



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA
PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A:

REYNA MARIBEL PARADA CISNEROS

DIRECTOR DE TESIS: ING. AGUSTÍN VELASCO ESQUIVEL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F. AGOSTO, 2013



TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE



FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA
TIERRA

Aceptación de Trabajo Escrito

MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
DE LA U.N.A.M.
Presente.

En relación con el Examen Profesional de PARADA CISNEROS REYNA MARIBEL, registrada con número de cuenta 403069679 en la carrera de INGENIERÍA PETROLERA, del cual hemos sido designados sinodales, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo escrito desarrollado por la citada alumna.

Atentamente,


ING. RAFAEL VIÑAS RODRIGUEZ


ING. JOSE AGUSTIN VELASCO
ESQUIVEL

FECHA DE ACEPTACIÓN: 19/JUL/2013

FECHA DE ACEPTACIÓN: 27/6/2013


I.Q. MARIA CRISTINA AVILES
ALCANTARA
FECHA DE ACEPTACIÓN: 13/06/2013


ING. MARIO ROSAS RIVERO
FECHA DE ACEPTACIÓN: 26/06/2013


DR. RAFAEL DE LOS ANGELES HERRERA GOMEZ

FECHA DE ACEPTACIÓN: 30/11/13

FECHA DE EMISIÓN : 20 de Mayo de 2013

FEX-2
101

INDICE

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I -. ANTECEDENTES

CAPITULO II -. TIPOS DE CARGAS

CAPITULO III-. TIPOS DE DISPAROS

CAPITULO IV-. METODOS DE DISPAROS

**CAPITULO V-. FACTORES QUE A AFECTAN LOS RESULTADOS DE
LOS DISPAROS Y LA PRODUCTIVIDAD DE UN POZO**

CAPITULO VI-. DAÑO EN LA FORMACIÓN

CAPITULO VII-. EFECTIVIDAD DE LOS DISAPROS

CAPITULO VIII-. EQUIPO DE PERFORACIÓN BAJO BALANCE

CAPITULO IX-. PLANEACIÓN Y OPERACIÓN DE LOS DISPAROS

CAPITULO X-. PRESIONES DIFERECIALES

**CAPITULOXI-.METODOLOGÍAS DE DISPAROS EN CONDICIONES
BAJO BALANCE**

**CAPITULOXII-. TÉCNICAS DE DISPARO EN CONDICIONES
BAJO ALANCE**

**CAPITULO XIII-. APLICACIONES DE LAS TÉCNICAS DE BAJO
BALANCE**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

AGRADECIMIENTOS

A DIOS.

Agradezco infinitamente por haberme guiado y escuchado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena, de aprendizaje, experiencia y sobre todo de felicidad. No tengo más palabras para describir lo importante que es para mí en estos momentos compartir con el gracias dios...

A MI MADRE MARIA DEL CARMEN

A ti madre esta tesis esta dedica para ti como un pequeño reconocimiento al esfuerzo y apoyo incondicional que me has brindado en el transcurso de mi vida y mis estudios. Quien fuiste madre y padre y que aunque hubo momentos difíciles, siempre tuve tu apoyo ante todo. Gracias a ti hoy termino mi carrera profesional siendo mi mejor herencia hoy veo convertirse en realidad lo que antes era solo una ilusión. Que dios te colme de bendiciones por todo lo que has hecho por mis hermanos y por mí muchas gracias...

A MI HERMANO JOSE LEOPOLDO

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a ti hermano que con tu ayuda y comprensión me alentaron a lograr esta hermosa realidad, gracias por tu cariño y apoyo moral que siempre recibí de tu familia y tú, con el cual conformo y hago parte de mi logro como profesionista que es para mí la mejor herencia que mi madre me ha dado. Gracias hermano y que dios colme de bendiciones a tu familia y a ti muchas gracias...

A MI HERMANO MOISES EDUARDO

Una meta más en vida se ha cumplido mil palabras no bastaría para agradecerte tu apoyo y tu comprensión en los momentos difíciles hermano. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida, por compartir lo que mis penas y mis alegrías, mis pequeñas victorias y dolorosos fracasos, siempre recibiendo de ti la palabra de aliento y ayuda incondicional que dio fuerza para seguir luchando. Hoy, termino una fase como estudiante y me convierto en profesionalista. A ti te debo este logro junto con mi madre y contigo lo comparto con todo cariño hermano y muchas gracias por todo. . . .

A MI HERMANO ISRAEL ROGELIO

Gracias por el cariño y apoyo moral que siempre he recibido de tu hija y de ti hermano, con el cual he logrado culminar mi esfuerzo, terminando así mi carrera profesional, gracias por ayudarme cada día a cruzar con firmeza el camino de la superación, porque sabes escuchar y brindar ayuda cuando es necesario, me has convencido que nada es imposible si se desea seguir adelante, este es esfuerzo y logro han sido también tuyo e inspirado en tu hija y en ti hermano muchas gracias. . . .

A MI HERMANO EZEQUIEL EMMANUEL

He llegado al final de mi camino y en mí han quedado las huellas de los recuerdos de todo el apoyo y consejos que me brindaste durante el transcurso de mis estudios, a través de tus enseñanzas y tu incondicional abrazo fueron motivo a seguir hacia delante en los momentos difíciles y buenos. Pude adquirir gracias a ti hermano el don de la paciencia, la reflexión y el amor que brindas a tu semejante

espero seguir tu ejemplo. Que dios te colme de bendiciones y muchas gracias por todo tu apoyo. . .

A MI HERMANO VLADIMIR NOE

Mi corazón está plenamente agradecido por todo el apoyo que me brindaste a lo largo de mi camino hasta donde hoy me encuentro, a través de tus consejos, tu apoyo y tu cariño, me ayudaron a culminar una etapa más en mi vida hoy este momento es para ti también hermano y muchas gracias ...

A MI AMIGA ROSA ISELA

Como un pequeño testimonio de agradecimiento por el apoyo brindado durante el largo caminar de mis estudios y por ser de esa clase de persona que todo lo comprende y dan lo mejor de sí mismo sin esperar nada a cambio y sabes escuchar y brindar ayuda cuando lo necesite, muchas gracias por haber compartido este tiempo como estudiante . . .

A MI TÍA MARÍA GUADALUPE

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresarte un profundo agradecimiento como muestra de mi cariño, por todo el apoyo que me brindaste y la fuerza que me brindaste a conseguir en parte este gran momento, te lo debo también a ti tía muchas gracias por existir en nuestra vida y que dios te colme de bendiciones por todo el apoyo que brindas a mi familia y a mi muchas gracias. . .

A MIS SOBRINOS: ANGELA ANAID, FERNANADA, JOSE EMILIO Y

SOFIA ELIZABETH.

Agradezco a mis pequeños angelitos por existir, por ser parte de mi vida pero principalmente por sus sonrisas que tanto me alimentaron durante mis estudios, que con su inocencia me regalaron muchos ratos alegres y que esta tesis les sirva de ejemplo para ellos y de apoyo para un futuro muchas gracias por compartir este momento conmigo. . . .

A MI NOVIO BENJAMIN

Agradezco tu confianza y apoyo incondicional que me has brindado, ya que en mis momentos más difíciles siempre encontré en ti una palabra de ánimo y una sonrisa alentadora. Gracias por tu inagotable paciencia en mis ratos de desesperación y enojo, por tu tiempo, pero sobre todo, por tu constancia, ya que fueron factores clave en el logro de mis objetivos. Por lo que hoy, al concluir una etapa tan importante en mi vida, comparto estos hermosos momentos junto a ti gracias amor. . . .

A MI TUTOR INGENIERO. AGUSTÍN VELAZCO.

Nil palabras no bastarían para agradecerle su apoyo en el desarrollo de esta tesis, que a través de su capacidad para guiar en mis ideas han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo, sino también en mi formación como estudiante. Se agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo la realización de ella, así como su disponibilidad y

paciencia que fueron primordiales para el enriquecimiento del trabajo realizado muchas gracias profesor. . . .

A MI MADRINA FELIPA

Cuando un sueño se hace realidad no siempre se le atribuye al empeño que pongamos en realizarlo, detrás de cada sueño siempre hay una persona que nos apoya y creen en nosotros, es un ser especiales que anima a seguir adelante en nuestros proyectos brindándonos, de diferentes maneras su solidaridad, hoy quiero agradecer de corazón a mi madrina Felipa por su comprensión y apoyo en la culminación de mi carrera y a lo largo de mi vida muchas gracias y que Dios la bendiga. . .

MI TIO ROBERTO

Hoy se termina una etapa más en mi vida y comienza otra, dándote gracias por el apoyo incondicional que me brindaste durante mi vida de estudiante, compartiendo tus enseñanzas, tus experiencias y tus conocimientos, que me sirvieron como apoyo para lograr mi meta, muchas gracias tío y este momento hermoso también lo comparto contigo. . .

A MIS AMIGOS

La amistad es un tesoro invaluable y los amigos, son aquellas piezas de oro que cualquier buscador de tesoro anhela encontrar, y me siento profundamente agradecida por todos aquellos que me han acompañado a lo largo de mi carrera profesional, como mi experiencia laboral, así como en mi vida. Ustedes que

contribuyeron directo e indirecto con aquellas palabras de apoyo, con esos consejos, ese momento de convivencia buenos y malos. Muchas gracias en verdad por su amistad amigos (Abel Morales, Abraham Valencia, Bernardo Pacheco, Angel Charanier, Daniel Villanueva, Dolores Hernandez, Dorian Olivares, Edgar Rodriguez, Ivan, Ivan Dorado, Jatziris, Juan Luis Vargas, Juliana, Naez Vazquez, Laura Cornelio, Gabriela Huerta, Luis Felipe Reyes, Omar Guerrero, Rodolfo Godínez, Ricardo, Gilberto Sebastian)...

CONTENIDO

RESUMEN.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
ANTECEDENTES	18
1, 1-.OBJETIVOS DE LOS DISPAROS	19
1, 2-.LOS COMPONENTES MÁS IMPORTANTES DE LOS DISPAROS TIPO JET	19
1.3-.SENSITIVIDAD.....	23
1.4-.ESTABILIDAD.....	23
1, 5-.EL COLAPSO LINER Y FORMACIÓN DEL DISPARO TIPO JET	25
1, 6-.SEPARACIÓN (CLEARANCE)	25
TIPOS DE CARGAS	27
2, 1-. CARGAS DE ALTA PENETRACIÓN, “DP” (DEEP PENETRACIÓN).....	27
2, 2-.CARGAS DE HUECO GRANDE, “BH” (BIG HOLE).	28
2, 3-. AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE CARGAS MOLDEADAS.....	28
TIPOS DE DISPAROS.....	30
3, 1-.DISPARO TIPO BALA	30
3, 2-.DISPARO TIPO A CHORRO	30
3, 3-.PISTOLAS HIDRÁULICAS	30
3, 4-.CORTADORES MECÁNICOS.....	31
3, 5-.TIPOS DE PISTOLAS	31
MÉTODOS DE DISPAROS.	33
4, 1-. DISPAROS A TRAVÉS DE LA TP	33
4, 2-.DISPAROS A TRAVÉS DE LA TR. (Casing gun)	34
4, 3-.DISPAROS TRANSPORTADOS POR LA TUBERÍA (TPC)	34
4, 4-.SISTEMAS DE DISPAROS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA. ..	35
4,4,1-.PISTOLAS DE TAPAS.....	36
4,4,2-.PISTOLAS DE TUBO.....	36
4, 4, 3-.PISTOLAS DE TIPO CAPSULA.....	36
4, 5-.PROCESO DEL DISPARO.....	37
FACTORES QUE AFECTAN LOS RESULTADOS DE LOS DISPAROS Y LA PRODUCCIÓN DE UN POZO	39
5, 1-.TAPONAMIENTO DE LOS DISPAROS	39
5, 1, 1-. LIMPIEZA DE LOS DISPAROS TAPONEADOS.....	39

5, 2-. EFECTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	40
5, 3-. DENSIDAD DE LOS DISPAROS	40
5, 4-. EFECTO DE USAR FLUIDOS LIMPIOS	40
5, 5-.COSTOS	40
5, 6-. LIMITACIÓN DE PRESIÓN Y TEMPERATURA.....	41
5, 7-.CONTROL DEL POZO.....	42
5, 8-. NECESIDAD DE CONTROLAR EL CLARO DE LAS PISTOLAS.....	42
5, 9-. MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD	42
5, 10-. DISPAROS ORIENTADOS	43
5, 11-. EFECTOS DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL.....	43
5, 12-. DAÑOS A LOS CEMENTOS Y LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO	44
5, 13-. MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD	44
5, 14-. GEOMETRIA DE LOS DISPAROS.....	44
5, 15-.INDICE DE PRODUCTIVIDAD	45
5, 16-. ÁNGULO FASE.....	46
5, 17-. EFECTO DE LA PENETRACIÓN Y DENSIDAD DE CARGA EN EL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD).....	48
5, 18-. EFECTO DE LA FASE EN LA RP.....	48
ZONA DAÑA DE LA FORMACIÓN	50
6, 1-.DEFINICIÓN DE DAÑO A LA FORMACIÓN.....	50
6, 2-.EFECTOS DEL DAÑO	51
6, 3-.ORIGEN DEL DAÑO.....	51
6, 4-.TIPOS DE DAÑO	51
6, 4, 1-. DAÑO POR INVASIÓN DE FLUIDOS	52
6, 4, 2-.BLOQUEO POR AGUA.....	52
6, 4, 3-.BLOQUEO POR ACEITE.....	52
6, 4, 4-.CAMBIO DE MOJABILIDAD.....	52
6, 4, 5-.DAÑO POR INVASIÓN DE SÓLIDOS.....	53
6, 4, 6-.DAÑO CAUSADOS POR FLUIDOS DE TERMINACIÓN	53
6, 4, 7-.DAÑO GENERADO POR EL LODO DE PERFORACIÓN	53
6, 4, 8-.DAÑOS CAUSADOS POR LOS DISPAROS	54
EFFECTIVIDAD DE LOS DISPAROS	56
7,1-.CALCULO DEL RADIO DE INVASIÓN DE UN POZO.....	56
7, 2-.DESEMPEÑO DE LAS CARGAS.....	57
EQUIPO DE PERFORACION BAJO BALANCE.....	59
8, 1-.OBJETIVO DE LA PERFORACIÓN BAJO BALANCE	59

8, 2.-TÉCNICA DE SELECCIÓN DE POZOS PARA PERFORACIÓN BAJO BALANCE	60
8, 2, 1.-REQUISITOS DE PRESION DEL POZO	60
8, 2, 2.-YACIMIENTOS	61
8, 2, 3.-CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR EL FLUIDO CIRCULANTE A EMPLEAR	64
8, 3.-EQUIPO DE SUPERFICIE PARA OPERACIONES DE BAJO BALANCE.....	65
8, 3, 1.-SISTEMA DE PERFORACIÓN.....	65
8, 3, 2.-EQUIPO DE GENERACIÓN DE GAS	65
8, 3, 2, 1.-FASE GASEOSA	65
8, 3, 2, 2.-FASE LIQUIDA.....	66
8, 3, 3.-TOSION Y ARRASTRE	67
8, 3, 4.-BARRENAS E HIDRÁULICA	67
8, 3, 5.-PROYECTO DIRECCIONAL	67
8, 3, 6.-SISTEMA DE TUBERÍA ENSAMBLADA	68
8, 3, 7.-SISTEMA DE TUBERÍA FLEXIBLE ENROLLADA	68
8, 3, 8 -.SISTEMA DE EMPUJE/RETENCIÓN.....	68
8, 3, 9.-SISTEMA DE CABEZA ROTATIVA DE CONTROL.....	69
8, 3, 10.-EQUIPO DE SEPARACIÓN	69
PLANEACIÓN, DISEÑO Y OPERACIÓN DE DISPAROS	70
9, 1.-PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE DISPARO	70
9, 2.-INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL DISEÑO DE DISPAROS	71
9, 3.-PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN.	72
9, 4.-PROCEDIMIENTOS PRACTICOS PARA DISPARAR ÓPTIMAMENTE.	73
PRESIONES DIFERNCIALES.....	75
10,1.-BALANCEO	75
10,2.-SOBRE BALANCE	75
10,3.-SOBRE BALANCE EXTREMO	75
10,4.-BAJO BALANCE	75
10,5.-CONDICIONES DE OPERACIÓN	76
10,6.- DIFERENCIAL DE PRESIÓN POSITIVA (PRESIÓN SOBRE BALANCE).	76
10,7.-DIFERNCIAL DE PRESIÓN NEGATIVA (TECNICA DE DISPARO BAJO BALANCE).....	77
10, 8.-FORMACIÓN CONSOLIDADA	82
10,9.-ARENAS NO-CONSOLIDADA.....	84
10,10.-BAJO BALANCE EN CARBONATOS.	86

FOMACIONES DE CARBONATOS	86
10, 10,1-.APLICANDO UN REGISTRO SÓNICO	86
METODOLOGIAS DE DISPAROS EN CONDICIONES BAJO BALANCE.....	88
11, 1-.CALCULO DE LA PRESIÓN DE BAJO BALANCE REQUERIDA PARA LIMPIEZA DE LOS DISPAROS A PARTIR DE LA TEORIA DEL TRANSPORTE DE LA PARTICULA.	88
11,2-.CALCULO DE LA PRESIÓN DE BAJO BALANCE CONSIDERANDO LAS FUERZAS DE ARRASTRE.	88
11,3-.CALCULO DE LA PRESIÓN PARA REMOCIÓN DE LA ZONA COMPACTA. 89	
11,4-.CALCULO DE LA PRESIÓN DE BAJO BALANCE A PARTIR DE ECUACIONES EMPÍRICAS Y CORRELACIONES.....	92
11,5-.PRESIÓN MÍNIMA DE BAJO BALANCE REQUERIDO A PARTIR DE LA PERMEABILIDAD DE LA ZONA PRODUCTORA:	93
11,6-.MAXIMA BAJO BALANCE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE LUTITAS ADYACENTES.	94
11,7-.MAXIMO BAJO BALANCE EN FUNCION DE LA DENSIDAD DE LAS LUTITAS ADYACENTES.	94
11,8-.PROGRAMA DE DISEÑO ÓPTIMO PARA DISPAROS ENPOZOS DE GAS. ..	97
11,9-.GUIA GENERAL PARA OPTIMIZAR LOS PARAMETROS EN UN POZO GAS:	97
11,10-.PROGRAMAS DE DISEÑO ÓPTIMO DE LOS DISPAROS EN UN POZO DE GAS.....	98
11,11-.CONDICIONES PARA DISPARAR BAJO BALANCE	99
11,12-.BAJO BALANCE EN POZOS HORIZONTALES	100
TECNICAS DE DISPAROS EN BAJO BALANCE.....	101
12, 1-. TECNICA PURE PERFORATING FOR ULTIMATE RESERVOIR EXPLOITATION).	101
12, 1, 1-.TECNOLOGÍA PURE	102
12, 1, 2-.VENTAJAS DEL SISTEMA PURE	104
12,1,3-.SELECCIÓN DE CANDIDATOS PARA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA PURE	105
12, 2-.TECNICA DE TCP BAJO BALANCE.....	106
12, 2 ,1-.DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TCP BAJO BALANCE	106
12 ,2, 2-.VENTAJAS DEL SISTEMA TCP BAJO-BALANCE.....	108
12, 2, 3-.DESVENTAJAS DEL SISTEMA TCP BAJO-BALANCE	108
12, 3-.TÉCNICA DE WIRELINE CONVENCIONAL	109
12, 3, 1-.PROCEDIMIENTO CON WIRELINE CONVENCIONAL	110
12, 4-.TECNICAS TCP PROPELENTE (SOBRE-BALANCE).....	110

12, 4, 1-.DESCRIPCIÓN DE LA TECNICA DEL TCP PROPELENTE.....	111
12, 4, 2-.APLICACIONES DEL TCP PROPELENTE.....	112
12, 4, 3-.LIMITACIONES DEL TCP PROPELENTE	112
12, 4, 4-.CRIETRIOS DE SELECCIÓN PARA LA APLICACIÓN DE PROPELENTE	113
12,5-. SISTEMA BAJO BALANCE DINÁMICO MEDIANTE SURGEPRO	113
12, 5,1-.SECUENCIA DE DISPARO.....	114
12, 5, 2-.SENSOR FASTGAUGE	114
12, 6-.STIMGUN	114
12, 6, 1-.COMPONENTES.....	115
12 , 6, 2-.CONDICIONES PARA EL USO DEL STIMGUN	116
12, 6, 3-.PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL STIMGU	117
APLICACIÓN DE LAS TECNICAS DE BAJO BALANCE	119
13, 1-.POZO ALTAMENTE DESVIADO DE AGUAS PROFUNDAS DISPARADO CON PRECISIÓN EN UN YACIMIENTO ALTAMENTE LAMINADO.	119
13, 1, 1-.COMBINACIÓN DE ORIENTACIÓN ALTAMENTE PRECISA, ÁNGULOS DE FASE NO CONVENCIONALES, DETONACIÓN DE PISTOLAS ACTIVADAS POR PRESIÓN Y BAJO BALANCE DINÁMICO.	120
13, 1, 2-.OBTENCION DE DISPAROS LIMPIOS Y UN DAÑO MINIMO MEDIANTE DISPAROS ORIENTADOS EN FORMA PRECISA, EJECUTADOS EN CONDICIONES DE BAJO BALANCE	121
13,2-.APLICACIÓN DEL METODO FASTGAUGE.....	123
13, 3-. ANALISIS DE EFECTIVIDAD DEL STIMGUN EN LOS POZOS SELECCIONADOS	127
13, 4-. (WIRELINE), SISTEMA TPC (TUBING CONVEYED PERFOTATING) BAJO- BALANCE y SISTEMA PURE (PERFORATING FOR ULTIMATE RESERVOIR EXPLOITATION).....	133
CONCLUSIONES.....	148
RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	149
BIBLIOGRAFIAS	151

RESUMEN

En pozo revestido debe ser comunicado con la formación por medio de disparos para que los fluidos dentro de la formación fluyan a superficie desde el subsuelo o sea inyectado dentro del pozo. La detonación controlada de las cargas especialmente fabricadas y diseñadas para pozos entubados, pueden ser desde recuperables, no recuperables, como de tapa, capsulada y de tubo, entre otros. La detonación controlada de las cargas especialmente fabricadas y diseñadas para pozos entubados, producen agujeros en el revestimiento, el cemento y la formación que se encuentran en forma adyacentes. La optimización de la inyección demanda diseños cuidadosos, planeación previa a los trabajos e implementaciones en el campo, para obtener disparos conductores limpios que se extiendan más allá del daño de la formación.

Lamentablemente los explosivos pulverizan los granos de la roca de formación generando una zona dañada triturada de baja permeabilidad alrededor de las cavidades de los disparos en formación, facilitando la posibilidad de la migración de las partículas finas. Para minimizar el deterioro y las retracciones de la conductividad causada por este daño inducido por los disparos, es crucial la obtención de disparos efectivos. Durante, los 25 años los procedimientos de terminación de los disparos utilizados en estos años han sido de dos formas; primera bajo balance (mayor presión en la columna de fluidos del pozo y menor presión en el yacimiento) y presión bajo balance (Menor presión en los fluidos del pozo y mayor presión en el yacimiento).

En los cuales se tomó en cuenta la investigación de la terminación de disparos, bajo balance, que permite eliminar o minimizar el daño, este método establece una presión estática dentro del pozo (antes de los disparos), inferior a la presión de la formación que va a comunicar.

Diverso investigadores han aportado conocimiento de las presiones dinámicas del pozo, para el desarrollo de técnicas de disparo en condiciones de bajo balance dinámico. Donde expongo en mi tesis dichas técnicas de disparo, aunadas con el tipo de pistola que se ocupa, que tipos de cargas tenemos, como están compuestas, equipo de perforación bajo balance que se requiere para realizar este proceso y sus aplicaciones en el campo petrolero así como ventajas y desventajas de ellas y sus metodologías de disparo en condición bajo balance.

Cabe resaltar que estas técnicas de disparos se han aplicado y mejorado para optimizar la producción de un pozo, con el fin de disminuir costos, así como largar la vida del pozo y diseñar tecnologías nuevas en beneficio de la explotación de un yacimiento.

INTRODUCCIÓN

En la década de los 1970's los ingenieros en terminación de pozos reconocieron el potencial de la terminación en condiciones bajo balance de presión, para mejorar las técnicas de terminación de disparo. Dichos trabajos de investigación llevados a cabo durante las décadas de 1980 y 1990 percataron que la existencia de una portación de la diferencia de presión estática entre el pozo y la formación a menudo daba como resultado de los disparos más efectivos. Estos estudios planteaban como conclusión que el rápido influjo al pozo (oleada inicial) era responsable de la limpieza de los disparos y recomendaban criterios generales de operaciones de disparos en condiciones de bajo balance de presión.

La investigación se centró en dos hipótesis fundamentales:

- ❖ primero, que la presión del pozo se mantiene básicamente constante durante las operaciones de disparos y durante la limpieza de los disparos.
- ❖ segundo, el bajo balance estático, antes del disparo de las pistolas, es efectivo a través de los disparos dentro de todo un intervalo de terminación.

Por otra parte, la investigación también se concentró en el establecimiento de criterios de bajo balance de presión específicos y en la predicción del grado de bajo balance necesario para asegurar la limpieza de los disparos.

Un estudio llevado a cabo por Amoco en 1985 correlacionó los resultados de 90 pozos, que fueron acidificados después de las operaciones de disparos con pistolas bajadas con la tubería de producción, para un rango de valores de bajo balance de presión. Los resultados no indicaron que se pudiera eliminar todo el daño provocado por los disparos, sin embargo, se confirmaron que el tratamiento de estimulación ácida no es necesario o tan efectivo cuando se alcanzaba un bajo balance de presión suficiente.

En 1989, los investigadores calcularon el bajo balance de presión en pozos de gas, en base al índice de producción de formaciones de arena de terminado con la ayuda de registros sísmicos. El estudio que realizaron combinó datos nuevos con datos del proyecto de Amoco, a fin de desarrollar ecuaciones destinadas a determinar los valores mínimos de bajo balance de presión requeridos para evitar las estimulaciones ácidas. Otros estudios indican que la oleada inicial después de las operaciones de disparos era menos crítica para la eliminación del daño, pero podría ocasionar el barrido de detritos y finos hacia el interior del pozo.

Hasta hace poco, los científicos creían que la magnitud y duración de la oleada inicial después de la detonación de la carga, la presión de poro cae y los fluidos de yacimiento se descomprimen alrededor de los nuevos disparos, provocando un súbito influjo de fluido. Este golpe de presión instantáneo reduce la invasión de las gargantas de poro por los fluidos y sólidos de la terminación, afloja la roca dañada y elimina parte del material suelto de los túneles de los disparos.

Las pruebas de laboratorio indican que la turbulencia no es una condición necesaria para eliminar el daño provocado por los disparos. Una teoría sugiere que la limpieza de los disparos está más relacionada con el arrastre del fluido viscoso durante la oleada inicial.

No obstante, la mayoría de los datos indican que se necesitan valores de bajo balance de presión más altos que los utilizados habitualmente en el pasado, para minimizar o eliminar efectivamente el daño de los disparos.

Los bajo balances subóptimos pueden generar regímenes de flujo variables por cada disparo y diferentes grados de eliminación del daño. Las fuerzas dinámicas, la diferencia de presión y el arrastre ayudan a mitigar el daño a la permeabilidad de la formación, a través de la erosión y la eliminación de los granos de la formación fracturada de las paredes de los túneles disparados, son más pronunciadas inmediatamente después de detonar las cargas. Este es el punto de partida para el desarrollo de ecuaciones semiempíricas relacionadas con el bajo balance de presión y el daño de los disparos, o daño mecánico, a partir de conjuntos de datos históricos. Los factores clave son la máxima diferencia de presión transitoria y el posterior arrastre provocado por el flujo radial del fluido levemente compresibles, ya sea laminar o turbulento.

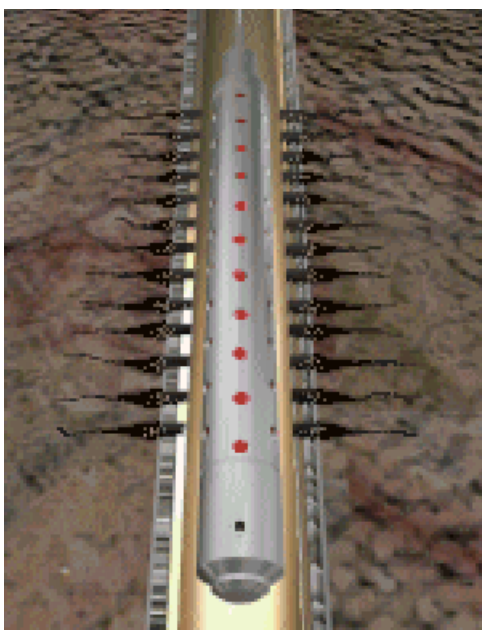
Bermann propuso algunas ecuaciones para calcular el bajo balance de presión óptimo para lograr disparos sin daño mecánico, o contrariamente, para calcular el daño mecánico si el bajo balance de presión es subóptimo. Habiéndose convertido en los criterios más de una década de investigaciones sobre el tema de los disparos. Esta técnica recomienda valores de bajo balance de presión entre dos y cuatro veces más altos que los utilizados en métodos previos. Los bajos balances de presión estática en sí, no necesariamente producen resultados consistentes.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

Un disparo; se puede definir como el proceso de comunicar una abertura a través de la tubería revestimiento y el cemento, para establecer comunicación entre el pozo y las formaciones seleccionadas.

Una vez que se ha terminado el pozo, es decir se ha perforado, entubado y cementado, se requiere establecer una comunicación entre el pozo y la formación, para esto se necesita realizar los disparos, los cuales tienen la finalidad de atravesar el revestimiento, el cemento y la formación con el fin de permitir al fluido confinado en el yacimiento moverse hacia el pozo y consecuentemente hacia la superficie, un ejemplo de disparos es la Figura 1.1.



DISPARO A UN POZO. FIGURA (1.1)

Esta operación de disparos ha venido evolucionando desde sus inicios con el disparo con balas, patentado en 1926 y más generalmente usado desde 1930 y 1950, este procedimiento consistía en disparar una bala usando propelente y mediante un cable eléctrico y un tubo o portador enviando la bala hasta el fondo del tubo para posteriormente conseguir el disparo mediante una señal eléctrica a través del cable eléctrico, quemando el propelente y proporcionando una aceleración a la bala, penetrado aproximadamente 2 pulgadas; este procedimiento dejó de usarse ya que resultó ineficiente para formaciones duras.

Se desarrolló entonces otro método que consistía en enviar un chorro de agua y arena a alta presión hacia el fondo mediante tubería y con orificios dirigidos, se permitía que el chorro impactara el revestimiento formando un túnel limpio y casi sin daño, sin embargo era un proceso costoso y lento ya que solo se podía crear un orificio a la vez, resultando un proceso impráctico para grandes intervalos.

Un tercer método desarrollo es el llamado disparo Tipo Jet, el cual requiere del uso de explosivos con cargas moldeadas, procedimiento que se ha generalizado más ampliamente a nivel mundial siendo que aproximadamente un 95% de disparos se realizan utilizando éste método, éstas cargas pueden ser llevadas al fondo mediante cable eléctrico, a través de la tubería de producción, tubería flexible, etc.

Siendo que los disparos Tipo Jet, es el método más ampliamente usado en la actualidad cuya tecnología avanza en torno a la aplicación de éste método implementado mejoras que permiten obtener un mayor rendimiento en la comunicación entre pozo y la formación que permite una adecuada producción de hidrocarburos.

1, 1-OBJETIVOS DE LOS DISPAROS

- Lograr una un trabajo de efectivo al perforar el revestidor, con la finalidad de conectar los fluidos del yacimiento al pozo y posteriormente a la superficie.
- Hacer que el flujo sea efectivo entre el pozo y cualquier yacimiento, de manera que se puedan: evaluar intervalos productores, optimizar la producción y el recobro, optimizar la inyección de fluidos y aislar algunas zonas.
- Crear la mayor cantidad de orificios abiertos al flujo, para la evaluación de los intervalos productores.
- Permitir orificios limpios para la inyección de agua, gas, grava o cemento.
- Crear flujo radial por efectos de simetría en la fase de disparos.

1, 2-LOS COMPONENTES MÁS IMPORTANTES DE LOS DISPAROS TIPO JET

Explosivos: Utilizados en los disparos, están expuestos a las temperaturas de fondo y tienen un tiempo de vencimiento que dependen de la temperatura. Los explosivos suplen la energía necesaria para realizar una penetración efectiva en el revestimiento, el cemento y la formación. Actúan rápidamente, produciendo una explosión caracterizada por la producción de una onda de alta velocidad. Existen dos tipos de explosivos: el tren de explosivos y los explosivos bajos.

El Tren de Explosión: Es la secuencia de explosivos que consta de dispositivos que son utilizados para iniciar y extender la detonación de los disparos. Un ejemplo de un tren de explosión es la figura (1,2). Está conformada de la siguiente manera:

- 1) Detonador o iniciador.
- 2) Cordón Detonante.
- 3) Cargador Explosivo Moldeable

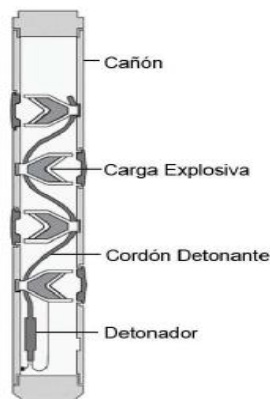


FIGURA (1,2)-TREN DE EXPLOSIVO.

1) DETONADORES

Los detonadores que actualmente son utilizados en sistemas de disparos, son de dos tipos: eléctricos y de percusión.

Detonadores eléctricos: Son utilizados para pistolas transportadas por la línea de acero eléctrica. Hay sensibles al fluido y no sensibles. Un ejemplo es la figura (1,3).

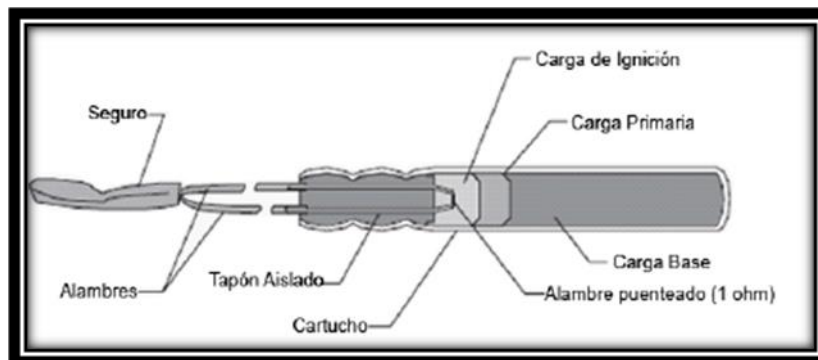


FIGURA (1,3)-DETONADOR ELÉCTRICO.

Detonadores de percusión: Son utilizados para pistolas transportadas con tubería, los impactos con el pin de disparo causan la detonación, que van de 5 a 7 ft-lb. Estos detonadores no son sensibles a corrientes eléctricas. Ejemplo de un detonador de percusión es la siguiente figura (1,4).

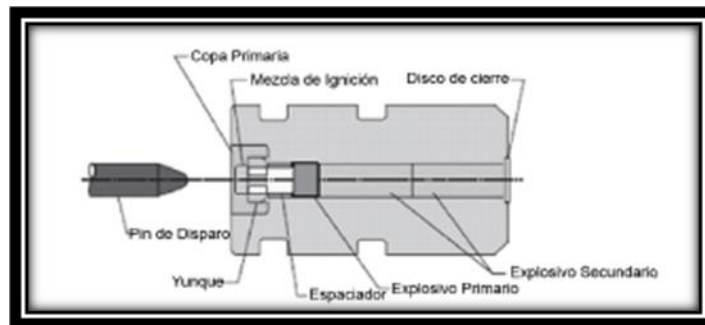


FIGURA (1,4)-DETONADOR DE PERCUSIÓN.

2) CORDÓN

Cordón detonante: Es un cordón plástico o metálico que cubre el núcleo, el cual es un explosivo secundario. Consiste en un sistema de conexiones que permite la transmisión del indicador a las cargas huecas. Permite la detonación a lo largo del eje de la pistola. Un ejemplo de un cordón detonador es la figura (1,5).

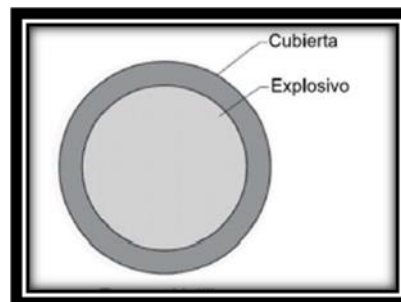


FIGURA (1,5)-CORDON DETONANTE.

3) CARGAS MOLDEADAS.

Carcasa de la carga: Es un protector que permite alojar los componentes de la carga debe soportar altas presiones y temperaturas. Pueden ser generalmente fabricadas de zinc o aceros suaves. Un ejemplo de estas carcasas son las de zinc se quiebran en pequeñas partículas solubles en ácidos, que también se pueden hacer circular hacia fuera. Mientras que las carcasas de acero se fragmentan en trozos grandes que se mantienen en el tubo transportador. Como se muestra en la figura (1,6).

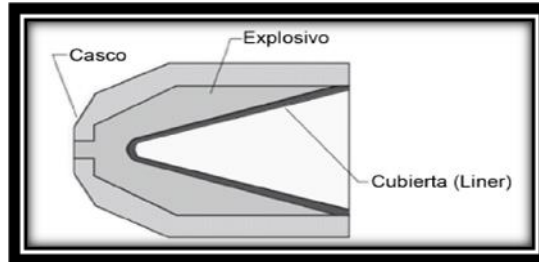


FIGURA (1,6)-CARCASA DE LA CARGA

Cubierta del liner: El material de la cubierta puede ser sólido. La cubierta puede tener forma cónica o parabólica. El tipo de cubierta dependerá de la penetración deseada, ya sean cortas o largas, para el caso de la cubierta del tipo parabólica que es usada en cargas para producir hoyos grandes y poca penetración, mientras que las cónicas es lo contrario. Un ejemplo de la cubierta liner es la figura (1,7).

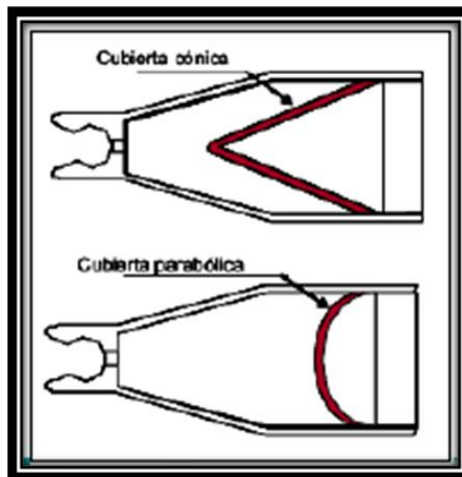


FIGURA (1,7)-CUBIERTA LANIER

Explosivos principales: Es el que provee la energía necesaria para producir el disparo. El rendimiento de la carga depende en gran proporción de la clase, forma, masa, distribuidor y velocidad de detonación del explosivo principal. El explosivo es usualmente suplido con una cera los granos, la cual, reduce la sensibilidad del explosivo y lo hace seguro de manejar. Un ejemplo es la figura (1,8).



FIGURA (1,8)-EXPLOSIVOS PRINCIPALES.

Los explosivos se clasifican de acuerdo su velocidad y reacción. Los cuales pueden ser en explosivos altos y bajos. Como se muestra en la tabla (1,9).

EXPLOSIVOS BAJOS	EXPLOSIVOS ALTOS
Velocidad de reacción 330-1500 m/s. Sensibilidad al calor (iniciados por flama o chispa).	Velocidad de reacción > 1500 m/s iniciados por calor o percusión.

TABLA (1,9)- DE EXPLOSIVOS BAJOS Y ALTOS.

Los explosivos altos que se usan más comúnmente en la perforación de tuberías son: Azida de plomo, Tacot, RDX, HMX, HNS, HTX y PYX.

La Azida de plomo y el Tacot, se usan en los estopines eléctricos.

El RDX, HMX, HNS, HTX, y PYX se usan en los cordones detonadores fulminantes y cargas.

1.3.-SENSITIVIDAD

SENSITIVIDAD -. La sensibilidad es una medida de la energía mínima, presión o potencia requerida para iniciar un explosivo y nos refleja la facilidad con la que puede iniciarse.

SENSITIVIDAD DE IMPACTO-.Es la altura mínima de la cual puede dejarse caer un peso sobre el explosivo para detonar.

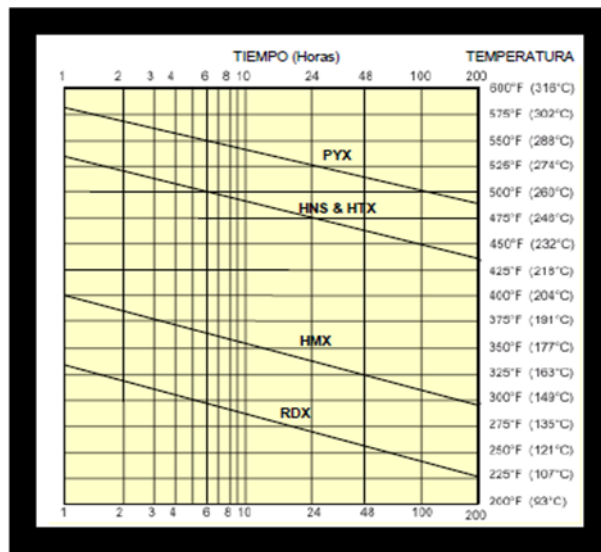
SENSIBILIDAD A AL CHISPA -.Es la cantidad de energía que debe tener una chispa para detonar un explosivo.

1.4.-ESTABILIDAD

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

Los explosivos usados en los disparos deben tener una alta estabilidad para que puedan ser almacenados por un tiempo razonable y que puedan operar efectivamente después de exponerse a las temperaturas del pozo.

La grafica (1,10), ilustra la estabilidad de algunos explosivos en función de la temperatura y el tiempo.



GRAFICA (1,10)-ESTABILIDAD DE LOS EXPLOSIVOS

Esta carta es solo para propósitos de referencia se recomienda consultar con la compañía de servicios para el uso de un explosivo en particular.

Sin embargo, existe una complicación física del colapso del liner y en la penetración del blanco, ya que para el desarrollo de las condiciones dinámicas que se presentan durante el colapso y la penetración intervienen una serie de disciplinas tales como: elasticidad, hidrodinámica, facturas mecánicas y caracterización de materiales.

Sin embargo, no ha sido hasta que se desarrolló la introducción de códigos en súper computadoras llamados: Hidrocódigos que se ha podido estudiar el colapso y las perforaciones en mayor detalle, permitiendo así observar el desarrollo de los eventos de explosivos de microsegundos. El gráfico (1,11), muestra predicción de una penetración experimental.

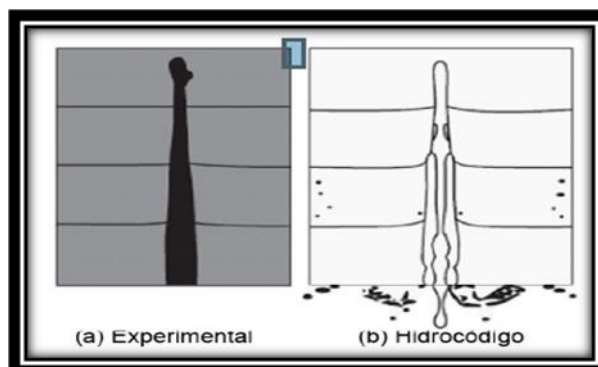


GRAFICO (1,11)-PENTRACIÓN DEL JET.

1, 5-EL COLAPSO LINER Y FORMACIÓN DEL DISPARO TIPO JET

El proceso de colapso de liner y la formación del disparo tipo jet comienza en la base de la carga, la onda de detonación pasa a través de la carga liberando energía química del explosivo sólido.

La alta presión de los gases en la parte frontal de la detonación que es de aproximadamente 3 a 5 MM psi, aplica una fuerza excesiva a la cubierta metálica y lo obliga a colapsarse a lo largo del eje de simetría, dependiendo de la forma y del material del liner de la carga, se puede mostrar diferentes colapsos y características de penetración resultarán, la diferencial de presión entre ambos extremos del liner provocan un disparo jet alargado.

1, 6-.SEPARACIÓN (CLEARANCE)

La separación se refiere a la descentralización o separación entre la pared interior del casing y la carga el cuál es un parámetro manejable que se deberá usar con criterio, es decir se debe tomar en cuenta al momento del diseño del sistema de disparo, ya que influye en el diámetro del hueco a la entrada del túnel por el disparo que es el área expuesta al flujo en un disparo. La figura (1,12), muestra un ejemplo de separación de la pistola y el casing.

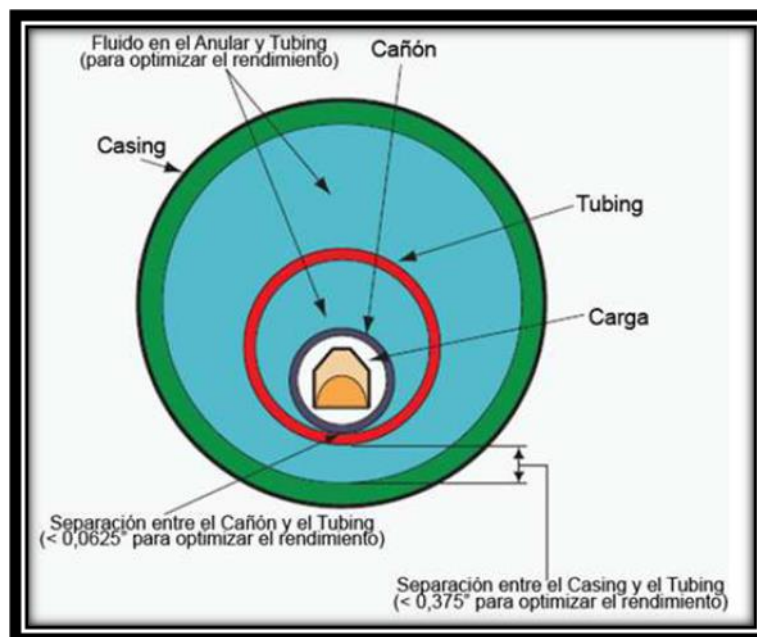


FIGURA (1,12)-.SEPARACIÓN ENTRE EL CASING Y LA PISTOLA.

La separación entre el pistola y el diámetro interior del casing es importante para el desarrollo del jet en la carga, por lo que se recomienda la centralización del cañón ya que de no ser así se podría disminuir el rendimiento de las cargas como se muestra en la figura (1,13).

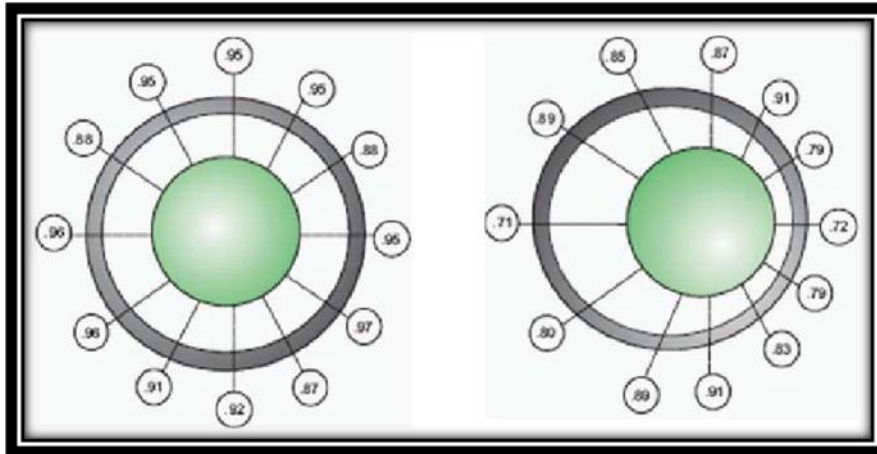


FIGURA (1,13)-PISTOLAS CENTRADA Y NO CENTRADA.

Aquí se muestra que existe una reducción del área total de flujo de un 25% a 30% producto de la descentralización entre el diámetro interior del casing y la pistola.

CAPITULO II

TIPOS DE CARGAS

2, 1- CARGAS DE ALTA PENETRACIÓN, “DP” (DEEP PENTRACIÓN)

En estas cargas la geometría del liner es cónica y producirá un disparo tipo jet estrecho alargado y fino. La penetración es relativamente profunda y el diámetro del agujero es pequeño. Ver el grafico (2,1), varios ejemplos de geometría de cargas.



GRAFICO (2,1)- GEOMETRIA DE LAS CARGAS.

El liner está formado por varias mezclas de metal pulverizado, el cual se colapsa formando el disparo tipo jet que produce el túnel, dejando una mínima cantidad de residuos producto del disparo tomando en cuenta que la mayoría del residuo generado será del casco.

Para el caso de un casco de zinc los residuos se desintegrarán formando prácticamente polvo, el cual podrá ser evacuado fácilmente, mientras que para un casco de acero se formarán residuos más grandes, parte del cuál será evacuado y parte se quedará en el tubo o capsula.

El pico presión de colapsamiento en la línea central alcanza aproximadamente 29 MM psi y decae hasta alrededor de 2.9 MM psi. Las velocidades en la punta del disparo tipo jet pueden llegar hasta 26 M pies/seg para un liner de cobre.

El 20% del liner lo constituye el cobre forma el disparo tipo jet de alta velocidad y el 80% restante pasa a ser de movimiento lento que generalmente no contribuye a la penetración. Como se muestra en el siguiente grafico (2,2).

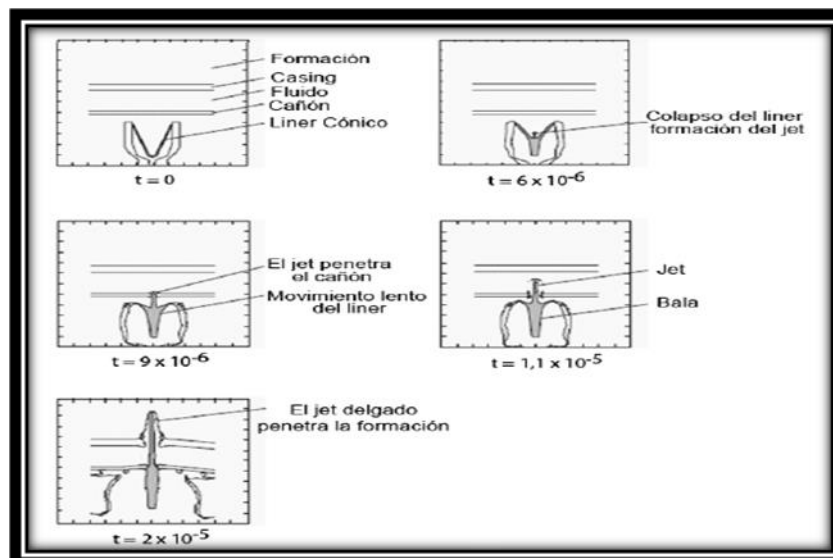


GRAFICO (2,2)-COLAPSAMIENTO DEL JET EN CARGAS MOLDEADAS DP.

2, 2.-CARGAS DE HUECO GRANDE, “BH” (BIG HOLE).

La geometría de liner de la carga es parabólica o hemisférica como se muestra en el figura (2,3), siguiente.



FIGURA (2,3)-. LINER DE CARGAS MOLDEABLES BH.

Son usadas para maximizar el rendimiento de la densidad de disparo o el área total de flujo. Este tipo de liner producirá un disparo tipo jet de movimiento lento, ya que acarreará mayor masa, formándose una perforación poco profunda. Sin embargo, el diámetro del hueco creado en el revestidor durante perforación será relativamente grande.

La presencia del fluido de control en el anular proporciona una resistencia natural que acelera la formación del disparo tipo jet, es así que para un diseño apropiado del liner, se deberá encontrar un balance entre el diámetro y la velocidad en el momento del impacto con el revestidor, de manera que para el diseño de una determinada carga existe una óptima “longitud focal” para cargas BH que producirán un hueco más uniforme y profundo; se recomienda en lo posible alinear y centralizar las cargas para obtener un mejor resultado.

2, 3.- AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE CARGAS MOLDEADAS.

Se han registrado muchos avances recientes en cargas moldeadas referente a las técnicas de fabricación de las cargas, la metalurgia y en la ciencia de los materiales.

La importancia de liner para un mejor rendimiento de las cargas no puede ser sobreestimado ya que el liner es el elemento más importante para el diseño y precisión de las cargas moldeadas, un buen liner debe ser: altamente moldeable, alta densidad y con una buena velocidad de reacción. Un ejemplo de la carga moldeable es la figura (2,4).

Las cubiertas para cargas de alta penetración DP, son realizadas con una mezcla de metales como el cobre y tungsteno que son sus principales componentes, tomándose en cuenta que en la actualidad el porcentaje de tungsteno ha ido aumentando (sobre el 55%) por presentar una mayor profundidad de penetración en formaciones duras.

Las cubiertas para BH son fabricadas de láminas compuestas de metales dándole su respectiva forma, aleaciones de Cobre y Zinc son las más populares, pero otros materiales como el aluminio están siendo investigados.

Dependiendo del material del casco resultan diferentes tamaños de escombros ver la imagen figura (2,4) de algunos ejemplos de ellos.



FIGURA (2,4)- ESCOMBROS GENERADOS POR EL CASCO DE CARGA BH.

CAPITULO III

TIPOS DE DISPAROS.

3, 1-.DISPARO TIPO BALA

Las pistolas de 3½" de diámetro o mayores, se utilizan en formaciones con resistencia compresión menor a 6000 [psi], los disparos con bala de 3 ¼" o tamaño mayor, pueden proporcionar una penetración mayor que muchas pistolas a chorro en formaciones con resistencia a la compresión inferior a 2000 [psi]. La velocidad de la bala en la pistola es aproximadamente de 3300 [pie/s]. Y pierde velocidad y energía cuando el claro excede de 0.5" y la pérdida en la penetración con un claro de 1". Es aproximadamente el 23% de la penetración con un claro de 0.5" y con un claro de 2" la pérdida es de 30%. Las pistolas de bala pueden diseñarse para disparar selectiva o simultáneamente.

3, 2-.DISPARO TIPO A CHORRO

El proceso de disparar a chorro consiste en que un detonador eléctrico inicia una reacción en cadena que detona sucesivamente el cordón explosivo, la carga intensificada de alta velocidad y finalmente el explosivo origina el flujo del recubrimiento metálico separando sus capas en interna y externa. El incremento continuo de la presión sobre el recubrimiento genera un haz o chorro de partículas finas, en forma de aguja, a una velocidad aproximada de 20000 [pie/s], con una presión estimada de 5 millones de [psi].

Debido a la sensibilidad del proceso de disparos chorro, por la casi perfecta secuencia de eventos que siguen al disparo del detonador hasta la formación del chorro, cualquier falla en el sistema puede causar un funcionamiento deficiente, lo cual puede generar un tamaño irregular o inadecuado del agujero, una pobre penetración o posiblemente ningún disparo. Algunas de las causas del mal funcionamiento son: corriente o voltaje insuficiente al detonador; un detonador defectuoso o de baja calidad; un cordón explosivo aplastado o torcido; el explosivo principal de baja calidad o pobremente empacado o el recubrimiento colocado incorrectamente o sin hacer contacto efectivo con el explosivo. La humedad en las pistolas, el cordón explosivo o las cargas, pueden provocar un mal funcionamiento o una detonación de bajo orden.

3, 3-.PISTOLAS HIDRÁULICAS

Una acción cortante se obtiene lanzando un chorro de fluido cargado con arena, a través de un orificio, contra la tubería de revestimiento. La penetración se reduce ampliamente a medida que la presión en el fondo del pozo aumenta de 0 a 300 [psi]. La penetración puede incrementarse apreciablemente adicionando nitrógeno a la corriente del fluido.

3, 4.-CORTADORES MECÁNICOS

Se han usado cuchillas y herramientas de molienda para abrir ranuras o ventanas para comunicar el fondo del pozo con la formación. Para controlar la producción de arena en algunas áreas se emplea como procedimiento estándar la apertura de una ventana en la tubería de revestimiento, el escariamiento y el empacador con grava.

3, 5.-TIPOS DE PISTOLAS

Pistolas Recuperables: Consisten en un tubo de acero en el cual se fija la carga moldeada. Este tubo se sella con una prueba de presión hidrostática, de modo que la carga está rodeada de aire a presión atmosférica. Cuando se detona la carga, las fuerzas explosivas expanden al tubo ligeramente, pero se puede sacar fácilmente del pozo. En la tabla (3,1) se muestran las ventajas y desventajas de las pistolas recuperables.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> *No dejan residuos en el pozo. *No causan deformación de la tubería revestimiento. *Son seguros desde el punto de vista operacional, porque los componentes explosivos están completamente encerrados. *Se pueden operar a grandes profundidades y a presiones relativamente altas. *Pueden hacerse una selectividad de zonas de interés. *Poseen buena resistencia química. 	<ul style="list-style-type: none"> *Son más costosos que los otros tipos de cañones. *Su rigidez limita la longitud de ensamblaje, especialmente para pistolas de gran diámetro. *En pistolas pequeñas, se limita la cantidad de explosivos que pueden ser utilizados, debido al tamaño de la carga. Por lo tanto, se reduce la penetración que se puede alcanzar con esta pistola.

TABLA (3,1)-.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS PISTOLAS RECUPERABLES.

Pistolas semirecuperables. Constan de un fleje recuperable de acero o alambre donde van montadas las cargas. Estas se encuentran recubiertas de cerámica o de vidrio, y los desechos después de la detonación se parecen a la arena o grava. Soportan la descarga, y las cubiertas de cerámica son resistentes a las sustancias químicas.

Pistolas Desechables o No Recuperables. Consisten en cargas cubiertas, selladas a presión, individualmente, fabricadas por lo común de un material perecedero, tal como: aluminio, cerámica, vidrio o hierro colado. Cuando la carga se detona fragmenta la cubierta en pequeños pedazos. Estos desechos

quedan en el pozo. En la tabla (3,2) se muestran las ventajas y desventajas de las pistolas desechables o no recuperables.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">*Son dispositivos ligeros flexibles.*Su paso a través de tubería de diámetros pequeños es generalmente sencillo. Por esta razón, es posible usarlos en pozos ya completados o en tuberías con empacaduras de prueba.*Facilitan las operaciones de disparos en trabajos de aislamiento y cementación de intervalos.*Permite disparar bajo balance y con mayor seguridad en pozos con elevadas presiones de fondo.	<ul style="list-style-type: none">*Las pistolas no recuperables no son selectivas.*En caso de que se rompa el cable, la pesca de la pistola no se hace fácil.* Los desechos quedan en el pozo total o parcialmente.*En pozos desviados, algunas veces presentan problemas para bajar la pistola a profundidad máxima.El revestidor debe absorber toda la onda expansiva causada por los disparos.

TABLA (3,2)-.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS PISTOLAS NO RECUPERABLES Y SEMIRECUPERABLES.

CAPITULO IV

MÉTODOS DE DISPAROS.

4, 1-. DISPAROS A TRAVÉS DE LA TP

Para realizar este tipo de disparos es necesario contar con un empacador y una tubería de trabajo o de prueba. Las pistolas se bajan con un cable eléctrico a través de la tubería de producción, son utilizados ampliamente para disparar en pozos productores o inyectores, porque se puede aplicar un diferencial pequeño de presión estática a favor de la formación al momento del disparo. En la figura (4,1) muestra el disparo por la tubería.

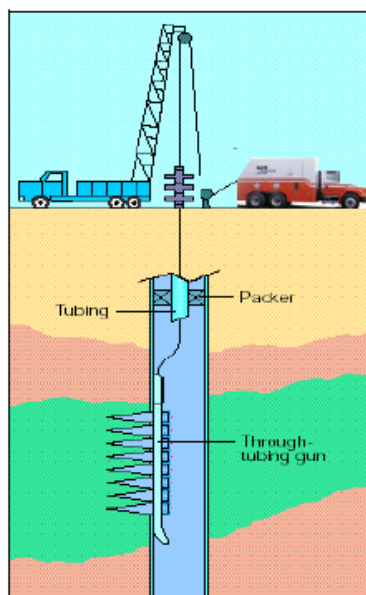


FIGURA (4,1)-.DISPAROS ATRAVÉS DE LA TP.

El proceso es el siguiente:

- 1-. Se baja el empacador y la tubería.
 - 2-. Se establece un diferencial de presión negativa.
 - 3-. Se baja la pistola con equipo de línea de acero, generalmente se usan pistolas no recuperables o parcialmente recuperables.
- En la tabla (4,2) Se muestra las ventajas y desventajas de los disparos a través de la tubería.

Ventajas	Desventajas
Permitir obtener una limpieza óptima en las perforaciones	<p>*No puede haber selectividad en el disparo.</p> <p>*Al probar otro intervalo, se debe controlar el pozo con lo cual expone las zonas existentes a los fluidos de control.</p>

TABLA (4,2)-.VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS PISTOLAS.

4, 2-.DISPAROS A TRAVÉS DE LA TR. (Casing gun)

Los disparos convencionales bajados con cable eléctrico, producen orificios de gran penetración que atraviesan la zona dañada por el lodo perforación. Sin embargo, el disparo debe ser realizado con el pozo en condiciones de sobre balance, con el fin de evitar el empuje de los disparos hacia arriba, altas presiones en el fondo y presión baja en superficie. En la figura (4,3) se muestra los disparos por el revestidor, así como en la tabla (4,4) se muestran sus ventajas y desventajas de este tipo de disparos.

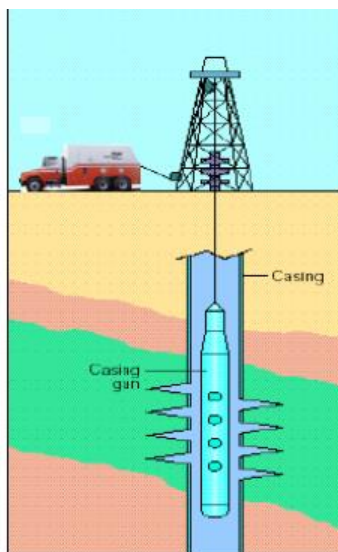


FIGURA (4,3)-.DISPAROS A TRAVÉS DE LA TR.

Ventajas	Desventajas
<p>*Son más eficientes que las tuberías en operaciones de fracturamiento o inyección.</p> <p>*No dañan el yacimiento cuando se usan con cargas tipo chorro.</p> <p>*Son útiles en perforación donde existen zonas dañadas por fluidos de perforación o por depositación de sedimentos, debido a su alta capacidad de penetración.</p>	<p>*Existe la posibilidad de disparar en forma irregular lo que permiten que no funcionen sus bolas salladoras utilizadas como desviadores en la acidificación o fracturamiento.</p>

TABLA (4,4)-. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DISPAROS A TRAVÉS DE LA TR.

4, 3-.DISPAROS TRANSPORTADOS POR LA TUBERÍA (TPC)

En este método el disparo se transporta en el extremo inferior de la tubería conductora. Con este sistema se logran orificios limpios, profundos y simétricos, ya que utilizar disparos de mayor diámetro, cargas de alta penetración, alta densidad de disparo, sin límites en la longitud de intervalos a

disparar en un mismo viaje; todo esto combinado con un diferencial de presión óptimo a favor de la formación en condiciones dinámicas al momento mismo del disparo. Este sistema permite eliminar el daño creado por la perforación, la cementación y el disparo, utilizando para ello la misma energía del yacimiento. En la tabla (4,5) se muestran ventajas y desventajas de las pistolas transportadas por la tubería.

El proceso es el siguiente:

- 1-. Se introduce la tubería con la pistola con un empacador.
- 2-. Se asienta el empacador
- 3-. Se dispara el pozo.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">*Son más eficientes que los de tubería en operación de fracturamiento o inyección.*No dañan el revestimiento cuando se usan con cargas tipo chorro.*Son útiles en perforaciones donde existen zonas dañadas por fluidos de perforación o por deposición de sedimentos, debido a su alta capacidad de penetración.	<ul style="list-style-type: none">*Existe la posibilidad de disparar en forma irregular lo que permitiría que no funcionen sus bolas selladas, utilizadas como desviadoras en la acidificación o fracturamiento.

TABLA (4,5)-VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DISPAROS TRANSPORTADOS POR LA TUBERÍA (TPC).

4, 4.-SISTEMAS DE DISPAROS ULITIZADOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

Son tres tipos generales de sistemas de pistolas usados en la industria actualmente: de tapas (ported), de tubos (scaloped) y de tipo cápsula (Capsule). Tanto el de tapas como el de tubos pertenecen a la familia de las llamadas pistolas de revestimiento. Estas pistolas son de paredes reforzadas y selladas de forma tubular con conductos que permiten transportar el tren de explosivos dentro de ellos, que ayuda a proteger los explosivos del ambiente que rodea al pozo, los más usados en disparos con TPC los tubos.

4,4,1.-PISTOLAS DE TAPAS

Poseen ventajas económicas ya que pueden ser reusables hasta 100 veces, sin embargo debido al sistema de carga y reposición de las tapas, siempre existe la posibilidad de que les entre fluidos del pozo cuando es enviado al fondo y no detonen, siendo también que al estar sumergida en el fluido se disparan y pueden romperse, quedando atascadas dentro del casing.

4,4,2.-PISTOLAS DE TUBO

Son usados en la mayoría de condiciones de pozo, se bajan principalmente a través de la tubería de producción como las TPC y se encuentran disponibles en una gran variedad de tamaños. Soportan condiciones de hasta 30,000 psi y 500° F, siendo que pueden ser corridos por cable o tuberías.

Son menos susceptibles a la entrada de fluidos del pozo comparado con las pistolas de tapas. Éstos son a menudo disparadas desde la parte superior. Especial se deben usar este tipo de pistolas para intervalos mayores a 822 m en los cuales se pueden acoplar mecanismos de detonación mecánica hidráulica o eléctrica.

Las pistolas de revestimiento también permiten adsorber el impacto causado al momento de la detonación protegiendo el casing de un daño potencial. También retienen una cantidad significativa de escombros producto de la detonación.

4, 4, 3.-PISTOLAS DE TIPO CAPSULA

Consisten en cargas que son encapsuladas dentro de una capa protectora. Las cargas son fijadas a un fleje para ser bajadas con cable eléctrico, dado que no consiste de disparos encapsulados dentro de tubos, las cargas pueden ser tan grandes como aquellas usadas en pistolas de tubos y aun así pasar a través de la tubería.

La principal desventaja del sistema de pistolas de tipo cápsula es que el detonador y el cordón detonante se encuentran expuestos al fluido que rodea al pozo. La invasión de fluido puede ocurrir en la interface del detonador y el cordón detonante, por lo que se requiere el uso de técnicas especiales de envolturas.

El rendimiento de este tipo de cargas es impresionante, pero la complejidad mecánica del equipo y los escombros resultantes pueden ser indeseables.

Un ejemplo gráfico de los tipos de pistolas de tapa, capsula y de tubos es la figura (4, 6).

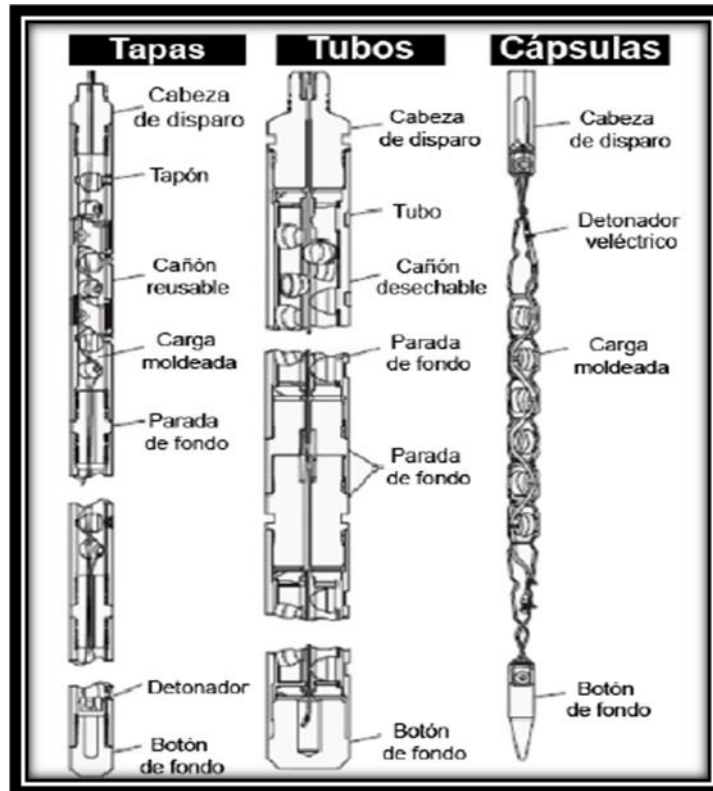


FIGURA (4,6)-.SISTEMAS DE PISTOLAS USADAS EN LA INDUSTRIA.

4, 5-.PROCESO DEL DISPARO.

El proceso de disparo comienza desde el posicionamiento de la pistola en el fondo, junto a una zona productora, la cual contiene explosivos con cargas de controladas y hechas especialmente para poder causar perforaciones en pozos entubados.

El disparo se genera en una fracción de segundo, por medio de cargas huecas, las cuales tienen cavidad explosiva, es decir tiene un explosivo mismo que posee un recubrimiento sólido de partículas metálicas que cuyo objetivo es aumentar el grado de penetración.

Las cargas consisten de tres partes principales que ya se mencionó en el capítulo anterior, que son: un explosivo, un casco, un liner cónico con un cable detonador. Cada uno de estos componentes debe estar fabricado con características exactas y con estrictos estándares de calidad.

En la figura siguiente se muestra los pasos de cómo se dispara en una zona de producción. Para una mejor ilustración del proceso del disparo se muestra en la figura (4,7).

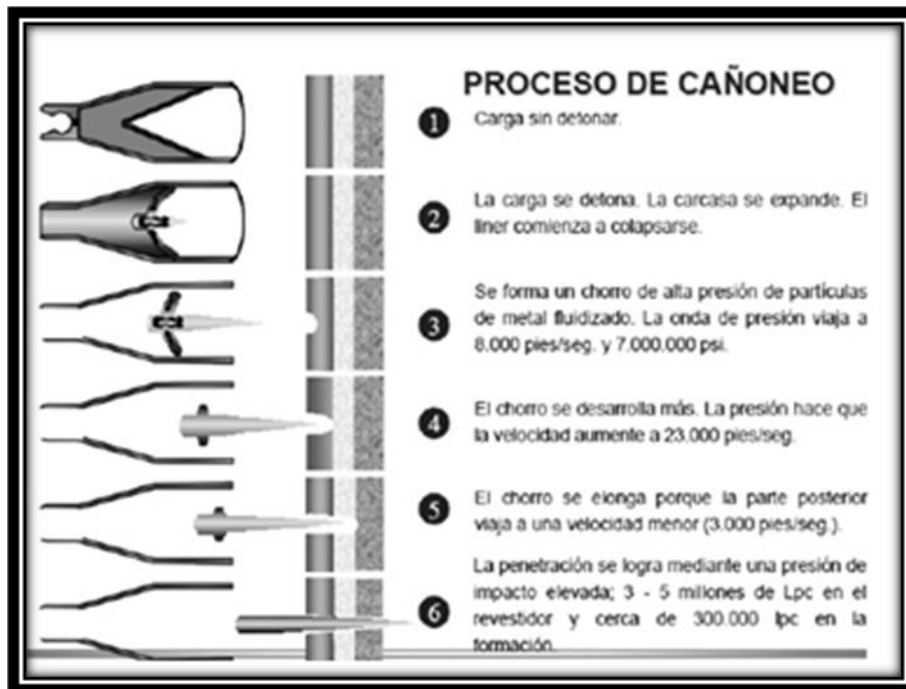


FIGURA (4,7)-.EJEMPLO DE UN PROCESO DE DISPAROS

El proceso para realizar los disparos, comienza en el momento en que el detonador, envía un pulso eléctrico al explosivo, a través del cordón detonador; produciendo un colapso en el liner dando lugar a un impulso de partículas metálicas fundidas que viajan a una velocidad a lo largo del eje de la carga. Este chorro es de gran potencia y se presenta en una forma similar a una ráfaga, la cual tiene una punta que va a una velocidad mayor que la de la cola misma. Este gradiente de velocidad causa un alargamiento del chorro, el cual atraviesa primeramente el revestidor, luego el cemento hasta finalmente llegar a la formación.

CAPITULO V

FACTORES QUE A AFECTAN LOS RESULTADOS DE LOS DISPAROS Y LA PRODUCCIÓN DE UN POZO

5, 1-.TAPONAMIENTO DE LOS DISPAROS

El taponamiento de las perforaciones con residuos del recubrimiento metálico puede ser muy severo. Mediante el empleo de recubrimientos cónicos elaborados con metal pulverizado, los residuos mayores han sido eliminados en varias de las cargas especiales. Los residuos del recubrimiento también se forman, pero son acarreados al fondo del agujero en forma de partículas del tamaño de arena o más pequeñas.

Las prueba superficiales a presión atmosférica, no son confiables para evaluar este tipo de taponamiento de los disparos, debido a que los residuos frecuentemente son desviados de los disparos a la presión atmosférica.

Las perforaciones tienden a llenarse con la roca triturada de la formación, con sólidos de lodo, y residuos de las cargas cuando se dispara en el lodo. Estos tapones no son fácilmente removidos por el contraflujo. La presencia de partículas compactas y trituradas de la formación alrededor de los disparos reduce aún más la posibilidad de limpiar los disparos. Los lodos con alta densidad mezclados con sólidos pesados, provocan la formación de tapones densos en la zona disparada.

5, 1 ,1-. LIMPIEZA DE LOS DISPAROS TAPONEADOS

En arenas no consolidadas, las herramientas de sondeo instantáneo y de limpieza han sido usadas con éxito para sanear los disparos. Si los disparos en pozos terminados en arenas, no pueden limpiarse con herramienta de sondeo instantáneo y limpieza, el siguiente paso consiste generalmente en abrir cada disparo con aceite o agua limpia usando bolas selladoras. Este procedimiento ocasiona que el lodo sea desplazado dentro de las fracturas de la formación. Normalmente estas fracturas se cerrarán poco después que la presión de fracturamiento sea liberada.

La acidificación de los pozos en areniscas generalmente no permitirá limpiar en su totalidad los disparos obstruidos con lodo, ya que cada disparo se aísla y fractura independientemente, por lo que el ácido requerido en los disparos varía en su necesidad para remover el lodo.

Los tapones son fáciles de remover de los disparos en formaciones carbonatadas, debido a que al entrar el ácido en unos cuantos disparos, generalmente disuelve una cantidad de roca suficiente para abrir otros disparos. Generalmente los pozos terminados en formaciones de caliza o dolomita se disparan en ácido, con una pequeña presión diferencial hacia la formación.

El taponamiento de los con parafina, asfáltenos o incrustaciones, es un gran problema en muchas partes del mundo. Los tratamientos con solventes, generalmente removerán parafinas o asfáltenos. Si los disparos están obstruidos con incrustaciones solubles o insolubles en ácido es aconsejable redisparar y realizar un tratamiento con ácido o con otros productos químicos.

5, 2-. EFECTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La penetración y el tamaño de los disparos a chorro se reducen a medida que aumenta la resistencia a la compresión de la tubería de revestimiento, del cemento, y de la formación. La penetración de las pistolas tipo bala decrece severamente al aumentar la resistencia de la tubería de revestimiento, del cemento, y la formación.

5, 3-. DENSIDAD DE LOS DISPAROS

La densidad de los disparos generalmente depende del ritmo de producción requerido. La permeabilidad de la formación, y la longitud de intervalo disparado. Para pozos con alta producción de aceite y gas, la densidad de los disparos debe permitir el gasto deseado con una caída de presión razonable. Generalmente son adecuados 4 disparos por pie de 0.5 pg., siendo satisfactorio uno o dos disparos por pie para la mayoría de los pozos con producción baja. En los pozos que serán fracturados, los disparos se planean para permitir la comunicación con todas las zonas deseadas. Para operaciones de consolidación de arena, generalmente se prefieren 4 disparos por pie de diámetro grande.

Los disparos de 4 o más cargas por pie en tuberías de revestimiento de diámetro pequeño y de baja resistencia, con pistolas con cargas expuestas, pueden agrietar las tuberías de revestimiento. También el cemento puede fracturarse severamente, siendo necesario efectuar cementaciones forzadas para controlar la producción indeseable de agua y gas.

5, 4-. EFECTO DE USAR FLUIDOS LIMPIOS

Si una pistola en lo particular proporciona un tamaño y penetración adecuada bajo ciertas condiciones del pozo, la producción limpia, y consecuentemente manteniendo una presión diferencial hacia el pozo al disparar y durante el periodo de limpieza.

5, 5-.COSTOS

El precio de los disparos varía; sin embargo, generalmente los costos son inferiores cuando se usan bajas densidades de disparo. El empleo de pistolas selectivas puede ahorrar un tiempo apreciable en las intervenciones en que se tienen zonas productoras separadas por intervalos no productores. El empleo

de pistolas que se corre a través de la tubería de producción puede frecuentemente permitir el ahorro de tiempo si la tubería de producción está abierta en su extremo y arriba de las zonas que serán disparadas. En los pozos nuevos la tubería de producción puede colocarse, en unas cuantas horas después de cementar el pozo. A continuación pueden efectuarse los disparos a través de la tubería de producción sin tener un equipo en el pozo. En esta forma no se carga tiempo por equipo en la terminación de pozo.

5, 6-. LIMITACIÓN DE PRESIÓN Y TEMPERATURA

Existen especificaciones sobre las presiones y temperaturas de operación para todas las pistolas. Las presiones en el fondo del pozo pueden limitar el uso de algunas pistolas con cargas expuestas. Sin embargo, algunos pozos son disparados, cuando se presenta problemas con la presión, utilizando pistolas convencionales con cargadores de tubo.

Como regla general, las cargas para alta temperatura no deben emplearse en pozos con temperatura del orden de 300-400°, °F. La recomendación está basada en los siguientes:

- 1) La mayoría de las cargas para alta temperatura proporcionan poca penetración.
- 2) El explosivo de alta temperatura es poco sensible, originado mayores fallas en los disparos.
- 3) Las cargas para alta temperatura son más costosas.
- 4) Existen pocas cargas para seleccionar.

Cuando se operan con el límite superior con cargas para baja temperatura pueden seguir estas recomendaciones:

1) Algunos pozos circulan con fluidos con baja temperatura para reducir la temperatura en el fondo. Este procedimiento es especialmente aplicable, para pistolas que se corren a través de la tubería de producción, inmediatamente después de suspender la circulación del fluido.

2) Cuando existe alguna duda en la relación a si se alcanzará la temperatura límite de la pistola antes de que ésta dispare, puede emplearse detonadores para altas temperaturas en las pistolas que contienen cargas para baja temperatura. De esta manera se evitarán los disparos accidentales debido a la alta temperatura, ya que las cargas preformadas se fundirán o quemarán sin detonar, a menos que sean disparadas con el detonador de la pistola.

Para pozos con temperatura muy alta puede no existir otra alternativa que correr el paquete completo para disparar a alta temperatura. Este incluye el detonador, el cordón explosivo, y la carga principal. Como se indicó con anterioridad, el detonador es el elemento principal del sistema. A menos que el detonador sea accionado, la carga preformada no sea disparada.

5, 7.-CONTROL DEL POZO

Los pozos productores de aceite con bajas presión pueden ser disparados, con aceite o agua dentro de la tubería de revestimiento, con poco control superficial, siendo suficiente un prensaestopas tipo limpiador. Sin embargo, es siempre conveniente usar un preventor de cable. Los pozos productores de aceite o agua, en su caso utilizan pistolas a través de la tubería de producción, usando instalaciones de control convencionales a boca de pozo y un prensaestopas ajustable tipo espiral.

En todos los pozos productores de gas deberá usarse un lubricador de grasa, así como en todos los pozos en que prevea una presión superficial mayor de 1,000 [psi].

Las pistolas con cargador de tubo absorben la energía no empleada al detonador las cargas.

5, 8-. NECESIDAD DE CONTROLAR EL CLARO DE LAS PISTOLAS

Un claro excesivo con cualquier pistola a chorro puede ocasionar una penetración inadecuada, un pozo de tamaño inadecuado y en forma irregular. Las pistolas de bala deberán generalmente dispararse con un claro de 0.5 pg., para evitar una pérdida apreciable en la penetración. Generalmente las pistolas a chorro convencionales de diámetro grande, presenta poco problema, excepto cuando se disparan en tuberías de revestimiento de 9 5/8 pg. ó mayores.

El control de claro puede lograrse a través de expansores de resorte, magnetos y otros procedimientos. Dos magnetos, uno localizado en la parte superior y el otro en el fondo de las pistolas que se corren a través de la tubería de producción, se necesitan generalmente, para aumentar la probabilidad de obtener un claro adecuado. De pende del diseño de las cargas, generalmente se obtiene una máxima penetración y tamaño de agujero con claros de 0 a 1/2", cuando se usan pistolas a chorro.

La centralización de las pistolas no es recomendable para las pistolas a chorro que se corren a través de la tubería de producción, ya que ésta generalmente diseñadas para dispararse con un claro igual a cero. Las pistolas con cargas a chorro giratorias pueden generalmente aliviar el problema del claro cuando se corren a través de las tuberías de producción.

5, 9-. MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD

El método aceptado para asegurar un control preciso en la profundidad de los disparos consiste en correr un localizador de coples con las pistolas, y medir la profundidad de los coples que han sido localizados, respecto a las formaciones, usando registros radiactivos. Algunos marcadores radiactivos pueden instalarse dentro de las cargas seleccionadas, para ayudar a localizar la profundidad exacta de los disparos. Los registros de detección de coples pueden mostrar la posición de disparos recientes o anteriores hechos con cargas expuestas, tales

como las usadas en pistola con cargas encapsuladas. En este caso el registro señalará las deformaciones en la tubería de revestimiento ocasionadas por la detonación las cargas expuestas.

5, 10-. DISPAROS ORIENTADOS

Los disparos orientados se requieren cuando se usan varias sartas de tubería de revestimiento, o en terminaciones múltiples en las que se dispara a través de la tubería de trabajo. Se dispone de dispositivos mecánicos, radiactivos y electromagnéticos, para orientar las pistolas.

5, 11-. EFECTOS DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL

Aun cuando se dispare en fluidos tales como aceite o agua que tiene altos ritmos de filtrado, las partículas procedentes de las arcillas, residuos de las cargas, o de otro tipo, pueden originar taponamiento de los disparos hacia los poros de la formación o por las fracturas ocasionando un daño muy severo. Para formación de carbonato es aconsejable disparar con HCl o ácido acético, para obtener una alta productividad, pero generalmente se dispara con fluidos limpios, las recomendaciones de la tabla (5,1), son una modificación de los estudios de campo hechos por King, Anderson y Bingham.

CONDICIONES DEL RESERVORIO	PRESION DIFERENCIAL (PSI)	
	POZOS DE PETROLEO	POZOS DE GAS
ARENAS NO CONSOLIDADAS	300-500	300-500
ARENAS CONSOLIDADAS		
Permeabilidad de la formación		
mayor que 100 Md	500	1000
Desde 100 hasta 10 Md	500-1000	2000
Menos que 10 mD	1000-2000	2000
CARBONATOS		
Permeabilidad de la formación		
mayor que 250 Md	500	500
Desde 100 a 250 mD	750	1000
Menor que 100 mD	1000	2000
Menor que 10 mD	2000	2000

TABLA (5,1)-PRESIÓN DIFERENCIALA FAVOR DE LA FORMACIÓN CUANDO SE DISPARARAN.

Cuando los disparos se efectúan con una presión diferencial dentro el pozo y con fluidos limpios, se ayuda a obtener una buena limpieza de los disparos. Este es el método preferido de areniscas y carbonatos.

5, 12-. DAÑOS A LOS CEMENTOS Y LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

El disparo con cargas de tubo absorben la energía no empleada al detonar las cargas. Esto evita el agrietamiento de la tubería de revestimiento y elimina virtualmente que el cemento se desquebraje. Con uso de las pistolas a bala convencionales no provocan mucho daño en las tuberías de revestimiento. Al disparar con un claro igual a cero se tiende a eliminar las asperezas dentro de la tubería de revestimiento. Las pistolas a chorro con cargas expuestas, como las tipos encapsuladas o en tiras, pueden causar la deformación, fracturamiento y ruptura de la tubería de revestimiento, así como un notable agrietamiento del cemento.

5, 13-. MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD

El método aceptado para asegurar un control preciso en la profundidad de los disparos consiste en correr un registro localizador de coples con las pistolas, y medir la profundidad de los coples que han sido localizados, respecto a las formaciones, usando registros radiactivos. Algunos marcadores radiactivos pueden instalarse dentro de las cargas preformadas seleccionadas para ayudar a localizar la profundidad exacta de los disparos. Los registros de detección de coples pueden mostrar la posición de disparos recientes o anteriores hechos con cargas expuestas, tales como las usadas en las pistolas con cargas encapsuladas. En este caso el registro señalará las deformaciones en la tubería de revestimiento ocasionadas por la detonación de las cargas expuestas.

5, 14-. GEOMETRIA DE LOS DISPAROS

Para poder realizar un diseño adecuado del sistema de disparos es importante tomar en cuenta los factores geométricos que afectan su adecuado rendimiento es así que resulta importante conocerlos, entre factores tenemos:

- *Angulo Fase
- *Longitud del túnel de perforación
- *Diámetro de la zona compactada
- *Diámetro de la zona dañada
- *Diámetro de las perforaciones, etc.

Un ejemplo de los factores geométricos del sistema de disparos que se muestra el pozo es la figura (5,2).

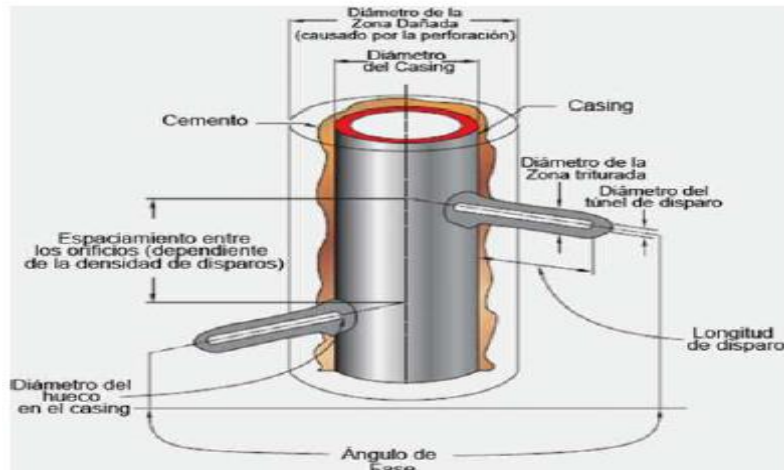


FIGURA (5,2)- FACTORES GEOMETRICOS DEL SISTEMA DE DISPAROS.

Una buena geometría del pozo nos permite que todos los parámetros de disparos puedan ser optimizados.

5, 15-.INDICE DE PRODUCTIVIDAD

El índice de productividad nos permite evaluar la potencialidad de un pozo y está representado matemáticamente por:

$$J = \frac{q}{P_{ws} - P_{wf}}$$

Dónde:

J= Bls/psi

Q= bls

PWS= [psi]

PWF = [psi]

El índice de productividad de una zona puede ser difícil determinar, por lo tanto el efecto del diseño del sistema de disparo como son la penetración, fase densidad, diámetro de agujero, daño del lodo, etc., pueden ser evaluados usando la Relación de Productividad. Que es la siguiente ecuación.

$$RP = \frac{\text{Producción de una zona entubada y disparada}}{\text{Producción de la misma zona en agujero abierto.}}$$

Dónde:

RP= índice de productividad [bpd/psi]

Los principales factores que afectan la productividad del pozo son:

- a) Factores geométricos del disparo
- b) Presión diferencial al momento del disparo
- c) Tipo de pistola y cargas
- d) Daño generado por el disparo
- e) Daño causado por el fluido de la perforación
- f) Daño causado por el fluido de la terminación

Como se puede observar, los cuatro primeros factores que afectan la productividad pueden ser manipulados durante el diseño del disparo. Por lo tanto con el análisis de las condiciones del pozo y la selección del sistema de disparo adecuado, se obtendrá la máxima productividad del pozo.

5, 16-. ÁNGULO FASE

El ángulo fase entre las cargas es a menudo una variable no muy considerada, aun cuando su importancia es muy significativa en muchas formaciones ya sea que se haya elegido con sistema de disparo en tubería o cable eléctrico, si se elige un ángulo fase de 0° , es decir que todos los disparos se encuentren localizados en el mismo plano y se descentraliza la pistola hacia donde se realizarán los disparos, se tendrán una máxima profundidad de disparos en la formación.

El porcentaje de productividad se reduce (típicamente de 5% a 10%) debido a que el camino que el fluido de la formación tendrá que atravesar hasta entrar en el pozo será más tortuoso.

Para formaciones donde las fracturas naturales sean predominantes es recomendable escoger un arreglo de fase en varias direcciones de manera que exista una mayor probabilidad de conectar los disparos con las fracturas.

Existen arreglos de: 0° , 25° , $7^\circ/128^\circ$, 5° , $30^\circ/150^\circ$, $45^\circ/135^\circ$, $51.4^\circ/154.3^\circ$, $60^\circ/120^\circ$, 90° , 120° , 138° , $140^\circ/160^\circ$ y 180° .

La figura (5,3) muestra algunos arreglos de ángulos fase usados en el campo de trabajo como son los de 60° , $30^\circ/150^\circ$, 138° .

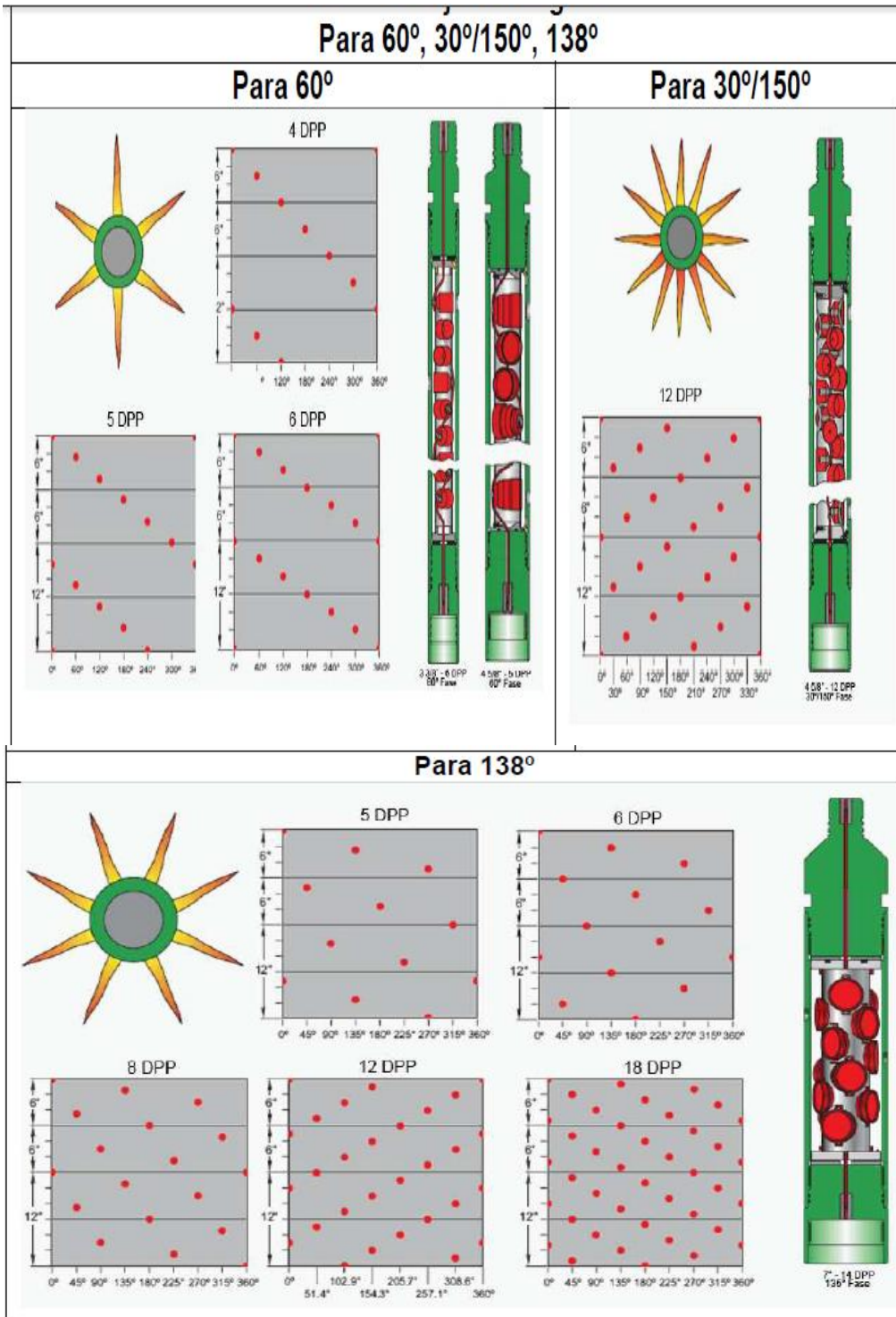


FIGURA (5,3)-.ANGULOS DE FASE.

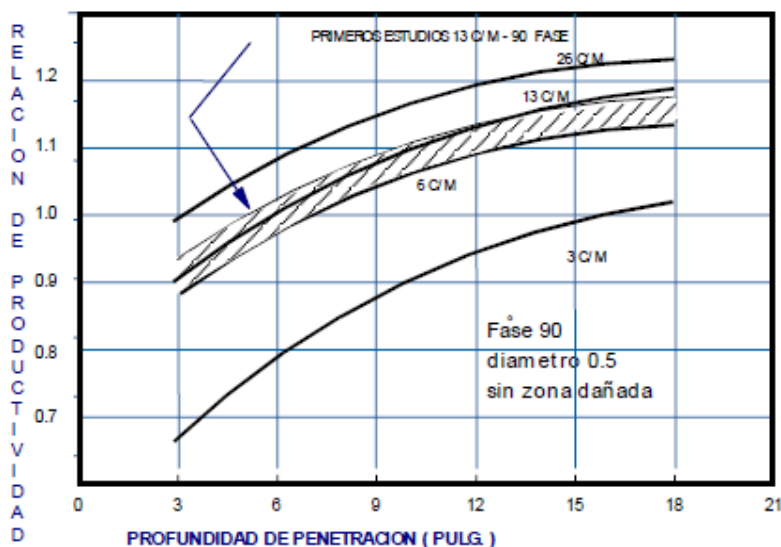
5, 17-. EFECTO DE LA PENETRACIÓN Y DENSIDAD DE CARGA EN EL ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD (RELACIÓN DE PRODUCTIVIDAD)

Como se puede apreciar en la gráfica (5, 4), el efecto de la penetración y la densidad de las cargas son muy portantes, ya que dichos factores mejorar el índice de productividad.

Arriba de 6 pulgadas la tendencia es menor pero es evidente la importancia de la penetración para mejorar la relación de productividad.

La densidad de cargas influye también en la relación de productividad (RP) observando que para una densidad de 3 cargas/m es necesaria una penetración de 6 pulgadas para obtener una RP de 1.0 mientras que para una densidad de 13 c/m se necesitan solo 6 pulgadas.

La grafica (5,4), muestra un pozo sin daño, para el caso más real de un pozo con una zona de daño debida al fluido de perforación, la penetración más allá de la zona de daño es relevante para mejorar el índice de productividad (RP).



GRAFICA (5,4)-. RP EN FUNCIÓN DEL EFECTO DE PENETRACIÓN Y DENSIDAD DE CARGA

5, 18-. EFECTO DE LA FASE EN LA RP

La fase angular entre perforaciones sucesivas es un factor importante. La gráfica (5, 4) muestra una reducción de un 10-12% en la RP para sistemas de 0° y 90° con una misma penetración.

Suponiendo que se use un sistema de 0° de fase, con una penetración de 6 pulgadas, se obtiene una RP de 0.9 de la gráfica (5, 5), mientras que para un sistema de 90° se obtiene una RP de 1.02; esto representa una diferencia del

11% en la RP. En el grafica (5,5), presenta la profundidad de penetración en las fases de penetración de 90°,120° y 180° en las cargas.

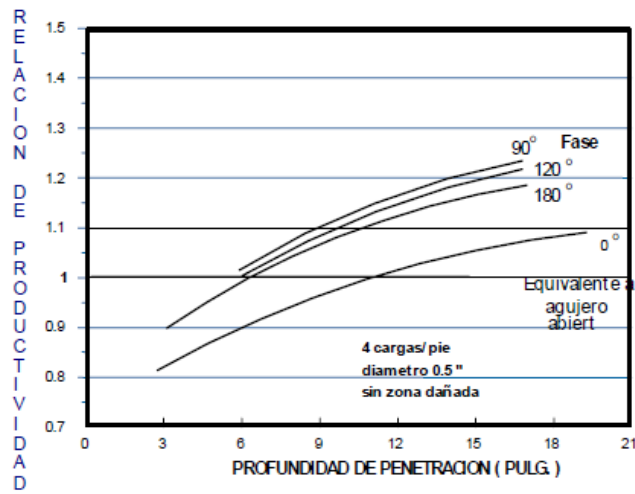


FIGURA (5,5)-. RP EN FUNCIÓN DEL EFECTO DE PENETRACIÓN Y DENSIDAD DE CARGA TOMADO ENCUNTA EL ANGULO DE DISPARO.

CAPITULO VI

ZONA DAÑA DE LA FORMACIÓN

6, 1-.DEFINICIÓN DE DAÑO A LA FORMACIÓN

Es un fenómeno que causa una distorsión en el flujo lineal en dirección al pozo debido a la restricción en el tamaño de los poros de la roca, ocasionado por una caída de presión extra en las inmediaciones del pozo.

Durante el proceso de disparos jet se produce un daño en la roca matriz alrededor del túnel de perforación como muestra el figura (6,1).

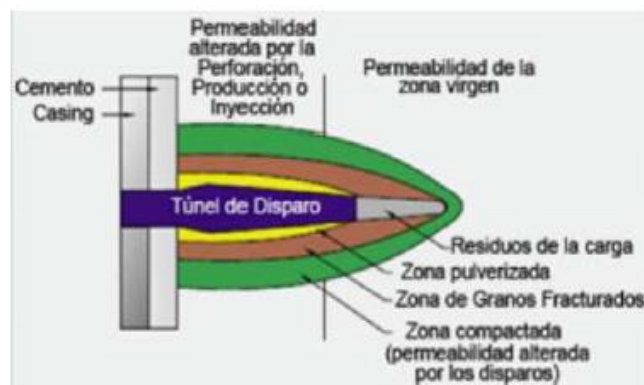


FIGURA (6,1)-.DAÑO A LA FORMACIÓN.

El área alterada llamada también zona dañada, es el resultado del impacto producido por la alta presión durante los disparos.

Los componentes del daño involucran varios factores, donde algunos de ellos no pueden ser alterados, el daño total se representa por la siguiente ecuación:

$$S_T = S_{c+\theta} + S_P + S_d + \sum PSEUDODAÑO$$

Dónde:

$S_{c+\theta}$ = Es el daño de la terminación parcial y el ángulo de desviación

S_P = el daño por efectos del disparo

S_d = es el daño por invasión de los fluidos

6, 2.-EFECTOS DEL DAÑO

Los efectos producidos por los disparos originan alteraciones en la formación así como en sus características físicas, las cuales generan problemas asociados con la restricción al flujo a través de las perforaciones, y estas se ven incrementadas por los detritos de las pistolas, la tubería, el cemento y la propia formación.

Un vez eliminadas las restricciones causadas por los disparos, es conveniente estimar cual sería el efecto de la productividad del pozo debido al daño verdadero a la formación. Para tal caso, es necesario determinar el comportamiento de flujo, obtenido a partir de la presión de pozo fluyente y el gasto de producción a esa presión referido a esta presión. Esto se determina para las diferentes condiciones de permeabilidad, tanto para la zona virgen y la zona alterada o dañada.

6, 3.-ORIGEN DEL DAÑO.

El daño a la formación puede ser causado por procesos simples o complejos, presentándose en cualquiera de las etapas de la vida del pozo.

El proceso de la perforación del pozo es el primero y tal vez el más importante queda origen del daño a la formación, el cual se agrava con las operaciones de cementación de tuberías de revestimiento, las operaciones de terminación y reparación de pozos e incluso por las operaciones de estimulación. La fuente de daño la proporciona el contacto e invasión de materiales extraños en la formación.

Además, durante el proceso natural de producción debido a las alteraciones de las características originales de los fluidos o de los minerales constituyen la roca.

Los mecanismos que gobiernan el daño a la formación pueden ser:

*Reducción de la permeabilidad absoluto de la formación, originada por un taponamiento del espacio poroso o fracturas naturales.

*Reducción de la permeabilidad relativa a los fluidos de formación, resultado de la alteración en las saturaciones de los fluidos o del cambio de la mojabilidad del yacimiento.

*Aumento de la viscosidad de los fluidos del yacimiento debido a la formación de emulsiones o alteraciones en sus propiedades.

6, 4.-TIPOS DE DAÑO

A continuación se describe los tipos de daño que se pueden presentar durante las diferentes operaciones que se realicen en un pozo petrolero.

6, 4, 1-. DAÑO POR INVASIÓN DE FLUIDOS

Este tipo de daño se origina por el contacto de fluidos extraños con la formación y el radio de invasión depende del volumen perdido, de la porosidad y la permeabilidad de la formación así como de su interacción con los fluidos contenidos en ella o con los componentes mineralógicos de la roca.

La fuente principal de este tipo de daño es la perforación misma, ya que el lodo forma un enjarre debido a la filtración de fluidos a la formación y su penetración depende del tipo de lodo, tiempo de exposición y la presión diferencial. Esta invasión de fluidos genera alguna diversidad de daño, como:

Daño por arcilla-. La mayoría de las formaciones productoras contiene en mayor o menor cantidad arcillas, siendo estos minerales potencialmente factores de daño por su alta sensibilidad a fluidos acuosos, lo que provoca hinchamiento y/o migración. Las arcillas presentes en la formación se generan a través de dos tipos de proceso, el primero se presenta de manera mecánica, la cual ocurren en el depósito simultáneo con los otros minerales que conforman la roca, y el segundo de manera química, en este proceso los minerales se forman en el espacio poroso como el resultado de precipitaciones o reacciones de otros minerales con de agua formación.

6, 4, 2-.BLOQUEO POR AGUA-. La invasión de fluidos acuosos propicia que en la vecindad del pozo se promueva una alta saturación de la misma, disminuyendo la permeabilidad relativa a los hidrocarburos.

Lo que provoca una área mojada por agua e incrementando la adsorción de esta a las paredes de los poros.

6, 4, 3-.BLOQUEO POR ACEITE-. Cualquier fluido base aceite que invada yacimientos de gas, especialmente en zonas de baja permeabilidad, causaran reducciones en la permeabilidad relativa del gas.

Bloqueos por emulsiones-. Esto sucede cuando los fluidos de invasión se intermezclan con los aceites de formación, estas emulsiones suelen tener alta viscosidad.

6, 4, 4-.CAMBIO DE MOJABILIDAD-. Un medio poroso que se encuentra mojado por agua facilita el flujo de aceite, y los fluidos de invasión a la formación tienen la tendencia de mojar la roca por aceite debido al uso de surfactantes catiónicos o no iónicos, lo cual repercute en una disminución de la permeabilidad relativa al aceite.

6, 4, 5.-DAÑO POR INVASIÓN DE SÓLIDOS

Uno de los más comunes tipos de daño se debe a obstrucciones del sistema poroso causado por los componentes sólidos de los fluidos de perforación cementación, terminación, reparación y estimulación.

Estos sólidos son forzados a través del espacio poroso de la roca, provocando una obstrucción parcial o total al paso de los fluidos, causando un daño severo en la permeabilidad de la roca.

Este daño en lo general está limitado a unos cuantos centímetros de la pared del pozo y su penetración depende principalmente del tamaño de las partículas y de los poros.

Dependiendo del tamaño, comportamiento y tipo de sólido, estos pueden removerse en contraflujo, sin embargo muchas veces no se alcanzan presiones diferenciales suficientes y el daño puede ser más severo.

Adicionalmente la pérdidas de volúmenes considerables de fluidos de control, a través de fisuras, cavernas o fracturas inducidas propician invasión considerable de sólidos a la formación los cuales son difíciles de remover.

6, 4, 6.-DAÑO CAUSADOS POR FLUIDOS DE TERMINACIÓN

El fluido de terminación es un factor muy importante a considerar, por su influencia en el rendimiento de las cargas y productividad del pozo al momento de los disparos, es así que debe tratarse de un fluido limpio de lo contrario la presencia de algún material extraño podría causar que el disparo empuje este material dentro de la formación dando pie a una obstrucción.

Al momento de los disparos se generan gases asociados con la explosión, lo que provoca que el frente de fluido sea lanzado dentro del túnel de perforación, creándose momentáneamente una condición de sobre balance dónde las partículas serán adheridas en el interior del túnel, alterando la geometría radial del flujo y afectando de esta manera la productividad del pozo.

6 , 4, 7.-DAÑO GENERADO POR EL LODO DE PERFORACIÓN

El daño generado por proceso de perforación del pozo resulta casi inevitable, este daño a la formación viene asociado a la obstrucción de los poros alrededor del pozo.

Una de las razones es la tendencia que existe al usar lodos que permiten una perforación rápida, segura y económica; sin tomar en cuenta los efectos que éste puede causar sobre productividad del pozo.

Pese a que el lodo tiene la propiedad de formar una costra o película que impide una invasión masiva del fluido hacia la formación es inevitable que ocurra, es así que se vuelve un reto durante las operaciones de disparos atravesar ésta zona dañada.

6, 4, 8-DAÑOS CAUSADOS POR LOS DISPAROS

Durante el proceso de disparos se produce un daño en la matriz de la roca alrededor del túnel de perforación como se muestra el figura (6,2).

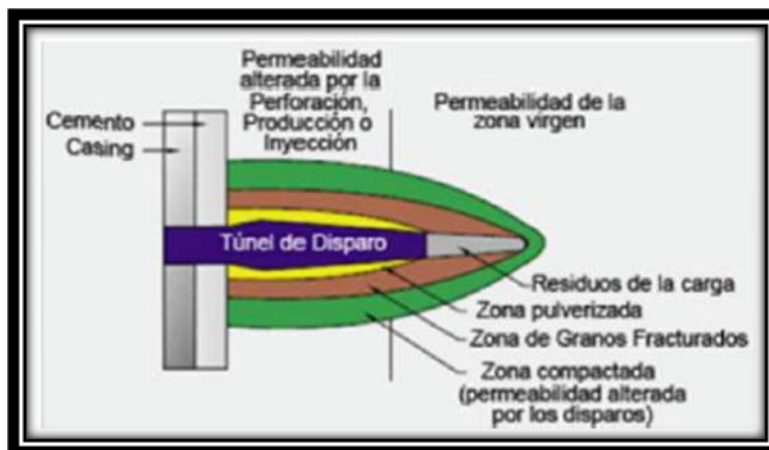


FIGURA (6,2)-.DAÑO A LA FORMACIÓN POR DISPAROS EN LOS POROS DE LA FORMACIÓN.

El área alterada llamada también zona dañada, es el resultado del impacto producido por la alta presión durante los disparos como se muestra en la figura (6,3) dicho daño por el disparo.

La zona dañada es formada por los granos triturados y compactos formado una capa de aproximación de 0.25 a 0.5 pulgadas alrededor del túnel de perforación, el grosor de la zona dañada no es uniforme y decrece a lo largo del túnel de perforación. Algunas evidencias muestran que las cargas de Huevo Grande pueden causar un daño de 1 pulgada alrededor del túnel de perforación, además estudios de laboratorio indican que la permeabilidad de la zona dañada puede ser del 10% a 20% de la permeabilidad de la zona virgen, por esta razón es muy importante realizar un buen diseño de los disparos para causar un mínimo de daño sobre el pozo.

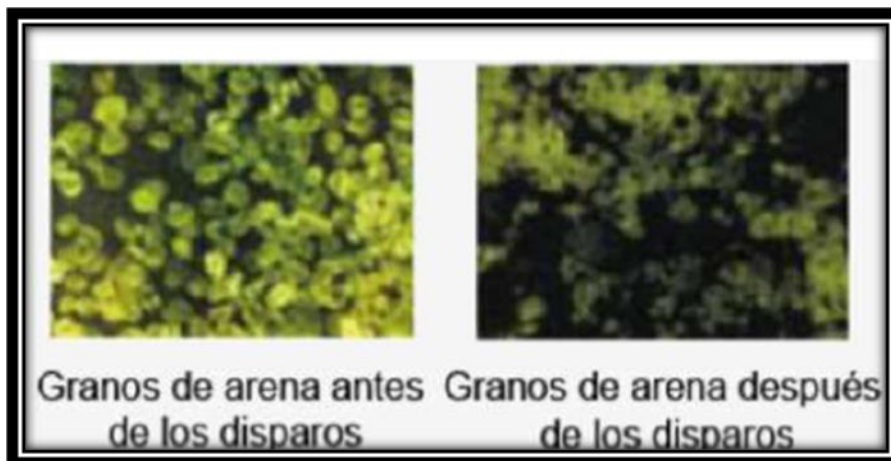


FIGURA (6,3)-GRANOS ANTES DE LOS DISPAROS Y DESPUES DE DISPARAR.

CAPITULO VII

EFFECTIVIDAD DE LOS DISPAROS

Una forma de determinar la efectividad de los disparos es, a partir de tres análisis, los cuales demostrarán cuantitativa y cualitativamente que un disparo es más efectivo, estos análisis son los siguientes:

- Análisis a partir de la penetración del disparo (Si los disparos sobrepasan o no la zona de daño de formación por invasión de fluido).
- Un método simple para la estimación de la productividad de pozos.
- Análisis a partir del daño total encontrado luego de los disparos.

Para que se realice éste análisis se requiere realizar las siguientes operaciones:

- 1) Calcular el radio de invasión de la formación productora, (r_s).
- 2) Calcular la profundidad de penetración de los disparos, (P).

7,1-.CALCULO DEL RADIO DE INVASIÓN DE UN POZO

El radio r_s de la zona dañada alrededor pozo y la permeabilidad K_s están relacionadas al factor de daño S por la ecuación de Hawkins:

$$r_s = r_w + e^{\frac{K}{K_s} - 1}$$

Dónde:

r_s : El radio de la zona dañada alrededor del pozo [m]

r_w = Es el radio del pozo [m]

K= A la permeabilidad [md]

Así la permeabilidad de la zona de daño es menor que en el resto de la formación. S será positivo; si las permeabilidades son iguales S será cero. Finalmente, si la permeabilidad en la zona de daño es mayor que en la formación, es decir fracturado o acidificado, S será negativa. Hidráulicamente los pozos fracturados muestran a menudo valores de S en rango de -3 a -5.

Los valores para K y S pueden obtenerse de pruebas de presión. Sin embargo la relación $\frac{K}{K_s}$ es difícil de determinar. Típicamente $\frac{K}{K_s}$ variará de 5 a 10 o en valores aún menores.

7, 2.-DESEMPEÑO DE LAS CARGAS

La penetración de las pistolas disminuye al aumentar el esfuerzo de sobrecarga y la resistencia compresiva de la formación. Un método para su cálculo fue propuesto por Thompson, el cual relaciona la resistencia compresiva, con los resultados obtenidos de pruebas en superficie, de la siguiente manera:

$$Pen = Pen_{sup} * e^{(0.086(c_r - c_f))}$$

Dónde:

Pen = Penetración

Pen_{sup} = Penetración en superficie, Carta API RP-43.

C_r = Comprensibilidad en superficie a las condiciones de la prueba, (Kpsi).

C_f = Comprensibilidad de la formación de interés, (Kpsi).

Las condiciones esperadas en el pozo posterior al disparo, dan la pauta para predecir la forma en la cual se lleva a cabo en el disparo (condiciones Bajo Balance o Sobre Balance), las cuales están influenciadas por los fluidos en los poros, presión de poro y la presión Hidrostática ejercida por los fluidos de terminación.

En una terminación sobre balanceada, la presión de formación es menor que la presión del pozo, esta, diferencia con residuos de las cargas, al momento del disparo. Por otro lado en una terminación bajo balance la presión de formación es mayor que la presión ejercida por la columna de los fluidos en el pozo, en este caso los residuos de las cargas y las zona comprimida por el disparo puede ser expulsados del agujero. La figura (7,1), ejemplifica estos efectos.

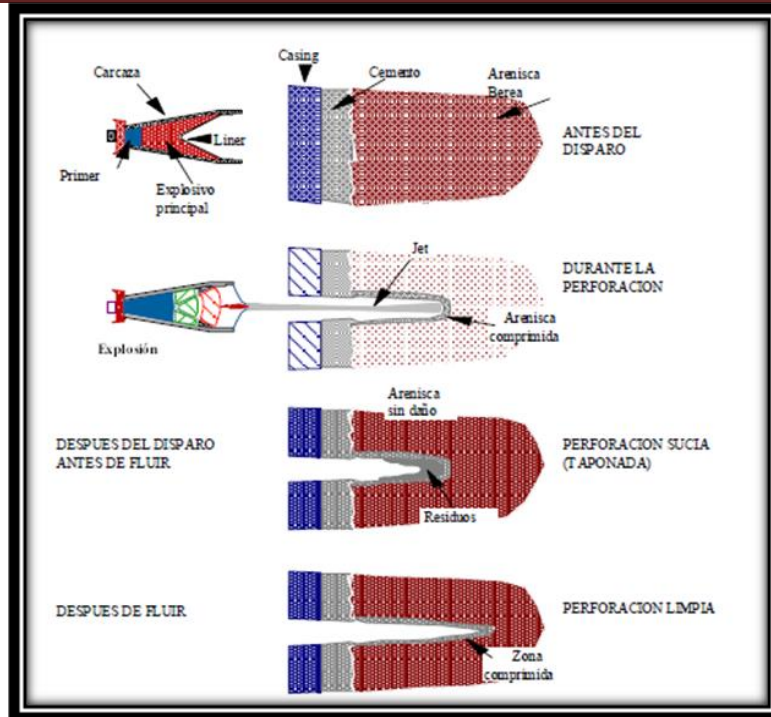


FIGURA (7,1)-DAÑO A LA FORMACIÓN CAUSADO POR EL DISPARO.

En general se recomienda disparar en condiciones bajo balance debido a la limpieza generada en los agujeros. Sin embargo, usar presiones diferenciales muy altas es inadecuado, debido a que se provoca arenamiento o aportación de finos de la formación que impedirían el flujo hacia pozo.

La magnitud de la presión diferencial, para disparar en condiciones bajo balance, depende básicamente de la permeabilidad de la formación y el tipo de fluido empleado en la terminación. Los valores recomendados de presión diferencial, tanto para pozos de gas como de aceite son calculados mediante siguiente correlaciones empíricas:

Para pozos de gas:

$$P_{dif} = \frac{3500}{K^{0.37}}$$

Para pozos de aceite:

$$P_{dif} = \frac{2500}{K^{0.17}}$$

Dónde:

P_{dif} = Presión diferencial en lbs/ Pg².

K = Permeabilidad de la formación en md.

CAPITULO VIII

EQUIPO DE PERFORACION BAJO BALANCE

DEFINICIÓN; Perforación Bajo balance es cuando la presión efectiva de circulación en el fondo del pozo, la cual es igual a la presión hidrostática de la columna de fluido más las pérdidas de fricción en el anular, es menor que la presión de poro de la formación.

Convencionalmente, los pozos son perforados con presiones de sobre balance la cual provee la primera barrera de control sobre el yacimiento. En la figura (8,1) muestra una perforación en condiciones presión de bajo y sobre balance.

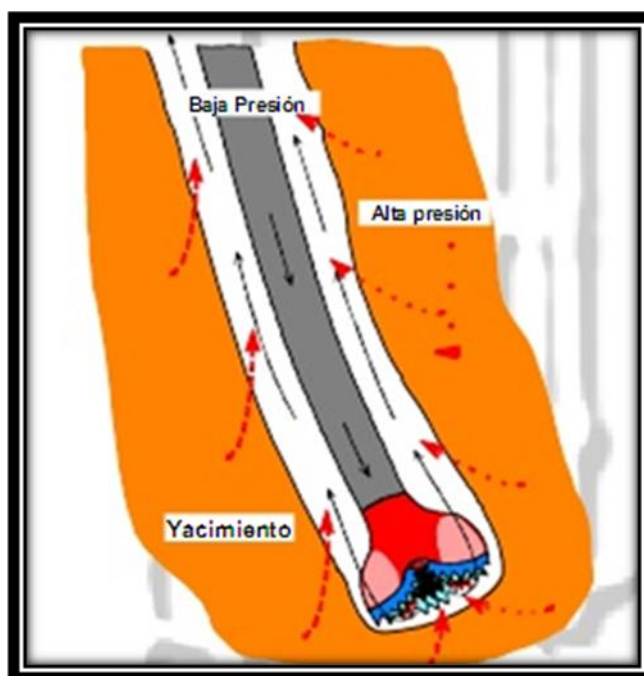


FIGURA (8,1)-PERFORACIÓN BAJO BALANCE.

8, 1-OBJETIVO DE LA PERFORACIÓN BAJO BALANCE

Los objetivos de la perforación bajo balance se pueden dividir en dos grandes categorías:

- Maximizar la recuperación de hidrocarburos.
- Minimizar los problemas de perforación.

Estas dos categorías son las principales razones por las que se desarrollan las operaciones de bajo balance.

Existen también ventajas y desventajas específicas de la perforación bajo balance las cuales pueden ser resumidas como sigue:

VENTAJAS:

- Aumento de la tasa de penetración.
- Disminución del daño de formación.
- Elimina el riesgo de pegaduras diferenciales.
- Reduce el riesgo de pérdidas de circulación.
- Aumenta la vida útil de la broca.
- Reduce el tamaño de los cortes aumentando la capacidad de limpieza.

DESVENTAJAS:

- Inestabilidad de las paredes del pozo.
- Incrementa costos dependiendo del sistema utilizado.
- Incompatibilidad con herramientas de MVD convencionales.
- Efectos espontáneos de flujos en contracorriente.
- Drenaje gravitacional en pozos horizontales.
- Posible daño cerca a las paredes del pozo.
- Discontinuidad en la condición bajo balance.
- Generalmente más altos riesgos con más problemas inherentes.
- Aumento del peso de la sarta para direccionar la barrena.
- Posible exceso de erosión en las paredes del pozo.
- Incremento del torque y arrastre.

8, 2.-TÉCNICA DE SELECCIÓN DE POZOS PARA PERFORACIÓN BAJO BALANCE

Se puede aplicar un proceso básico de cuatro etapas y así determinar las operaciones y requisitos para que un pozo sea perforado bajo balance:

- ❖ Determinar los requisitos de presión en el fondo del pozo (BHP).
- ❖ Identificar las opciones del fluido de perforación.
- ❖ Establecer el diseño del pozo y correr modelos de flujo en simulador.
- ❖ Seleccionar el equipo de superficie.

8, 2, 1.-REQUISITOS DE PRESION DEL POZO

En la perforación convencional se selecciona un peso de lodo que proporcione una presión hidrostática de 200 a 1000 psi por encima de la presión del yacimiento. En la perforación bajo balance seleccionamos un fluido que proporcione una presión hidrostática de 200 psi por debajo de la presión inicial del yacimiento. Esto es un punto de partida para la selección del sistema de

fluido. En el estudio de viabilidad, esto es más detallado dependiendo del influjo esperado del yacimiento con una caída de presión de 200 psi. Al evaluar todas las simulaciones hidráulicas de la perforación, estas pueden indicar que 200 psi. de caída de presión no son suficientes para alcanzar la condición bajo balance y el pozo estará sobre balance cuando se circule. Si este es el caso el fluido de circulación tendrá que ser revaluado.

Se puede ver en la gráfica (8,2) siguiente la técnica de selección para un pozo de acuerdo al tipo de presión que se tiene ya sea bajo balance o sobre balance.

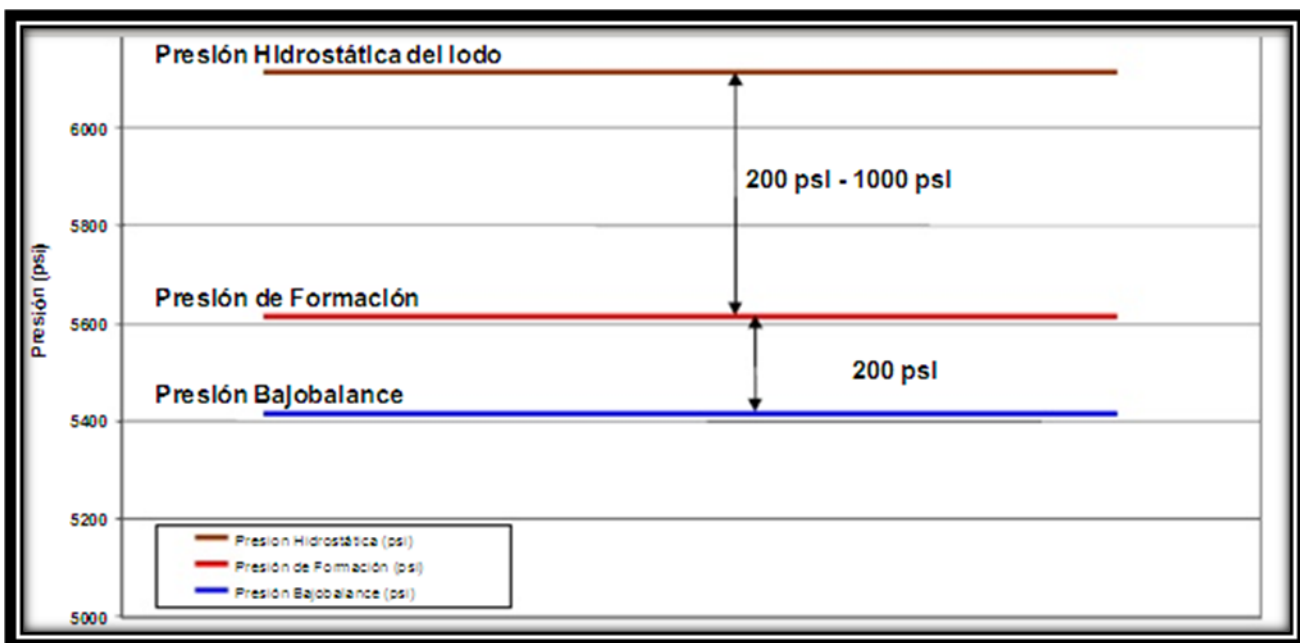


GRAFICO (8,2)-.TECNICAS DE SELECCIÓN

8, 2, 2.-YACIMIENTOS

Antes de la operación de perforación bajo balance sea emprendida, se necesita realizar una significativa cantidad de trabajos en el yacimiento.

No sólo se requiere una presión del yacimiento exacta, sino que el mecanismo de daño del yacimiento deberá ser comprendido para asegurar que los beneficios requeridos son en efecto posibles.

Yacimientos que se beneficiarán de la perforación bajo balance:

- Formaciones que usualmente sufren daño mayor de formación durante las operaciones de perforación o completamiento.
- Formaciones que usualmente exhiben alta tendencia a las pegadas diferenciales y pérdidas de tubería.
- Formaciones que exhiben zonas de alta pérdida de circulación o invasión de fluidos durante la perforación o terminación.
- Pozos con largas fracturas macroscópicas.

- Pozos conformaciones masivas heterogéneas o altamente laminadas que exhiben diferencias en permeabilidad, porosidad o garganta de poro a través de ellas.
- Yacimientos de alta productividad con media a alta permeabilidad.
- Formaciones sensitivas a los fluidos de perforación.

Podemos observar cómo se aplica en formaciones mecánicamente estables aun cuando se manejen presiones hidrostáticas menores que la presión de los fluidos de la formación, como se ilustra en la figura (8,3).

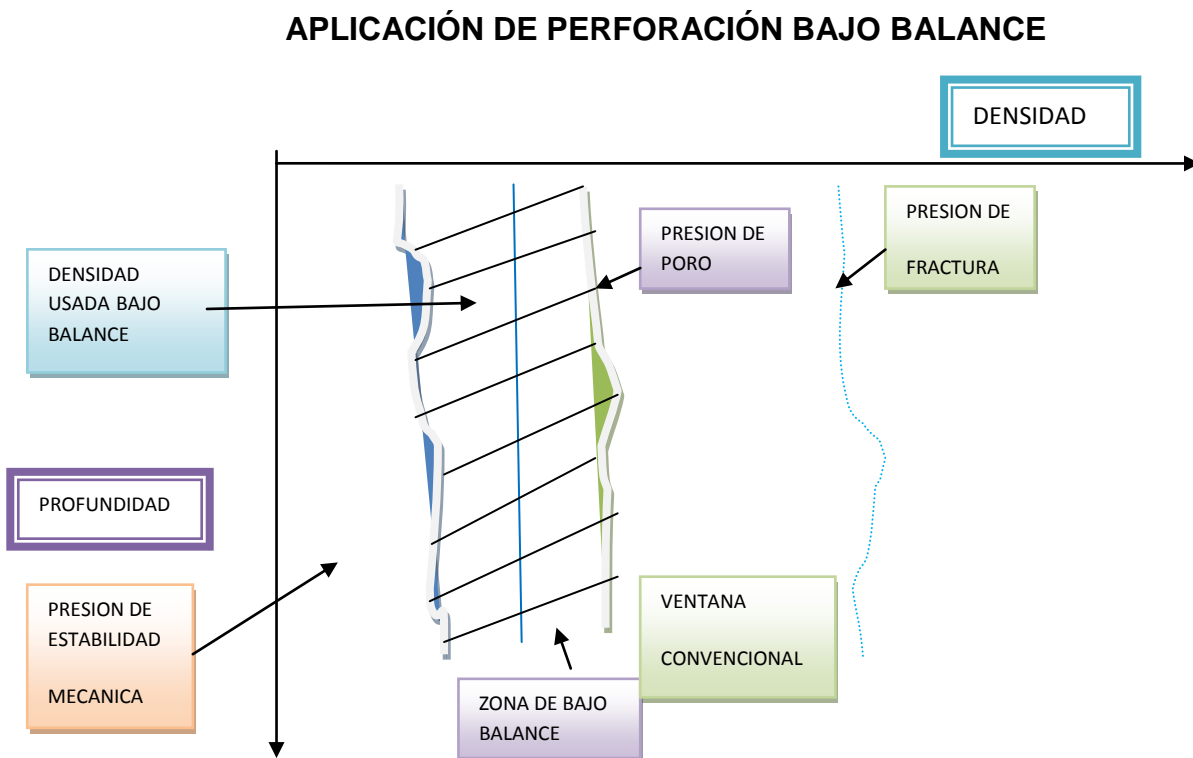


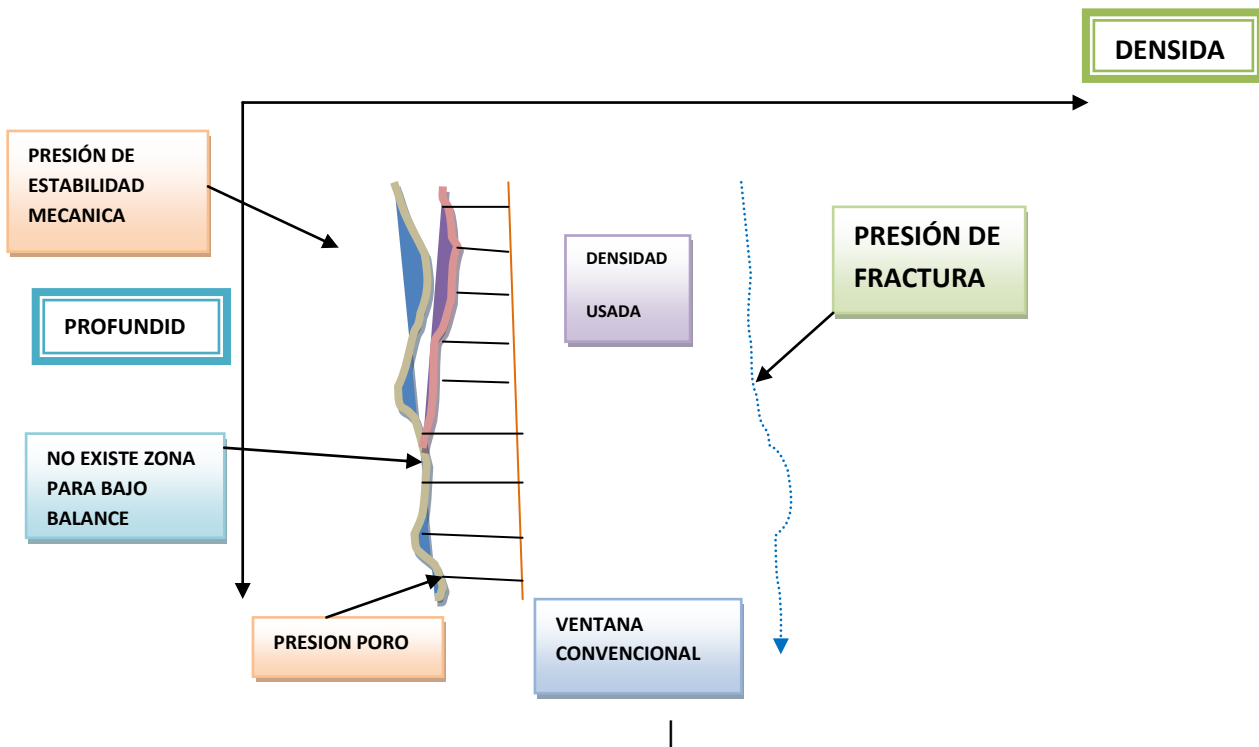
FIGURA (8,3)-. DEFINICIÓN DE LA ESTABILIDAD MECÁNICA DE LA FORMACIÓN EN TERMINOS DE DENSIDAD EQUIVALENTE.

Yacimientos que generalmente no se beneficiarán de la perforación bajo balance:

- Pozos en áreas de muy bajo costo de perforación convencional.
- Pozos con baja permeabilidad.
- Formaciones pobremente consolidadas.
- Pozos con baja estabilidad en la cara de la formación.
- Pozos con zonas laminares de matriz vagamente cementada.
- Pozos que contienen múltiples zonas de diferente presión.

Por su parte, la figura (8,4), ilustra una formación en la que no es posible utilizar la perforación bajo balance ya que la densidad equivalente a su estabilidad mecánica no permite usar densidades menores a su presión de poro, por la zona de bajo balance no está definida para esa formación, pues provocaría un colapso o derrumbe del pozo.

DENSIDAD EQUIVALENTE A LOS DIFERENTES ESFUERZOS EN EL POZO, ZPA.



FIGURA(8,4)-. EJEMPLO DE ROCAS EN DONDE NO ES APLICABLE LA PERFORACIÓN BAJO BALANCE PORQUE EL POZO SE COLAPSARÁ. OBSÉRVESE QUE NO EXISTE ÁREA DE BAJO BALANCE ENTRE LA PRESIÓN DE PORO Y LA ESTABILIDAD MECÁNICA.

En México se han aplicado las siguientes modalidades de perforación bajo balance:

- 1)-. Fluidos aligerados con nitrógeno y recuperación a presión atmosférica.
- 2)-. Fluidos aligerados con nitrógeno y recuperación con separadores de vacío
- 3)-. Fluidos líquido aplicado menor densidad que la requerida y recuperación a presión atmosférica.

8, 2, 3.-CONSIDERACIONES PARA SELECCIONAR EL FLUIDO CIRCULANTE A EMPLEAR

Como el fluido circulante debe realizara las funciones normales de un fluido de perforación y resolver los problemas planteados por la condición bajo balance, este debe reunir características de densidad, lubricación y acarreo de recortes, además de:

- Evitar que se presente corrosión en los elementos tubulares dentro del pozo.
- Evitar que se genere combustión espontánea.
- Evitar inestabilidad química.
- Tener el menor costo posible.

Cuando se requiere una densidad equivalente menor que la que se logra con fluidos líquidos, se puede optar por sistemas de fluidos ultraligeros con esferas de vidrio de baja densidad, tecnología reciente que tiene limitantes en profundidad debido a la resistencia compresiva de estas. Como solución alterna y más generalizada se emplea un líquido mezclado con gas en tal proporción que se obtenga la densidad equivalente necesaria, con las propiedades de lubricación y acarreo de recortes. Ejemplo ilustrado de la figura (8,5), muestran los patrones de fluidos que se pueden lograrse con diferentes fluidos, o mezclas de ellos.

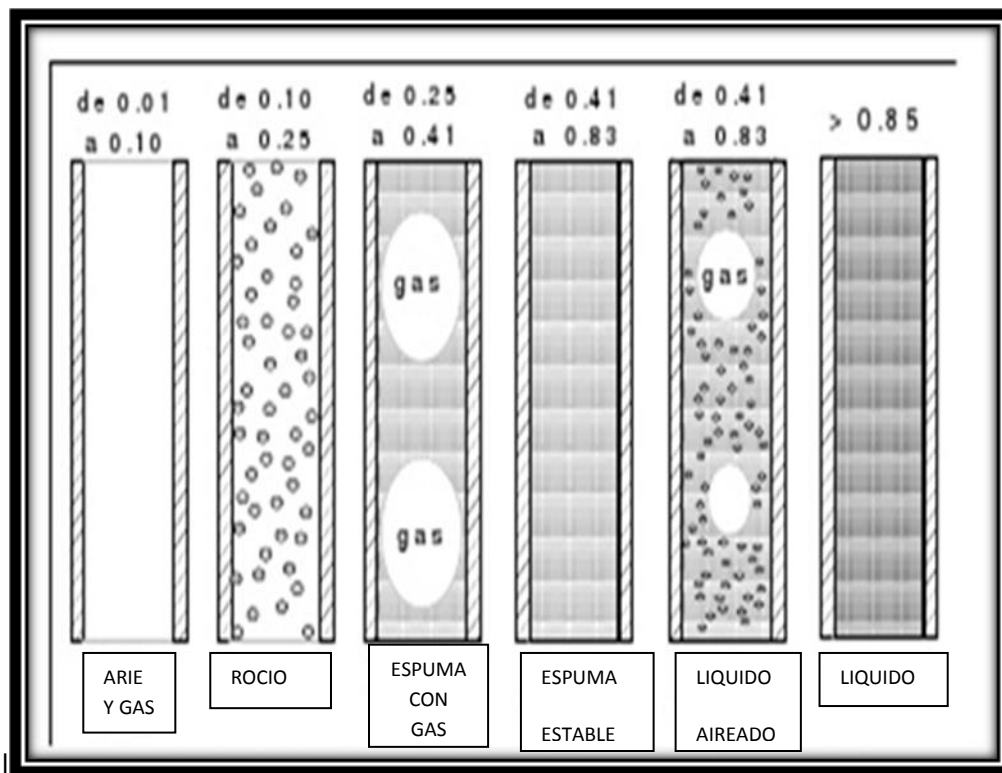


FIGURA (8,5)-. DIAGRAMA DE LORENZ

Se requiere una prueba de barrido de núcleo o formación para establecer la compatibilidad entre fluido de perforación propuesto y los fluidos producidos por el yacimiento.

8, 3.-EQUIPO DE SUPERFICIE PARA OPERACIONES DE BAJO BALANCE

El equipo de superficie para la perforación bajo balance se puede dividir en 4 categorías principales. Estas son:

- Sistemas de perforación.
- Equipo de generación de gas.
- Equipo de control de pozo.
- Equipo de separación.

8, 3, 1.-SISTEMA DE PERFORACIÓN

El tamaño del hueco y la penetración en el yacimiento tanto como la trayectoria direccional determinarán cual es la sarta de perforación óptima entre la tubería flexible y la tubería de uniones roscadas. Si el tamaño del hueco es mayor de 6-1/8", entonces deberá utilizar tubería de uniones. Para huecos de 6-1/8" o menor debe ser utilizada la tubería flexible. Actualmente el tamaño de tubería flexible utilizado para operaciones de perforación está entre 2" y 2-7/8" de diámetro externo.

8, 3, 2.-EQUIPO DE GENERACIÓN DE GAS

Se utiliza gas natural para la perforación bajo balance, puede necesitarse una compresión de gas natural. Esto tendrá que ser revisado una vez que la fuente de gas sea conocida. La mayoría de las plataformas de producción tendrán una fuente de gas de alta presión. Serán requeridos un regulador de flujo y un regulador de presión para controlar la cantidad de gas inyectado durante el proceso de perforación. Según el estado mecánico y la posición direccional del pozo, se realiza el siguiente análisis:

8, 3, 2, 1.-FASE GASEOSA

Como en todas las operaciones que se realizan en un pozo, se trata de perforar con seguridad, al mínimo costo y en el menor tiempo posible. El gas más barato es el aire, pero utilizarlo implica riesgo de corrosión y combustión espontánea. Es común tener en los pozos las condiciones de presión, temperatura y presencia de fluidos para caer en ambas situaciones, por lo que el gas más utilizado es el nitrógeno, ya sea abastecido en tanques provenientes de planta o producirlo en sitio, por medio de membranas. La decisión de usar uno u otro depende de la facilidad para controlar la calidad y pureza del gas y la rápida capacidad de respuesta del proveedor.

Existen diversos métodos para calcular el volumen de gas requerido y obtener una columna estable con la densidad necesaria, pero todos están

fundamentados en el comportamiento fisicoquímico y termodinámico de los gases. Las diferencias las constituyen particularmente el tipo de gas y fase líquida que se use; además, la relación con los factores geométricos del pozo, la estabilidad del surfactante empleado, a las encontradas condiciones encontradas en el pozo, las variaciones en la densidad del gas por efectos de cambios en la temperatura y presión; así como la incorporación de gases y líquidos del yacimiento, todos estos elementos hacen variar la composición y el comportamiento del fluido, lo que pone de manifiesto lo complejo de su análisis.

8, 3, 2, 2.-FASE LIQUIDA

La fase líquida que se usa normalmente, es la misma que para fluido de perforación normal para el campo. Los fluidos a emplear son los siguientes:

DIESEL: Sobre todo porque es líquido comercialmente viable de menor densidad (0.87 gr/cm³) y porque evita totalmente el desarrollo de problemas fisicoquímicos por la presencia de arcillas en la formación, lo que ocurre a menudo.

AGUA: En yacimientos calcáreos depresionados, profundo (> 5,000 m), con mínimo contenido de arcillas y con gradientes de presión menores a 0.7 gr/cm³, el uso de agua es la opción económicamente más factible, dado que el uso de diésel no garantiza conseguir circulación, lo que puede implicar la pérdida de grandes volúmenes de fluido.

SALMUERAS: Puede contrarrestar el efecto de la hidratación de arcillas, pero presenta complicaciones operativas con el control de su densidad, además de su mayor costo.

FLUIDOS DE BAJA DENSIDAD: Son emulsiones directas (base agua) o inversas (base aceite) que dan como resultado fluidos de densidad entre 0.87-0.95 [gr/cm³], según su formulación y uso. Tienen la ventaja de ser sistemas completos resistentes a contaminaciones.

ESPUMAS: Recientemente se han logrado avances significativos con el empleo de sistemas de espumas, en donde la fase continua es el líquido y la fase dispersa es el gas. Permiten alcanzar densidades de hasta 0.6 [gr/cm³], y su mayor complicación es su manejo en superficie.

ADITIVOS: Se debe usar un agente surfactante que ayude a alcanzar el patrón de flujo necesario para el buen desarrollo de la perforación. Puede seleccionarse una espuma de tipo aniónico para generar suficiente tensión interfacial lodo-nitrógeno, y que la energía cinética del gas arrastre al lodo, desde los disparos del flujo en los límites deseados, aun cuando haya menor control sobre la proporción de las fases debido a la producción de la formación. Por otro lado, los surfactantes permiten lograr suficiente capacidad de acarreo para limpiar el fondo del pozo y llevar los recortes hasta la superficie. Los

aditivos pueden agregarse en dosis constantes a la succión de la bomba, en baches directamente en la tubería de perforación, al hacer la conexión o de ambas maneras, ya que, debido a sus propiedades lubricantes, reduce la torsión y arrastre en la sarta de trabajo.

Es necesario aplicar diversos modelos para simular los cambios en las condiciones de operación por efecto del uso de gas, para hacerlas óptimas y prever los casos críticos que deban evitarse. Asimismo, se requiere efectuar simulaciones de comportamiento de otras variables importantes, que se mencionan a continuación:

8, 3, 3.-TOSION Y ARRASTRE

El factor de fricción de una tubería de perforación en agujero estubado o abierto, puede variar entre 0.15 y 0.35 según los componentes de la fase líquida, así como tipo y cantidad de sólido acarreados; pero, cuando se perfora con aire o gas, este puede ser tan alto como 0.8, porque no hay lubricación. Ya sea que se use diesel o fluidos de emulsiones inversa o que se tenga incorporación de hidrocarburos líquidos en el fluido de perforación, se reduce la fricción. De lo contrario, pueden agregarse materiales sólidos, como grafito, o aditivos como los antes detallados para incrementar lubricación.

8, 3, 4.-BARRENAS E HIDRÁULICA

Las barrenas deben ser adecuadas de acuerdo al fabricante, debido a sus mejoras sustanciales en estructuras de corte y sistema de rodamiento respecto a las convencionales. La condición es respetar los parámetros óptimos de gasto, peso torsión y velocidad de rotación, considerando que se usa un fluido en dos fases cuya densidad puede variar y provocar cambios en la flotación, en el peso sobre barrena y en la torsión de la sarta de perforación. La condición de bajo balance genera incrementos sustanciales en la velocidad de penetración, pero debe aplicarse el gasto óptimo para garantizar limpieza adecuada del fondo del pozo y la velocidad anular requerida para el acarreo de los recortes.

8, 3, 5.-PROYECTO DIRECCIONAL

Es conveniente analizar las severidades esperadas o las máximas permisibles en todos los pozos, aunque este factor es más crítico en pozos con ángulo superior a 30° u horizontales. Con los fines específicos:

- a) Asegurarse que la presión hidrostática está siendo bien calculada, sobre todo en pozos propensos a pérdidas de circulación o flujos.
- b) Cuidar que la geometría del pozo no genere grandes caídas de presión por fricción.

Normalmente, en la etapa de bajo balance de nuestros pozos, el objetivo es mantener el ángulo; pero es posible controlar la desviación con una toma de información sencilla, múltiple, registro giroscópico o unidad de memoria, incluso con la presencia de un fluido compresible en el pozo (gas, nitrógeno, aire), que

afecta significativamente el funcionamiento de las herramientas de transmisión de datos a superficie por medio de pulsos.

EQUIPO DE CONTROL DE POZO

8, 3, 6.-SISTEMA DE TUBERÍA ENSAMBLADA

El conjunto convencional de preventores de reventones utilizado en perforación no está comprometido durante las operaciones de perforación bajo balance. Este conjunto de preventores convencionales no se utiliza para controlar el pozo, excepto en caso de emergencia.

Un sistema de cabeza rotativa de control con la respectiva línea de flujo provista con válvulas de cierre de emergencia (ESDV) es instalado en el tope del conjunto convencional de preventores. En caso necesario, un ariete ciego sencillo operado por una unidad acumuladora especial es instalado debajo del conjunto convencional de preventores para permitir que el ensamblaje de fondo sea corrido en el pozo bajo presión.

8, 3, 7.-SISTEMA DE TUBERÍA FLEXIBLE ENROLLADA

El control del pozo, cuando se perfora con sistemas de tubería flexible es más simple. Se puede utilizar un lubricador para instalar los componentes principales del ensamblaje de fondo, o si es posible utilizar una válvula de seguridad instalada dentro del pozo, entonces no se requiere el uso de un lubricador en superficie, y el cabezal de inyección puede ser colocado directamente encima del sistema de la cabeza del pozo.

Los sistemas de tubería flexible pueden ser corridos dentro y fuera del pozo más rápidamente y el armado del equipo es mucho más simple. Una consideración a tener en cuenta con sistemas de tubería flexible es la fuerza de corte de los arietes de corte (Shear rams). Se debe verificar que el cortes producidos por los arietes sean efectivos con respecto a la tubería y cualquier sistema de cable de acero o línea de control, dentro de la tubería.

8, 3, 8 -.SISTEMA DE EMPUJE/RETENCIÓN

Si los viajes de tubería van a ser realizados en condiciones de bajo balance, un sistema de empuje/retención de tubería deberá ser instalado encima del sistema de cabeza rotativa de control. Los sistemas actuales utilizados en operaciones mar adentro son llamados sistemas de empuje/retención asistentes de taladro. Una herramienta hidráulica con un recorrido de 10 pies es utilizado para empujar la tubería dentro o fuera del pozo. Una vez que el peso de la sarta corrida dentro del pozo excede la fuerza hacia arriba ejercida

por el pozo, el sistema de empuje/retención se deja en espera y la tubería es corrida en el pozo de manera convencional. La capacidad de instalar un sistema de empuje/retención de tubería por debajo de la mesa rotatoria permitirá que la mesa sea usada de la misma manera que en operaciones de perforación convencional.

El sistema de empuje/retención de tubería es llamado también unidad asistente de la mesa rotaria.

8, 3, 9.-SISTEMA DE CABEZA ROTATIVA DE CONTROL

El sistema de cabeza rotativa de control deberá ser dimensionado y seleccionado sobre la base de las presiones esperadas en superficie. Un pozo con una presión de yacimiento de 1000 psi no necesita un sistema de cabeza rotativa de control para 5000 psi.

8, 3, 10.-EQUIPO DE SEPARACIÓN

El sistema de separación tiene que ser adaptado de acuerdo a los fluidos del yacimiento que se esperan. Un separador para un campo de gas seco es significativamente diferente de un separador requerido para un campo de aceite pesado. Un ejemplo de este tipo de equipo es la siguiente figura (8,6) que muestra el estado mecánico completo.

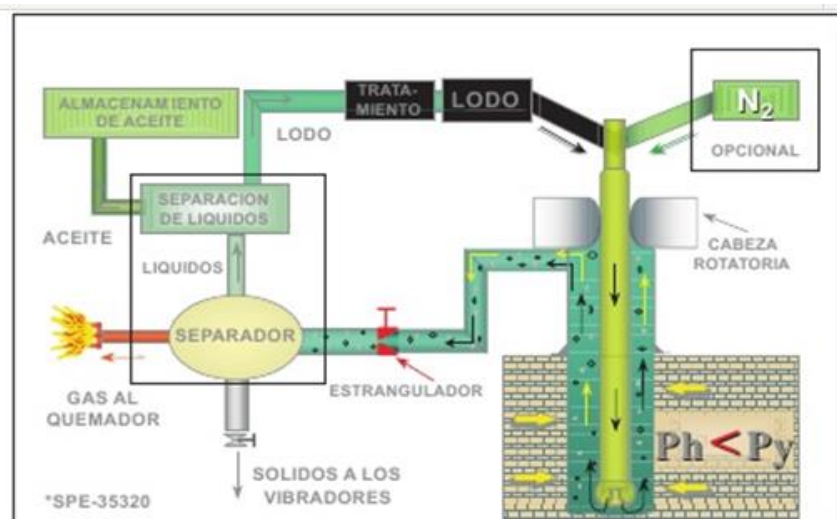


FIGURA (8,6) -. EQUIPO DE SEPARACIÓN DE PERFORACIÓN BAJO BALANCE.

CAPITULO IX

PLANEACIÓN, DISEÑO Y OPERACIÓN DE DISPAROS

9, 1.-PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE DISPARO

Al planear un trabajo de disparos se deben considerar, el estado mecánico del pozo, el tipo de formación y las condiciones de presión esperadas después del disparo.

Factores importantes en el comportamiento de un sistema de disparos son: la densidad de cargas, la penetración, fase, el diámetro del pozo, son conocidos como factores geométricos. Como se muestra en la figura (9,1).

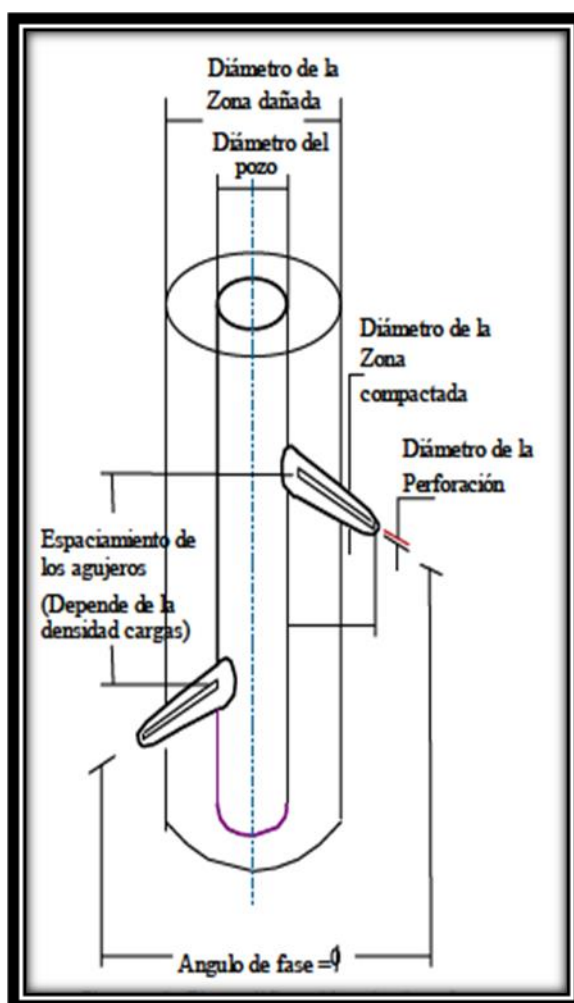


FIGURA (9,1)-EJEMPLO DE LOS FACTORES GEOMÉTRICOS EN EL SISTEMA DE DISPAROS.

El estado mecánico del pozo determina el diámetro máximo de pistolas, la forma de llevar las mismas hasta la formación productora (Cable, Tubería, Tubería Flexible, Tubería de Producción, etc.).

9, 2.-INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL DISEÑO DE DISPAROS

Los siguientes datos deberán ser considerados para obtener un buen diseño de disparos:

Datos de la formación:

- *Litología
- *Permeabilidad
- *Porosidad
- *Densidad
- *Intervalos a disparar

Fluidos esperados y presiones:

- *Aceite, gas, H₂S, etc.
- *Presión de Formación, presiones de sobre cargas, presión de poro, resistencia compresiva.

Condiciones del pozo:

- *Desviaciones
- *Lodo de perforación
- *Diámetro de barrena
- *Temperatura de fondo

Estado Mecánico:

- *Tuberías de revestimiento
- *Cementación
- *Datos de aparejo

Método de terminación:

- *Natural
- *Control de arena
- *Estimulación/ Fracturamiento

9, 3-.PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN.

1-.Solicitar el servicio de disparos, una vez que el árbol y las conexiones superficiales estén probadas con la presión de trabajo, de acuerdo al formato requerido especificando diámetro de pistolas, fase, tipo, etc. Además de datos del pozo (Diámetro de tuberías interior, intervalo por disparar etc.).

2 -.Efectuar la reunión de seguridad entre el personal del servicio de disparos, de Apoyo, tripulación del equipo, donde se explicará la operación a realizar, las mediciones de seguridad y se asignaran funciones.

3 -.Instalar la unidad de disparos, aterrizar la misma, colocar señales de advertencia (Peligro, explosivos, no fumar, apagar radios y teléfonos celulares, etc.).

4 -.Probar en lubricador con una equivalente a la de trabajo del árbol de válvulas.

5 -.Calibrar el pozo con un sello de plomo y barras de contrapeso del diámetro y longitud de pistolas a utilizar.

6 -.Tomar registros de coples para correlacionar profundidad del disparo de la profundidad interior hasta 100 m arriba de la cima del intervalo a disparar.

7 -.Afinar la profundidad del disparo correlacionado las curvas del registro de correlación y el tomado previo al disparo.

8 -.Armar las pistolas de acuerdo a los procedimientos de seguridad establecidos. De preferencia con la luz diurna, en caso de tormentas esperar el tiempo necesario.

9-. Introducir las pistolas al pozo y bajarlas a una velocidad moderada (se recomienda de 20 a 30 m/min.) para evitar daños en las mismas que impidan su funcionamiento en el pozo. En caso de falla en la pistola, al sacarla extremar precauciones, revisarla y determinar las causas que originaron su falla.

10-. Colocar la pistola frente al intervalo a disparar (en caso de intervalos grandes se recomienda disparar la primera corrida de la parte inferior hacia la superior).

11-. Sacar las pistolas disparadas, observar el estado, así como la expansión máxima y longitud recuperada.

Al término del disparo el encargado del servicio de disparos, deberá reportar en la bitácora del equipo los detalles de la operación.

9, 4-.PROCEDIMIENTOS PRACTICOS PARA DISPARAR ÓPTIMAMENTE.

1-.Seleccione la pistola con base en los datos de la formación, profundidad y temperatura.

2-. El claro del disparo debe ser muy considerado en cada operación para optimizar la penetración y el tamaño de las pistolas. Las pistolas para disparar a través de las tuberías de producción están normalmente diseñadas para dispararse con un claro igual a cero cuando no están desfasadas.

Si las pistolas para disparar a través de la tubería de producción son detonadas con claros diferentes de cero o probamente de $\frac{1}{2}$ pg., la penetración estimada y el tamaño de la pistola deberán corregirse por el claro del disparo y por la resistencia de la compresión de la formación.

3-. El método preferido para disparar consiste generalmente en disparar usando fluidos limpios, libres de sólidos, no dañantes y manteniendo una presión diferencial hacia el pozo. Normalmente es suficiente con mantener una presión diferencial hacia el pozo de 200 a 500 lb/pg².

4-. En calizas o dolomitas, puede ser conveniente disparar en HCl o ácido acético, con una presión diferencial hacia la formación, si se usa aceite o agua limpia debe proporcionar una carga hidrostática requerida para poder controlar el pozo.

5-. Cuando se dispare en lodo o con fluido relativamente sucios, debe reconocerse que:

Es virtualmente imposible remover los tapones del lodo o sedimentos de todos los disparos por sondeo o por flujo.

Los tapones de lodo o sedimento no son fácilmente removidos de los disparos, con ácido o con otros productos químicos, a menos que cada disparo sea fracturados con bolas selladoras.

Las herramientas lavadoras de disparos y las de “sondeo instantáneo” han probado su efectividad para remover los tapones de lodo de los disparos en algunos pozos terminados en formaciones de arena consolidada.

6-.No debe permitir que los lodos de perforación y los fluidos de terminación sucios entren a los disparos durante la vida del pozo, el agua o el aceite sucios pueden ser perjudiciales, debido al taponamiento de los disparos o de la formación de sólidos.

7-. Los disparos taponados con lodo contribuyen a la presentación de estos problemas:

- a) La productividad de los pozos puede ser apreciablemente reducida.
- b) La recuperación de aceite o gas puede reducirse apreciablemente, dependiendo del tipo de empuje del yacimiento y los procedimientos de terminación.
- c) La eficiencia de la inyección de agua o de otros métodos de recuperación mejorados puede reducirse grandemente.
- d) Algunos pozos exploratorios pueden ser abandonados como resultado de baja productividades indicadas erróneamente durante las pruebas de formación o de producción.
- e) Pueden presentarse frecuentemente problemas de arenamiento en los pozos, al generar altos ritmos de flujo a través de unos cuantos disparos, al permanecer taponados la mayoría de los disparos.
- f) La probabilidad de que se presenten problemas de confinación de gas aumenta cuando un porcentaje alto de los disparos están taponados.

CAPITULO X

PRESIONES DIFERENCIALES

La diferencial de presiones es la relación entre la presión de la formación y la presión de la columna hidrostática del pozo. Para determinarlo se debe tomar en cuenta el tipo de formación, propiedades mecánicas de las rocas, heterogeneidad, daño causado por los fluidos de perforación, cementación y la compatibilidad entre los fluidos de **inyección** y formación. El diferencial óptimo para realizar una operación de disparo se obtiene con el balance entre presión que puede causar producción de arena y la presión necesaria para realizar una limpieza efectiva de las perforaciones.

10,1-.BALANCEO

Obtenido igualando la presión del pozo a la presión de la formación, este se utiliza para realizar la técnica de disparo estándar.

10,2-.SOBRE BALANCE

Es la condición donde la presión de la columna hidrostática es mayor a la de la formación. Se conoce también como diferencial de presión positiva. Una limitación de este diferencial de presión es el taponeo de alguna de las perforaciones debido a que el fluido utilizado para controlar provee sobrepresión al pozo, causa por obstrucción del flujo. Este daño es parcialmente irreversible, aun realizando operaciones como suabeo es imposible obtener una limpieza completa de las mimas.

10,3-.SOBRE BALANCE EXTREMO

El sobre balance extremo consiste en realizar el disparo con presiones a la superiores a la presión fracturas de la formación ($\text{Grad. Sbe.} = \text{Gfrac.} + 0.4 \text{ a } 0.6 \text{ lpc/pie}$) creando de esta manera un canal de flujo más allá de la zona de daño, hacia la zona de mayores esfuerzos de la formación. El método se basa en utilizar una columna de líquido directamente contra el intervalo a disparar, hasta un determinado nivel y sobre este nivel colocar una columna de gas para proveer la presión adicional requerida para lograr el gradiente deseado. Se puede inclusive reducir la presión de superficie utilizando nitrógeno.

10,4-.BAJO BALANCE

Ocurre cuando la presión de la formación es mayor que la presión de la columna hidrostática del pozo a la profundidad de la arena a disparar: también se denomina diferencial de presión negativo. El bajo balance permite obtener un disparo óptimo con fluidos libres de sólidos y perforaciones limpias pero se

deben tomar las precauciones de seguridad necesarias, especialmente controlando el pozo de manera efectiva debido a que las presiones de la formación se manifiestan rápidamente en la superficie.

10,5-.CONDICIONES DE OPERACIÓN

El disparo de revestidores para la producción y/o evaluación de pozos se puede realizar bajo dos condiciones generales

- ✓ Diferencial de presión positivo. $\Delta P(+)$
- ✓ Diferencial de presión negativo. $\Delta P(-)$

10,6-. DIFERENCIAL DE PRESIÓN POSITIVA (PRESIÓN SOBRE BALANCE).

El diferencial de presión se define como la diferencial de la presión que ejerce la columna hidrostática a la profundidad de la arena disparada (PH), menos la presión de formación de esa arena (PF), como se muestra en la ecuación siguiente:

$$\Delta P = PH - PF \dots \dots \dots (1)$$

ΔP = Diferencial de Presión (Psia).

PH= Presión Hidrostática (Psia).

PF= Presión de Formación (Psia).

Cando la presión de la columna hidrostática es mayor que la presión de formación, se obtiene un diferencial de presión positivo. Cuando se decide disparar un pozo con esta condición, usualmente se producen taponamientos de algunas de las perforaciones.

Esto se debe a que el lodo es fundamentalmente un fluido de control y por lo tanto causa obstrucción al flujo. Generalmente el daño causado por el fluido es parcialmente irreversible. Aun cuando se realicen operaciones para reducir la columna hidrostática (suabeo), es prácticamente imposible obtener una limpieza de las perforaciones. La presión hidrostática ejercida por el fluido de control, siempre es mayor que la presión de yacimiento lo cual permite que durante la operación de disparo el pozo se mantenga estático. Está técnica se usa en la mayoría de los pozos (de un 80%-90%) nuevos y reparados. Un ejemplo de este disparo como se muestra la figura (10,1).

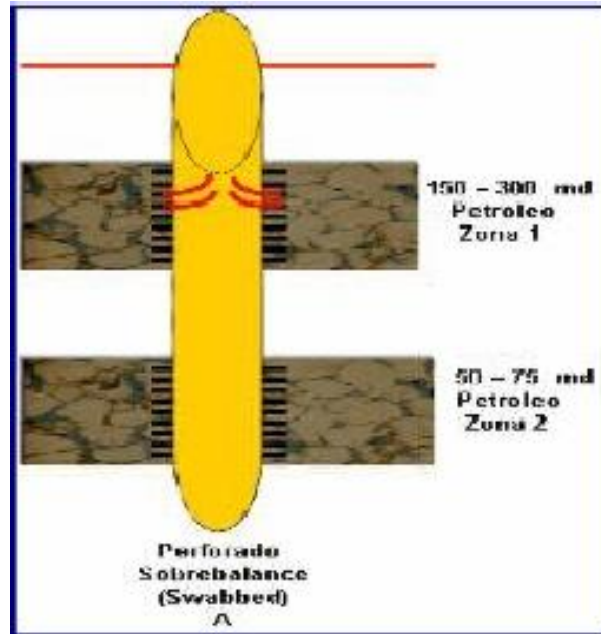


FIGURA (10,1)-.DISPAROS SOBRE BALANCE

10,7-.DIFERENCIAL DE PRESIÓN NEGATIVA (TECNICA DE DISPARO BAJO BALANCE).

Cuando la presión de la columna hidrostática a la profundidad de la arena disparada es menor que la presión de la formación, se obtiene un diferencial negativo. El disparo óptimo se obtiene con esta condición y con fluidos libres de sólidos y limpios. Es muy importante tomar las precauciones de seguridad necesarias, debido a que las altas presiones de la formación se manifiestan muy rápidamente en superficie, por lo que se debe controlar el pozo de manera segura. Figura (10,2) muestra el tipo de disparo en condiciones de sobre balance.

El valor óptimo del diferencial de presión al momento del disparo puede ser 2000, 3000 o 5000 psia. Depende del yacimiento a disparar. En ocasiones un $\Delta P(-)$ muy alto puede originar un “pez” en el pozo cuando el disparo se expulsado, este problema puede solucionar con el uso de barras pesadas o pistolas recuperables . Figura (10,3) muestra el tipo de disparos bajo balance.

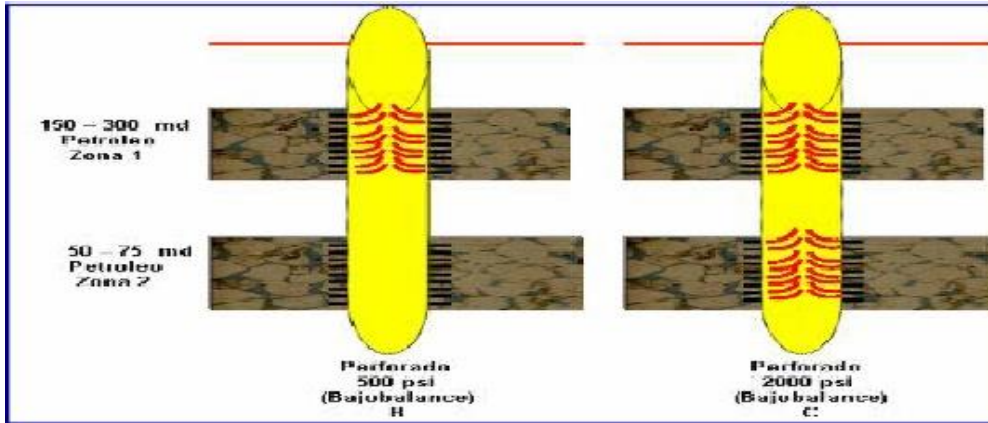


FIGURA (10,2)-.DISPAROS BAJO BALANCE

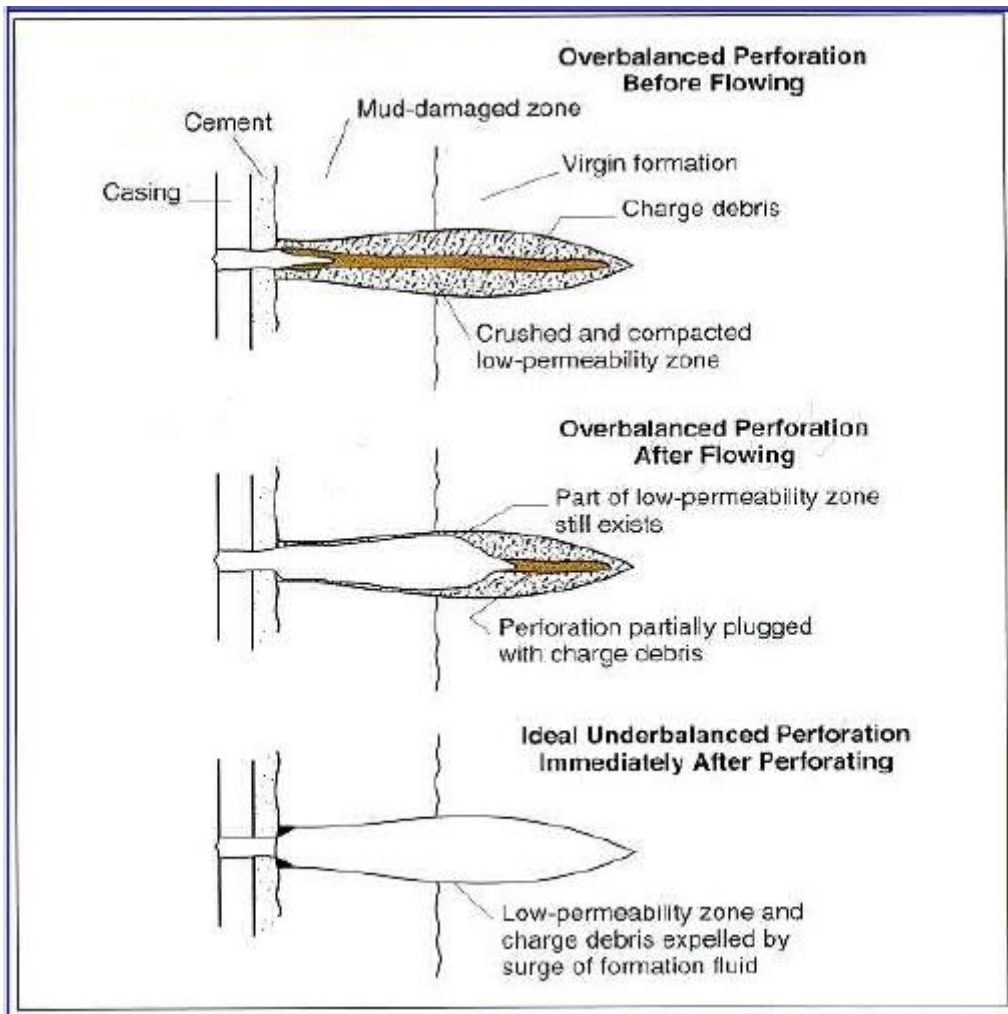


FIGURA (10,3)-.TIPOS DE DISPAROS SOBRE-BALANCE Y BAJO BALANCE.

En la tabla (10,4), muestra las características de la de las tipos de disparos bajo balance como sobre balance.

DISPAROS SOBRE BALANCE	DISPAROS BAJO BALANCE
Se requiere el pozo permanezca cerrado y controlado durante las operaciones de disparo.	Permite realizar las operaciones con el pozo abierto y en condiciones de fluir hacia la estación de flujo.
Al disparar la pistola se genera una zona compactada de menor permeabilidad y el túnel disparado lleno de detriticos.	Al disparar la pistola se genera una zona compacta de menor permeabilidad y sin detriticos.
El fluido de control puede ser inyectado a la formación, creando problemas de incompatibilidad y posible daño a la formación.	No existe riesgo de inyectar los fluidos de control a la formación.
Al inducir al pozo a producción, algunas perforaciones se limpiaran, otras quedaran taponeadas o con baja eficiencia de flujo.	El desbalance de presiones (al momento del disparo) de fluidos inmediatos de la formación hacia el pozo que limpia (efecto de barrido) los túneles disparados.
Requiere taladro para efectuar la operación de disparo y posteriormente un fluido de control para el pozo.	Requiere la data del pozo y del yacimiento para los cálculos del bajo balance y garantizar de esta manera la limpieza de los túneles disparados.

TABLA (10,4)-CARACTERISTICAS DE LOS DISPAROS DE BAJO BALANCE Y SOBRE BALANCE.

El objetivo de una terminación sobre balanceada es fracturar la formación al momento del disparo, sin embargo si la presión no es alcanzada después del disparo y antes de que fluya el pozo, se forman tapones con los residuos de las cargas. En la figura (10,5), muestra los efectos de la presión diferencial antes del disparo en los dos tipos de presiones.

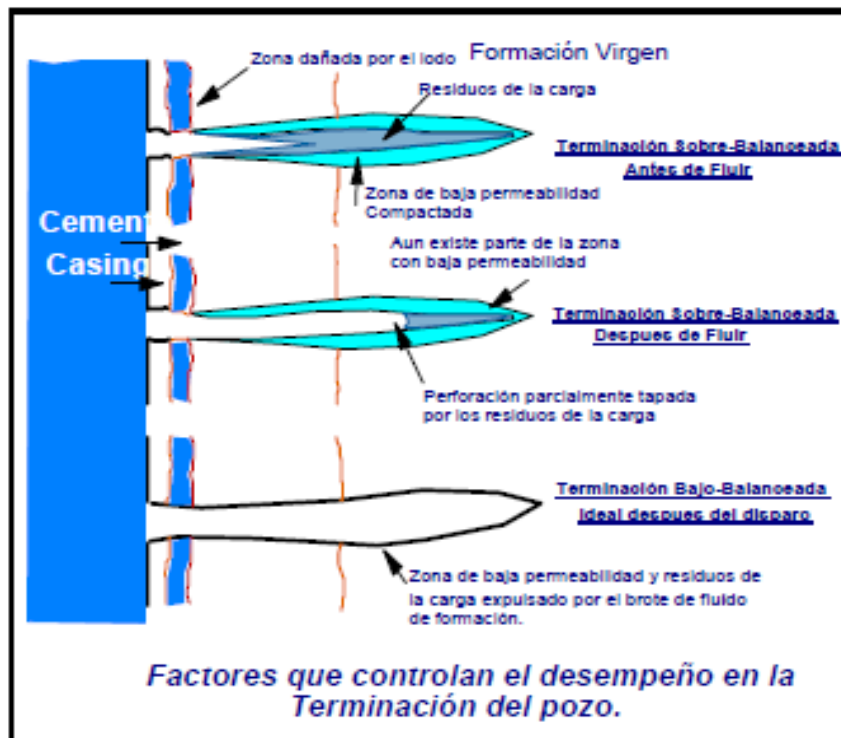


FIGURA (10,5)-.EFECTOS DE LA PRESIÓN DIFERENCIAL PREVIA AL DISPARO.

Cuando se tiene una terminación diferencial bajo balanceada, los residuos de las cargas y la zona comprimida podrían ser expulsados por la acción del brote de fluido de terminación.

Disparar el pozo con una presión diferencial a favor de la formación es recomendable para obtener la limpieza de los agujeros.

Sin embargo, usar presiones diferenciales muy altas es inadecuado ya que arriba de ciertos valores no se obtiene ninguna mejora en el proceso de limpieza. Una presión diferencial excesiva puede provocar arenamiento o aporte de finos de formación que impedirán el flujo a través de la perforación, o un colapso de la TR.

Debido a lo antes mencionado, para calcular la presión diferencial a establecer durante el disparo se deberán considerar los factores siguientes:

- *Grado de consolidación de la formación
- *Permeabilidad de la formación
- *Fluido en los poros
- *Presión de colapso de las tuberías y equipo
- *Grado de invasión del fluido de perforación

*Tipo de cemento

La magnitud de la presión diferencial negativa dependerá básicamente de dos factores:

*La permeabilidad de la formación

*El tipo de fluido

Procedimiento para la estimación de la presión diferencial bajo balance en arenas.

Para determinar la presión bajo balance que contrarreste el efecto skin, es importante clasificar la formación en: Consolidada ó No-consolidada. Una forma de lograr esto es mediante el análisis de la respuesta de los registros de densidad ó sónico en las lutitas limpias adyacentes a la zona productora.

Una formación consolidada tiene los granos de arena suficientemente cementados o compactados para permanecer intactos. Estos granos no fluirán, aún si se tiene un flujo turbulento en los espacios de los poros.

Una arena se considera consolidada si se tienen lutitas adyacentes (arriba y/o abajo) compactas con tiempos de tránsitos $\Delta t \leq 100$ $\mu\text{seg/ pie}$ obtenido de un registro sónico. Si se tiene un registro de densidad, las arenas se consideran consolidadas si la densidad volumétrica $p_b \geq 2.4$ grs/ cm^3 en las lutitas limpias adyacentes. Una formación No-consolidada es una arena pobremente cementada o compactada de tal manera que los granos pueden fluir al haber movimiento de fluidos a través de la formación. En el figura (10,6), se observa el registro sónico y densidad en la arena.

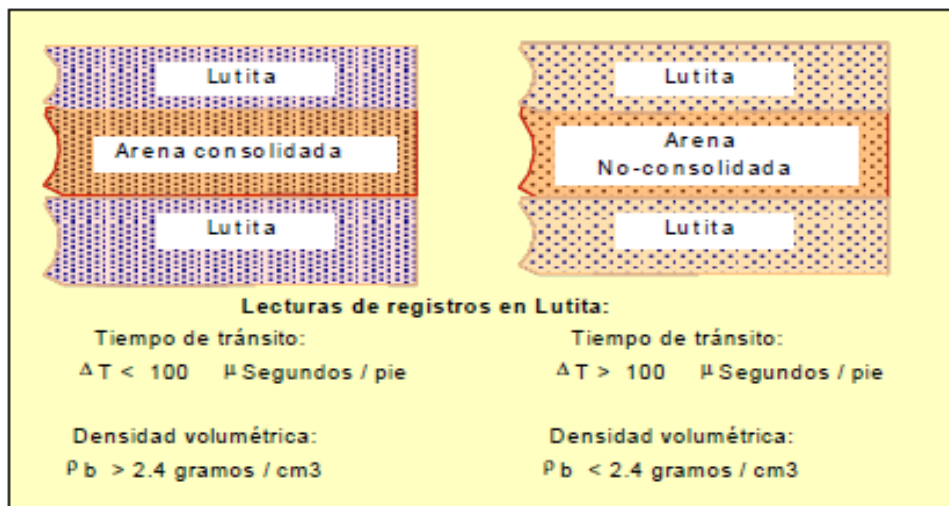


FIGURA (10,6)-.RESPUESTA DE LOS REGISTROS SÓNICOS Y DENSIDAD DE ARENAS.

Una arena se considera No-consolidada cuando las lutitas adyacentes tienen un tiempo de tránsito mayor de 100 μ seg/pie o una densidad menor 2.4 grs/cm³.

La razón de usar el tiempo de transito de las barreras de lutita adyacentes, bajo o arriba, en lugar de la arena misma, es que el tiempo de tránsito de la lutita está relacionado directamente con su compactación. El grado de compactación de las lutitas adyacentes indica la compactación de la arena. Si se usara el tiempo de tránsito de la arena para determinar su compactación, sería necesario hacer correcciones por tipo de hidrocarburo, densidad de los granos de arena, porosidad de la zona, saturación de agua, etc., muchos de estos datos no están disponibles y deben ser supuestos, por lo que es posible tener un resultado erróneo.

10, 8-.FORMACIÓN CONSOLIDADA

Si la formación es consolidada, se deberá encontrar un punto medio entre una presión bajo balance mínima y una máxima;

1-. Determinación de la presión bajo balanceada máxima (ΔP_{max}). Hay dos maneras de encontrar la presión diferencial máxima:

a) Ya que la formación está consolidada, el flujo de arena no es problema por lo que es posible disparar con la mayor presión diferencial que pueda ser soportada por el elemento o accesorio del pozo que tenga en menor rango de presión: Límite de presión de colapso de casing o tubería, presión diferencial en el empacador u otro accesorio. Para el caso de casing o tubería nueva, el límite de presión será de un 80% de su presión de colapso para tener un factor de seguridad de un 20%. Para sartas usadas, el factor de seguridad deberá ser mayor de acuerdo a sus condiciones. La mayoría de los empacadores recuperables y herramientas de fondo tiene un límite seguro de presión diferencial de 5,000 psi de sobrecarga menos 1.7 veces la resistencia compresiva. Esto significa que la presión bajo balance máxima es la presión de formación menos la presión de poro mínima.

$$\sigma_z = \sigma_{sob} - P_p \dots \dots \dots (1)$$

$$\sigma_z < 1.7 * R_c \dots \dots \dots (2)$$

$$\Delta P_{max} = P_f - P_{pmin} \dots \dots \dots (3)$$

2-. Determinación de la presión bajo balance mínima (ΔP_{min}).

En base a estudios estadísticos se ha llegado a establecer un rango de valores mínimo para yacimientos de arenas, estos valores se encuentran en la tabla (10,7);

FLUIDO	ACEITE	GAS
PERMEABILIDAD	PRESION DIFERENCIAL A FAVOR DE LA FORMACION PSI	
ALTA K > 100 md	200 - 500	1000 - 2000
BAJA K < 100 md	1000 - 2000	2000 - 5000

TABLA (10,7)-.PRESIÓN DIFERENCIAL PREVIA AL DISPARO.

Como se observa en esta tabla, el valor P depende de 2 factores: La permeabilidad de la formación y el fluido contenido (Aceite o gas).

Arena con aceite:

$$\Delta P_{min} = \frac{3500}{K^{0.37}} \dots \dots \dots (4)$$

Arena con gas

$$\Delta P_{min} = \frac{2500}{K^{0.17}} \dots \dots \dots (5)$$

3-. Determinación del punto medio de presión Pmed.

Una vez determinado ΔPmáx y ΔPmín en los pasos anteriores, se determina el punto medio de presión y la presión diferencial bajo balance P de la manera siguiente:

$$\Delta P_{med} = \frac{\Delta P_{max} + \Delta P_{min}}{2} \dots \dots \dots (6)$$

- a) Si los registros indican una invasión somera y/o se usó cemento con baja pérdida de agua, P estará entre Pmín y el punto medio.
- b) Si los registros indican una invasión de media a profunda y/o se usó cemento de media a alta pérdida de agua, ΔP estará entre el punto medio y ΔPmax.

Si la presión diferencial calculada (ΔP) está fuera de los rangos mostrados en la tabla (10, 7), ajustar el valor de la presión al mínimo o máximo.

Una vez que se obtiene la presión diferencial requerida para efectuar el disparo, se calcula la presión hidrostática a la profundidad del intervalo productor al momento del disparo.

$$P_h = P_f - \Delta P \dots \dots \dots (7)$$

La densidad requerida para generar la presión hidrostática de la ecuación anterior es calculada como sigue:

$$\rho_b = \frac{P_h}{1.4228 * D_v} \dots \dots \dots (8)$$

La presión hidrostática de una columna de fluido es:

$$P_h = 1.4228 * D_v * \rho_f \dots \dots \dots (9)$$

En el caso de no contar con el dato de la presión de formación puede calcularse en base al lodo de perforación usado para controlar la zona de interés suponiendo:

$$P_f \leq P_{hl} \dots \dots \dots (10)$$

$$P_{hl} = 1.4228 * D_v * \rho_l \dots \dots \dots (11)$$

En la tabla (10, 7) se muestra que para las zona de baja permeabilidad es requieren presiones diferenciales más altas para forzar a los fluidos a través de los poros. De igual forma, en una zona de gas debido a que éste tiene una mayor comprensibilidad no se expande tan fácilmente como el aceite después de ser comprimido durante la perforación.

10,9-.ARENAS NO-CONSOLIDADA

Las gráficas (10,8) Y (10,9), relacionan la máxima presión diferencial con el tiempo de tránsito Δt o la densidad de las lutitas adyacentes para arenas no-consolidadas. Si se cuenta con una buena medida de la resistencia compresiva de la formación, es posible determinar la ΔP_{max} para formaciones no-consolidadas esto es empleando el mismo procedimiento que se utiliza para

arenas consolidadas, el cual consiste en restar la presión de poro mínima para generar movimiento de arena, de la presión de la formación.

Sin embargo, si no se tiene la resistencia compresiva de la formación, el siguiente procedimiento puede ser empleado.

- 1) Escoja la ΔP_{max} . Presión diferencial máxima en arenas no-consolidadas con aceite:

$$\Delta P_{max} = 3600 - 20\Delta t \text{ (psi)} \dots \dots \dots (12)$$

$$\Delta P_{max} = 2340\rho b - 4000 \text{ (psi)} \dots \dots \dots (13)$$

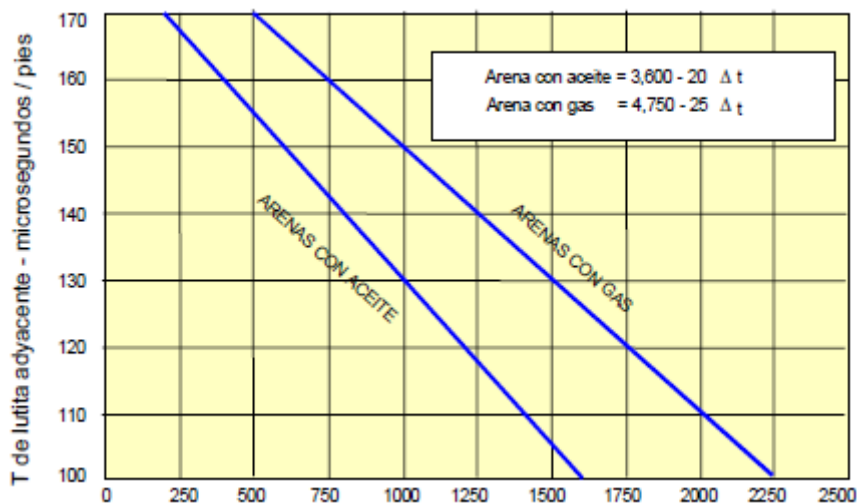
Presión diferencial máxima en arenas no-consolidadas con gas:

$$\Delta P_{max} = 4750 - 24 \Delta t \text{ (psi)} \dots \dots \dots (14)$$

2-. Escoja la $\Delta P_{mín}$. Usando la permeabilidad de la formación, determine la $\Delta P_{mín}$ mediante las ecuaciones 4 y 5 para zonas de aceite y gas respectivamente.

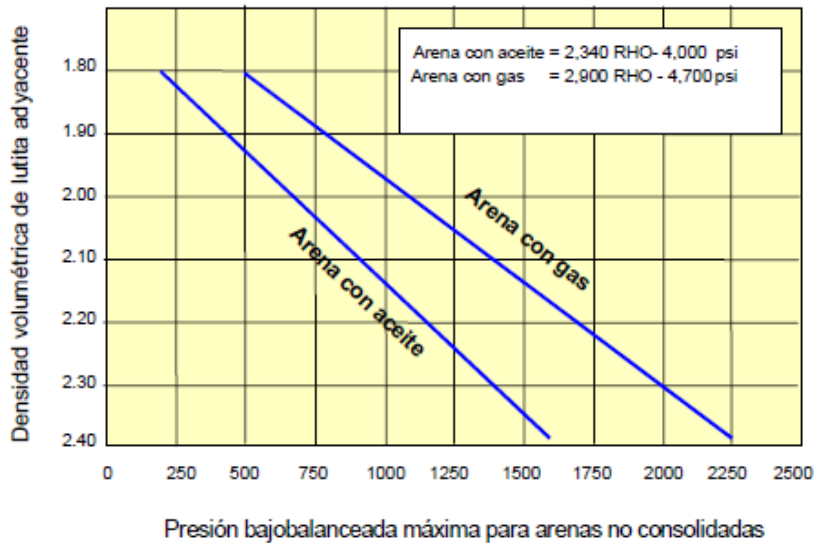
3-.Determine la presión del punto medio siga el mismo procedimiento para arenas consolidadas.

$$\Delta P_{med} = \frac{(\Delta P_{máx} - \Delta P_{mín})}{2} \dots \dots \dots (15)$$



PRESION BAJO BALANCE MAXIMA PARA ARENAS NO CONSOLIDADAS.

**GRAFICA (10,8)-. PARA DETERMINARLA PRESION DIFERENCIAL
MÁXIMA EN ARENAS NO-CONSOLIDADAS CON EL REGISTOS SONICO.**



GRÁFICA (10,9)-. PARA DETERMINARLA PRESIÓN DIFERENCIAL

MÁXIMA EN ARENAS NO-CONSOLIDADAS CON EL REGISTOS SONICO.

10,10-.BAJO BALANCE EN CARBONATOS.

FOMACIONES DE CARBONATOS

Para el caso de formaciones de carbonatos no se dispone de un estudio estadístico riguroso ni de experimentos de laboratorio.

En algunos países, se ha trabajado con rangos de presiones diferenciales entre 1,500 y 3,500 psi, sin que presenten problemas de derrumbe.

En México se ha efectuado trabajos con pistolas bajadas con tubería (DBT) con resultados diferentes. La presión diferencial aplicada al momento del disparo ha variado en general entre 1000 y 5000 psi. Sin embargo existen casos en los que se ha tenido problemas de derrumbes aplicando presiones diferenciales muy diferentes (7000 psi en un caso y 1000 psi en otro).

En ambos pozos la formación disparada era caliza tipo mudstone con muy baja porosidad. Debido a lo anterior es recomendable realizar un estudio más profundo cuando se determine la ΔP_{max} aplicable, en donde ΔP_{max} es diferencia entre la presión de formación y la presión hidrostática mínima para evitar el derrumbe.

10, 10,1-.APLICANDO UN REGISTRO SÓNICO

Mediante la aplicación de un registro sónico digital ó dipolar es posible obtener un producto (WBS ó WS) para evaluar las características mecánicas de la formación.

Este registro en combinación con el de densidad y rayos gamma permite determinar los esfuerzos reales y la resistencia o dureza de las formaciones

perforadas. Un dato obtenido es la presión hidrostática mínima $\Delta Ph(\text{mín})$ para evitar el derrumbe de la formación. La diferencial máxima de presión será entonces:

$$\Delta P_{max} = P_f - P_h(\text{mín}) \dots \dots \dots (16)$$

$$P_{hmin} = 1.422 * D_{disp} * \rho(\text{registro})$$

El valor efectivo de la presión hidrostática, ΔPh , al momento del disparo se establecerá en base a los valores mínimo y máximo de la diferencial de presión, aplicando un coeficiente de seguridad de la manera siguiente:

A) Si $\Delta P_{máx}$, obtenida del producto WBS (Well Bore Stability) o similar es mayor de 1,000 psi se tomará:

Para gas

$$P_h = P_f - (\Delta P_{máx} * 0.8) \dots \dots \dots (17)$$

Para aceite

$$P_h = P_f - (\Delta P_{máx} * 0.6) \dots \dots \dots (18)$$

b) Si $\Delta P_{máx}$, obtenida del producto WBS o similar es menor 1,000 psi se tomará:

Para gas

$$P_h = P_f - (\Delta P_{máx} * 0.4) \dots \dots \dots (19)$$

Para aceite

$$P_h = P_f - (\Delta P_{máx} * 0.4) \dots \dots \dots (20)$$

$$\Delta P = P_f - P_h \dots \dots \dots (21)$$

Una vez que se obtiene la presión hidrostática al momento del disparo, se calcula la densidad del fluido de control requerido para obtener dicha presión por medio de la ecuación (8).

CAPITULO XI

METODOLOGIAS DE DISPAROS EN CONDICIONES BAJO BALANCE

El principal propósito al disparar bajo balance es el minimizar el daño por los disparos a la formación.

Existe diferente metodología para el cálculo de la presión de bajo balance; donde sigue siendo el objeto de estudio. Entre los métodos propuestos están aquellos que ocupan ecuaciones empíricas, basados en modelos analíticos y cálculos a través del elemento finito. Entre ellos se encuentran:

*Caculo a partir de la teoría del transporte de partícula.

*Cálculo considerando las fuerzas de arrate.

*Cálculo a partir de ecuaciones empíricas y correlaciones.

11, 1.-CALCULO DE LA PRESIÓN DE BAJO BALANCE REQUERIDA PARA LIMPIEZA DE LOS DISPAROS A PARTIR DE LA TEORIA DEL TRANSPORTE DE LA PARTICULA.

Desarrollaron un modelo para el caculo de disparos a partir de la teoría de transporte de partícula. Para aplicar la teoría del transporte de la partícula en los disparos a la limpieza de las perforaciones, la distribución inicial del tamaño de partículas dentro de las perforaciones al inicio de la succión debe ser especificada. Esta información usualmente no se encuentra disponible bajo condiciones de campo, de manera que el modelo de limpieza de disparos requiere suposiciones adicionales

11,2.-CALCULO DE LA PRESIÓN DE BAJO BALANCE CONSIDERANDO LAS FUERZAS DE ARRASTRE.

Para minimizar el daño por compactación de la zona disparada en yacimientos productores naturalmente terminados, los disparos deberán ser bajo balance cuando exista suficiente presión del yacimiento y no mayores restricciones operacionales. Cuando menos el óptimo bajo balance es usado, las ecuaciones de Berhmann pueden ser usadas para estimar el daño residual de los disparos y decidir si se requiere o justifica una operación de estimulación.

Se sugiere par todos los pozos inyectores y productores estimulados con fractura estática o dinámica, que sean mejorados primero los disparos bajo

balance, a una operación de fractura, si la excesiva presione de rompimiento/inyección se consideran un problema potencial. Esta recomendación considera que existe suficiente presión en el yacimiento y permeabilidad para evadir la mayoría de la arena triturada del túnel de los disparos. El bajo balance recomendado en las ecuaciones 3.9 y 3.11 es generalmente suficiente para remover la mayoría de los restos de la arena triturada excepto para rocas débiles.

$$\Delta P = D^{0.3} [90.4 - 7.86 * \ln(k)]^2 \dots\dots\dots(3,1)$$

Donde

D= diámetro del túnel en la roca, pulgadas.

K= permeabilidad del yacimiento, milidarcys.

ΔP= Presión óptima de bajo balance, psi.

$$D = EH_{N80} * (3.27 - 0.61 \ln(UCS)) \dots\dots\dots(3,2)$$

Para arenisca de cuarzo:

Las ecuaciones 3,9 y 3,11 deben usarse con precaución ya que extrapola iones de datos de laboratorio a rocas del yacimiento usando relaciones de porosidades-permeabilidades con gran cantidad de datos de laboratorio de yacimientos de arenas de baja permeabilidad y rocas de baja permeabilidad a 3000 psi de bajo balance dieron daño cero o negativo.

11,3-.CALCULO DE LA PRESIÓN PARA REMOCIÓN DE LA ZONA COMPACTA.

La determinación del suficiente bajo balance para remover el daño a la permeabilidad de la zona compactada por los disparos es aún de discusión. Behrmann publico ecuaciones para el cálculo de la presión crítica de bajo balance utilizando datos de porosidad y permeabilidad, para obtener disparos con daño cercanos de acero, considerando las fuerzas de arrastre:

$$P = 1480 \frac{\emptyset D^{0.3}}{K^{1/2}}, K = 100md \dots\dots\dots(3,4)$$

Dónde:

ΔP está en psi, ϕ en porcentajes, k en md, D en pulgadas

$$\Delta P = 687 \frac{\phi D^{0.3}}{k^{1/3}}, k < 100 \text{ md} \dots \dots \dots (3,5)$$

Para el cálculo del daño a la formación para bajo balance menor que los datos en las ecuaciones anteriores y para perforaciones simples:

$$s = \left(\frac{CD}{20}\right)^2 * \left(2.64 - 0.00395 * \Delta P 687 \phi \frac{\theta D^{0.3}}{k^{1/3}}\right), k < 100 \text{ md} \dots \dots \dots (3,6)$$

$$s = \left(\frac{CD}{20}\right)^2 * \left(2.64 - 0.00183 * \Delta P 687 \phi \frac{\theta D^{0.3}}{k^{1/3}}\right), k > 100 \text{ md} \dots \dots \dots (3,7)$$

Walton, se encuentra desarrollando un método de cálculo de bajo balance en función del esfuerzo compresivo de la roca, cuyos pasos críticos pueden resumirse como sigue:

1-. Medir el HCS de la roca, el cual está definido como el valor de esfuerzo de confinamiento al cual la muestra falla, para agujeros de diferentes diámetros.

$$HCS = UCSf(r) \dots \dots \dots (3,8)$$

Se encuentra en desarrollo una base de datos a mediano plazo.

Medición de la distribución de la resistencia de la zona de daño. Con la ecuación:

$$USC = USC_o(r) \dots \dots \dots (3,9)$$

Donde USC_o denota a la USC de la roca virgen.

Un resultado típico se muestra en la figura 3. Datos compresivos de esta manera son difíciles de obtener. Sin embargo, se puede hacer una aproximación razonable midiendo la USC de la roca virgen, el diámetro del túnel inicial de disparos (El cual puede ser aproximado por el diámetro del

agujero en la T.R.) y la extensión de la zona de daño. Una forma plausible del perfil puede considerarse (por ejemplo, un perfil hiperbólico se usó en la figura (11, 1)). La Base de datos para la información está en desarrollo.

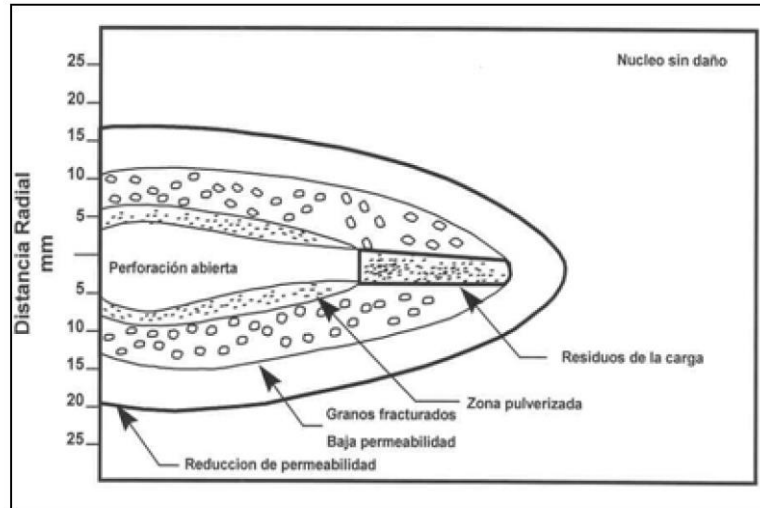


FIGURA (11, 1)- ZONA DAÑADA POR EL DISPARO.

2-. El bajo balance requerido para dejar los túneles de disparos al radio r en la falla del corte está dada por la ecuación:

$$\Delta P = UC_{s_0} f(r) g(r) - \tau_{eff}^0 \dots \dots \dots (3,10)$$

Donde τ_{eff}^0 es el valor inicial de esfuerzo de confinación efectivo. Para la falla por tensión, el óptimo bajo balance está dado por:

$$\Delta P = 2UC_{s_0} f(r) \left(1 \frac{r_0}{r}\right) \sqrt{\frac{r}{r_0}} \dots \dots \dots (3,11)$$

3-.El óptimo bajo balance que cae fuera del esfuerzo de falla en la extensión completa de la zona de daño puede ser calculado eligiendo $g(r)=1$. En otras palabras:

$$\Delta P + \tau_{eff}^0 - BCUS_0$$

4-. Donde B depende del diámetro de la zona daño. Lo recomendable es que para una zona de daño típica los diámetros caen entre el rango de 2.5 a 4.5. Sin embargo, no queda claro aún cuánta zona de daño debe ser removida para proporcionar un eficiente túnel de disparo.

El método aún se encuentra desarrollo.

11,4-.CALCULO DE LA PRESIÓN DE BAJO BALANCE A PARTIR DE ECUACIONES EMPÍRICAS Y CORRELACIONES

PROCEDIMIENTO

1-. Determinar los valores estimados de:

- a) Permeabilidad de formación.
- b) Presión de formación.
- c) Tiempo de transito de lutitas adyacentes (en caso de existir).
- d) Densidad de lutitas adyacentes (en caso de existir).
- e) Formación con antecedentes de producción de arena.

2-.Estimar el nivel óptimo de presión para la ejecución del disparo.

- a) Obtener el mínimo bajo balance requerido usando las ecuaciones correspondientes (3,16 a 3,24).
- b) Estimar el máximo bajo balance permisible con las ecuaciones correspondientes es (3,24 a 3,32).
- c) Seleccionar la presión bajo balance recomendada en la 3,33 en caso de no haber antecedentes de producción de arena.
- d) Seleccionar la presión de bajo balance recomendada en la ecuación 3,34 en caso de haber antecedentes de producción de arena y/o si se tiene alta saturación de agua.

3-.Seleccionar las pistolas (para la selección de pistola se pueden seguir los lineamientos establecidos por Brooks, V. Cap. II).

4-.Ajustar el valor de presión diferencial óptimo, considerando las presiones de trabajo de la tubería de revestimiento, empacador, pistolas, etc.

5-. Seleccionar un fluido de terminación adecuado (limpio, compatible con la formación, etc.)

6-.Considerando los contactos para evitar la conificación.

7-.Estimar el daño y/o caídas de presión de los disparos utilizados algún método de predicción de eficiencia de flujo.

8-. Determinar el bajo balance crítico para tener un daño de perforación cercano a cero.

9-. En caso de requerirse una diferencial de presión demasiado elevada que pudiera poner en riesgo la integridad del pozo, además de dificultar la operación y, en consecuencia, aumentando el costo de la terminación, es conveniente considerar la técnica de disparo sobre balance.

11,5-.PRESIÓN MÍNIMA DE BAJO BALANCE REQUERIDO A PARTIR DE LA PERMEABILIDAD DE LA ZONA PRODUCTORA:

a) Para yacimientos de gas:

$$P_{min}(psi) = \frac{2500}{k}; k < lmd \dots \dots \dots (3,12)$$

$$P_{min} \left(\frac{Kg}{cm} \right)^2 = \frac{175.5}{k}; k < lmd \dots \dots \dots (3,13)$$

$$P_{min}(psi) = \frac{2500}{k^{0.18}}; k > lmd \dots \dots \dots (3,14)$$

$$P_{min} \left(\frac{Kg}{cm} \right)^2 = (175.5)/k^{0.18}; k > lmd \dots \dots \dots (3,15)$$

A partir de la ecuación de Tariq, Tang consideró que para la presión de mínimo bajo balance se debe emplear, en unidades internacionales, (ec. 3,20):

$$20.685 - [((P_r K_r^{0.8} - (271 * 1.25 + 2.49R_{ec})) - (271 * 1.25 + 2.49R_{ec}^2))^{0.5}] (3,16)$$

$$R_{ec} = [0.61(P_r K_r^{0.4}) - (0.571)^{0.5}] - 0.251 \dots \dots \dots (3,17)$$

Si $P_r K_r^{0.4} \leq 15$, significa que la presión del yacimiento no es suficiente para la limpieza de las perforaciones. De manera que el mínimo bajo balance no puede ser alcanzado.

$P_r Y K_r$ son la presión del yacimiento y la permeabilidad del mismo, respectivamente.

$$R_{ec} = \text{número de Reynold's}$$

b) Para yacimiento de gas

$$P_{min}(psi) = \frac{2500}{K^{0.3}} \dots \dots \dots (3,18)$$

$$P_{min} \left(\frac{Kg}{cm^3} \right) = \frac{175.75}{K^{0.3}} \dots \dots \dots (3,19)$$

11,6-.MAXIMA BAJO BALANCE EN FUNCION DEL TIEMPO DE LUTITAS ADYACENTES.

Para tiempos de tránsito $>90 \frac{\text{seg}}{\text{pie}}$ (300 micros seg/m).

a) Yacimientos de Gas.

$$P_{max}(\text{psi}) = 4800 - 25\Delta t \dots \dots \dots (3,20)$$

$$P_{max} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) = 337.44 - 1.7575\Delta t \dots \dots \dots (3,21)$$

b) Yacimiento de aceite.

$$P_{max}(\text{psi}) = 3500 - 19\Delta t \dots \dots \dots (3,22)$$

$$P_{max} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) = 246.05 - 1.33457\Delta t \dots \dots \dots (3,23)$$

11,7-.MAXIMO BAJO BALANCE EN FUNCION DE LA DENSIDAD DE LAS LUTITAS ADYACENTES.

Para densidades menores de $2.4 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$:

a) Yacimientos de gas.

$$P_{max}(\text{psi}) = 2900(\rho_1) - 4700 \dots \dots \dots (3,24)$$

$$P_{max}(\text{Kg/cm}^3) = 203.87(\rho_1) - 330.41 \dots \dots \dots (3,25)$$

b) Yacimientos de aceite.

$$P_{max}(\text{Psi}) = 2340(\rho_1) - 4000 \dots \dots \dots (3,26)$$

$$P_{max} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right) = 164.50(\rho_1) - 281.2 \dots \dots \dots (3,27)$$

Para tiempo de tránsito $< 90 \text{ micro } \frac{Kg}{cm^3}$ (300 micro seg/m) o para densidad mayores de $2.4 \frac{g}{cm^3}$.

P_{max} = Máxima presión permisible de la T.R. y cemento en la zona de disparos.
(3.32).

En caso de no haber antecedentes de producción de arena:

$$P_{recomendada} = (0.2 * presión\ minima) + (0.8 * presión\ máxima) \dots\dots\dots (3.28)$$

Si se tienen antecedentes de producción de arena:

$$P_{recomendada} = (0.2 * presión\ minima) + (0.2 * presión\ máxima) \dots\dots\dots (3.29)$$

Las ecuaciones 3.24 a 3.32 no son recomendadas cuando se tengan problemas de producción de arena o cuando se dispare cerca de contacto aceite/ agua o gas / agua. En ninguna circunstancia se debe alcanzar el máximo bajo balance en el caso en que la formación sea productora de arena. La figura (11.2) muestra la máxima presión de bajo balance para disparar arenas poco consolidadas con base en la velocidad sónica de lutitas adyacentes.

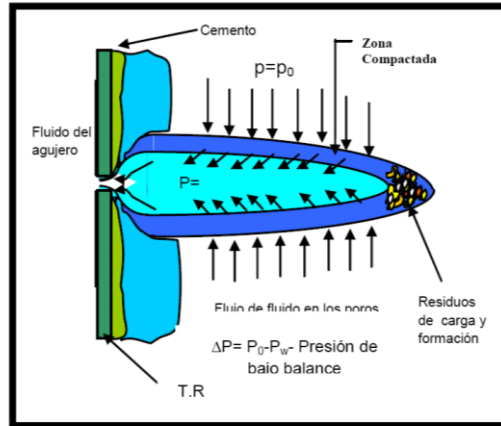


FIGURA (10, 2)-. TÚNEL DE DISPARO AL INICIO DE LA SUCCIÓN.

La figuras (11,3) y (11,4), muestra la máxima presión de bajo para disparar en arenas poco consolidadas basada en la densidad de las lutitas adyacentes.

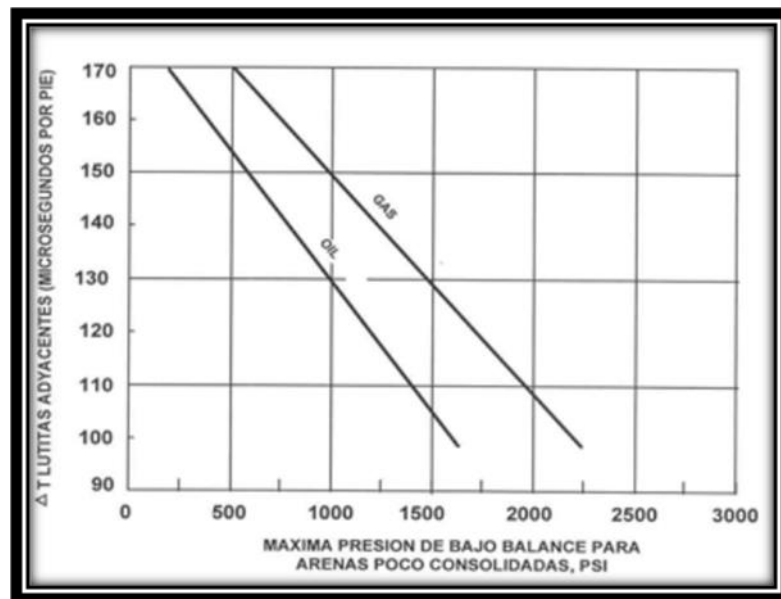


FIGURA (11,3)-.MAXIMA PRESIÓN DE BAJO BALANCE PARA DISPARAR ARENAS POCO CONSOLIDADAS BASADO EN LA VELOCIDAD SONICA EN LUTITAS ADVACENTES.

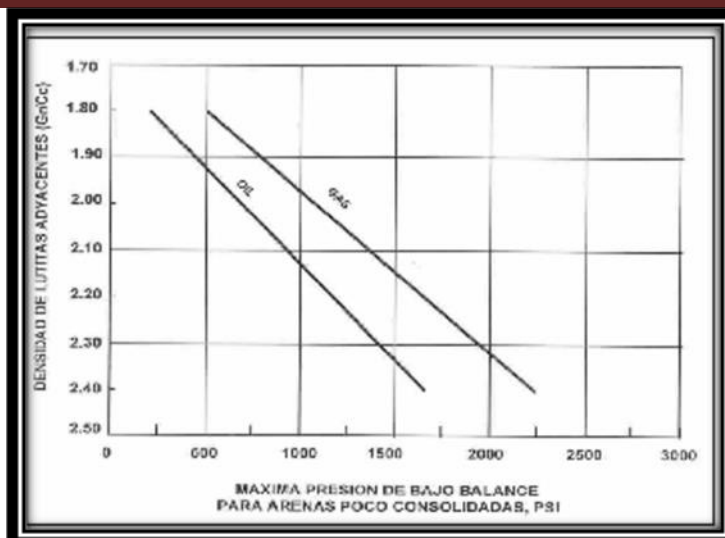


FIGURA (11,4)-. MÁXIMA PRESIÓN DE BAJO BALANCE PARA DISPARAR ARENAS POCO CONSOLIDADAS BASADO EN LA DENSIDAD DE LUTITAS ADYACENTES.

11,8-.PROGRAMA DE DISEÑO ÓPTIMO PARA DISPAROS ENPOZOS DE GAS.

El objetivo de disparar en pozos de gas es obtener agujeros abiertos, limpios y de alta productividad.

La disminución de la resistencia mecánica de la tubería de revestimiento y la producción de arena son las condiciones límite.

11,9-.GUIA GENERAL PARA OPTIMIZAR LOS PARAMETROS EN UN POZO GAS:

- Elegir las cargas conformadas que puedan penetrar a través de la zona dañada por la perforación. La zona de radio de daño puede ser predicha o estimada por medio de las pruebas DTS o por registros.
- Entre las cargas conformadas capaces de penetrar más allá de la zona de daño, seleccionar aquellas que puedan crear agujeros de gran diámetro. En este caso, la profundidad del disparo no es factor importante.
- Si el radio de daño es muy grande para penetrarlo, elegir cargas que penetren tanto como sea posible. Ciertamente, el diámetro del disparo no debe ser tan pequeño.
- Usar las pistolas de mayor densidad sin tener en cuenta la profundidad de la zona de daño. Por supuesto la economía y la resistencia de la tubería de revestimiento deben ser consideradas.
- 90°, 60° o 180° de desfaseamiento no necesariamente son lo mejor. El ángulo de desfaseamiento debe ser determinado por los nomogramas.

f) De acuerdo con investigaciones realizadas, el coeficiente de resistencia de la tubería de revestimiento, K, para T.R. disparada debe ser mayor que 0.95. Este coeficiente puede ser calculado con la fórmula:

$$\frac{1}{k} = 1 + \left[\frac{2d_p}{\frac{36 \times 10^4}{(\theta)(spf)} - 2d_p} \right] \left[\frac{90}{\pi\theta} \right] \left[\frac{4d_p}{d_o - 2\delta} \right] + \text{sen} \left[\frac{4d_p}{d_o - 2\delta} \right] \dots \dots \dots (3.30)$$

Dónde:

θ = Ángulo de fasamiento, si $\theta=0$, entonces usar 360° .

Spf = Densidad de disparos (disparos/m).

Dp = Diámetro de disparo (mm).

Do = Diámetro externo de la tubería de revestimiento (mm).

δ = Espesor de la tubería de revestimiento (in).

π = 3.14159

La condiciones límite de diseño óptimo es $k > 0.95$.

11,10.-PROGRAMAS DE DISEÑO ÓPTIMO DE LOS DISPAROS EN UN POZO DE GAS

- Recopilar los datos relativos de la roca, fluido y daño a la formación.
- Investigar la historia de producción de pozos vecinos.
- Recopilar los datos de cargas y pistolas en el mercado, incluyendo eficiencia de flujo en el nucleó, CFE, de cargas y los datos de la prueba de daño por disparos.
- De acuerdo con los datos de profundidad de penetración de diámetro de cargas en areniscas calibrarlos a las condiciones de formación de fondo de pozo.

Los principales factores que afectan el comportamiento de la penetración incluyen:

- 1) Porosidad de la formación.
 - 2) Claro del disparo.
 - 3) Tiempo de resistencia y temperatura en el fondo del pozo.
 - 4) Bajo balance.
 - 5) Grado de la tubería de revestimiento.
 - 6) Tiempo y condiciones de almacenamiento.
- Calcular las relaciones de productividad de varios esquemas.
 - Calcular el coeficiente de resistencia de la tubería de revestimiento.
 - Usar un análisis nodal para obtener la velocidad de flujo del gas, el factor del daño. Elegir el mejor plan.
 - Diseño y evaluar el fluido en el cual se va a disparar.
 - Diseñar el procedimiento de ingeniería y evaluar la efectividad mediante pruebas de pozo después de disparar.

11,11-.CONDICIONES PARA DISPARAR BAJO BALANCE

1.-Para minimizar el daño a la zona compacta por los disparos en pozos productores e inyectores naturalmente terminados, los disparos deben ser bajo balance cuando exista suficiente presión de yacimiento y sin mayores restricciones operacionales.

2.-Cuando se usado un bajo balance menor que el óptimo, las ecuaciones 3.9-3.11 pueden ser usadas para estimar el daño residual por disparos y decidir si se requiere una operación de estimulación o se justifica.

3.-Se sugiere también que para todos los pozos productores e inyectores que serán hidráulica o dinámicamente fracturados, los disparos bajo balance deben realizarse primero para una operación de fractura si se ha considerado que las excesivas presiones de rompimiento/inyección son un problema potencial.

Esta recomendación asume existe suficiente presión de yacimiento y permeabilidad para evitar la mayoría de la arena pulverizada desde el túnel del disparo. El bajo balance dado en las ecuaciones 3.36 y 3.37 es generalmente suficiente para remover la mayoría de la arena pulverizada excepto en el caso de rocas débiles.

Aplicando las ecuaciones anteriores a datos de porosidad- permeabilidad de yacimiento de Alaska y Mar del Norte, nos proporcionan una relación simple del óptimo bajo balance:

$$\Delta P = D^{0.3} (90.4 - 7.86 \ln(K))^2 \dots \dots \dots (3.31)$$

Dónde:

D=Diámetro del túnel disparo en la roca, en pulgadas.

K=Permeabilidad del yacimiento, en milidarcys, md.

El diámetro del agujero en la roca es función de la carga y la resistencia de la roca.

Para el cálculo del diámetro promedio del túnel como función del tamaño del agujero de la T.R. y del esfuerzo compresivo confinamiento de la roca puede usarse la ecuación anterior.

Aplicando el mismo análisis a areniscas de cuarzo, se obtiene la siguiente ecuación para el cálculo del óptimo bajo balance:

Las ecuaciones 3.36 y 3.37 deben ser usadas con precaución ya que extrapolaciones de datos de laboratorio de rocas superficiales a rocas de

yacimiento usando relaciones de porosidad y permeabilidad de datos muy dispersos. Sin embargo, los datos de laboratorio limitados a yacimientos de baja permeabilidad de areniscas de cuarzo y rocas superficiales de baja permeabilidad limpias a 3000 psi de bajo balance dieron de daño por disparos de acero a negativo, lo cual sugiere que arenas limpias (libres de arcilla) pueden usar menores bajo balances.

Se ha presentado un procedimiento adicional para determinar el óptimo bajo balance para la remoción del daño por disparos en términos del esfuerzo compresivo de la roca. El cual propone que el bajo balance óptimo para la remoción del daño depende críticamente del esfuerzo efectivo, la resistencia de la roca y la resistencia y extensión de la zona del disparo. Aunque aún se encuentra en desarrollo base de datos para su aplicación.

Las relaciones más frecuentemente usadas para determinar el óptimo bajo balance están basadas en el disparo simple y pruebas de flujo con muestras de aceite saturado. Uno de los problemas durante los disparos bajo balance es el potencial de producción de arena (o colapso de los túneles de disparo). Cuando se presenta este problema se puede considerar seguir la metodología de Venkitaraman.

11,12.-BAJO BALANCE EN POZOS HORIZONTALES

La ecuación del cálculo de la presión de bajo balance para pozos horizontales se describe a continuación, de acuerdo con J.J. Azar.

$$\Delta p = \frac{3000}{\sqrt[3]{K}} \dots \dots \dots 3.33$$

K=md

CAPITULO XII

TECNICAS DE DISPAROS EN BAJO BALANCE

En la industria petrolera se han desarrollado varias técnicas de disparos conforme a las necesidades y las cuales se han originado y usado como son: con cable eléctrico (WC), con tubería (TCP), PURE (PERFORATING FOR ULTIMATE RESERVOIR EXPLOITATION),

12, 1-. TECNICA PURE PERFORATING FOR ULTIMATE RESERVOIR EXPLOITATION).

La detonación controlada de carga huecas (moldeadas), especialmente diseñadas y fabricadas para: pozos entubados, disparos, perforaciones, disparos en la tubería de revestimiento de acero, así como el cemento y la formación adyacente. La optimización de la producción o de la inyección de manda diseño cuidadosos. Con la finalidad de planear los disparos sean más limpios y se extiendan más allá de la zona dañada de la formación, permitiendo que sea mayor penetración en la roca del yacimiento y no se altere.

Como es de esperarse, los disparos con explosivos también pulverizan los granos de la roca de formación generando una zona triturada de baja permabilidad en la formación alrededor de las cavidades de los disparos, y facilitando la posibilidad de la migración de partículas finas. Este proceso también deja algunos detritos residuales de la detonación dentro de los túneles de los disparos. El rebote elástico de la formación alrededor de los túneles recién creados genera daño por las vibraciones adicionales de los disparos y materiales sueltos. En la figura (12,1), muestra los residuos de las arenas al disparar.



FIGURA (12,1)-. RESIDUOS DE ARENA EN TÚNELES DE DISPARO

La minimizar del deterioro del flujo y las restricciones de la conductividad causadas por este daño inducido por los disparos, resultan cruciales para la obtención de disparos efectivos. Durante 25 años los procedimientos de terminación estándar utilizaron una diferencia de presión estática relativamente grande, o un bajo balance de presión para eliminar o minimizar el daño provocado por los disparos.

La técnica de disparar con un bajo balance de presión es la técnica más difundida de optimización de las terminaciones disparadas. Este método establece una presión de la formación adyacente. Según la teoría convencional, la oleada (flujo instantáneo) originada por una reducción de la presión de poro en la región vecina al pozo mitiga el daño de la zona triturada y barre la totalidad o partes de los detritos que se encuentran en los túneles de los disparos.

Los científicos han analizado las presiones transitorias de operaciones de disparos mediante pruebas de laboratorio y descubrieron que el bajo estático solo no garantiza la obtención de disparos limpios. Los resultados indicaron que lo que realmente rige la limpieza de los disparos son las fluctuaciones producidas en la presión del pozo inmediatamente después de la detonación de las cargas huecas antes ignoradas y no la diferencia de presión inicial como se pensaba anteriormente.

Los investigadores aplicaron este mayor conocimiento de las presiones dinámicas de pozo para desarrollar el proceso de Operaciones de Disparos para la Explotación Total del Yacimiento PURE (Perforating for ULtimate Reservior Exploitation). Este nuevo técnica es aplicable a portacargas, o pistolas, y a sistemas de pistolas bajados con tubería flexible o con la tubería de producción TPC, y sea en terminaciones de pozos verticales o muy inclinados, incluyendo los pozos horizontales.

12, 1, 1-TECNOLOGÍA PURE

El sistema de perforación PURE de perforaciones limpias es mucho más efectivo que los métodos convencionales de perforación con bajo balance, logrando perforaciones limpias, incrementado productividad e inyección de los pozos.

El sistema de perforación PURE optimiza el bajo balance dinámico (el bajo balance justo después de crearse las perforaciones). Con el sistema PURE la permeabilidad de la zona triturada comparada con la permeabilidad de la zona virgen puede llegar a 1, en contraste con los rangos típicos de 0,05 a 0,3 obtenidos con métodos convencionales de perforaciones de bajo balance. En la figura (12,2) se muestra la permeabilidad de la zona disparada.

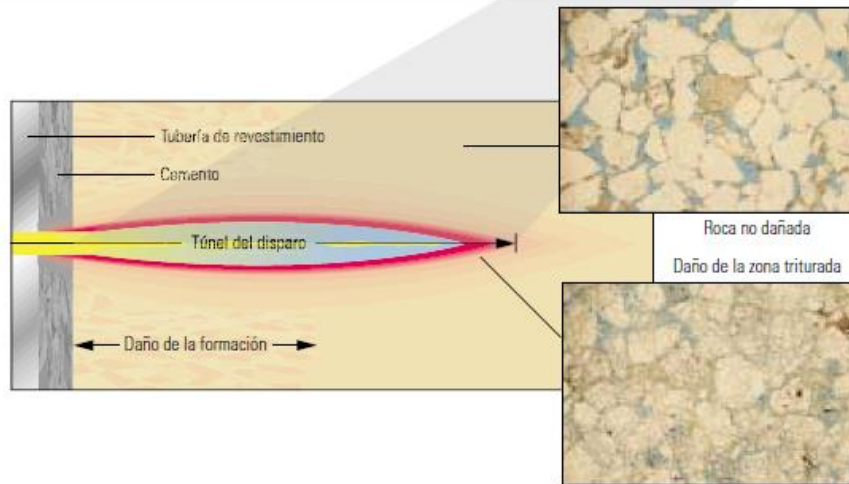


FIGURA (12,2)-. PERMEABILIDAD EN ZONA VIRGEN Y ZONA TRITURADA

El proceso PURE utiliza operaciones de disparos diseñadas a la medida de las necesidades, cargas huecas especiales y configuraciones de disparos diseñados con un fin específico, el cual es generar un alto nivel de bajo balance dinámico, partiendo de bajos balances o sobre balances de presiones modestas. Esta técnica mejora sustancialmente la productividad o la inyektividad del pozo. El proceso de disparo PURE también mejora la eficiencia operacional de terminación de pozos.

La eliminación de grandes diferencias de presión estática simplifica los preparativos realizados en el pozo antes de llevar a cabo las operaciones de disparos en condiciones de bajo balance. El control de oleada inicial limita los volúmenes de fluido producidos durante la limpieza de los disparos, lo que a la vez reduce el riesgo de influjo de arena que puede provocar el atascamiento de las pistolas. Además, se probable que no se requieran los pequeños trabajos de acidificaciones, o lavados de los disparos, que a menudo son necesarios para remediar el daño que estos producen. Se puede observar el daño removido por PURE, creado por el disparo en la figura (12,3).

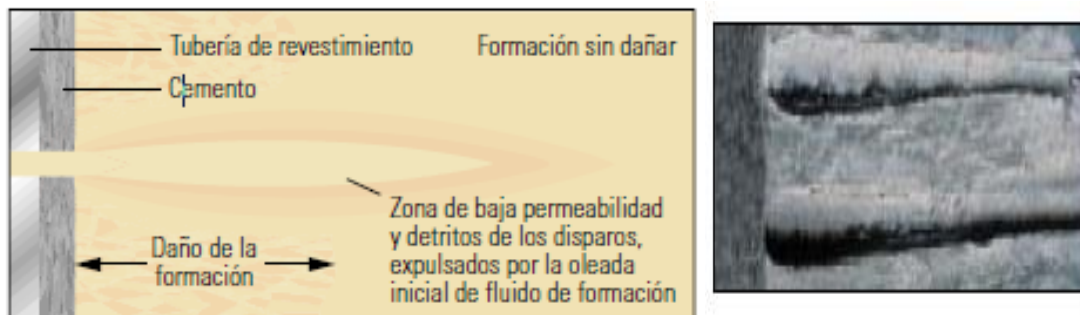


FIGURA (12,3)-. LA TECNICA PURE REMUEVE EL DAÑO CREADO EN EL DISPARO.

Por otra parte, las operaciones de disparos con bajo balance dinámico aumentan en número de disparos abiertos, lo que incrementa la efectividad de los tratamientos de acidificación y fracturamiento hidráulico más extensos. Una mayor densidad de disparos, o cantidad de disparos por pie (DPP), también optimiza las operaciones de bombeo porque reduce los requerimientos en términos de potencia hidráulica en superficie. Otro beneficio es la reducción de la intensidad de las vibraciones producidas por los disparos, lo que minimiza el deterioro de la adherencia hidráulica entre el cemento y la formación, y ayuda a garantizar el aislamiento por zonas después de los disparos.

Ahora, la limpieza del daño de los disparos parece estar directamente relacionada tanto un bajo balance dinámico como con la velocidad de la oleada inicial instantánea, no con la presión estática inicial del pozo, ya sea en condiciones de bajo balance, balance o sobre balance de presión. Este concepto ayuda explicar los pobres resultados ocasionados de las operaciones de disparos con bajo balance de presión y los buenos resultados inesperados de las operaciones de disparos en condiciones de balance y sobre balance de presión.

En esto último se debe tener cuidado ya que si bien es cierto que se puede realizar PURE con TPC o Wireline, al realizarlo con TPC podemos controlar que el fluido de control ingrese al reservorio a través de las perforaciones apenas abiertas al momento del disparo evitando un daño posterior por invasión de fluidos extraños al yacimiento.

Para realizar PURE y luego evitar por completo la entrada de fluidos extraños al yacimiento se puede disparar usando una herramienta llamada MAXR que es un ancla usada para colgar los disparos en el casing, luego bajar el fluido de control definitivo y disparar las pistolas, el ancla se suelta al fondo del pozo y el pozo pone en producción.

12, 1, 2.-VENTAJAS DEL SISTEMA PURE

- Induce un Bajo-balance dinámico de los primeros 100 milisegundos después del disparo.
- Permite control independiente de la dinámica post-disparo (Flujo por unos segundos después del disparo).
- No requiere un bajo balance inicial (estático) alto. Pero es deseable tener bajo balance estático para evitar luego la invasión de fluidos al yacimiento.
- Puede ser sobre balance cuando dispara TPC debajo de un empacador.
- Reduce presión dinámica en el pozo: reduce la onda de choque en el pozo.
- Se puede usar con Wireline, TCP, Coiled Tubing, Slickline.

- Aumenta la productividad o inyectividad: máxima la limpieza de las perforaciones.
- Es efectivo para todos los intervalos perforados: limpia un amplio rango de permeabilidades en un intervalo y aumenta la efectividad d la densidad de disparos.
- Reduce la carga de presión en los aparejos.
- Reduce los requisitos de bajo balance inicial, ahorrando costos de N₂, fluidos, etc.
- Minimiza el micro anillo hidráulico cemento-formación.
- Minimiza la tendencia al arenamiento controlando la dinámica post-disparo.
- Puede eliminar la necesidad de perforación ácida (wash clean-up) en formaciones de baja permeabilidad.
- Provee alternativas entre profundidad de penetración, densidad de disparo, y daño del disparo (un sistema solución versus datos API solamente): La productividad o inyectividad del pozo es el objetivo principal en el diseño del programa de disparo.

12,1,3.-SELECCIÓN DE CANDIDATOS PARA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA PURE

Todos los pozos, tanto productores como inyectores, deberían ser considerados potenciales candidatos para la aplicación de la técnica PURE. La evaluación del tipo de roca, tipos de fluidos, porosidad y permeabilidad de la formación y la ejecución de simulaciones utilizando el programa de computo SPAN, ayudan a determinar si la técnica PURE resultaría útil a un pozo. En la mayoría de las áreas, las terminaciones de pozos nuevos y existentes se beneficiaran con la aplicación de operaciones de disparo con bajo balance PURE.

La mayoría de los pozos de inyección son excelentes candidatos para la aplicación de la técnica PURE, porque los túneles dejados por los disparos limpios son esenciales para lograr una inyectividad óptima. El logro de un bajo balance dinámico adecuado asegura la presencia de suficiente oleada inicial para eliminar el material suelto de los túneles de los disparos antes de comenzar la inyección. Además, impide inyectadas y obturen las garantías de los poros de la formación. La técnica PURE ha resultado particularmente efectiva en formaciones de baja permeabilidad que requieren un bajo balance de presión extremadamente alto presión suelen ser difíciles de lograr durante las operaciones de disparos convencionales en condiciones de bajo balance estático.

En pozos horizontales o desviados, suele ser difícil desplazar los fluidos de perforación o terminación para obtener un bajo balance estático requerido. Las operaciones de disparos con un bajo balance dinámico ayudan a evitar el desplazamiento costoso e inconveniente de los fluidos de pozo con un líquido más liviano o un gas inerte para lograr un bajo balance de presión requerido.

Las operaciones de disparos con sobre balance de presión estático convencionales, con fluidos potencialmente dañinos en un pozo, pueden causar daños que solo serán eliminados con tratamientos ácidos en la zona vecina al pozo. Usando TPC se puede obtener cualquier nivel de bajo balance.

12, 2-.TECNICA DE TCP BAJO BALANCE

Este método de disparo, emplea TUBING CONVEYED PERFORATING (TCP), y disparos del tipo casing gun. El método de TCP debe ser operado en fluido limpio con una presión de bajo balance (underbalance), es decir, que la presión de la formación es mayor que la presión de la columna hidrostática.

Un ejemplo de este tipo de disparos (TCP) es la figura (12,4).

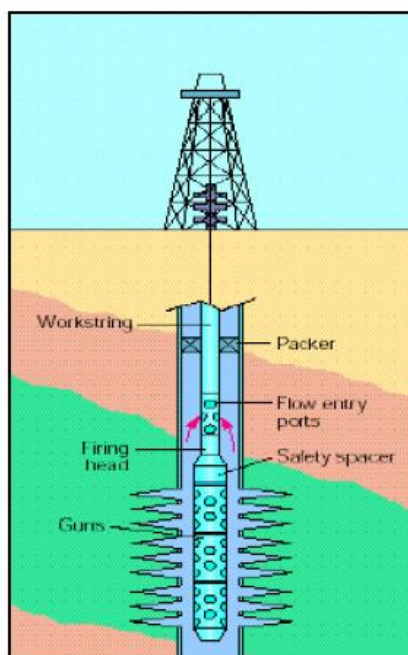


FIGURA (12,4)-. COMPLETACIÓN CON TCP.

12, 2 ,1-.DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TCP BAJO BALANCE

Aunque varias opciones fueron realizadas para transportar los disparos de perforación dentro del pozo a través del tubing esto no sucedió hasta el año de 1980 que el extenso uso de este servicio comenzó. La técnica básica implica un ensamblaje de fondo el cual contenía un transportado de disparos a través

del casing en forma vertical con una cabeza de disparo. Existen algunos tipos de cabezas de disparos que incluyen drop bar, diferencial de presión y conexiones eléctricas. El tope de la cabeza de disparo es usado para permitir el flujo de los fluidos del yacimiento hacia la tubería. Un packer de producción es colocado por encima de la salida de los fluidos de la formación. Todo el ensamblaje es bajado dentro del pozo al final de la sarta de la tubería. La sarta es colocada en la profundidad deseada usualmente con un detector de rayos gamma. Después de que los disparos son posicionados, el packer es asentado y el pozo es alistado para producción. Esto incluye establecer la correcta condición de bajo balance dentro de la tubería. Luego las pistolas son disparadas, los fluidos de la formación fluyen hacia el pozo ayudando en la limpieza de las perforaciones. Dependiendo la situación las pistolas serán retirados o dejado en el fondo del pozo. Algunas variaciones del procedimiento descrito anteriormente son usadas en estos días. En la figura (12,5) se muestra el estado mecánico del sistema de disparos (TPC).

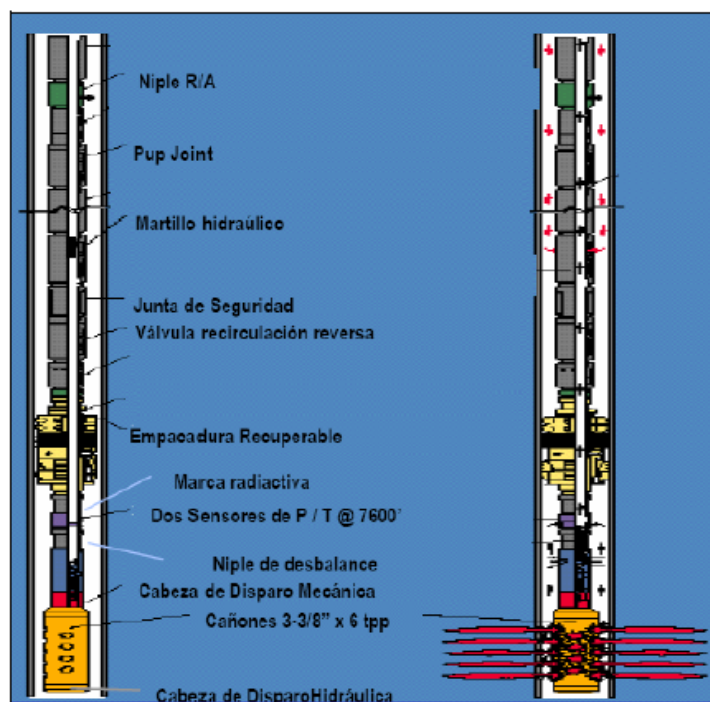


FIGURA (12,5)-. SARTA DE PISTOLA CON TCP

Con este sistema se logran orificios limpios, profundos y simétricos, ya que permite utilizar pistola de mayor diámetro cargas de alta penetración alta densidad de disparos, sin límites en la longitud de intervalos a disparar en un mismo viaje; todo esto combinado con un diferencial de presión óptimo a favor de la formación en condiciones dinámicas al momento mismo del disparo. Este sistema nos permite eliminar el daño creado por la perforación, la cementación y el disparo, utilizando para ello la misma energía del yacimiento.

El poder combinar una buena penetración en la formación, alta densidad y fase de disparo y un diferencial de presión a favor de la formación, nos permite obtener una relación de productividad óptima (producción real vs. Producción teórica), aún después de haberse taponeado la mitad o las terceras partes de los orificios disparados.

La relación de productividad, es una función directa de la eficiencia del disparo, en conjunto con las características del yacimiento. En yacimientos de baja porosidad y permeabilidad esta relación se hace más importante, debido a la invasión creada por el lodo, durante la perforación.

12, 2, 2.-VENTAJAS DEL SISTEMA TCP BAJO-BALANCE

Las principales ventajas de esta técnica son las siguientes:

- El pozo puede ser perforado con un gran diámetro, gran funcionamiento, alta densidad de disparo en el casing con la presión de pozo inferior a la presión de formación (condición de bajo balance) permitiendo una limpieza instantánea de las perforaciones.
- El cabezal está en sitio y el packer es asentado antes de que las pistolas sean disparados.
- Grandes intervalos pueden ser perforados simultáneamente en un mismo viaje dentro del pozo.
- Pozos horizontales y desviados pueden ser perforados empujando las pistolas dentro del pozo.

12, 2, 3.-DESVENTAJAS DEL SISTEMA TCP BAJO-BALANCE

Las principales limitaciones de esta técnica son las siguientes:

- A menos que todas las pistolas sean retirados del pozo es difícil confirmar si todas las pistolas fueron disparadas. Un sistema de detección de la efectividad de los disparos superara esta limitación.
- Los explosivos se degradan cuando están expuestos a elevadas temperaturas, reduciendo el desempeño de las cargas. Toma mucho tiempo correr la sarta de TCP en el pozo comparado con hacer la corrida mediante Wireline. Para compensar esto, en algunos casos explosivos menos poderosos deben ser usados en operaciones con TCP. Sin embargo, en nuestro medio esto no es cierto ya que debido a las temperaturas de fondo de alrededor de los 200°F Wireline usa explosivos RDX debido a que su tiempo de operación es bajo, es un explosivo más barato; en el caso de TCP se usan explosivos HMX que resisten muy bien los 200 °F por muchísimo tiempo sin degradarse pero

que en comparación con los RDX tienen mayor poder de explosión y por tanto cargas de este material tienen una penetración mucha mayor.

- Las opciones de perforación con TPC son limitados. En algunos casos no es económicos realizar perforaciones con la técnica TPC.

12, 3-.TÉCNICA DE WIRELINE CONVENCIONAL

Este sistema de disparos se lo realiza utilizando una unidad de cable eléctrico; el equipo necesario para realizar el disparo se muestra en la figura (12,6), los portadores de carga jet son los dispositivos más usados para lograr este propósito. El disparo debe ser realizado en condiciones de sobre balance (overbalance) hacia la formación, es decir; que la presión hidrostática necesaria para controlar el pozo es mayor o igual que la presión de formación, esto se hace con el fin de evitar el soplado de las pistolas hacia arriba , altas presiones en el espacio anular y en la superficie.

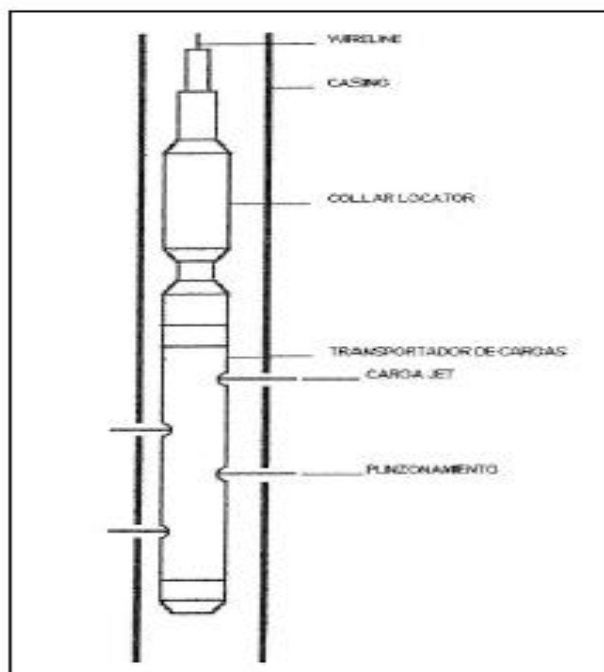


FIGURA (12,6)-DISPAROS CON WIRELINE

Los tipos de portadores jet están basados en el área de aplicación y son de dos tipos: Casing Gun (Tipo de pistola que sirve para perforar el casing) y Through tubing (Pistolas que son de menor diámetro que el casing gun y que son bajados a través de la tubería de producción). Los casing gun son usados para perforar casing de gran diámetro, todos son recuperables, algunos son reusables. Los through tubing son usados para perforar casing bajo la tubería, y en la tubería en sí; son recuperables y algunas reusables.

12, 3, 1.-PROCEDIMIENTO CON WIRELINE CONVENCIONAL

La pistola con cable eléctrico permite disparar utilizando una conexión eléctrica desde superficie por medio de un cable de acero (Wireline).

- Los intervalos a ser disparos se eligen de registros eléctricos, luego que el pozo ha sido revestido o cuando se realiza el reacondicionamiento respectivo.
- El tipo de pistola y la densidad de disparo son establecidos por un programa de computación.
- La longitud real y la longitud efectiva (recorrido de las pistolas), lo mismo que sus combinaciones, dependen del espesor y la distancia de los intervalos a ser perforados, lo más alejado del contacto Agua- Aceite.
- La distancia de las pistolas son consideradas entre las cargas de los extremos del mismo y existe una densidad de cople de la pistola de 1.5 ft y de la pistola al centro de CCL (registro de cementación). 2.5 ft a 3.3 ft.
- Los disparos se efectúan luego de haberse ubicado a la profundidad correcta en base a un punto de referencia (profundidad total para señales en el cable) y después de haber correlacionado los registros del CCL con otros corridos originales o con alguno corrido anteriormente de control de cementación (CCL, VDL).
- Se debe perforar las zonas más profundas por problema de atascamiento que pueden darse debido a la deformación que sufre de la tubería a la entrada de los orificios por la acción explosivos de la carga.
- En un solo viaje no se puede utilizar más de dos pistolas (no sobrepasar los 40 ft). Al perforar se debe disparar la pistola inferior antes de la superior, con ayuda de un diodo que comunica a las dos pistolas y envía desde superficie un voltaje positivo para disparar la pistola y un voltaje negativo para el otro.
- Se dispara la pistola inferior primero para proteger al superior de las entradas de fluidos que se ocasionan.
- Cuando las cargas no accionan por fallas imprevistas y no se perforan los intervalos programados, las pistolas son sacadas, revisados, armados nuevamente y bajados con una posición que permite corregir la falla.

12, 4.-TECNICAS TCP PROPELENTE (SOBRE-BALANCE) HISTORIA DE LOS MATERIALES PROPELENTE

Los propelentes sólidos fueron inducidos a la industria petrolera en 1970. Se inició con una herramienta cilíndrica, con un tapón al fondo y un sistema de ignición.

En años sucesivos la tecnología fue mejorando el desarrollo de la técnica, se realizó una prueba con la aplicación de la tecnología de los propelentes sólidos, realizando de esta manera la estimulación de los pozos, todo esto con la ayuda de un registrador de datos de alta velocidad, abajo en el pozo, más una simulación con un computador sofisticado y el diseño de una nueva herramienta, los mismos que han sido diseñados por el grupo de desarrollo de la tecnología del propelente.

La importancia y el éxito de la tecnología de los propelentes radican en que posee:

- Una fusión integral de ciencia e ingeniería.
- Innovación en diseños de herramienta/ propelente.
- Alta velocidad de adquisición de datos, con sofisticados sistemas computarizados.
- Análisis de datos y optimización de trabajo.
- Extensa experiencia en el campo.

El éxito de la moderna Tecnología de los Propelentes en el campo de petrolero se debe a:

- Un integrado paquete de ciencia e ingeniería.
- Nuevos diseños de herramientas propelentes.
- Alta velocidad de adquisición de datos, con la ayuda de un sofisticado paquete de computación.
- Análisis de datos y optimización del trabajo.
- Extensa experiencia en el campo.

12, 4, 1.-DESCRIPCIÓN DE LA TECNICA DEL TCP PROPELENTE

El propelente (perclorato de potasio), es un oxidante explosivo, es un material muy estable y seguro.

La camisa requiere tres condiciones para inflamarse: confinamiento, presión y temperatura; por lo que es básicamente inerte en la superficie debido a que estas tres condiciones no existen comúnmente. Existe una ligera probabilidad de iniciación si la camisa es impactada (por ejemplo, con un martillo) pero la probabilidad es mínima. Para que reaccione tiene que estar confinado más o menos a 500 psi de hidrostática. En el agujero, la camisa está confinada en la tubería de revestimiento y existe presión suficiente proveniente de la hidrostática y temperatura del agujero creada por detonación de las cargas de perforación. Un ejemplo de la camisa de propelente es la siguiente figura (12,7).



FIGURA (12,7)-. CAMISA DE PROPELENTE.

La camisa propelente está expuesta directamente al agujero y no es tan resistente como el mismo tubo de la pistola. La camisa es similar en resistencia a la tubería de PVC. Debe tener cuidado cuando maneje el ensamble de manera que no impacte la camisa. La camisa es quebradiza y cualquier impacto puede causarle fractura. El propelente es aplicable a cualquier trabajo de TCP. La cantidad de propelente se determina por el cubrimiento (en 10 ft de disparar se coloca 7 ft propelente).

Para formaciones consolidadas la cantidad de propelente es menor que para formaciones no consolidadas, por la facilidad que tiene de expandirse. El propelente se puede usar en pozos inyectores.

12, 4, 2.-APLICACIONES DEL TCP PROPELENTE

EL TCP Propelente se usa:

1. Para lograr una mejor conexión con el yacimiento.
2. Para la estimulación de pozos.
3. Para restablecer inyectividad en pozos inyectores.
4. Como un método de pre-fractura.
5. Es un método de limpieza.
6. En pozos horizontales y abiertos donde hay daño.
7. No reemplaza una fractura hidráulica.

12, 4, 3.-LIMITACIONES DEL TCP PROPELENTE

- La máxima temperatura para el uso de propelente es 350 °F.
- Requiere una mínima de presión de confinamiento de 500 psi.
- Requiere por lo menos que se tenga en superficie 100 ft de aire o gas.
- Requiere utilizar disparos de 4 disparos por pie y nunca a 0° fase.
- Tiene que estar centralizado.
- Si hay tapones debe estar por menos a 50 ft de separación.

12, 4, 4-.CRIETRIOS DE SELECCIÓN PARA LA APLICACIÓN DE PROPELENTES

Sus aplicaciones de esta tecnología son:

- ✓ Para evitar Fracturamiento Hidráulico y tratamiento de ácido.
- ✓ TCP con bajo-balance y sobre-balance.
- ✓ Mejor colocación del gravel pack.
- ✓ Estimulación exitosa cerca del contacto gas/aceite/agua.
- ✓ Estimulación exitosa en pozos horizontales, a pozo abierto, fracturas naturales.
- ✓ Remediación en pozos inyectoros.
- ✓ Inyección de polímeros.

Para la selección del pozo se toma en cuenta siguientes pasos:

- Determinar par que se va usar.
- Selección de la estimulación apropiada
- Simulación en un computador sofisticado.
- Decir si la estimulación es apropiada.
- Revisar los resultados de la simulación.

Esta este método es utilizado normalmente para estimular el pozo, se ha utilizado en varias partes del mundo.

12,5-. SISTEMA BAJO BALANCE DINÁMICO MEDIANTE SURGEPRO

El SurgePro es un sistema de surgencia dinámica que permite efectuar disparos con bajo balance, optimizando el índice de productividad con bajo balance, optimizando el índice de productividad porque crea un desbalance dinámico entre el yacimiento y el pozo.

El proceso consta de un sistema convencional de disparo, pero su innovación es una cámara al vacío cuya función es la siguiente: en el instante en que se ejecuta los disparos el pozo se presuriza debido a la energía resultante del disparo. Inmediatamente la cámara al vacío del SURGEPRO se activa adsorbiendo la mayor cantidad de residuos originados por los disparos, garantizando la limpieza de las perforaciones y mejorando los índices de productividad.

La camisa de circulación del "SurgePro", que baja cerrada se abre en el momento del disparo mediante la activación de un disco de perclorato de potasio que se encuentra en el interior de la misma. El perclorato activado abre la camisa permitiendo que el fluido del yacimiento llene las secciones de

disparos, creando el efecto de surgencia dinámica. El desbalance puede durar varios milisegundos.

12, 5,1-.SECUENCIA DE DISPARO

- Activación de la Carga.- Cada ignición ocurre en milisegundos y todos los disparos duran varios milisegundos.
- Los conductos son creados por el jet en microsegundos.
- La energía residual (mayormente gases) permanece en el disparo.
- La presurización de perforaciones y del pozo se inicia a partir de una compleja onda de movimiento de los fluidos.
- El intercambio de fluidos ocurren entre el disparo, el pozo y la formación, dando lugar a los Transientes de Flujo.

12, 5, 2-.SENSOR FASTGAUGE

El FastGauge fue desarrollado por el IES (Instrumentación y Servicios de Ingeniería). Permiten monitorear y grabar la condición quasi-estático del yacimiento o cambios rápidos de presiones asociadas con pruebas de pozos y producción. El sensor también se puede utilizar para medir el movimiento, la aceleración y los niveles de vibración de la sarta de disparo.

Los avances tecnológicos de los medidores son empleados por la industria del petróleo y el gas, como es el caso de Series 200 High Speed Pressure Gauge, mostrado en la figura (12,8) y utilizado.

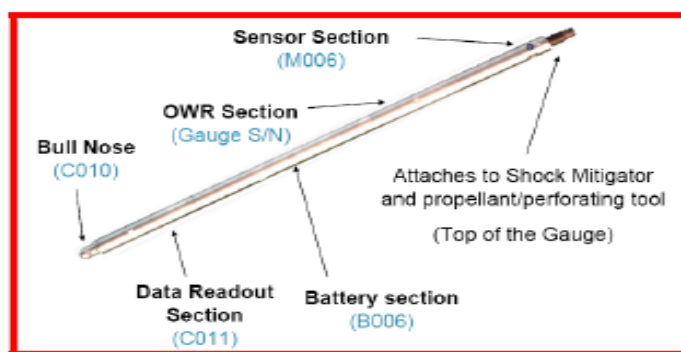


FIGURA (12,8)-.SENSOR FastGauge

12, 6-.STIMGUN

La necesidad de realizar disparos más eficientes ha dado lugar al estudio de nuevas alternativas, como la del STIMGUN. Los principales parámetros bajo los cuales aplican Stimgun como método de disparos TPC de bajo balance. Tiene como objetivo generar unas perforaciones limpias, y

garantiza que el apropiado sobre balance dinámico junto con el Hardware (pistola más propelente) y software (Perfpro, PulFrac), se diseñe el sistema más óptimo para lograr un trabajo de disparo exitoso.

El sistema STIMGUN es más efectivo que los métodos convencionales de perforaciones pues combina la aplicación de pistolas con cargas de alta penetración y propelente. Las camisas de propelente se colocan recubriendo la pistola y reacciona en el instante que se produce el disparo, produciendo un considerable porcentaje de gas a alta presión pasando por los disparos y ocasionados micro- fracturas lo que mejora la conductividad del pozo, reduce el daño de formación y por ende la permeabilidad efectiva aumenta.

12, 6, 1-COMPONENTES

El ensamblaje de Stimgun está conformado por un tubo normal usado en cualquier sistema de pistolas, en cual está armado por explosivos, cargas, booster, primacord (cable detonante), y a este conjunto se le adiciona una camisa de propelente al tubo de la pistola. Esta camisa queda segura a la pistola a través de dos anillos que la sujetan al cuerpo de la pistola. En la figura (12,9) muestra el estado mecánico del componente Stimgun.

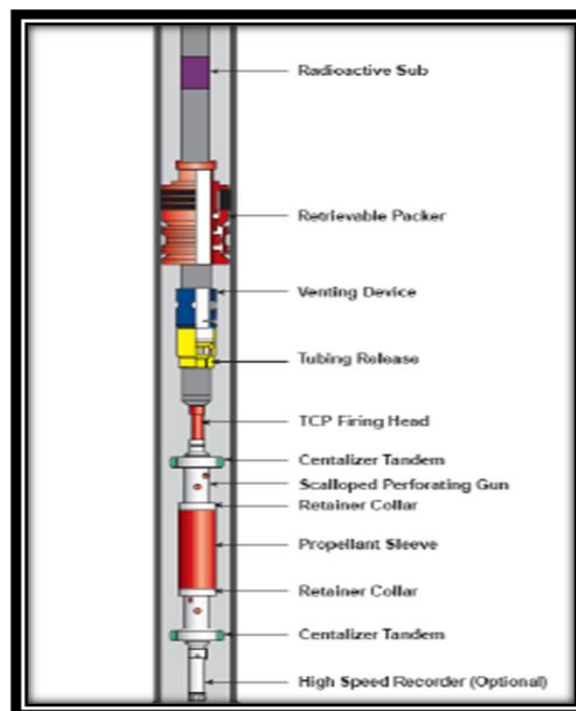


FIGURA (12,9)-ENSAMBLE DEL STRIMGUN

El propelente es un componente oxidante formado por partículas de perclorato de potasio y una resina epóxica. Por tal no debe considerarse como explosivo y para su activación necesita de condiciones instantáneas de presión, temperatura y además confinamiento.

Cuando el, propelente reacciona por la acción de los explosivos genera un gas, de alta tasa de expansión aproximadamente 1500:1 y ultrarrápida (en milisegundos).

Con la activación del propelente se presenta una estimulación en los disparos, y esto es una consecuencia de la liberación de CO₂ (gas) en condiciones de sobre balance, logrando microfracturas en el túnel del disparo, mejorando la conductividad del yacimiento.

Este sistema con propelente o STIMGUN, puede ser bajado ya sea con Cable Eléctrico (L&P, Logging and Perforating) o con TPC (Tubing Conveyed Perforating).

12 , 6, 2-.CONDICIONES PARA EL USO DEL STIMGUN

Las condiciones del yacimiento no necesariamente deben ser las mejores para poder aplicar Stimgun, por el contrario, este proceso puede ser aplicado en condiciones petrofísicas pobres (considerándose en Ecuador como permeabilidades bajas, a las formaciones que tienen una permeabilidad menor a 3000 md) ya que su objetivo es mejorarlas con la aplicación del propelente.

Así mismo, el ensamble StimGum puede ser bajado al pozo por medio de cable eléctrico, tubería, tubería de perforación, o con tubería flexible, (TCP).

Los datos que se requiere para una propuesta con Stimgun (TCP) son:

Configuración mecánico del pozo.

Es necesario conocer el detalle de la condición mecánica del pozo, en especial:

- Detalle de Revestidores
- Detalle de Tuberías
- Deben conocerse parámetros como: pesos, dimensiones, profundidades, desviaciones del pozo, longitudes, conexiones, profundidades.

Registro

Se debe disponer de registros tales como:

- Registros de Temperatura
- Registros de Desviación (Selección del cabezal de disparo)
- Registros de cementación (CBL, CASTV, USIT, SBT)
- Cualquier otro Registro corrido

Parámetros de Yacimiento

Es sumamente importante disponer de estos parámetros, ya que de ellos depende la selección de un sistema de pistolas óptimo para una aplicación en particular, entre estos parámetros están: permeabilidad, porosidad, esfuerzos, temperatura, condiciones del cemento, presiones, etc.

Una vez que se obtiene estos parámetros, y en conjunto con las condiciones mecánicas del pozo se hacen las simulaciones correspondientes para obtener el desempeño de la carga y la pistola seleccionada en condiciones de fondo para lo cual se tiene en cuenta lo siguiente:

- ✓ Los simuladores disponibles son: WEM, PerfPro, PulsFrac; se debe tomar en cuenta los formatos adecuados.
- ✓ La temperatura es un parámetro básico para la selección del explosivo de trabajo (HNS, PYX, HMX, RDX)

Como se puede notar el sistema de pistolas con propelente resulta ser de mucha utilidad para mejorar las condiciones de producción, pero el uso del propelente en la pistola tiene ciertas limitaciones tales como:

- ✓ El propelente su uso necesita una temperatura máxima de 350°F.
- ✓ Para su uso se necesita de una presión mínima de confinamiento de 500 psi.
- ✓ En superficie debe tener por lo menos 100 ft. de aire y gas.
- ✓ El sistema tiene que estar centralizado.
- ✓ Las empaaduras o tapones tienen que estar separados o por lo menos 50 ft.
- ✓ Si el ensamblaje se baja por medio de cable, la velocidad de restringida por protección del sistema la cual es máxima de 50 ft, por otro lado la aplicación con TPC no presenta ningún inconveniente.

12, 6, 3.-PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL STIMGU

La pistola es detonada como en un sistema de disparo normal y durante el proceso la camisa de propelente se activa rápidamente y produce una explosión en la cual hay liberación de gas a alta presión. Este gas es el que entra en los túneles de los disparos y crea mini-fracturas alrededor de los

agujeros y reduce la zona dañada, dando origen a una mejor conductividad del yacimiento al pozo.

La fractura de los disparos ocurre y crece debido a la continua generación de gas al consumo progresivo de propelente y reacción del gas se realiza en 12 milisegundos. En la figura (12,10) muestra cómo se activa el propelente y crea las mini-fracturas en el yacimiento al ser disparado.

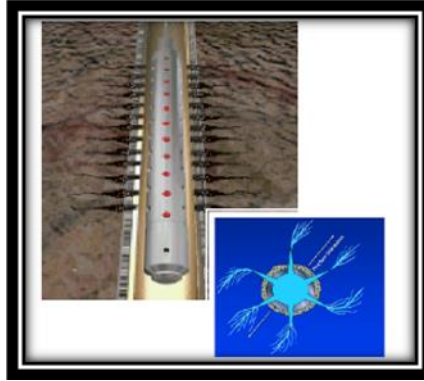


FIGURA (12,10)- UNA VEZ QUE SE FORMA EL TUNEL DEL DISPARO, EL PROPELENTE EMPIEZA REACCIONAR Y SE EFECTÚAN LAS MINI-FRACTURAS.

CAPITULOXIII

APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE BAJO BALANCE

13, 1-.POZO ALTAMENTE DESVIADO DE AGUAS PROFUNDAS DISPARADO CON PRECISIÓN EN UN YACIMIENTO ALTAMENTE LAMINADO.

Disparar en condiciones de bajo balance una extensa sección finamente laminada de un pozo desviado de aguas profundas. Se requería una orientación muy precisa para disparar solamente zonas productoras y asegurar el control de la producción de arena.

Las operaciones de aguas profundas llevadas a cabo en el área marina de Malasia, se encontraron frente a un yacimiento altamente laminado compuesto por intervalos de arenisca relativamente no consolidados y pobremente clasificados, con una longitud oscilante entre 100 m, y 500 m [300 pies y 1650 pies], y una modesta resistencia a la compresión no confinada de 900 psi [6,2 MPa]. El riesgo de producción de arena con la aplicación de técnicas de disparos convencionales era alto.

Muchas de las capas de arenisca poseen más de 1 m [3 pies] de espesor y se sitúan en una sección del pozo cuya desviación excede los 80°.

Los disparos orientados constituían la mejor solución para lograr una operación con bajo contenido de detritos en el pozo altamente desviado, pero los ángulos de fase convencionales de 0°/180° planteaban un alto potencial de penetración en las capas de lutita y en las zonas de agua que separaban las capas de arenisca.

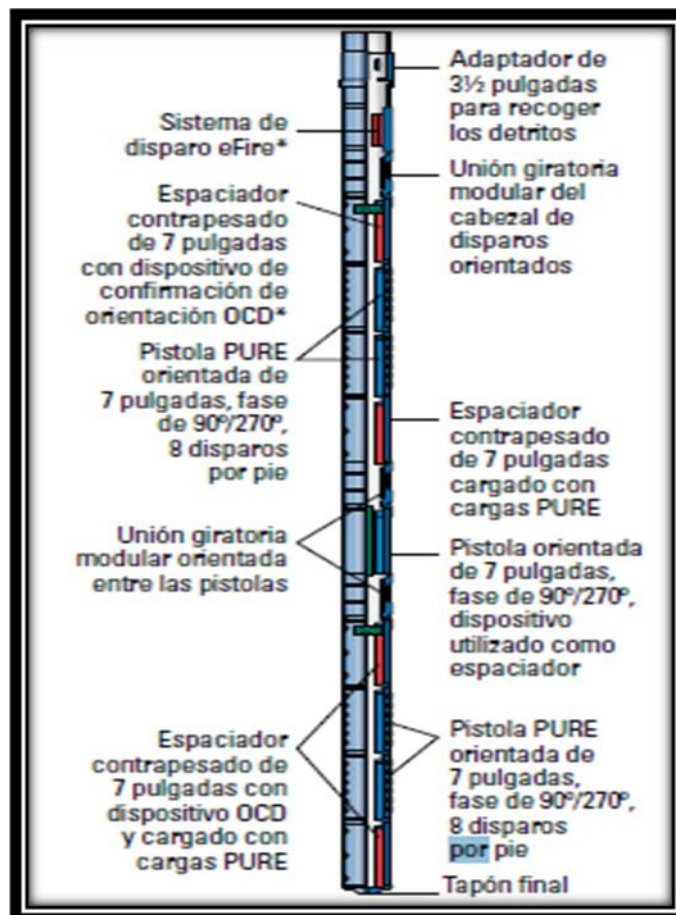
Es necesario utilizar un sistema de disparos que hiciera posible:

- La utilización de una sarta de pistolas largas, pesada y orientada.
- La optimización de los disparos orientados para optimizar el control de la producción de arena.
- La verificación de la orientación con una precisión de $\pm 15^\circ$, antes de efectuar los disparos y la confirmación, con una precisión de $\pm 1^\circ$, después de la recuperación de las pistolas.

13, 1, 1.-COMBINACIÓN DE ORIENTACIÓN ALTAMENTE PRECISA, ÁNGULOS DE FASE NO CONVENCIONALES, DETONACIÓN DE PISTOLAS ACTIVADAS POR PRESIÓN Y BAJO BALANCE DINÁMICO.

El centro de Terminación de Yacimientos de Schlumberger en Rosharon, Texas, EUA, proporcionó la solución a través del diseño de un disparo orientados bajado con la tubería OrientXact de 7 pulgadas de alta precisión, con fase de $90^{\circ}/270^{\circ}$, y su combinación con el sistema de disparo PURE para la obtención de disparos limpios. La combinación de precisión confirmada de la orientación, fase de $90^{\circ}/270^{\circ}$, y disparos en condiciones de bajo balance dinámico, mejoró la producción de cada túnel dejando por los disparos y ayudó a mantener la estabilidad de la formación.

El diagrama siguiente mostrar el estado mecánico del sistema de pistolas orientadas con un ángulo de fase de $90^{\circ}/270^{\circ}$ y sistema PURE para operaciones de disparos en condiciones de bajo balance dinámico en la figura (13,1).



**FIGURA (13,1)-GRAFICA DE SISTEMAS DE DISPARO ORIENTADOS
CON ANGULO DE $90^{\circ}/270^{\circ}$ Y SISTEMA PURE.**

El sistema de pistolas fue diseñado para proporcionar una precisión de $\pm 15^\circ$ en la orientación e incorporó el sistema de confirmación de la orientación OCD de alta precisión, que permitió la verificación de la orientación de los túneles de los disparos con una precisión de $\pm 1^\circ$ en el momento de la recuperación de la sarta de pistola. Equipo con pesos de orientación pasiva, el sistema pudo configurarse en secciones individuales de más de 300 m [1000 pies] conectadas mediante uniones giratorias con cojinetes de rodillo.

Los ángulos de fase $90^\circ/270^\circ$ permitieron la ejecución de disparos paralelos a las capas del yacimiento, sin dañar las lutitas que actuaban como sellos ni penetrar las zonas de agua.

Las cargas de disparo de penetración profunda de Hyper Jet*, sin camisas plásticas, proporcionaron una densidad de 8 disparos por pie y minimizaron la presencia de detritos en los pozos de inyección.

Estas características de los componentes del sistema contribuyeron a la solución:

- El sistema OrientXact minimizó de los túneles en la formación e incrementó de ese modo la resistencia y el número de túneles efectivo de los disparos. Además, redujo la presión, diferencial existente en los intervalos disparados, la tasa de inyección por disparo y la producción de arena.
- A diferencia de los disparos convencionales, que se basan en la aplicación de un gran diferencial de presión entre el pozo y la formación para remover los detritos de los disparos, la técnica del sistema PURE permitió explotar al máximo las presiones transitorias desarrolladas inmediatamente después de ejecutar los disparos.
- Las cargas Hyper Jet minimizaron el daño de los disparos y mejoraron la estabilidad durante la caída de presión y el agotamiento.

13, 1, 2.-OBTENCION DE DISPAROS LIMPIOS Y UN DAÑO MINIMO MEDIANTE DISPAROS ORIENTADOS EN FORMA PRECISA, EJECUTADOS EN CONDICIONES DE BAJO BALANCE

El dispositivo OCD indicó que las pistolas fueron detonadas en forma precisa con ángulo de fase de $90^\circ/270^\circ$, y los datos obtenidos con el medidor de presión rápido confirmaron que se alcanzó un bajo balance dinámico de 3000 psi [20.7 MPa], a la vez que se mantuvieron condiciones cercanas a la condición de balance. Esos logros contribuyeron a la creación de túneles de disparos limpios y estables.

En las figuras (13,2) Y (13,3), muestran el medidor depresión rápido que alcanza un bajo balance de 3000 Psi, así como la orientación de los disparos después de recuperar las pistolas.

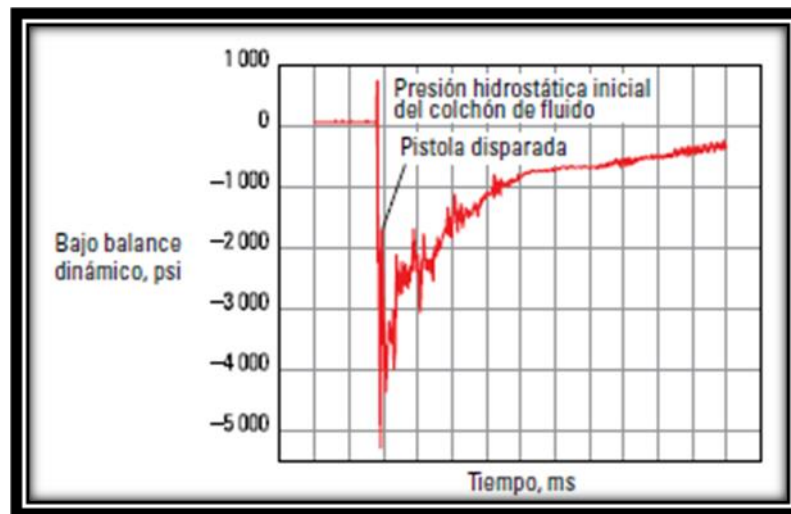


FIGURA (13,2)-.MEDIDOR DE PRESIÓN DELA TECNICA PURE A UNA PRESIÓN DE 3000 PSI [20,7 MPa].

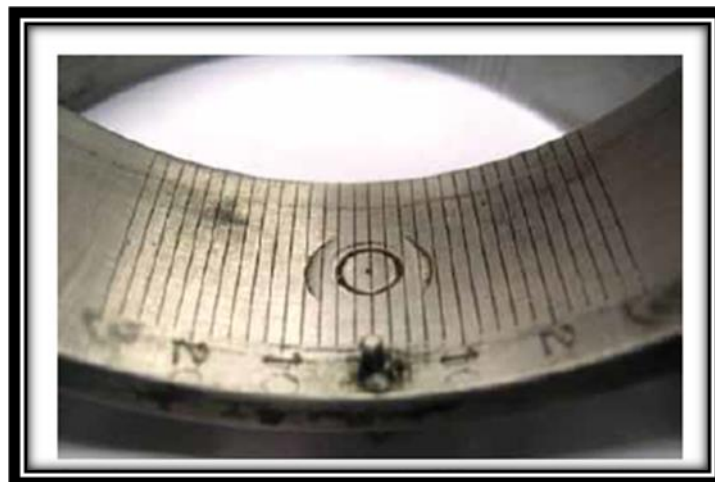


FIGURA (13,3)-.OCD INDICA LA PRECISIÓN DE LA ORIENTACIÓN QUE FUE 0.25°, DESPUES DE RECUEPRAR LAS PISTOLAS.

Las pruebas posteriores a la terminación confirmaron la tasa de flujo esperada en base a la existencia de un mínimo daño luego de la ejecución de los disparos en condiciones de bajo balance.

13,2-.APLICACIÓN DEL METODO FASTGAUGE

Las especificaciones son las siguientes;

Memoria: 1 millón de datos

Graba a alta velocidad: 115000 datos por segundo.

Frecuencia del sensor: 0-10,000 Hz

Rango de temperatura: -40°C hasta 120° C

Precisión: 0.024%

Si el rango de la presión es de 0- 20,000 psi, la precisión es de ± 4.8 psi.

El sensor registra los datos de presión desde el momento en que es encendido y liberado en superficie, en el viaje descendente, en el proceso de disparo y durante la prueba de producción de los pozos seleccionados: Lobo 09 y Tortuga 10.

Con la información dada por FastGauge y aplicado el programa "OWR GAUGE", se obtiene los perfiles reales de presión mostrados en las figura (13.4) y la figura (13, 5).

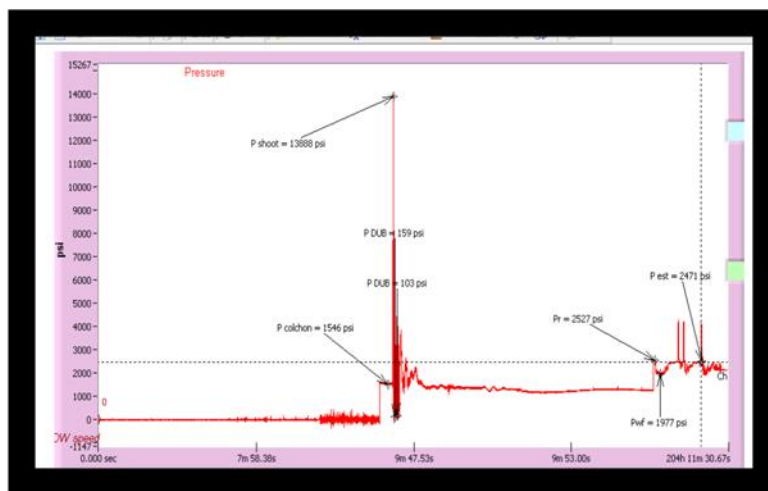


FIGURA (13,5)-. PERFIL DE PRESIÓN DEL POZO TORTUGA 10.

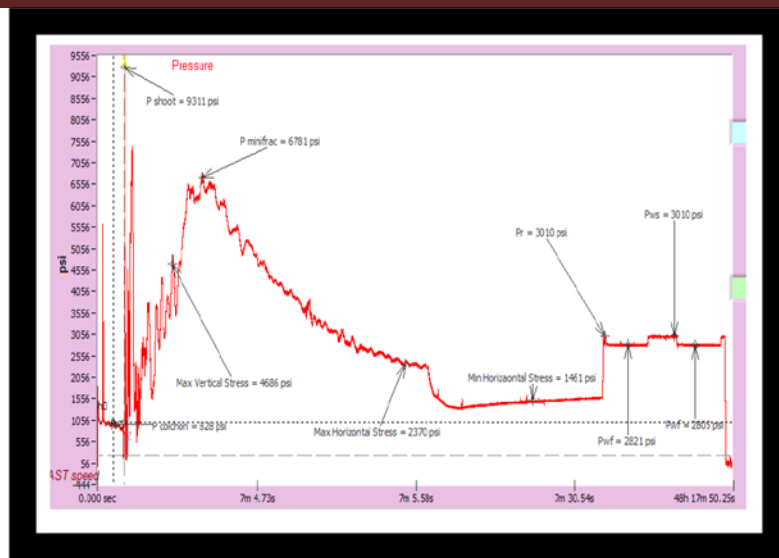


FIGURA (13,5)-. PERFIL DE PRESIÓN DEL POZO LOBO 09.

AJUSTES DE PERFIL DE PRESIONES

Para ajustar el perfil de presión obtenido por el simulador PULSFRAC, se ingresan al mismo las curvas reales de presión indicadas en el punto anterior, lo cual permite efectuar los cambios necesarios en los parámetros manejados por el simulador para obtener una curva similar a la del software OWR Gauge, validando de esta forma la información del PulsFrac.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Para interpretación del perfil de presiones mostrado en las figuras anteriores. El respectivo análisis se efectúa a continuación.

POZO TORTUGA 10

La interpretación se realiza desde el momento en que la barra con el sensor es liberada en superficie hasta las 26.32, donde el pozo se cierra para recuperar el TPC debido a la restricción al flujo que se puede originar por los residuos de los disparos efectuados y además porque este tipo de ensamblaje solo es para el servicio de disparo.

La barra choca con el colchón de agua en el pozo, viaja a través del mismo e impacta la cabeza de disparo del TPC con una presión de 1546 psi, momento en que se acciona el tren explosivo. También la barra de disparo donde va acoplado el sensor viaja por el colchón de agua alrededor de 1 minuto 20 segundos.

Utilizando las cargas moldeadas, la máxima presión en el momento de la detonación es de 13888 psi. Posteriormente ocurre la generación del

desbalance dinámico desde la formación hacia la boca del pozo y por tanto existe flujo de fluidos.

Se evidencia que existen dos zonas de surgencia debido a que se perforaron dos intervalos productores. La presión mínima de desbalance hacia el pozo es de 159 psi y 103 psi, en cada intervalo disparado.

La presión restaurada del yacimiento es 2527 psi, obtenida después de 7 horas, 18 minutos y 1 segundo, desde el momento del disparo, la presión de fondo fluyendo es de 1977 psi.

POZO LOBO 09

La interpretación se realiza desde el momento en que la barra con el sensor es liberada en superficie hasta las 49 horas, donde el pozo se cierra para recuperar el TPC.

Como se puede ver en el perfil, la barra choca con el colchón de agua, viaja a través del mismo e impacta la cabeza de disparo del TPC con una presión de 828 psi, momento en que se acciona el tren explosivo.

Además se puede observar que la barra de disparo, donde va acoplado el sensor, viaja alrededor de 14 segundos por el colchón de agua.

Utilizando las cargas Milenium II, la detonación alcanza un máximo valor de presión que es de 9311 psi. Posteriormente ocurre la generación del sobre balance dinámico desde el pozo hacia la formación y por tanto flujo de fluidos en la misma dirección por la combustión del propelente, dando una extensión de la microfractura de 3.2' con 6781 psi, compactado la matriz en función del esfuerzo del yacimiento U Inferior, valor que es 2.25 veces la presión del yacimiento. De la validación del perfil de presión se determina que el gradiente de fractura es 0.56 psi/ft, siendo 4686 psi el máximo esfuerzo vertical, 2370 psi el máximo esfuerzo horizontal y 1461 psi el mínimo esfuerzo horizontal.

El valor de la presión restaurada del yacimiento es 3010 psi, que se obtiene en 1 horas, 2 minutos y 13 segundos. Además la presión de fondo fluyendo es 2821 psi.

El diferencial del yacimiento hacia la sarta TPC en la cara del pozo es de 189 psi, generado por la energía del yacimiento al producir 2160 bfpd a flujo natural.

RESULTADOS

TABLA (13, 6)-.RESULTADOS DE LA INTERPRETACIÓN POR KAPPA.

RESULTADO DE LA INTERPRETACIÓN EN KAPPA- SAPHIRE		
	LOBO 9	TORTUGA 10
MÉTODO DE HONOR		
Permeabilidad (md)	760	141
Skin	-2.9	1.35
Presión media (psi)	3010	2470
Presión a 1 hr (psi)	2813	2434
METODO DE LA DERIVADA		
Permeabilidad (md)	785	149
Skin	-2.9	1.59
t match (hrs)	968	1210
P match (psi)	0.082	0.0583
Almacenamiento (bbl/Psi)	9.5E-03	8.24 E-04
L Longitud a la falla (ft)	1400	134
Angulo entre las fallas (deg)	0	29
INDICE DE PRODUCTIVIDAD		
IP Actual (Stand bpd/psi)		
IP Ideal (Stand bpd/psi)	1.15	1.72
Eficiencia de Flujo	1	0.87
AOFP (max Qt) (bfpd)	22738	1179
Capacidad de Flujo (md/cp)	623	65.35

CONCLUSIONES

- El medidor de presiones “FastGauge” realiza dos trabajos en un solo paso: actúa como parte integrante de la barra de disparo y registra las variaciones de presiones desde el momento de la detonación de las pistolas hasta la evaluación del pozo, mostrando un perfil de presiones

dinámico en condiciones fluyentes a niveles de la detonación, en alta velocidad de registro.

- La aplicación del sensor “FastGauge” permite obtener datos precisos de las presiones de los yacimientos después del disparo, reduciendo costos, ya que no se requiere el servicio de otra compañía para lograr dicha información.
- Los resultados de los datos de presión a alta velocidad obtenidos con el sensor FastGauge se comparan con los cálculos por el simulador PulsFrac, para verificar la validez de la simulación. El software disponible para diseñar y evaluar los tratamientos dinámicos permite la optimización de la sarta de trabajo y la evaluación de los posibles resultados antes de efectuar la operación, para entender el comportamiento que seguiría la herramienta cuando se corra en el pozo.
- Con la aplicación del software KAPPA se determina parámetro del yacimiento como: permeabilidad, índice de productividad, factor de daño y extensión (límites) del yacimiento.

SELECCIÓN DE POZOS Y DISEÑO DE LOS DISPAROS CON STIMGUN

Todos los pozos que poseen baja permeabilidad son candidatos potenciales para el disparos con StimGun, La utilización de los software PerfPro-PulsFrac y la evaluación del tipo de roca, tipos de fluidos, porosidad y permeabilidad de la formación, y la ejecución de simuladores, ayudan a determinar si la técnica de STIMGUN sería la apropiada para el disparo con bajo balance y sobre balance dinámico de un pozo. El logro del adecuado desbalance y el propelente asegura la limpieza de los túneles.

Para el desarrollo de esta investigación se tomaron en cuenta cinco pozos ubicados en el Distrito Oriente del Ecuador, los cuales son Sacha 214D, Sacha 228D, Cuyabeno 28D, VHR 22 y Auca 70D. A continuación se detalla el proceso técnico y analítico para el procedimiento de disparo con StimGun.

13, 3-. ANALISIS DE EFECTIVIDAD DEL STIMGUN EN LOS POZOS SELECCIONADOS

La efectividad de una operación de disparo esta principalmente relacionada al radio de penetración del disparo, el cual tiene que ser mayor al radio de daño de formación producido por invasión del pozo. Es decir que la penetración que sobrepasa la zona de daño incrementa la productividad (PR). Por otro lado este criterio se puede complementar al tomar en consideración que la limpieza de los disparos es un factor importante que interviene en dicha efectividad.

**TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE**

Por tanto el método de STIMGUN al fusionar alta penetración y limpieza de disparo (propelente), presenta mayor posibilidad de obtener efectividad en los disparos. Para lo cual se puede comparar los radios de invasión (r_s) y la penetración del disparo (P) en los pozos seleccionados como objetivo de estudio. Y se indica en las siguientes tablas:

TABLA (13, 7)-. PENETRACIÓN DE LOS POZOS DISPARADOS CON STIMGUN.

POZO	ARENA	DIAMETRO (Pig)	TIPO CARGA	Dpp	Penetración Total En la Formación (Pig)	Penetración Promedio En la Formación (Pig)	Diámetro Promedio De Orificio (Pig)
SACHA 214D	Hi	4 5/8	MILLENIUM	5	42.70	29.81	0.35
		4 5/8	DOMINATOR	5	51.70	35.20	0.42
		4 5/8	RDX DP	5	35.20	26.31	0.32
SACHA 228D	Hi	4 5/8	MILLENIUM	5	42.70	29.81	0.35
		4 5/8	DOMINATOR	5	22.00	35.20	0.42
		4 5/8	RDX DP	5	35.20	26.31	0.32
CUYABEDO 28D	Ui	4 5/8	MILLENIUM	5	43.20	29.91	0.35
		4 5/8	DOMINATOR	5	51.70	36.00	0.42
		4 5/8	RDX DP	5	38.00	26.40	0.32

TABLA (13, 8)

POZO	ARENA	DIAMETRO (Pig)	TIPO DE CARGA	Dpp	PENETRACIÓN TOTAL EN LA FORMACIÓN (Pig)	PENETRACIÓN PROMEDIO EN LA FORMACIÓN (Pig)	DIAMETRO PROMEDIO DE ORIFICIO (Pig)
VHR 22	BASAL TENA	4 5/8	MILLENIUM	5	52.30	32.20	0.37
		4 5/8	DOMINATOR	5	61.20	36.50	0.45
		4 5/8	RDX DP	5	31.20	27.10	0.33
AUCA 70 D	NAPO TI	4 5/8	MILLENIUM	5	53.20	31.87	0.37
		4 5/8	DOMINATOR	5	62.20	36.60	0.44
		4 5/8	RDX DP	5	43.40	26.40	0.32

Partiendo de la simulación y utilizado varias opciones de carga, se observa que se obtiene mejores resultados con las cargas MILLENIEUM, debido a que la penetración de la carga es la suficiente para sobrepasar el radio de invasión.

**TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE**

En cambio, las cargas DOMINATOR, son una buena opción, pero no se encuentran aún normalizadas dentro de las cartas 19 API, pero se conoce que tiene una eficiencia 21% mayor a la carga MILLENIUM. Por tanto para complementar el uso de propelente, con una penetración de 53.2 pulgadas de la carga Millenium, otorga mayor eficiencia.

Por medio del sensor FastGauge acoplado a la barra de disparo, se obtiene las presiones de yacimiento (Pr), presión de fondo fluyente (Pwf), permeabilidad (K), daño de formación (S), índice de productividad e investigar sobre la existencia de límites, con la arena “Hollín inferior, Napo U inferior, Basal Tena y Napo T inferior” y sus relaciones de afluencia del sistema Yacimiento –Pozo.

De los resultados de los pozos disparados con la técnica STIMGUN y se puede realizar el análisis en cada pozo, a partir de la penetración alcanzada durante el disparo y el incremento porcentual que se produce en la productividad (manteniéndose los parámetros empleados y generados por el pozo); además se considera la referencia una penetración de 26.31 pulgadas, que se pudo haber alcanzado si se utilizaba otro tipo de carga. Por tanto se detallan los resultados obtenidos y observaciones para cada pozo a continuación en la tabla siguiente (13, 9).

TABLA (13,9)-. ESULTADOS

		SACHA 214D	SACHA 228D	CUYABENO 28D	CUYABENO 28D		VHR 22	AUCA 70D
FASTGAUGE		SI	NO	NO	SI		SI	SI
St estimado	S T I M G U N	5.7	1.19	>20	9	S U R G E P R O	5	4.2
St obtenido		3.79	-3.20	<20	-2.9		0.275	-0.839
IP estimado		1.86	0.64	20.6	10.15		0.2	0.65
IP actual		4.84	1.12	5.37	10.15		0.286	0.71
Ko		310	340	2630	785		358	269
POR		0.16	0.15	0.18	0.18		0.15	0.15
PR estimado		0.4	0.76	0.15	0.4		0.5	0.55
PR obtenido		1.395	2.82	0.20	2.4		0.94	1.19

 **INDICE DE PRODUCTIVIDAD**
 **PR OBTENIDO**

ANÁLISIS DE COSTOS - BENEFICIOS

El análisis de Costo-Beneficio tiene como objetivo fundamental proporcionar una medida de la rentabilidad de este proyecto, mediante la comparación de los costos previstos con los beneficios esperados en la realización del mismo.

Por cuanto al realizar la comparación del proceso TPC convencional, STIMGUN Y SurgePro; se puede definir la factibilidad de las alternativas planteadas. Partiendo del análisis técnico y en base a la simulación de los tres procesos y a la técnica que realmente se ejecutó, teniendo en cuenta que en todos los casos se utilizó Vann Gun de 5 5/8" y carga Millenium RMX, debido a que este explosivo es de alta penetración.

El objetivo de análisis es determinar el incremento porcentual de producción tomando en cuenta factores como:

1. Producción promedio estimada que se obtuvo a partir de la simulación.
2. Producción promedio obtenida luego de la ejecución de StimGun y con la data obtenida por el sensor FastGauge.
3. Precio promedio de barril, debido a que los trabajos se realizaron entre los meses de Marzo a Julio del 2009, se considera un precio referencial de acuerdo a la fecha en que se ejecuto el trabajo, cuyo valor es de \$52.
4. La diferencia entre la producción que se obtiene con la aplicación de StimGun y la producción obtenida con la simulación es lo que relativamente se considera la GANANCIA.
5. Diferencia de Costos entre procesos.
6. Costo del proceso, el cual se encuentra detallado individualmente.
7. Beneficio Económico, el cual se obtiene de la diferencia entre la ganancia y la diferencia de costos.
8. Por último el incremento porcentual, lo cual es de interés para determinar si resulta factible de StimGun.

A continuación se presenta una tabla comparativa resumida, en el cual se muestra el nombre de los pozos, el tipo de proceso, penetración de carga (Millenium), reducción del factor de daño, relación de productividad (PR), producción de fluido total (Qt), la tasa de producción de petróleo (Qo), el incremento de tasa (ΔQ), y el incremento porcentual.

**TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE**

COMPARACIÓN DE COSTOS-BENEFICIOS ENTRE STIMGUN Y TPC CONVENCIONAL															
POZO	TIPO DE PROCESO	P (Pig)	SKIN	PR	IP	Qt (bfpd)	Qo (bop d)	ΔQ (bopd)	PRECIO REFERENCIAL DE CRUDO (\$)	GANACIA	COSTO DIFERENCIALES		BENE. ECON.	INC. %	
											(\$) DE COSTOS				
SACH A 214 D	TPC CONVENC.	26,31	5,7	0,4	1,86	599	593	908	52	47216	20592.5	22519	24697	50.4	
	STIMGUN	29,81	3,8	1,396	4,84	1506	1501				43111.5				
SACH A 228D	TPC CONVENC.	26,31	1,2	0,76	0,64	256	254	464	52	24128	20592.5	22519	1609	6.6	
	STIMGUN	29,81	-3,2	2,82	1,12	720	718				43111.5				
CUVA BENO	TPC CONVENC.	26,4	9	0,4	6,3	1190,7	1184,2	969,8	52	50429,6	20592.5	22519	27910,6	55,3	
	STIMGUN	29,92	-2,9	2,4	10,25	2160	2154				43111,5				
COMPARACIÓN DE COSTO-BENEFICIO ENTRE STIMGUN Y SURGE PRO															
VHR22	STIMGUN		27,1	2	0,63	0,25	218,5	196,5	333,4	52	17336,8	43111,5	3646,5	13690,3	67,42
	SURGEPRO		32,2	0,3	0,94	0,3	1104	529,9				46758			
AUCA 22	STIMGUN		28,3	2,2	0,82	0,55	541,75	519,7	107,9	52	5610,8	43111,5	3646,5	1964,3	35
	SURGEPRO		31,87	-0,8		0,7	528	411,8				46758			

CONCLUSIONES

1. El éxito de un disparo no solo radica en alcanzar la mayor profundidad de los disparos, sino en la limpieza del túnel de las perforaciones, por lo tanto el STIMGUN es una solución adecuada, porque con el propelente se da lugar a microfisuras que mejoran notablemente la conectividad y por ende la profundidad o inyectabilidad del pozo.
2. El factor de daño (SKIN) es un parámetro importante para poder definir la eficiencia del disparo, por lo tanto se puede afirmar que el daño ocasionado por la perforación del pozo, cementación y por el mismo disparo reduce la permeabilidad alrededor de las paredes del pozo de un 40% a 100% por lo tanto con la acertada aplicación del proceso STIMGUN reduce ese daño en aproximadamente en un 50%, reflejándose directamente en el incremento del índice de productividad.
3. Por otro lado en roca dura o con alta comprensibilidad se puede esperar una penetración de aproximadamente 40% de la data. API publicada y muchas veces la penetración es todavía menor pero con mejores resultados de productividad debido a la limpieza de las perforaciones.
4. La fusión del STIMGUN Bajo balance con cargas de alta penetración permiten realizar un disparo eficiente y esto se refleja en el incremento del índice de productividad que es hasta 30%.

5. En lugar de la barra detonadora se aplicó el sensor FASTGAUGE, el cual registra los eventos más significativos del perfil de presiones; presentados evidencia muy clara de la presión del yacimiento al momento de disparar, perfilaje del modelo de presión al consumir el propelente en la técnica STIMGUN, facilitando posteriores interpretaciones del Drawdown.
6. La ejecución de un trabajo de disparo mediante la técnica de STIMGUN bajo balance es aproximadamente dos veces más costoso que haberlo efectuado con un sistema TPC convencional, sin embargo el incremento porcentual de las ganancias son hasta un 60% bajo similares parámetros de operaciones requeridos.
7. En el pozo SACHA 214D, el valor de la Eficiencia de Productividad en función de la penetración que se consiguió con carga MILLENIUN en el pozo es mayor en un 0.4% a la otra opción propuesta con carga RDX DP, pero a la vez esta última es menor en un 0.6% con respecto a las Dominator. La penetración alcanzada y con una reducción de daño del 1.91% aplicando STIMGUN con carga Milleniun.
8. En el pozo SACHA 228D, el valor de la Eficiencia de Productividad de acuerdo a la penetración que se alcanzó una carga MILLENIUN es un 0.3% mayor que si se hubiera aplicado RDX DP (que también son cargas de penetración profunda), y de igual manera, ésta última con respecto las Dominator tiene una eficiencia de 0.56% menos. La Relación de Productividad es 2.82 para la penetración alcanzada con 4.2% en la reducción del factor de daño utilizado el proceso de STIMGUN con carga Milleniun.
9. En el pozo CUYABENO 28D, el valor de la Eficiencia de Producción para la penetración que se alcanzó Milleniun en este pozo es mayor en un 0.36% a la otra opción propuesta y a su vez es 0.55% menor a lo que produciría una carga Dominator. LA Relación de Productividad es de 2.4 para la penetración alcanzada. Con la aplicación de STIMGUN y carga Milleniun se logra una reducción de casi 10% en el factor de daño.
10. A partir de los valores de daño de formaciones total St (ideal o real) de los pozos seleccionados, se puede establecer un análisis cualitativo de la eficiencia de la técnica de disparo, el STIMGUN. Ya que partiendo de la simulación con Perfpro se obtiene valores estimados de St usando un sistema de disparo convencional TPC con cargas de alta penetración, con lo cual se obtiene valores positivos y mayores a 1.

13, 4-. (WIRELINE), SISTEMA TPC (TUBING CONVEYED PERFORATING) BAJO-BALANCE y SISTEMA PURE (PERFORATING FOR ULTIMATE RESERVOIR EXPLOITATION).

La correcta selección del sistema de disparos es importante relevantemente ya que de esto dependerá la productividad del pozo y la disminución de intervenciones adicionales. Por tal motivo los disparos de pozos de petróleo o gas, deben diseñar de modo que se minimice las fracturas reparaciones y se alargue al máximo la vida útil del pozo.

En la actualidad, la tecnología en la construcción de cargas y sistema de disparos ha evolucionado rápidamente, y es posible encontrar en el mercado un gran número de opciones y proveedores, como son: Disparo Convencional.

La optimización de la producción demanda diseños cuidadosos, para obtener disparos conductores limpios. Un diseño óptimo se refiere a la elección del mejor y más eficiente sistema de disparos, cargas, pistolas, fase, diámetro de los orificios, densidad de disparo, y asimismo la determinación del sistema de fluido de control y Producción que asegure una buena relación de productividad, aun después de que un porcentaje de los disparos se taponen a media que produce el pozo.

Se analizara la técnica y económicamente los sistemas de Disparos con sus respectivos parámetros de operaciones empleados en Petroproducción, y llega a establecer diferentes en los resultados de Relaciones de Productividades y daño de formación que permiten dirimir entre la técnicas en estudio.

En este parte del tema, se presentan los procedimientos seguidos, cálculos, conclusiones y recomendaciones con un carácter de ingeniería.

METODOLOGÍA

Los principales parámetros de los disparos bajo los cuales fueron operadas las técnicas de disparo se les evaluaron con otros parámetros (mayor penetración), con el propósito de encontrar diferencias en la efectividad entre una y otra. Para lograrlo se seleccionaron doce pozos del campo Sacha, correspondientes en igual número a los Sistemas Convencionales, TPC Bajo-balance y PURE, haciéndoles análisis de penetración, razón de productividad y daño total de formación. Todo esto mediante el empleo de Software SPAN (Schlumberger Perforating Análisis) y la aplicación de productividad de un pozo, propuesto por James E. Brooks; Dichos pozos seleccionados se tabulan a continuación:

**TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE**

CAMPO	POZO	INTERVALO	DIAMETRO DE LA PISTOLA	DPP	ARENA
SACHA	121	9548-9565'	5"	4	NAPO "U"
		9770'-9786'	5"	4	NAPO'T'
SACHA	127	9829'-9865'	5"	4	H sup.
		9882'-9884'	5"	4	H inf.
		9888'-9896'			
SACHA	132	9416'-9460'	4 1/2"	4	NAPO "U"
SACHA	134	9425'-9444'	4 1/2"	4	NAPO "U"
		9652'-9662'	5"	8	NAPO'T'
		9670'-9684'			
		9833'-9839'	4 1/2"	8	H sup.
		9846'-9856'			

TABLA (13,10)-. POZOS DISPARADOS CON WIRELINE

CAMPO	POZO	INTERVALO	DIAMETRO DE LA PISTOLA	DPP	ARENA
SACHA	154D	10150'-10160'	4 1/2"	5	Hi
SACHA	159	8700'-8708'	4 5/8"	5	BT
		9420'-9456'	4 5/8"	5	Vi
		9810'-9836'	4 5/8"	5	Hs
SACHA	161	9856'-9876'	4 5/8"	5	Hs
		9880'-9888'			
		9912'-9923'	4 5/8"	5	Hi
	162	9494'-9478'	4 5/8"	5	Vi
		9872'-9888'	4 5/8"	5	Hs

**TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE**

SACHA		9899'-9904'			
		9942'-9928'	4 5/8"	5	Hi

TABLA (13, 11)-. POZOS DISPARADOS CON TPC BAJO-BALANCE

CAMPO	POZO	INTERVALO	DIAMETRO DEL DISPARO	DPP	ARENA
SACHA	42	8631'-8643'	4 1/2"	5	BT
SACHA	186D	9408'-9456'	4 1/2"	5	Vi
		9834'-9856'	4 1/2"	5	Hs
		9863'-9880'	4 1/2"	5	Hi
SACHA	189	9464'-9490	4 1/2"	5	Vi
		9880'-9886'	4 1/2"	5	Hs
		9896'-9904'	4 1/2"	5	Hi
SACHA	191	9816'-9832'	4 1/2"	5	Hs
		9847'-9856'	4"	5	Hi

TABLA (13, 12)-. POZOS DISPARADOS CON PURE

13,2-.ANÁLISIS TÉCNICOS

Este Método Simple para la estimación de la productividad de un pozo fue propuesto por James E. Brooks.

Este método se basa en un análisis adimensional, en el cual se asume que las variables dominantes en la determinación de la productividad son: longitud de la penetración (P), densidad de disparos (N), diámetro de túnel de perforación (d), anisotropía o tasa de permeabilidad horizontal para permeabilidad vertical de la formación (α), diámetro del pozo (D), longitud de la zona dañada (L), y daño causado por la perforación del jet (bc). Se asume también que no hay diferencia apreciable en productividad causada por la fase de la pistola. Tanto que las perforaciones son distribuidas a lo largo un patrón espiral.

Debido a la normalización de datos se generan resultados similares para los casos pozo con daño y sin daño, por lo cual no se tiene problemas en cuanto a las incertidumbres que ocasionan la obtención de ciertos parámetros.

Pero primeramente se debe tener en cuenta las siguientes definiciones:

Razón de productividad (PR): Es la razón del flujo actual a través de las perforaciones, Q, para la del flujo, QD, en un agujero abierto teniendo un diámetro igual al del pozo, D.

Eficiencia de productividad o productividad normalizada (PR/PR): La cual tiene valores entre 0 y 1 (cero a 100% de eficiencia, respectivamente), dependiendo de los parámetros de perforación y formación en particular.

Razón de productividad máxima (PR[∞]): se define como la productividad basada en un flujo, Q, en el pozo de una pistola idealizado teniendo penetración P, y una densidad de disparos infinita (N → ∞).

$$PR^{\infty} = \frac{Q^{\infty}}{QD} = \frac{\ln\left(\frac{Df}{D}\right)}{\ln\left[\frac{Df}{D+2P}\right]} \dots\dots\dots (Ec.1)$$

Es de gran importancia que se hay aclarado estas definiciones ya que este estudio se usará esta razón de productividad normalizada para calcular la eficiencia de los disparos de perforación.

El firme agrupamiento de los 270 datos en el estudio de James E. Brooks dieron soporte a su contexto de que esta forma de normalización de parámetros pueden ser tratados como una sola variable dependiente en la determinación de la eficiencia de productividad. Donde β_o es dicha variable, la cual es el producto de los parámetros adimensionales y esta dado por la siguiente ecuación.

$$\beta_o = PN^{3/2} d^{1/2} \alpha^{-5/8} \dots\dots\dots (Ec.2)$$

Un buen ajuste para la curva obtenida por la normalización de los parámetros de la pistola puede ser aproximado por la ecuación:

$$\frac{PR}{PR^{\infty}} = 0.97 \left[1 - \exp - \left(\frac{\beta_o}{4.4} \right)^{0.38} \right] \dots\dots\dots (Ec.3)$$

Debido a la forma de ecuación escogida los valores mayores de β_o tienden a un valor asintótico que es un poco menor al valor ideal de 1, esto se debe a las asunciones de método; mientras más cerca se esté de este valor mayor será la productividad del pozo. Y en todas las situaciones, el sistema de pistola con mayor PR dará las mejores tasas de flujo.

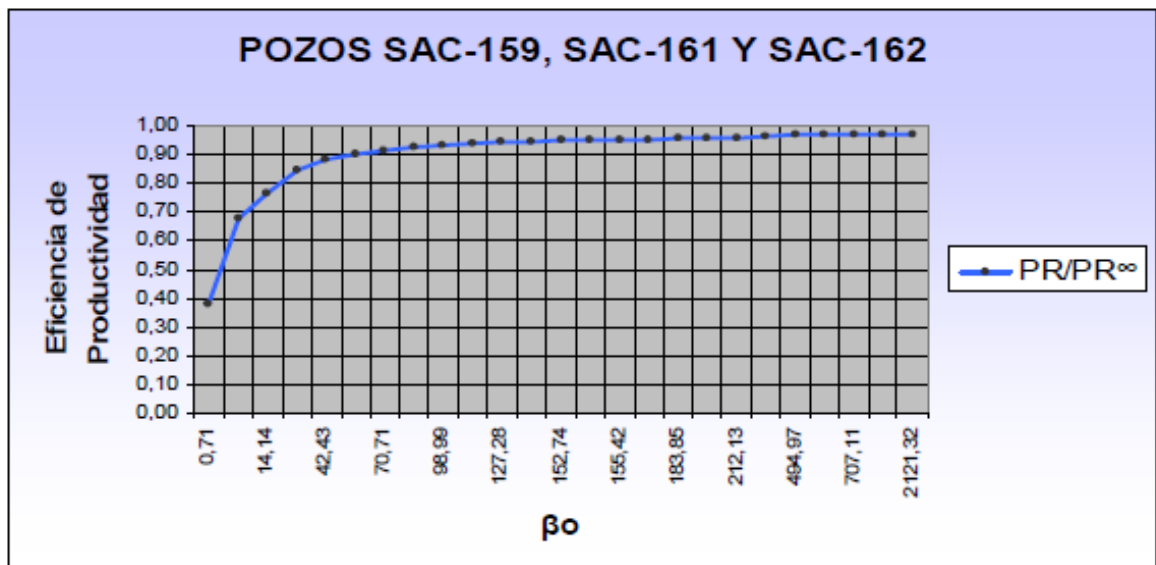
El procedimiento a seguir en este tipo de análisis técnico para nuestro estudio es el siguiente:

1-. A partir de los parámetros de disparo que se tuvieron en la perforación de β_o cada pozo con su respectiva técnica, se calcularán los valores de para diferentes longitudes de penetración empleando la ecuación 2. (Se asume anisotropía igual 1).

2-. Luego con los valores de ya calculados, se construirá la curva PR/PR ∞ para cada pozo, usando la ecuación 3.

3-. Finalmente los valores de PR/PR ∞ correspondientes a la penetración alcanzada durante el disparo para cada pozo y a la penetración máxima que se tiene actualmente en el mercado (otra opción), se las multiplica por el valor de PR ∞ del mismo pozo calculado a partir de la ecuación 1, obteniendo de esta manera sus valores de razón de productividad, PR.

A continuación se muestra los datos y la curva obtenida para los pozos Sacha 159, 161, 162.



GRAFICA (13,13)-. DE LA PR/PR ∞ PARA LOS POZOS SACHA-161 Y SACHA 162.

TABLA (13,14)-. VALORES DE PR/PR_{∞} PARA LOS POZOS SACHA-159, SACHA-161 Y SACHA-162.

POZOS SACHA-159, SACHA-161 Y SACHA-162.						
P (PULGADAS)	N (DISP/PIES)	D (PULGADAS)	α	β_0	PR/PR_{∞}	
0.1	5	0.4	1	0.707	0.381	
1	5	0.4	1	7.071	0.677	
2	5	0.4	1	14.142	0.766	
4	5	0.4	1	28.284	0.842	
6	5	0.4	1	42.425	0.879	
8	5	0.4	1	56.669	0.901	
10	5	0.4	1	70.711	0.915	
12	5	0.4	1	84.853	0.925	
14	5	0.4	1	98.995	0.933	
16	5	0.4	1	113.137	0.939	
18	5	0.4	1	127.279	0.943	
20	5	0.4	1	141.421	0.947	
SAC-159	21.6	5	0.4	1	152.735	0.949
SAC-161	21.96	5	0.4	1	155.281	0.950
SAC-162	21.98	5	0.4	1	155.422	0.950
24	5	0.4	1	169.706	0.952	
26	5	0.4	1	183.848	0.954	
28	5	0.4	1	197.990	0.956	
30	5	0.4	1	212.132	0.958	
50	5	0.4	1	353.553	0.965	
70	5	0.4	1	494.975	0.968	
90	5	0.4	1	636.396	0.969	
100	5	0.4	1	707.107	0.969	
200	5	0.4	1	1414.214	0.970	
300	5	0.4		2121.320	0.970	

**TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE**

Una vez seguido el procedimiento detallado anteriormente para todos los pozos seleccionados, los resultados de las razones de productividad para cada pozo son los siguientes:

TABLA (13,15)-. VALORES DE PR PARA LOS POZOS DISPARADOS CON WIRELINE.

WIRELINE							
POZOS	re (pies)	Df (pies)	D (pulg)	P	PR[∞]	PR/PR[∞]	PR
121	786.67	1573.34	9.84	12.1	1.324	0.901	1.193
	786.67	1573.34	9.84	26	1.568	0.941	1.475
127	851.37	1702.74	9.84	15.87	1.388	0.929	1.290
	851.37	1702.74	9.84	26	1.554	0.949	1.475
132	946.52	1893.04	9.84	15.47	1.370	0.926	1.269
	964.52	1893.04	9.84	26	1.537	0.948	1.457
134	888.56	1777.12	9.84	15.54	1.378	0.927	1.277
	888.56	1777.12	9.84	26	1.547	0.948	1.467

TABLA (13, 16)-. VALORES DE PR PARA LOS POZOS DISPARADOS CON TPC- BAJO- BALANCE.

TPC BAJO -BALANCE							
POZOS	re (pies)	Df (pies)	D (pulg)	P	PR[∞]	PR/PR[∞]	PR
154D	888.56	1777.12	6.96	26.46	1.635	0.955	1.561
	888.56	1777.12	6.96	26	1.627	0.955	1.554
159	813.64	1627.28	6.96	21.96	1.574	0.950	1.495
	813.64	1627.28	6.96	26	1.644	0.954	1.568
161	882.54	1765.08	6.96	21.6	1.555	0.949	1.475
	838.54	1765.08	6.96	26	1.629	0.954	1.554
162	883.54	1765.08	6.96	21.98	1.570	0.950	1.491
	838.25	1676.5	6.96	26	1.638	0.954	1.563

TABLA (13,17)-.VALORES DE PR PARA LOS POZOS DISPARADOS CON PURE.

PURE							
POZOS	re (pies)	Df (pies)	D (pulg)	P	PR [∞]	PR/PR [∞]	PR
42	935.04	1870.08	6.96	23.61	1.579	0.953	1.505
	935.04	1870.08	6.96	26	1.618	0.956	1.547
186	888.56	1777.12	6.96	19.61	1.518	0.949	1.441
	888.56	1777.12	6.96	26	1.627	0.956	1.556
189	888.56	1777.12	6.96	21.81	1.557	0.952	1.483
	888.56	1777.12	6.96	26	1.627	0.956	1.556
191	888.56	1777.12	6.96	21.36	1.549	0.951	1.474
	888.56	1777.12	6.96	26	1.627	0.956	1.556

Con los datos obtenidos se puede observar que los pozos disparados con TPC Bajo-balance y PURE presentan resultados más satisfactorio en productividad que la técnica de Wireline, debido a que el valor de Eficiencia de Productividad en estas dos técnicas se acercan mucho más al valor asintótico de 0.97, quedando a tan solo 1.9% y para la técnica Wireline éste valor se establece a un 4.925 del valor asintótico.

Esa diferencia porcentual entre las Eficiencias de Productividades entre Wireline y las otras dos técnicas que no exceden 3%, es suficiente para que se establezca que si se hubiese llegado a una penetración de 26 pulg., se hubiese obtenido un incremento de producción en estos pozos de cerca del 15%, mientras que en las otras dos técnicas esta aumento en la producción en los pozos hubiese llegado tan solo 5%.

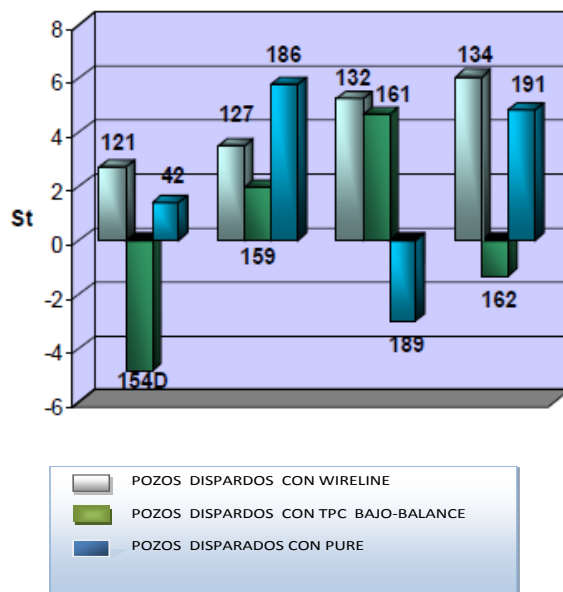
La diferencia entre Wireline y las otras dos técnicas es notoria, pero se observa también que entre TPC y PURE no se generan resultados en el análisis técnico que permitirán dirimir entre un sistema y otro.

Si bien es cierto que la asunción de anisotropía igual a 1 sobreestima el flujo en estas situaciones: para los valores de anisotropías 5 y 10 la tendencia entre las diferencias de Eficiencias de Productividades se mantiene entre los Sistemas de Disparo, aunque como es de esperar de PR menores.

ANALISIS A PARTIR DEL DAÑO TOTAL ENCONTRADO LUEGO DEL DISPARO

Para una mejor visualización de los valores correspondientes a los daños totales de los pozos seleccionados, se muestran a continuación en el siguiente grafico en la que se destaca la técnica con la cual fueron disparados.

GRAFICA (13,18).-COMPARACION DEL DAÑO TOTAL ENTRE LOS POZOS SELECCIONADOS



A partir de los valores de St de los pozos se puede establecer un análisis cualitativo de la eficiencia de las técnicas de disparo, debido a que se puede observar claramente que los pozos que fueron disparados con Wireline presentan valores de daño siempre positivos y algo elevados, mientras que los pozos disparados con TPC Bajo-balance y PURE alternan valores positivos y negativos, muy similares, los cuales redundarán en una mayor producción en los pozos disparados con estos dos métodos.

Esto se debe a que como se mencionó anteriormente con Wireline no tenemos la limpieza de las perforaciones que se puede obtener con TPC Bajo-balance y con PURE, por el hecho que primero no limpiemos la zona compactada, luego después de realizado el disparo, los fluidos de control entran a la formación y si esos fluidos no son compatibles, se puede crear un daño de formación adicional.

La calificación de cualitativo de este análisis se lo dan las diferentes incertidumbres que se manejan al no poder estimar claramente los diferentes tipos de daños.

ANALISIS ECONÓMICO

Diseña la satisfacción de necesidades económicas y lograr operaciones competitivas en organizaciones de los sectores privados y públicos dependen del balance prudente entre lo que es técnicamente posible y lo que es

aceptable económicamente. Sin embargo, no hay un método abreviado para alcanzar este balance entre factibilidad técnica y la económica. De esta manera, los métodos del análisis económico deben utilizarse para proporcionar resultados que ayuden a conseguir un balance aceptable.

DETALLES DE LOS COSTOS DE OPERACIÓN REFERIDOS A CADA MÉTODO.

A continuación se presentara los costos aproximados de los tres métodos de disparos en análisis, que son: Wireline Convencional, TPC Bajo-balance y TPC PURE.

TABLA (13,19)-. COSTOS PROMEDIO DISPARADO CON WIRELINE

COSTOS PROMEDIO DE DISPARADO CON WIRELINE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
CAMIÓN SRANDARD	km	110	\$3.00	330
CARGO BÁSICO	UND	1	\$2303.50	2303.5
EQUIPO DE PRESIÓN POR INSTALACIÓN	UND	1	\$243.90	243.9
EQUIPO DE PRESIÓN POR BAJADA	CORRIDA	1	\$135.50	135.5
4 5/8" 5 ddp DISPARO PROFUNDIDAD	ft	9000	\$0.62	5580
4 5/8" 5 ddp DISPARO INTERVALO	ft	30	\$301.60	9048
TOTAL				\$17640.9

TABLA (13,18)-COSTOS PROMEDIO DE DISPARO CON TPC BAJO BALANCE

COSTOS PROMEDIO DE DISPARO CON TPC BAJO BALANCE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TOOLS TRANSPORTATION	km	110	\$3.50	385
ENGINEER TRANSPORTATION	km	110	\$2.00	220
SERVICIO POWER JET	Ft	30	\$815	24450
POSITRIEVE 7 INC O MENOR PRIMERAS 8 HRS	UND	1	\$1200	1200
PROSITRIEVE 7 INC O MENOR 8 HRS ADICIONALES	UND	1	\$250	2500
ESPACIADOR	Ft	0	\$240	0
CABEZA DE DISPARO	UND	1	\$5000	5000
BARRA PARA DETONACIÓN MECÁNICA	UND	1	\$1000	1000
VÁVULA DE AISLAMIENTO DE TUBERÍA	UND	1	\$1000	1000
MARCA RADIATIVA	UND	1	\$300	300
VALVULA DE PRODUCCIÓN	UND	1	\$600	600
ESPECIALISTA TCP	DIAS	2	\$850	1700
TOTAL				36105

TABLA (13,19)-. COSTOS PROMEDIO DE DISPARO CON PURE

COSTOS PROMEDIO DE DISPARO CON PURE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
TOOLS TRANSPORTATION	km	110	\$3.50	385
ENGINEER TRANSPORTATION	Km	110	\$2.00	220
SERVICIO POWER JET	Ft	30	\$815	24450
POSTITRIEVE 7 INC O MENOR PRIMERAS 8 HRS	UND	1	\$1200	1200
POSTRIEVE 7 INC O MENOR 8 HRS ADICIONALES	UND	1	\$250	250
ESPACIADOR	Ft	0	\$240	0
CABEZA DE DISPARO	UND	1	\$5000	5000
BARRA PARA DETONACIÓN MECÁNICA	UND	1	\$1000	1000
VÁLVULA DE AISLAMIENTO DE TUBERÍA	UND	1	\$1000	1000
MARCA RADIATIVA	UND	1	\$300	300
VÁLVULA DE PRODUCCIÓN	UND	1	\$600	600
ESPECIALISTA TPC	DIAS	2	\$850	1700
SERVICIO DE DE DISPARO PURE	Ft	30	\$1222.50	36675
TOTAL				72780

Los valores que se encuentran sombreados de otros colores son los costos variables de cada método y los valores restantes, son costos fijos.

Cabe recalcar que está sin incluir el valor de registro por correlación de profundidad CCL para el caso de Wireline Convencional, y el registro de correlación de rayos Gamma para los casos TPC Bajo-Balance y PURE.

Un valor que se debería considerar es el costo extra por tratamiento de operación de bordea los \$20,000 para el caso especial de Wireline convencional, ya que como se ha mencionado anteriormente se dispara en condiciones de sobre balance.

Partiendo del hecho de que los valores totales mostrados en la tabla de costos referidos a cada método fueron realizaos bajo similares condiciones, tales como: el mismo tipo y diámetro de la pistola, igual densidad de disparos (DPP)

y la misma profundidad e intervalos a disparar; podemos realizar la siguiente comparación:

Realizar un trabajo de disparo mediante la técnica de TPC Bajo Balance es aproximadamente 2 veces más costoso que haberlo efectuado con la técnica Wireline Convencional, sin embargo es 2 veces más económico que la técnica TPC Pure.

Además se puede concluir que efectuar un trabajo de disparo con la técnica TPC Pure es aproximadamente 4 veces más costoso que la técnica Wireline Convencional.

ANÁLISIS ECONÓMICO A PARTIR DE UN MÉTODO SIMPLE PARA LA ESTIMULACION DE LA PRODUCTIVIDAD

A partir del análisis técnico, podemos realizar el respectivo análisis económico teniendo como base la simulación en la profundidad de penetración para cada pozo con un tipo de carga diferente en comparación con la carga que se utilizó. En la mayoría de los casos, se tomó como punto de comparación de carga Power Jet Omega 4505 HMX, ya que es la carga que en la actualidad alcanza una mayor penetración.

El objetivo del análisis económico es determinar la tasa de producción que se obtendría si se hubiese realizado el trabajo de disparo con una carga de mayor penetración que en este caso sería la Power Jet Omega 4505 HMX. Una vez conocido este valor se puede comparar ambas tasas de producción, calcular el diferencial entre ellas y por consiguiente se puede obtener las ganancias diarias correspondientes.

A continuación se presentara las tabla (13,20) , tabla (13, 21) y tabla (13, 22), el resumen por cada método, en la cual se muestra el número de pozos, los dos tipos de cargas utilizadas en la simulación, la penetración que alcanzan cada una de las cargas, la relación de productividad (PR) correspondiente, la tasa promedio (Qpr), la tasa que se obtendría a hueco abierto (Qd), el incremento de tasas (ΔQ), incremento porcentual, y las ganancias que se obtendrían si se hubiera elegido la carga con mayor penetración.

TÉCNICAS DE DISPAROS PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN EN LA CONDICIÓN DE OPERACIÓN
BAJO BALANCE

TABLA (13,20)-. INCREMENTO PORCENTUAL EN PRODUCCIÓN EN LOS POZOS DISPARADOS CON WIRELINE MEDIANTE EL EMPLEO DE CARGAS DE ALTA PENETRACIÓN

WIRELINE								
POZOS	TIPOS DE CARGAS	P (PULGADAS)	PR	Qpr (BPPD)	Q (BPPD)	Q (BPPD)	GANANCIA (\$)	INCRMENTO PORCENTUAL
121	37J RDX	12.1	1.193	1109	929.59	228.45	9138.00	20.60
	PJ OMEGA 4505 HMX	23.83	1.438	1337.45				
127	51B HJ II RDX	15.87	1.290	495	383.72	58.59	2343.60	11.84
	PJ OMEGA 4505 HMX	24.06	1.442	553.59				
132	51B HJ II RDX	15.47	1.269	357	281.32	38.92	1556.80	10.90
	PJ OMEGA 4505 HMX	22.88	1.407	395.92				
134	51B HJ II RDX	15.54	1.277	531	415.82	58.32	2332.80	10.98
	PJ OMEGA 4505 HMX	23	1.418	589.32				

TABLA (13,21)-. INCREMENTO PORCENTUAL EN PRODUCCIÓN EN LOS POZOS DISPARADOS CON TPC BAJO-BALANCE MEDIANTE EL EMPLEO DE CARGAS DE ALTA PENETRACIÓN

TPC BAJO BALANCE								
POZOS	TIPOS DE CARGAS	P (PULGADAS)	PR	Qpr (BPPD)	Q (BPPD)	Q (BPPD)	GANANCIA (\$)	INCRMENTO PORCENTUAL
154D	PJ OMEGA HMX	26.460	1.561	1290	826.28	-61.31	-2452.40	-4.75
	PJ 4505 HMX	22.18	1.487	1228.69				
159	51J UJ HMX	21.96	1.495	348	232.72	17.29	691.60	4.97
	P J OMEGA 4505 HMX	26.08	1.570	365.29				
161	51J UJ HMX	21.6	1.475	879	595.78	43.60	1744.00	4.96
	PJ OMEGA 4505 HMX	21.98	1.491	922.6				
162	51J UJ HMX	21.98	1.491	341	228.70	17.21	688.40	5.05
	PJ OMEGA 4505 HMX	26.11	1.566	358.21				

TABLA (13, 22)-. INCREMENTO PORCENTUAL EN PRODUCCIÓN EN LOS POZOS DISPARADOS CON PURE MEDIANTE EL EMPLEO DE CARGAS DE ALTA PENETRACIÓN

TPC PURE								
POZOS	TIPOS DE CARGAS	P (PULGADAS)	PR	Qpr (BPPD)	Q (BPPD)	Q (BPPD)	GANANCIA (\$)	INCRMENTO PORCENTUAL
42	PJ OMEGA 4505 HMX	23.610	1.505	227	150.81	-6.93	-277.20	-3.05
	PJ 4505 HMX	21.03	1.459	220.07				
186	PJ 4505 HMX	19.610	1.441	207	143.65	10.27	410.80	4.96
	PJ OMEGA 4505 HMX	23.46	1.512	217.27				
189	PJ 4505 HMX	21.810	1.483	296	199.66	14.93	597.20	5.04
	PJ OMEGA 4505 HMX	26.1	1.557	310.93				
191	PJ 4505 HMX	21.360	1.474	497	337.29	25.43	1017.20	5.12
	PJ OMEGA 4505 HMX	25.56	1.549	522.43				

En el análisis técnico previo, se obtuvieron los valores de relación de productividad (PR) para cada una de las cargas. Conocidos estos valores, se puede obtener la tasa promedio que se lograría si se hubiese elegido la carga que alcance una mayor penetración.

Encontrada la tasa promedio, se puede calcular el incremento de tasa, y por ende las ganancias.

De acuerdo con los valores de incremento porcentual obtenidos para cada pozo, se puede concluir que es muy conveniente utilizar cargas de alta penetración, ya que a pesar de que son más costosas que las otras, se obtienen grandes ganancias con lo que se puede recuperar la inversión en muy poco tiempo.

Los costos de las cargas Power Jet Omega 4505 y Power Jet 4505 son \$2249 y \$815 por pie respe

Activamente. Por ejemplo si queremos conocer en qué tiempo recuperamos la inversión realizada para el caso del pozo Sacha 186, observamos las ganancias diarias que se obtienen y la inversión adicional realizada. Para este caso la inversión se puede recuperar aproximadamente en 3.5 días. A partir del cuarto día todo lo que se obtenga es utilidad. (El valor asumido para el barril de petróleo fue de \$40).

CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente se concluye lo siguiente:

*La longitud de penetración que se puede lograr en una operación de disparo depende principalmente de las propiedades mecánicas de la roca, es decir de su resistencia a la compresión; además de otros factores tales como el diseño y tipo de cargas utilizadas.

*Diseñar los sistemas de tal manera que el valor penetración alcanzada maximice en lo que sea técnica y económicamente posible el valor de Eficiencia de Productividad.

*Disparar pozos con las técnicas de TPC Bajo balance y PURE genera mejores Razones de Productividad en comparación con la técnica de Wireline; y en todas las situaciones, el sistema de disparo con mayores PR dará las mejores tasas de flujo.

*Emplear cargas de alta producción del 10.98 al 20.6% para pozos que fueron disparados con el Sistema Wireline.

*Emplear cargas de alta penetración logra un incremento del 5% en producción para pozos que fueron disparados con los Sistemas TPC Bajo balance y PURE.

*Elegir una carga de alta penetración es económicamente rentable, justificando dicha inversión con el incremento en producción.

*La Técnica de Wireline genera más daño de formación que las técnicas TPC Bajo balance y PURE.

*Realizar un trabajo de disparo mediante la técnica de TPC Bajo balance es aproximadamente 2 veces más costos que haberlo efectuado con la técnica Wireline Convencional, sin embargo es 2 veces más económico que la técnica TPC PURE bajo similares parámetros de operación requeridos.

*Para los valores de Anisotropía 5 y 10 la tendencia entre las diferencias de Eficiencias de Productividades se mantienen entre las Técnicas de Disparo, aunque con valores menores de PR.

*La diferencia entre Wireline y las otras dos técnicas es notoria, siendo estas últimas las que ofrecen mejores resultados, pero se observan también que entre TPC y PURE no se generan resultados en el análisis técnico que permitan dirimir entre un sistema y otro.

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

El intervalo a disparar debe estar basado en consideraciones de producción del yacimiento. Las condiciones de la terminación deben estar planeadas para asegurar que la mejor respuesta de los disparos, ya que las pistolas con mejor comportamiento debe ser elegidas por: el tipo de fluido, la presión, temperatura y requerimientos mecánicos. Se debe tener en mente que las operaciones de disparos más barata es la dada por el diseño de terminación al primer intento.

Para disparar en forma de bajo balance se debe considerar que:

*Se realiza para minimizar el daño por disparos debido a la zona compactada de pozos productores e inyectores.

*Cuando exista suficiente presión de yacimiento y no haya restricciones operativas se debe disparar bajo balance.

* Cuando sea utilizado un bajo balance menor que el óptimo se debe utilizar las ecuaciones (3,14) y (3,15) para estimar el daño residual por disparos y decidir si se requiere un operación de estimulación por fracturamiento o si se justifica.

* Para pozos productores e inyectores que serán hidráulica o mecánicamente fracturados, se deben mejorar primero los disparos bajo balance en el caso de que el excesivo gradiente de fractura sea considerado un problema potencial.

Para los disparos sobre balance se debe tomar en cuenta:

*Que la permeabilidad de la formación es tan baja que los túneles disparados no se podrán limpiar en condiciones de bajo balance.

*En formaciones areniscas con permeabilidad menor o igual que 25 milidarcy.

*Que se esté trabajando en yacimientos carbonatados naturalmente fracturados.

*Yacimientos con baja presión, sin la energía necesaria para las ondas de choque de las perforaciones.

*Grandes intervalos por disparar con línea de cable, donde las corridas de los disparos siguientes pueden ser alcanzadas solamente con el pozo fluyendo contra el balance de agua deseado.

*Si se va a disparar sobre balance se debe tener precaución para el manejo y selección de los equipos para el control de presión y las herramientas que intervienen en la operación.

Dentro de las actividades de terminación de pozos las principales actividades a realizar, muy importante para conectar los fluidos del pozo hacia la superficie son los disparos y el fracturamiento.

Donde mi trabajo expone diversas técnicas de disparos en condiciones de bajo balance, a lo largo de mi investigación el poder ocupar una técnica de disparo en condiciones de bajo balance, dependerá de las condiciones: presión, temperatura, propiedades de los fluidos, así como el tipo de yacimiento que se tiene, el tipo de carga que se va ocupar.

Mi trabajo me permito conocer diversas técnicas que se cuentan desde la utilización del sistema PURE que ocupa la carga hueca y permite mayor densidad del disparo como mayor limpieza en la formación, dicho disparo muestra una eficiencia utilizando una carga de alta penetración que puede ser cara pero a la vez rentable ya que el aporte del yacimiento tiende hacer bastante bueno, otra de las técnicas que es ocupada más en la industria

petrolera es la técnica TCP, la cual es un ensamblaje de fondo el cual contenía un transportador de disparos a través del casing en forma vertical permiten que este sistema logre orificios limpios, profundos y simétricos, ya que permite utilizar pistola de mayor diámetro cargas de alta penetración, alta densidad de disparos, sin límites en la longitud de intervalos a disparar en un mismo viaje, esta técnica es menos costosa que la PURE, lo cual en la industria petrolera es ocupada con mayor frecuencia.

La desventaja de la técnica Wireline es que se utiliza una unidad de línea de acero la cual debe ser utilizada con condiciones de sobre balance para evitar el soplado de las pistolas hacia arriba, altas presiones en el espacio anular y en la superficie. Esta técnica es más barata que la técnica TCP pero no proporciona una buena eficiencia en los disparos por lo que no es e muy recomendada en la industria petrolera. Por lo que puedo definir que las mejores técnicas a emplear son las de Wireline y PURE.

BIBLIOGRAFÍAS

- 1) **C. Cabral ad W.Crow.** *Coiled Tubing Conveyed Perforating*. Prepared for presentation at Fourth Latin American and Caribbean Petroleum Conference held in Port-of Spain Trinidad & Tobago, 23-26 april 1996.SPE 36137.
- 2) **Andy Martin.** *Choosing the Right Gun*. Hart's Petroleum Engineer International, October 1998, pags. 59-72.
- 3) **Victor G. Vallejo Arrieta.** *Técnicas de Disparos Bajo- Balanceadas y sobre. Balanceados*. Tesis de Maestría, UNAM. México, 1997.
- 4) **K. Bird and R.H.J. Blok.** *Perforating in Tight Sandstones: Effect of Pore Fluid and Underbalance*. Prepared for presentation at the 1996 SPE European Petroleum Conference held in Milan, Italy 22-24 October 1996. SPE 36860.
- 5) **K. Bird and S. Dunmore.** *Optimising Perforation Performance for the Armada Gas Condensate Development*. Paper prepared for presentation at the European Formation Conference held in The Hague, The Netherlands, 15-16 may 1995. SPE 30083)
- 6) **J.R.A. Pearson, and A. F. Zazovsky,** *A Model for Transport of Sand Grains Form a Perforation During Underbalance Surge*. SPE, Schlumberger, Cambridge Research. Oct, U.S.A., 1997, SPE 38634.
- 7) **L.A. Behrmann and K.G. Nolte.** *Perforation Requirements for Fracture Stimulations*. Paper prepared for presentation at the 1998 International Symposium on formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, 18-19 February 1998.
- 8) **Handren, P.J., et al.** *Overbalance Perforating and Stimulation Method for Wells*. Paper SPE 26515, 1993.
- 9) **L.A. Behrmann and Mc Donald.** *Underbalance or Extreme Overbalance*. Paper prepared for presentation at the SPE International Symposium on Formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, 14-15 February 1995. SPE 31083.
- 10) **John M. Dees.** *Highly Overbalanced Perforating*. Technology Today Series, JPT, may. 1995, págs. 395-397.
- 11) **L.A. Behrmann.** *Requeriments for Fracture Stimulations*. Paper prepared for presentation at the SPE International Symposium on Formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, 18-19 February 1998. SPE 39453

12) **P.J. Handren, T.B. Jupp and J.M. Dees.** *OVERBALANCE PERFORATING AND STIMULATION METHOD FOR WELLS.* SPE 26516, 68th Annual Technical Conference and Exhibition of The Society of Petroleum Engineers held in Houston, Texas, 3-6 October 1993.

13) **L.M. Petitjean, et al.** *Well Productivity Improvement by Use Rapid Over pressured Perforation Extension: Case History.* SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Sept.22-25, 1995. De. JPT, February 1996.SPE. 30527-P.

14) **R.J. Whisonant.** *Combining Continuous Improvements in Acid Fracturing, Propellant Stimulations, and Polymer Technologies to Increase Production and Develop Additional Reserves in a Mature Oil Field.* SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in San Antonio, Texas, 5-8 October, 1997. SPE 38789

.15) **Halliburton Energy Services, Perforating Solutions, U.S.A., 2005**

16) **James E. Brooks,** *SPE Schlumberger perforating and testing; "A Simple Method for Estimating Well Productivity", paper SPE 38148, 1997.*

17) **Bakker E., Behrman L., Milton P., Salsman A., Stutz L. & Underdown D;** "La nueva dinámica de operaciones de disparos en condiciones de bajo balance", *Oilfield Review, Primavera 2003/2004.*

18) **Behrman L., Brooks J., Farrant S., Fayard A., Brown A., Michael C., Smith P. & Underdown D;** "Técnicas de diseño de Disparos para optimizar la productividad", *Oilfield Review, Verano 2000.*

19) **Román H.** *Apuntes de Facilidades de Superficie, ESPOL, 2005.*

20) **Gordillo S.,** "Análisis Técnico de la Eficiencia del disparo con Cargas de Alta Penetración en los Campos de Petroproducción", *Tesis no publicada, FIGEMPA, Universidad Central, 2006.*

21) **Forero A., Baker Atlas;** "Conceptos y Técnicas de Cañoneo", 2002.

22) **Craft B. & Hawkins F.,** *Applied Petroleum Reservoir Engineering, Prentice Hall, 1959.*

23) **Economides M., Hill D. & Economides C.;** *Petroleum Production System, U.S.A., 1994.*

24) **Dennis Baxter, Larry Berhramn, Brenden Grove, Harvey Williams,** *Operaciones de disparos: Cuando la falla es el objetivo. Otoño 2009 Schlumberger.*

25) **Pemex Exploración y Producción.** *Guía de diseño de Terminación. 2008*

26) **Heberto Ramos Rodriguez y Salvador Jurado Montes de Oca.** *Investigación del Desempeño De cargas para Disparos en Formaciones Duras.* Villahermosa, Tab., 1998.

27) **Andrew Acock, Daniel Shirmboh.** *Métodos prácticos de manejo de la producción de arena.* Texas 1998.

28) **Schlumberger.** *Operación de disparos en condiciones de bajo balance sin tener que matar el pozo.* 2010.

29) **Victor G. Vallejo Arrieta.** *Técnica de Disparos Bajo balance y Sobre Balance.* Tesis de Maestría, UNAM, México, 1997.

30) **1. Yula Tang, et al.** *Optimal Design of Perforating Completion for Gas Well.* Paper prepared for the SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference held in Kuala Lumpur, Malasya, 20-22 march 1995. SPE 29274.

31) **P.J. Handren, ET. Al.** *Overbalance Perforating and Stimulation Method for Wells.* Oryx Energy Co. 68th Annual Technical Conference and Exhibition on the Society of Petroleum Engineering's held at Houston, Texas, 3-6 October 1993.

32) **Justin Mason, Flint George, and Eduardo Pacheco.** *A new Tubing Conveyed Perforating Method.* SPE 29820.

34) **L.A. Berhmann and B. McDonald.** *Underbalance or Extreme Overbalance.* SPE 57390, 1999, revised version from SPE 31083 International Symposium on Formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, 14-15 Feb. 1995., SPE 31083.

35) **John M. Dees.** *Highly Overbalanced Perforating.* Technology Today Series. JPT, May. 1995.

36) **Servio Tulio Subiar Artiachi.** *Prueba de Pistolas TCP.* Gerencia de Perforación y Mantenimiento de Pozos, 14-22 de nov. De 1995.

37) **Michael J. Economides, A. Daniel Hill, Christine Ehlig-Economides.** *Petroleum Production Systems.* 1^o ed. editorial Prentice Hall, New Jersey, U.S.A. 1994, págs.83-117.

38) **Amer M Saleh and George Stewart.** *New Approach Towards of Near Well Bore Behaviour of Perforated Completions.* Paper prepared for presentation at the 1996 SPE European Petroleum Conference held in Milan, Italy, 22-24 October 1996.

39) **Igor Potapieff, ET. Al.** *Case Study: Maximizing Productivity with Extreme Under balance Perforation.* SPE 7213, Asia Pacific Improved Oil Recovery Conference held in Kuala Lumpur, Malasya, 8-9 October 2001.

40) **J.R.A. Pearson, and A. F. Zazovsky,** *A Model for Transport of Sand Grains Form a Perforation During Underbalance Surge.* SPE, Schlumberger, Cambridge Research. Oct, U.S.A., 1997, SPE 38634.

41) **Pudji Permadi.** *Effects of Completion Scenarios and Formation Damage on Two-Phase Inflow Performance of a Horizontal Well.*, Paper prepared for Presentation at the SPE International Symposium on Formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, U.S.A., 14-15 February 1996. SPE 31143.

42) **Locke Stanley.** An Advanced Method for Predicting the Productivity Ratio of a Perforated Well. *Journal of Petroleum Technology*, December 1981, pages. 2481-2488.

43) **J.R.A. Pearson, and A. F. Zazovsky,** *A Model for Transport of Sand Grains Form a Perforation During Underbalance Surge.* SPE, Schlumberger, Cambridge Research. Oct, U.S.A., 1997, SPE 38634.

44) **L. Petitjean and B. Coét.** *Modeling of Fracture Propagation During Overbalanced Perforating.* SPE 28560, 1995

45) **L.A. Behrmann and K.G. Nolte.** *Perforation Requirements for Fracture Stimulations.* Paper prepared for presentation at the 1998 International Symposium on formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, 18-19 February 1998.

46) **Handren, P.J., et al.** *Overbalance Perforating and Stimulation Method for Wells. Paper SPE 26515, 1993.*

47) **L.A. Behrmann and Mc Donald.** *Underbalance or Extreme Overbalance.* Paper prepared for presentation at the SPE International Symposium on Formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, 14-15 February 1995. SPE 31083.

48) **John M. Dees.** Highly Overbalanced Perforating. *Technology Today Series, JPT*, May. 1995, págs. 395-397.

49) **L.A. Behrmann.** *Requeriments for Fracture Stimulations.* Paper prepared for presentation at the SPE International Symposium on Formation Damage Control held in Lafayette, Louisiana, 18-19 February 1998. SPE 39453

51) **P.J. Handren, T.B. Jupp and J.M. Dees.** *OVERBALANCE PERFORATING AND STIMULATION METHOD FOR WELLS.* SPE 26516, 68th Annual Technical Conference and Exhibition of The Society of Petroleum Engineers held in Houston, Texas, 3-6 October 1993.

52) **L.M. Petitjean, et al.** *Well Productivity Improvement by Use Rapid overpressured Perforation Extension: Case History.* SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Sept.22-25, 1995. De. JPT, February 1996. SPE 30527-P.

53) **R.J. Whisonant.** *Combining Continuous Improvements in Acid Fracturing, Propellant Stimulations, and Polymer Technologies to Increase Production and Develop Additional Reserves in a Mature Oil Field.* SPE Annual Technical

Conference and Exhibition held in San Antonio, Texas, 5-8 October, 1997. SPE 387898.

54) **C. Cabral ad W.Crow.** *Coiled Tubing Conveyed Perforating.* Prepared for presentation at Fourth Latin American and Caribbean Petroleum Conference held in Port-of Spain Trinidad & Tobago, 23-26 April 1996. SPE 36137.

55) **Andy Martin.** *Choosing the Right Gun.* Hart's Petroleum Engineer International, October 1998, pags. 59-72.

56) Steve Nas. Introducción a la Perforación Bajo Balance. Website.