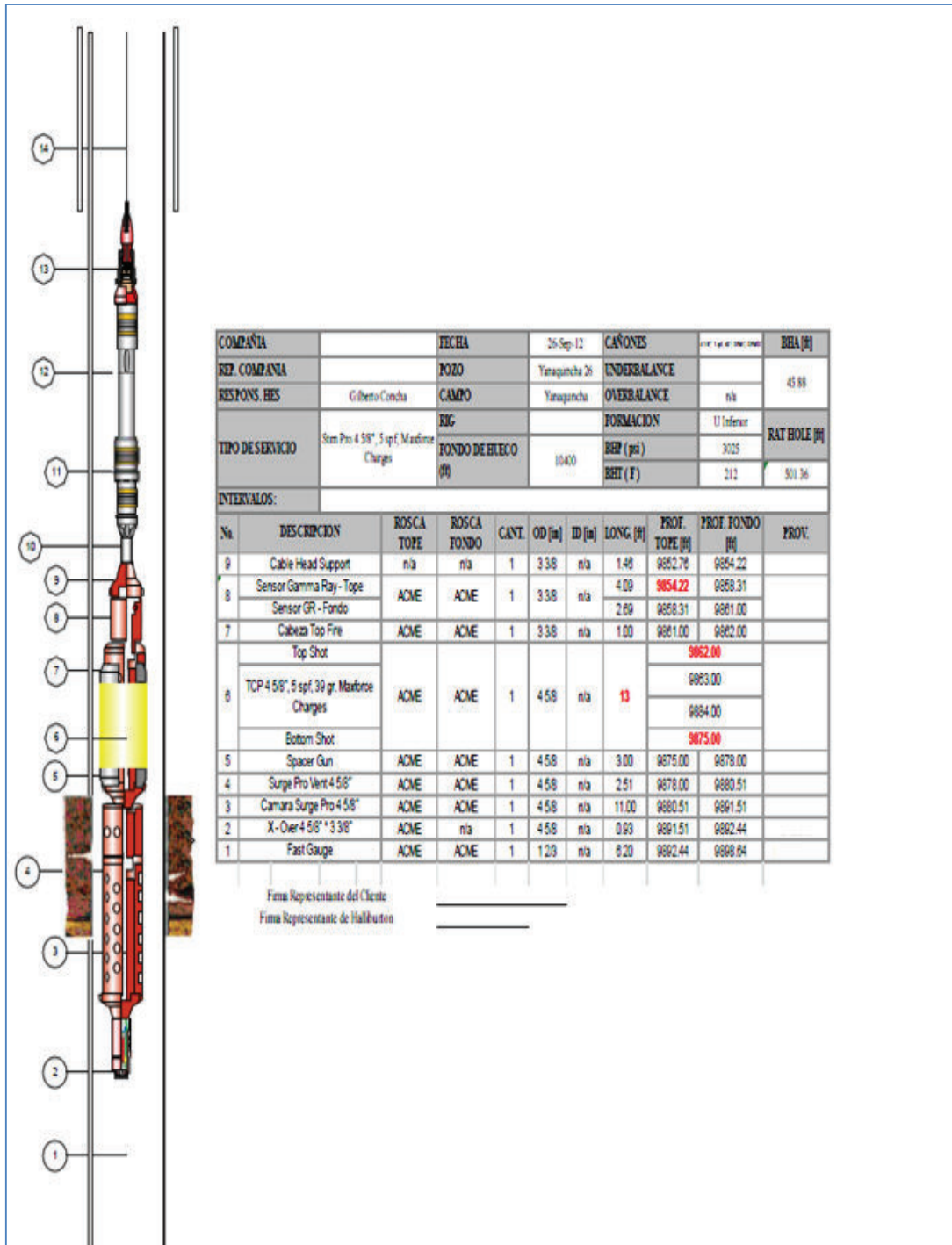
ESP ASSEMBLY						
No	Joints	Top MD (ft)	TVD (top)	Length (ft)	OD Frac	Item Description
B1	1	8,867.02	8554.53	1.10	3 1/2	X-Over 3-1/2" SEC Box x 2-3/8" EUE Pin Down
B2	1	8,868.12	8555.63	0.52	4.000	Discharge Head FFXDISCHARGE 2-3/8" EUE Box
B3	1	8,868.64	8556.15	0.72	4.000	Discharge Pression PX PRESS PORT B/O E-GAUGE
B4	1	8,869.36	8556.87	11.54	4.000	Pump P6,113 STAGE, SXD H6, PMXSSD H6 FER, S/N: 01F-21564, SERIE 400
B5	1	8,880.90	8568.41	11.54	4.000	Pump P6,113 STAGE, SXD H6, PMXSSD H6 FER, S/N: 12520458, SERIE 400
B6	1	8,892.44	8579.95	1.02	5.130	Intake, AR H6, GPINTXARH6, S/N: 12588968, SERIE 513
B7	1	8,893.46	8580.97	12.90	5.130	Upper Seal, HL, H6, S/N: 12579324, SERIE 513
B8	1	8,906.36	8593.87	11.02	5.620	Motor, 562MSP, S/N: 21K-89774, 126 HP, 2300 VOLT, 33 AMP MSP1X-H.
B9	1	8,917.38	8604.89	1.84	4 1/2	Sensor, WELLLIFT-H, S/N 205-02-185P, SERIE 450
B10	1	8,919.22	8606.73	1.55		Centralizador de 4 aletas P/N: CEC200248X

MECHANICAL ITEM						
No	Joints	Top MD (ft)	TVD (top)	Length (ft)	OD Frac	Item Description
C1	1	8,892.44	8579.95	40.00	7.000	Camisa de refrigeración de 5-1/2"

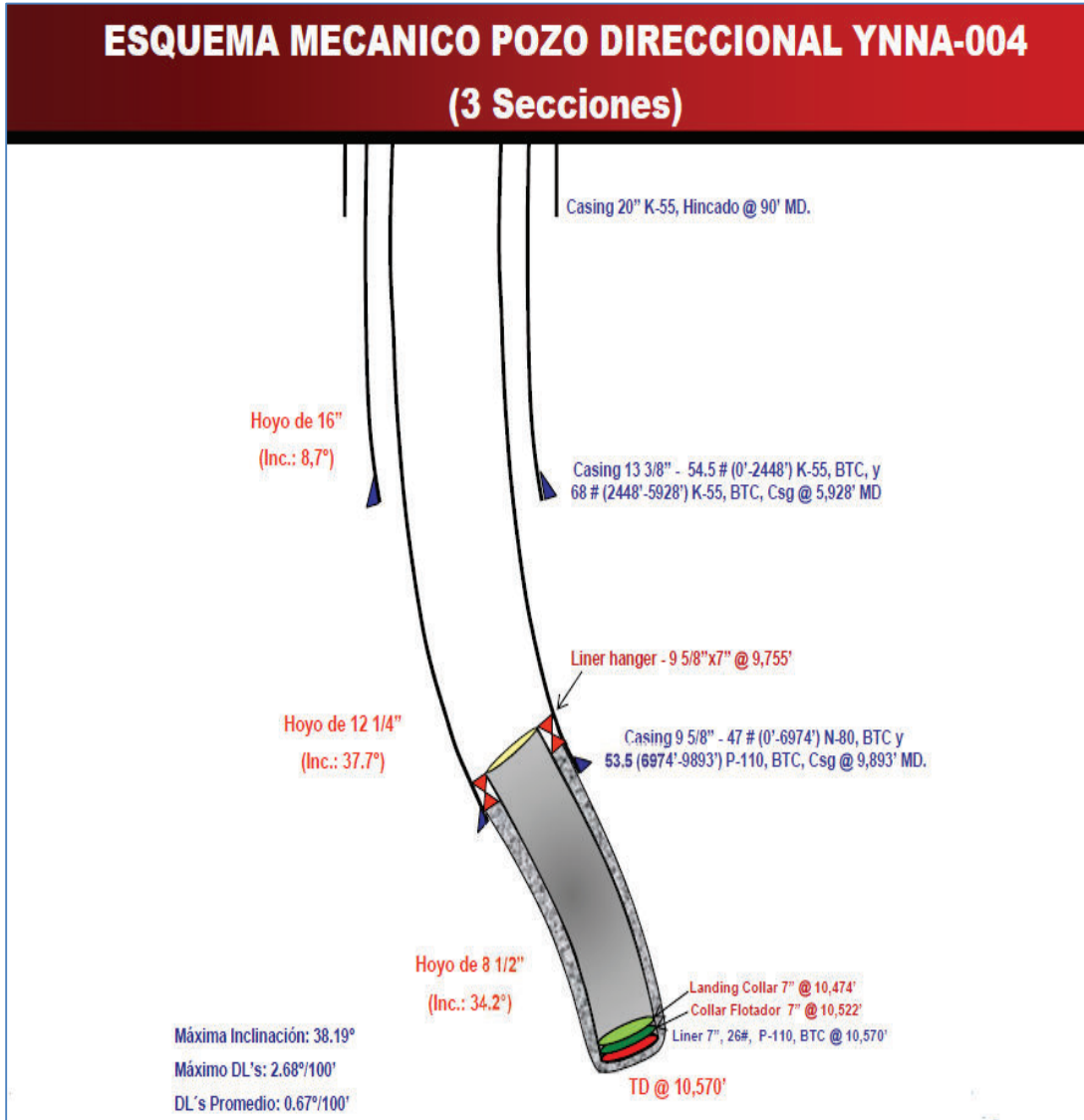
ARENISCA "U INFERIOR"

PERF: 28 / SEP / 2012
CAÑONES 4-5/8", CARGAS MILENIUM II, DP:52", EH: 0.35"
9862' MD (9549.53' TVD) - 9875' MD (9562.53' TVD) (13') @ 10 DPP
9875' MD (9562.53' TVD) - 9880' MD (9567.53' TVD) (5') @ 5 DPP

Continuación Anexo No 07
DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNEA26

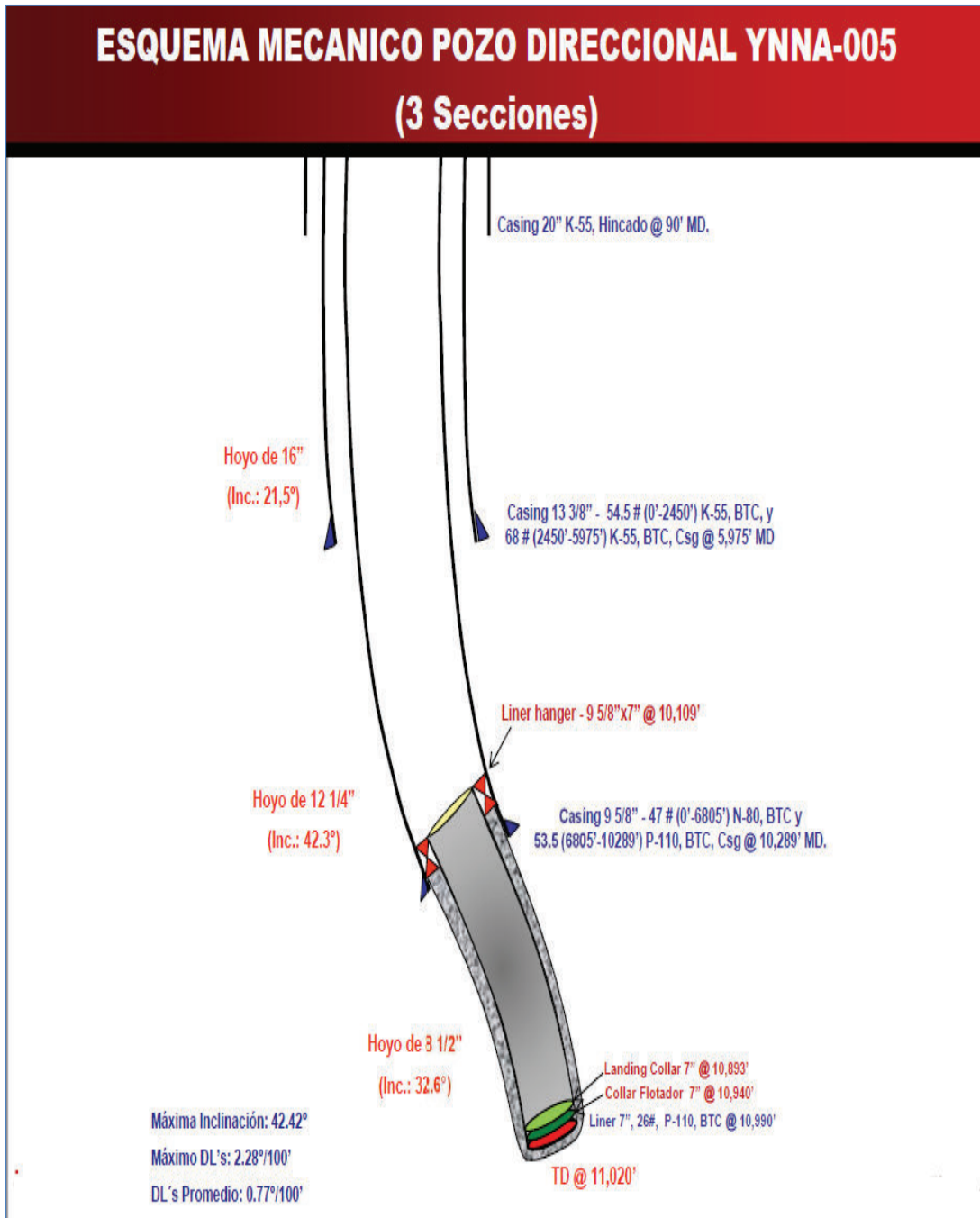


ANEXO 8 ESQUEMA MECÁNICO, GUN DIAGRAM SHEET, STRING DIAGRAM DEL POZO YNNA-004



ANEXO 9 ESQUEMA MECÁNICO, GUN DIAGRAM SHEET, STRING DIAGRAM
DEL POZO YNNA-005

ESQUEMA MECÁNICO POZO YNNA-005



Continuación Anexo No 09

GUN DIAGRAM SHEET POZO YNNA-005 “ARENA T PRINCIPAL”

Gun Diagram Sheet									
Client	Well	Field	Rig	Date	Job Reference				
PETROAMAZONAS	YNNA-005	YANAQUINCHA	NABORS 794	9 Abril, 2014					
Gun System HSD	Gun Size 4.500	Shot Density (SPF) 5	Gun #	Added Length	Upper Adapter	Top to 1 st Shot	Net Length	Shot to Bottom	Lower Adapter
Gun Phasing 72	Explosive HMX	Charge PowerJet 4505	1		0.100 ft	0.537 ft	19.799 ft	0.537 ft	0.310 ft
Qty of Guns Loaded	Guns Partial Loaded	Qty Guns Blank							
Total of guns 1	Interval Loaded 7.00 ft	Interval Blank							
Page 2	Temperature 215 DegF	Length in feet							
of 2									

PJ NOVA 4505 @ 4.8 SPF
PURE PUNCHER @ 0.2 SPF

Gun #
1

Loaded
5 spl

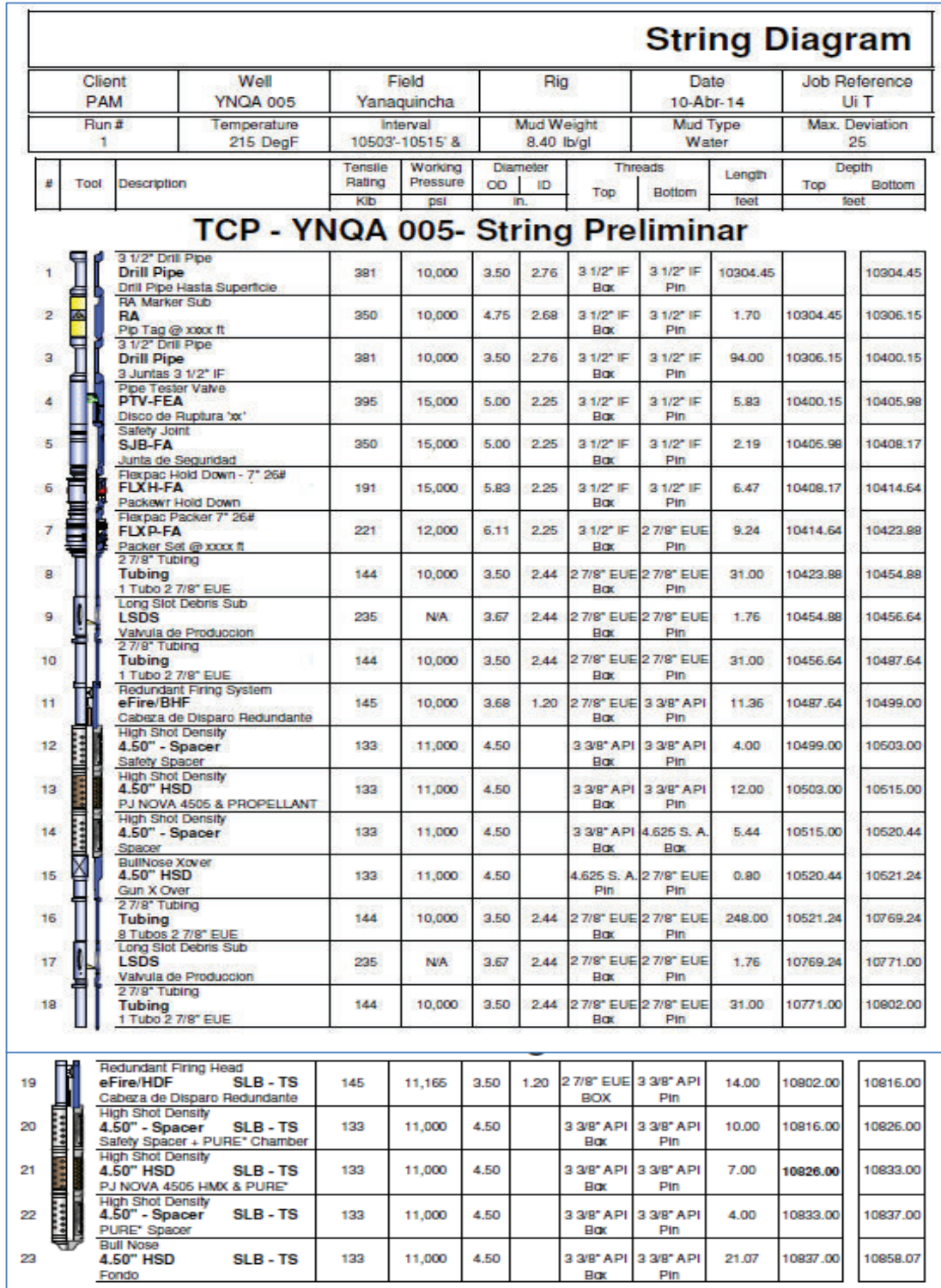
Length
20 ft

Explosive max exposure time: **2160** hours using HMX Maximum time expected before shoot: _____ hours

Prepared by:	Verified by:	Reviewed by FSM/EIC:	TS/TCP/SDP - Rev-4.1
--------------	--------------	----------------------	----------------------

Continuación Anexo No 09

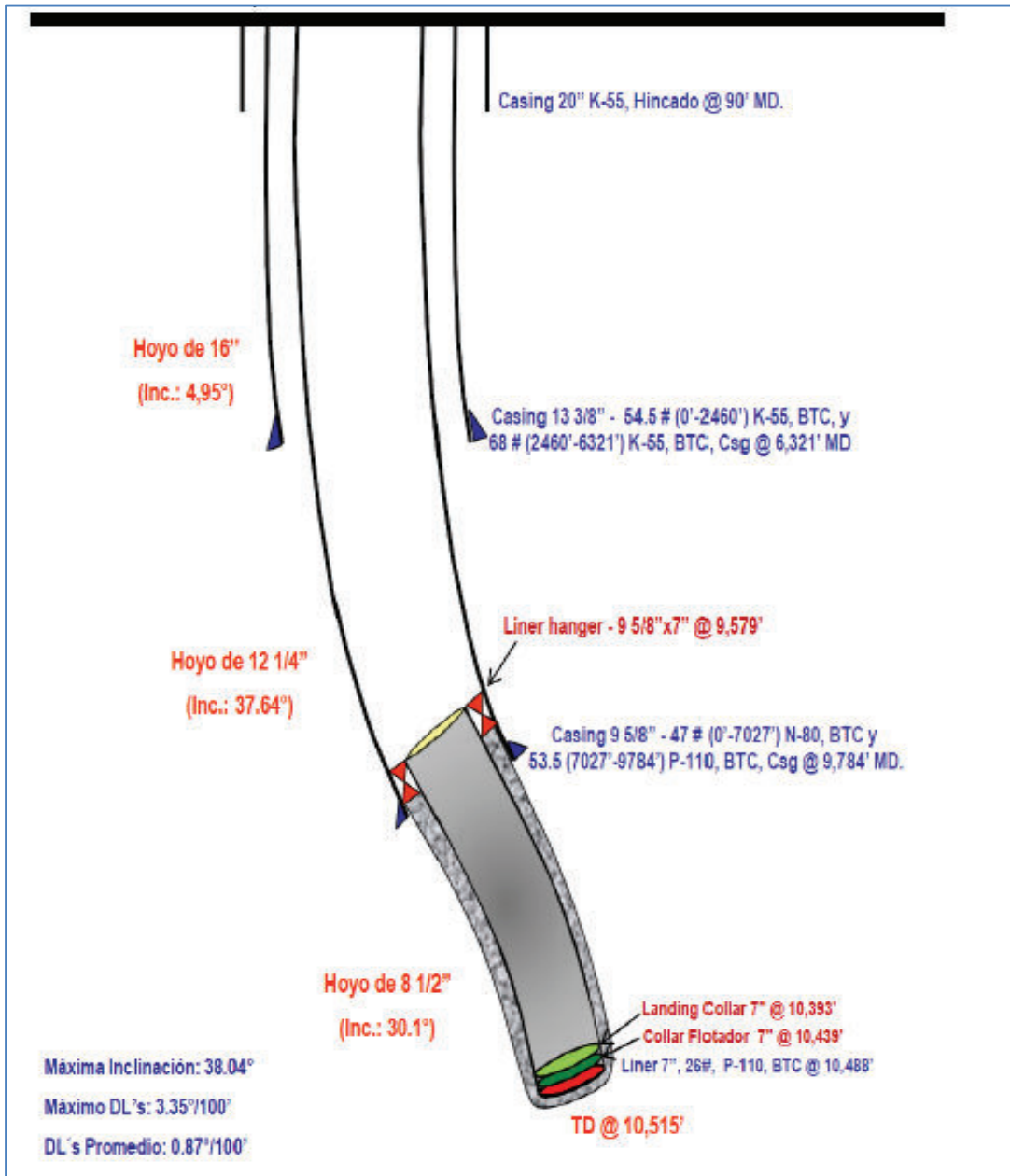
DIAGRAMA DE CAÑONEO DEL POZO YNNA-005



ANEXO 10 ESQUEMA MECÁNICO, DIAGRAMA DE HERRAMIENTAS DE

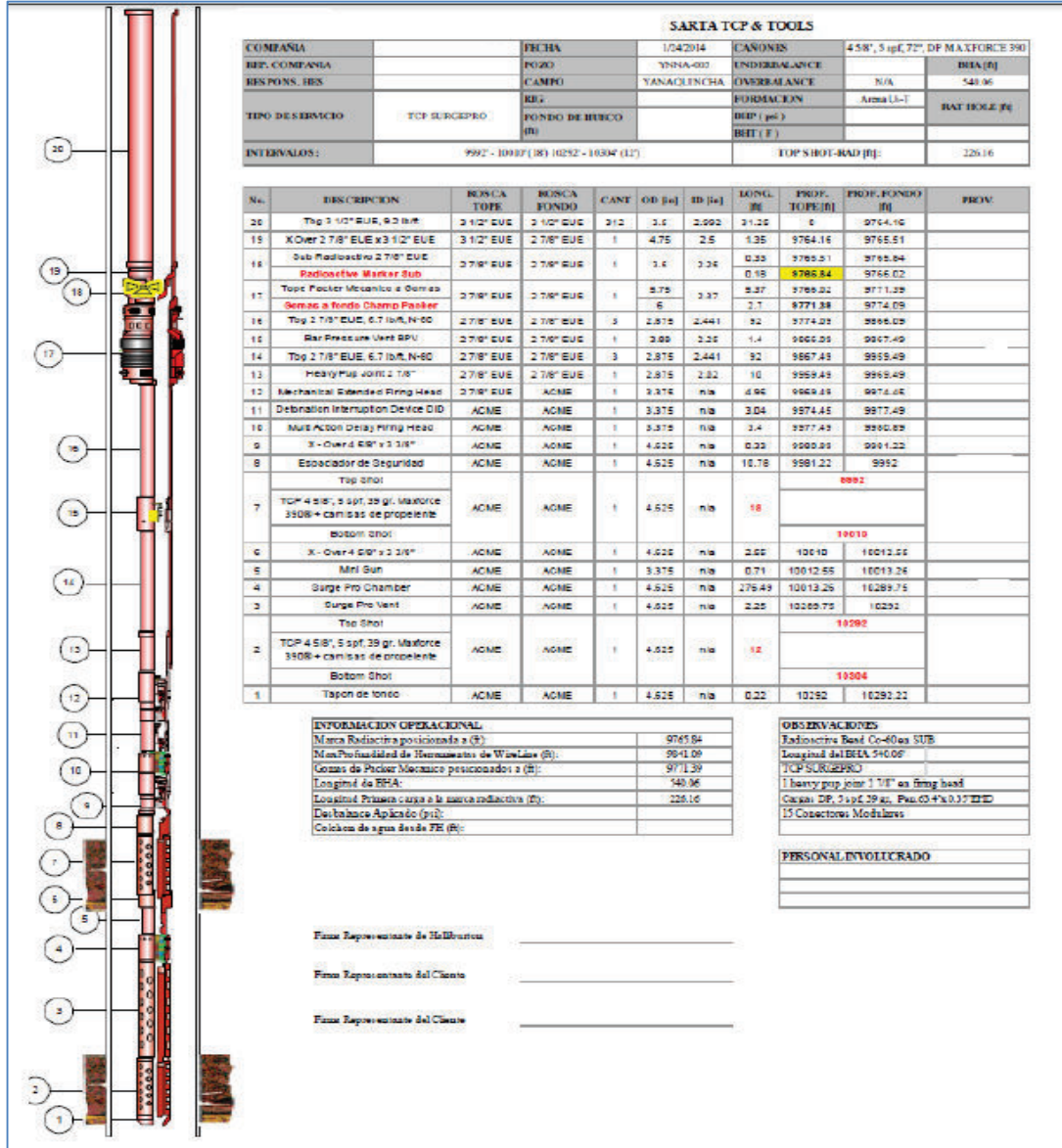
CAÑONEO POZO YNNA03

ESQUEMA MECÁNICO DEL POZO YNNA03



Continuación Anexo No 10

DIAGRAMA DE HERRAMIENTAS DE CAÑONEO POZO YNNA03



Continuación Anexo No 11

ESCENARIO PESIMISTA \$50 – TÉCNICA TCP CONVENCIONAL

ESCENARIO PESIMISTA: 50\$							
CAÑONEO CON TCP CONVENCIONAL: POZO YNEA08 ARENA TP							
Periodo de tiempo (n)	Producción(b1)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización 12 % anual	Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	Flujo neto de caja(\$)
1	20430,00	1021500	123779,3	0,99	1011386,14	122553,7624	888832,38
2	19826,20	991310,113	122263,768	0,98	971777,39	119854,6884	851922,70
3	19240,25	962012,471	120793,026	0,97	933719,83	117240,521	816479,31
4	18671,61	933580,706	119365,751	0,96	897152,71	114708,1409	782444,57
5	18119,78	905989,226	117980,659	0,95	862017,66	112254,549	749763,11
6	17584,26	879213,198	116636,503	0,94	828258,60	109876,8615	718381,74
7	17064,57	853228,521	115332,072	0,93	795821,65	107572,3056	688249,34
8	16560,24	828011,807	114066,193	0,92	764655,01	105338,2152	659316,80
9	16070,81	803540,36	112837,726	0,91	734708,95	103172,0266	631536,92
10	15595,84	779792,153	111645,566	0,91	705935,66	101071,2745	604864,39
11	15134,92	756745,812	110488,64	0,90	678289,22	99033,58835	579255,63
12	14687,61	734380,594	109365,906	0,89	651725,49	97056,68838	554668,80
Total	208986,10	10449305	1394555,11		9835448,309	1309732,622	5025715,69
VAN	5025715,69						
TIR	19%						
R C/B	7,50950854						

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO OPTIMISTA \$100 – TÉCNICA STIMGUN

ESCENARIO OPTIMISTA: 100\$							
CAÑONEO CON STIMGUN: POZO YNEA027 ARENA U INFERIOR							
Periodo de tiempo (n)	Producción(bl)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización	Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	
				12 % anual			
0	0,00	0	0	1	0	0	-3500000
1	23070,00	2307000	144405,7	0,99	2284158,42	142975,9406	2141182,48
2	22575,53	2257552,61	143164,571	0,98	2213069,91	140343,663	2072726,25
3	22091,65	2209165,07	141950,043	0,97	2144193,85	137775,3134	2006418,53
4	21618,15	2161814,64	140761,547	0,96	2077461,38	135269,0803	1942192,30
5	21154,79	2115479,1	139598,525	0,95	2012805,78	132823,207	1879982,57
6	20701,37	2070136,7	138460,431	0,94	1950162,42	130435,9896	1819726,43
7	20257,66	2025766,16	137346,731	0,93	1889468,67	128105,7754	1761362,90
8	19823,47	1982346,64	136256,901	0,92	1830663,86	125830,9616	1704832,90
9	19398,58	1939857,75	135190,43	0,91	1773689,19	123609,9936	1650079,20
10	18982,80	1898279,56	134146,817	0,91	1718487,72	121441,3633	1597046,36
11	18575,93	1857592,53	133125,573	0,90	1665004,25	119323,6081	1545680,64
12	18177,78	1817777,58	132126,217	0,89	1613185,31	117255,3092	1495930,00
Total	246427,68	24642768,3	1656533,49		23172350,74	1555190,205	18117160,54
VAN	18117160,54						
TIR	58%						
R C/B	14,90001073						

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO PESIMISTA \$50 – TÉCNICA STIMGUN

ESCENARIO PESIMISTA: 50\$							
CAÑONEO CON STIMGUN: POZO YNEA027 ARENA U INFERIOR							
Periodo de tiempo (n)	Producción(bl)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización	Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	Flujo neto de caja(\$)
				12 % anual			
0	0,00	0	0	1	0	0	-3500000
1	23070,00	1153500	144405,7	0,99	1142079,21	142975,9406	999103,27
2	22575,53	1128776,31	143164,571	0,98	1106534,95	140343,663	966191,29
3	22091,65	1104582,53	141950,043	0,97	1072096,92	137775,3134	934321,61
4	21618,15	1080907,32	140761,547	0,96	1038730,69	135269,0803	903461,61
5	21154,79	1057739,55	139598,525	0,95	1006402,89	132823,207	873579,68
6	20701,37	1035068,35	138460,431	0,94	975081,21	130435,9896	844645,22
7	20257,66	1012883,08	137346,731	0,93	944734,34	128105,7754	816628,56
8	19823,47	991173,318	136256,901	0,92	915331,93	125830,9616	789500,97
9	19398,58	969928,875	135190,43	0,91	886844,60	123609,9936	763234,60
10	18982,80	949139,778	134146,817	0,91	859243,86	121441,3633	737802,50
11	18575,93	928796,267	133125,573	0,90	832502,12	119323,6081	713178,51
12	18177,78	908888,791	132126,217	0,89	806592,65	117255,3092	689337,34
Total	246427,68	12321384,2	1656533,49		11586175,37	1555190,205	6530985,17
VAN	6530985,17						
TIR	24%						
R C/B	7,450005364						

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO OPTIMISTA \$100 – TÉCNICA TCP STIMPRO

ESCENARIO OPTIMISTA: 100\$									
CAÑONEO CON TCP STIMPRO: POZO YNEA029 ARENA T SUPERIOR									
Periodo de tiempo (n)	Producción (bl)	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Factor de actualización		Ingresos actualizados (\$)	Costos actualizados (\$)	Flujo neto de caja (\$)	
				12 % anual					
0	0,00	0	0	1		0	0	-3500000	
1	28650,00	2865000	170411,5	0,99		2836633,66	168724,2574	2667909,41	
2	28176,46	2817645,72	169222,907	0,98		2762126,96	165888,5476	2596238,42	
3	27710,74	2771074,13	168053,961	0,97		2689577,25	163111,5185	2526465,73	
4	27252,72	2725272,3	166904,335	0,96		2618933,11	160391,7851	2458541,33	
5	26802,28	2680227,51	165773,711	0,95		2550144,51	157727,9975	2392416,52	
6	26359,27	2635927,25	164661,774	0,94		2483162,70	155118,8396	2328043,86	
7	25923,59	2592359,2	163568,216	0,93		2417940,23	152563,0282	2265377,20	
8	25495,11	2549511,27	162492,733	0,92		2354430,89	150059,3127	2204371,57	
9	25073,72	2507371,56	161435,026	0,91		2292589,67	147606,4734	2144983,20	
10	24659,28	2465928,35	160394,802	0,91		2232372,77	145203,3215	2087169,45	
11	24251,70	2425170,14	159371,771	0,90		2173737,52	142848,6979	2030888,82	
12	23850,86	2385085,61	158365,649	0,89		2116642,37	140541,4722	1976100,90	
Total	314205,73	31420573	1970656,38			29528291,65	1849785,252	24178506,40	
VAN		24178506,40							
TIR		73%							
R C/B		15,96309173							

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO OPTIMISTA \$100 – TÉCNICA WL STIMPRO

ESCENARIO OPTIMISTA: 100\$								
CAÑONEO CON WL STIMPRO: POZO YNEA26 ARENA U INFERIOR								
Período de tiempo (n)	Producción(bil)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización		Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	Flujo neto de caja(\$)
				12 % anual	1			
0	0,00	0	0			0	0	-3500000
1	24150,00	2415000	143966,5	0,99		2391089,11	142541,0891	2248548,02
2	23632,38	2363237,78	142667,268	0,98		2316672,66	139856,1595	2176816,50
3	23125,85	2312585,02	141395,884	0,97		2244572,23	137237,4519	2107334,78
4	22630,18	2263017,92	140151,75	0,96		2174715,74	134683,0769	2040032,67
5	22145,13	2214513,23	138934,282	0,95		2107033,36	132191,2023	1974842,15
6	21670,48	2167048,18	137742,909	0,94		2041457,41	129760,0513	1911697,36
7	21206,00	2120600,47	136577,072	0,93		1977922,34	127387,9006	1850534,44
8	20751,48	2075148,3	135436,222	0,92		1916364,64	125073,079	1791291,56
9	20306,70	2030670,34	134319,825	0,91		1856722,76	122813,9656	1733908,79
10	19871,46	1987145,7	133227,357	0,91		1798937,08	120608,9883	1678328,09
11	19445,54	1944553,95	132158,304	0,90		1742949,83	118456,6225	1624493,21
12	19028,75	1902875,1	131112,165	0,89		1688705,03	116355,3893	1572349,65
Total	257963,96	25796396	1647689,54			24257142,19	1546964,976	19210177,22
VAN		19210177,22						
TIR		61%						
R C/B		15,68047277						

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO PESIMISTA \$50 – TÉCNICA WL STIMPRO

ESCENARIO PESIMISTA: 50\$							
CAÑONEO CON WL STIMPRO: POZO YNEA26 ARENA U INFERIOR							
Periodo de tiempo (n)	Producción(bl)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización	Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	Flujo neto de caja(\$)
				12 % anual			
0	0,00	0	0	1	0	0	-3500000
1	24150,00	1207500	143966,5	0,99	1195544,55	142541,0891	1053003,47
2	23632,38	1181618,89	142667,268	0,98	1158336,33	139856,1595	1018480,17
3	23125,85	1156292,51	141395,884	0,97	1122286,12	137237,4519	985048,66
4	22630,18	1131508,96	140151,75	0,96	1087357,87	134683,0769	952674,80
5	22145,13	1107256,62	138934,282	0,95	1053516,68	132191,2023	921325,48
6	21670,48	1083524,09	137742,909	0,94	1020728,70	129760,0513	890968,65
7	21206,00	1060300,23	136577,072	0,93	988961,17	127387,9006	861573,27
8	20751,48	1037574,15	135436,222	0,92	958182,32	125073,079	833109,24
9	20306,70	1015335,17	134319,825	0,91	928361,38	122813,9656	805547,41
10	19871,46	993572,85	133227,357	0,91	899468,54	120608,9883	778859,55
11	19445,54	972276,976	132158,304	0,90	871474,91	118456,6225	753018,29
12	19028,75	951437,551	131112,165	0,89	844352,52	116355,3893	727997,13
Total	257963,96	12898198	1647689,54		12128571,1	1546964,976	7081606,12
VAN	7081606,12						
TIR	25%						
R C/B	7,840236386						

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO OPTIMISTA \$100 – TÉCNICA TCP SURGEPRO

ESCENARIO OPTIMISTA: 100\$							
CAÑONEO CON TCP SURGEPRO: POZO YNEC09 ARENA H SUPERIOR							
Periodo de tiempo (n)	Producción (bl)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización 12 % anual	Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	Flujo neto de caja(\$)
1	24060,00	2406000	143490,6	0,99	2382178,22	142069,901	2240108,32
2	22734,51	2273451,02	140163,621	0,98	2228655,06	137401,8436	2091253,21
3	21482,04	2148204,3	137019,928	0,97	2085025,93	132990,1921	1952035,74
4	20298,58	2029857,55	134049,424	0,96	1950653,21	128818,8621	1821834,34
5	19180,31	1918030,64	131242,569	0,95	1824940,34	124872,8012	1700067,54
6	18123,64	1812364,39	128590,346	0,94	1707329,24	121137,9229	1586191,31
7	17125,19	1712519,4	126084,237	0,93	1597297,76	117601,0441	1479696,72
8	16181,75	1618174,97	123716,192	0,92	1494357,43	114249,8274	1380107,61
9	15290,28	1529028,07	121478,605	0,91	1398051,26	111072,7259	1286978,53
10	14447,92	1444792,36	119364,288	0,91	1307951,68	108058,9331	1199892,75
11	13651,97	1365197,29	117366,452	0,90	1223658,71	105198,3345	1118460,37
12	12899,87	1289987,19	115478,678	0,89	1144798,13	102481,4636	1042316,66
Total	215476,07	21547607,2	1538044,94		20344896,95	1445953,851	15398943,10
VAN	15398943,10						
TIR	57%						
R C/B	14,07022564						

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO PESIMISTA \$50 – TÉCNICA TCP SURGEPRO

ESCENARIO OPTIMISTA: 50\$								
CAÑONEO CON TCP SURGEPRO: POZO YNEC09 ARENA H SUPERIOR								
Periodo de tiempo (n)	Producción(b1)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización		Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	Flujo neto de caja(\$)
				12 % anual				
0	0,00	0	0	1		0	0	-3500000
1	24060,00	1203000	143490,6	0,99		1191089,11	142069,901	1049019,21
2	22734,51	1136725,51	140163,621	0,98		1114327,53	137401,8436	976925,68
3	21482,04	1074102,15	137019,928	0,97		1042512,97	132990,1921	909522,77
4	20298,58	1014928,77	134049,424	0,96		975326,60	128818,8621	846507,74
5	19180,31	959015,32	131242,569	0,95		912470,17	124872,8012	787597,37
6	18123,64	906182,194	128590,346	0,94		853664,62	121137,9229	732526,69
7	17125,19	856259,698	126084,237	0,93		798648,88	117601,0441	681047,84
8	16181,75	809087,484	123716,192	0,92		747178,72	114249,8274	632928,89
9	15290,28	764514,034	121478,605	0,91		699025,63	111072,7259	587952,90
10	14447,92	722396,181	119364,288	0,91		653975,84	108058,9331	545916,91
11	13651,97	682598,644	117366,452	0,90		611829,35	105198,3345	506631,02
12	12899,87	644993,593	115478,678	0,89		572399,06	102481,4636	469917,60
Total	215476,07	10773803,6	1538044,94			10172448,47	1445953,851	5226494,62
VAN		5226494,62						
TIR		22%						
R C/B		7,035112818						

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO OPTIMISTA \$100 – TÉCNICA TCP PURE

ESCENARIO OPTIMISTA: 100\$									
CAÑONEO CON TCP PURE: POZO YNNA005 ARENA T PRINCIPAL									
Periodo de tiempo (n)	Producción(bbl)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización		Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	Flujo neto de caja(\$)	
				12 % anual	1				
0	0,00	0	0	0	1	0	0	-3500000	
1	27720,00	2772000	174877,2	174877,2	0,99	2744554,46	173145,7426	2571408,71	
2	27489,96	2748995,98	174299,799	174299,799	0,98	2694829,90	170865,4045	2523964,50	
3	27261,83	2726182,87	173727,19	173727,19	0,97	2646006,24	168617,8991	2477388,34	
4	27035,59	2703559,08	173159,333	173159,333	0,96	2598067,13	166402,7153	2431664,42	
5	26811,23	2681123,03	172596,188	172596,188	0,95	2550996,57	164219,3508	2386777,22	
6	26588,73	2658873,18	172037,717	172037,717	0,94	2504778,81	162067,3113	2342711,49	
7	26368,08	2636807,96	171483,88	171483,88	0,93	2459398,40	159946,1109	2299452,28	
8	26149,26	2614925,87	170934,639	170934,639	0,92	2414840,17	157855,2715	2256984,89	
9	25932,25	2593225,36	170389,957	170389,957	0,91	2371089,22	155794,323	2215294,90	
10	25717,05	2571704,94	169849,794	169849,794	0,91	2328130,94	153762,8029	2174368,13	
11	25503,63	2550363,12	169314,114	169314,114	0,90	2285950,95	151760,2563	2134190,69	
12	25291,98	2529198,4	168782,88	168782,88	0,89	2244535,16	149786,236	2094748,92	
Total	317869,60	31786959,8	2061452,69			29843177,93	1934223,424	24408954,51	
VAN		24408954,51							
TIR		72%							
R C/B		15,42902312							

Continuación Anexo No 11

ESCENARIO PESIMISTA \$50 – TÉCNICA TCP PURE

ESCENARIO OPTIMISTA: 50\$								
CAÑONEO CON TCP PURE: POZO YNNA005 ARENA T PRINCIPAL								
Periodo de tiempo (n)	Producción(bbl)	Ingresos(\$)	Egresos(\$)	Factor de actualización		Ingresos actualizados(\$)	Costos actualizados(\$)	Flujo neto de caja(\$)
				12 % anual	1			
0	0,00	0	0			0	0	-3500000
1	27720,00	1386000	174877,2	0,99		1372277,23	173145,7426	1199131,49
2	27489,96	1374497,99	174299,799	0,98		1347414,95	170865,4045	1176549,55
3	27261,83	1363091,43	173727,19	0,97		1323003,12	168617,8991	1154385,22
4	27035,59	1351779,54	173159,333	0,96		1299033,57	166402,7153	1132630,85
5	26811,23	1340561,52	172596,188	0,95		1275498,28	164219,3508	1111278,93
6	26588,73	1329436,59	172037,717	0,94		1252389,40	162067,3113	1090322,09
7	26368,08	1318403,98	171483,88	0,93		1229699,20	159946,1109	1069753,09
8	26149,26	1307462,93	170934,639	0,92		1207420,08	157855,2715	1049564,81
9	25932,25	1296612,68	170389,957	0,91		1185544,61	155794,323	1029750,29
10	25717,05	1285852,47	169849,794	0,91		1164065,47	153762,8029	1010302,67
11	25503,63	1275181,56	169314,114	0,90		1142975,48	151760,2563	991215,22
12	25291,98	1264599,2	168782,88	0,89		1122267,58	149786,236	972481,34
Total	317869,60	15893479,9	2061452,69			14921588,97	1934223,424	9487365,54
VAN		9487365,54						
TIR		31%						
R C/B		7,714511561						

