

OPERACIONES DE REGISTRO Y CAÑONEO

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA

2015

3

UNIDAD

TATIANA PÉREZ - MAYCOL SUÁREZ

CONTENIDO

	pág.
1. PARÁMETROS QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DEL POZO	3
2. REGISTROS EN HUECO ENTUBADO	6
2.1 REGISTRO GR Y CCL	6
2.2 REGISTRO CBL-VDL	6
2.3 REGISTRO DE IMÁGENES ULTRASÓNICAS O USI	7
3. CAÑONEO	9
3.1 TIPOS DE CAÑONES	10
3.2 TIPOS DE CARGAS O DE DISPARO	14
3.3 OPERACIONES Y TÉCNICAS DE CAÑONEO	15
BIBLIOGRAFÍA	19

1. PARÁMETROS QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD DEL POZO

Algunos parámetros que afectan la productividad del pozo cuando se cañonea o perfora la zona de interés son:

1.1 NÚMERO DE PERFORACIONES EFECTIVAS

Aunque existe una relación con la densidad del disparo es de gran importancia el número de perforaciones efectivas, el cual es un factor que frecuentemente es pasado por alto, este se refiere a que la penetración de la formación por medio de los disparos sea suficiente y no este obstruida, lo que quiere decir que principalmente se trata de las condiciones y limpieza del disparo. Los pozos han sido conocidos por tener menos del 1 al 10 % de las perforaciones que fluyen eficazmente. En muchas instancias una densidad de 1 a 4 disparos por pies (Shots Per Foot, SPF) es suficiente. Una densidad de 4 SPF (13 disparos por metro) es como dar un índice de productividad igual a como si estuviese el pozo a hueco abierto.

1.2 DISTRIBUCIÓN DE PERFORACIONES SOBRE LA ZONA DE PRODUCCIÓN (EFECTO DE PENETRACIÓN PARCIAL)

Este también es un parámetro fundamental, por ejemplo tomando en consideración un estrato de 100 metros de espesor que es perforado solo 20 metros del total de su altura, si estos 20 metros están distribuidos en 8 zonas de 2.5 metros de alto separados entre sí por un tramo no perforado de 10 metros, el índice de productividad será dos veces mayor que si se perforara solamente los 20 metros inferiores del estrato. Esto es particularmente significativo si la permeabilidad vertical es mucho más baja que la permeabilidad horizontal o si la formación no tiene una permeabilidad efectiva homogénea (si hay intercalación de arcillas). Aunque el patrón de perforación se elige según las condiciones del yacimiento

(interfases y sus variaciones, facies, etc.), esto también depende de la posición y número de perforaciones abiertas.

1.3 PENETRACIÓN DE LA PERFORACIÓN

Este parámetro es significativo para una penetración menor que 1 ft, por ejemplo si la penetración va de 0.5 a 1 ft permite aproximadamente un incremento del 20% en el índice de productividad. Es de vital importancia comparar la profundidad de penetración y la profundidad de la zona de producción dañada durante las operaciones de perforación y revestimiento, siempre que la perforación no haya sido taponada.

La penetración depende principalmente de la carga explosiva, la forma y tipo de cañón, el espacio entre el cañón y el revestimiento por lo que se debe tener en cuenta el tamaño del soporte en relación con el revestimiento y el número de direcciones del disparo. Cabe aclarar que la profundidad real depende de la resistencia a la compresión de la roca.

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA PENETRADA

Debido a la propia naturaleza del método de cañoneo, la vecindad inmediata alrededor de la perforación es dañada. Esto se expresa en cierta medida por el CFE (Core Flow Efficiency, por lo general es de 0.7 a 0.9, que corresponde a la relación entre el flujo a través de las perforaciones después de la estabilización y el flujo a través de una perforación ideal con las mismas características geométricas). Este tipo de daño depende de la carga en sí (esto quiere decir del tipo de explosivo y especialmente de la forma y tipo de cañón) y de la formación objetivo.

1.5 NÚMERO DE DIRECCIONES DEL DISPARO

Pasar de 1 a 2 direcciones de disparo o tiro (ubicado a 180°) eleva el índice de productividad alrededor de un 20%. Realizar más de estas como tres (120°) o cuatro (90°) direcciones de disparo presentan un incremento leve. En la práctica se usa un cañón unidireccional si el diámetro es pequeño en relación al revestimiento objetivo y un cañón multidireccional cuando el diámetro es muy grande.

1.6 DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN

Desde un diámetro de 0.25 pulgadas y más, este parámetro por lo general tiene poco impacto. El diámetro del orificio de entrada principalmente es relacionado con el cañón de carga (ángulo) y con el espacio entre el cañón y el revestimiento.¹

¹ PERRIN, Denis. Well Completion and Servicing. Paris: Editorial Technip, 1999. p.63-65. ISBN: 2710807653

2. REGISTROS EN HUECO ENTUBADO

Es muy importante tener en cuenta que obtener un buen sello en el pozo permite que se tenga un aislamiento de zonas durante un largo tiempo, pero para determinar si esto sucede se usan registros sónicos y ultrasónicos que se han venido mejorando debido al auge de la tecnología ya que con ellos se logra cuantificar la adherencia del cemento y la tubería del revestimiento.

2.1 REGISTRO GR Y CCL

Cabe mencionar que el registro GR también hace parte de los registros en hueco entubado o revestido, el cual se correlaciona con el registro GR tomado en hueco abierto, esto con el fin de lograr ubicarse en la profundidad correcta y adecuada dentro del pozo, identificando así las zonas de interés que van a ser cañoneadas. Por lo general el registro GR se corre en conjunto con un registro neutrón y con un detector o localizador de cuellos CCL, permitiendo relacionar los cuellos con los intervalos productivos. Cuando se correlacionan los registros GR a hueco abierto y hueco revestido se obtiene de manera directa la profundidad de los intervalos por cañonear. Es importante aclarar que cuando se requiera de otra operación de cañoneo, no es necesario volver a correr un registro GR, ya que es suficiente establecer un control de profundidad con el registro localizador de cuellos, CCL.²

2.2 REGISTRO CBL-VDL

Los registros acústicos se utilizan para evaluar la calidad de los trabajos de cementación, midiendo la propagación de ondas de sonido en las proximidades del pozo. Por sus siglas CBL quiere decir registro cement bond y hace referencia a la cantidad del cemento y VDL- variable density que son los registros de densidad

² CIED. CIED, Centro Internacional de Educación y Desarrollo. COMPLETACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE POZOS. Venezuela: CIED, 1996. p.114-118.

variable y hace referencia a la calidad de adhesión del cemento. El registro CBL mide la amplitud de una señal sónica producida por un transmisor que emite una onda acústica después de viajar a través del revestimiento, la medida se expresa en milivoltios mV o como decibeles dB.

Como las herramientas sónicas responden a la impedancia acústica del material sólido que se encuentra detrás de la tubería de revestimiento, se debe tener en cuenta que mientras más alta sea la impedancia del material adherido al revestimiento, mayor será la atenuación de la onda, esta se ve afectada por parámetros como la distribución de los materiales sólidos y líquidos alrededor de la tubería de revestimiento. Si la amplitud aumenta indica una mejor calidad de la adherencia entre el cemento y el revestimiento. Estos registros no proveen información radial para diferenciar presencia de canales, cemento contaminado entre otras lo que dificulta la interpretación de los datos.

La Figura 1-A muestra una herramienta de registros sónicos con la cual se obtienen los registros CBL y VDL.

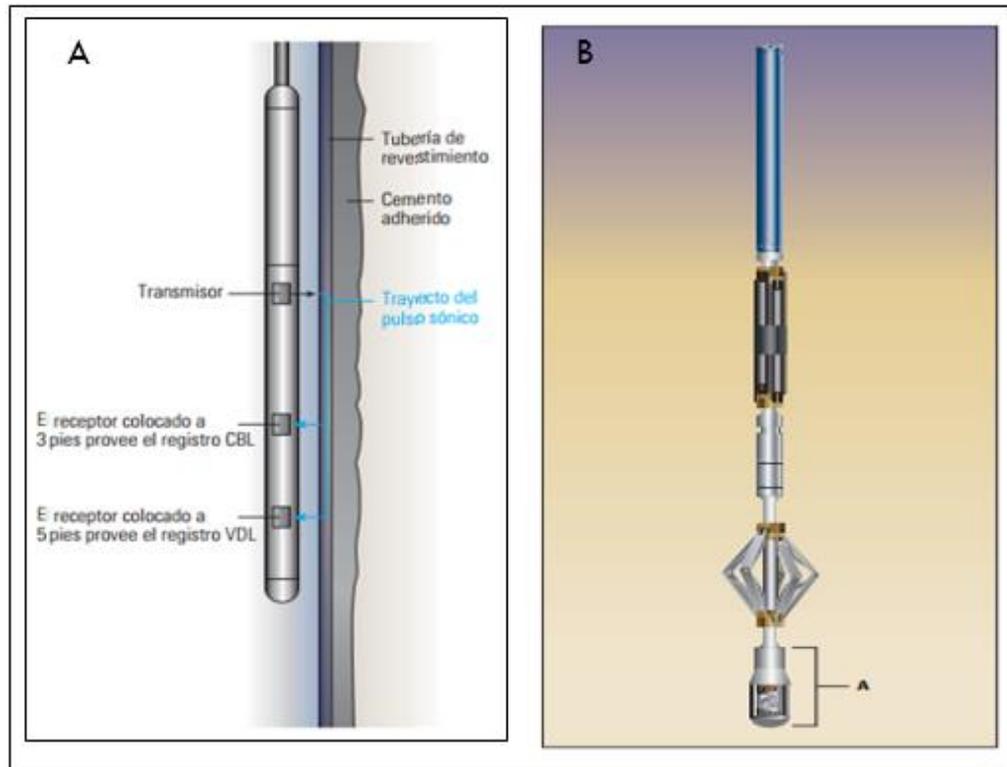
2.3 REGISTRO DE IMÁGENES ULTRASÓNICAS O USI

Utiliza una técnica de transmisión – recepción, quiere decir de ecos de pulsos de alta frecuencia, esta herramienta utiliza un transductor rotativo que emite una onda ultrasónica perpendicular a la pared de la tubería de revestimiento. Entre las limitaciones que esta presenta esta la dificultad que la herramienta posee para diferenciar entre un fluido de perforación y un cemento liviano o contaminado con lodo. Es posible correr al mismo tiempo la herramienta CBL-VDL para superar esas limitaciones, esto dependiendo de las condiciones del pozo. Las herramientas ultrasónicas miden la impedancia acústica (la densidad del material multiplicada por la velocidad de la onda de compresión) del material que se encuentra detrás de la tubería de revestimiento. En la mayoría de los casos, el material sólido o sea el cemento fraguado muestra una impedancia acústica mayor que los líquidos (lodo,

fluido espaciador o cemento líquido). Por lo que estas herramientas se pueden usar para diferenciar los sólidos de los líquidos a través de un contraste de impedancia acústica. Si un material sólido se distribuye uniformemente alrededor de la tubería de revestimiento a lo largo de alguna longitud, se asegura el aislamiento hidráulico.

La Figura 1-B muestra la herramienta USI, esta no puede llegar hasta el fondo ya que se puede dañar el transductor rotativo que señala la sección A de esta figura.³

Figura 1. Herramienta para correr el registro CBL-VDL y el registro USI



Fuente: Oilfield Review. Vol.20, No.2. Schlumberger, Verano de 2008., p. 23.

³ BELLABARBA, Mario, et al. Aseguramiento del aislamiento zonal más allá de la vida productiva del pozo. En: Oilfield Review. Vol.20, No.2. Schlumberger, Verano de 2008. p. 23-25.

3. CAÑONEO

Después de completado el pozo, los petrofísicos se encargan de interpretar los registros de pozos y con ello identificar las zonas productivas. Luego se lleva a cabo la operación de disparo, punzado o cañoneo la cual consiste en la perforación de agujeros con explosivos a través de la tubería de revestimiento de acero, el cemento y la roca de formación. El cañoneo es el único modo de realizar túneles que establezcan enlaces entre el yacimiento de crudo o gas y el pozo revestido que va hasta la superficie, por lo que esta operación es la clave para el éxito de la producción económica del crudo y gas, la productividad del pozo a largo plazo y la recuperación eficiente de los hidrocarburos.

Sin embargo, el cañoneo daña la permeabilidad de la formación alrededor de los túneles hechos por los disparos o cañones, lo cual implica una caída de presión en las cercanías del pozo y en la producción de este, como también en esto influye la penetración en la formación, el tamaño del orificio, el número de disparos y el ángulo entre los orificios. Si los desechos no son removidos puede que las gargantas de los poros se taponen por lo cual para poder remover parcial o totalmente el daño y los detritos de los disparos, es esencial que exista una condición de bajo balance estático, lo que quiere decir que la presión hidrostática dentro del pozo antes del disparo sea menor que la presión de la formación o yacimiento, lo contrario ocurre cuando la presión es mayor, allí el pozo estaría en una condición de sobre balance, cabe aclarar que las pistolas de cañoneo o disparos habitualmente se despliegan en pozos entubados que contienen algo de fluido.

Los orificios que se obtienen por medio del cañoneo no solo permiten el paso de los fluidos sino que proporcionan puntos uniformes para la inyección de agua, gas y ácido, los cuales se usan para estimulaciones por fracturación hidráulica. Estos

también proporcionan la cantidad de orificios necesarios con la orientación y tamaño adecuado para impedir la producción de arena.⁴

Para lograr la efectividad del cañoneo se debe tener en cuenta factores como: el tipo de equipo usado en el proceso, cantidad y tipo de carga del cañón, las técnicas usadas en la completación del pozo, características de la tubería y del cemento y el procedimiento usado para el cañoneo. Como también se deben conocer los resultados que se pueden originar si se implementa incorrectamente una técnica de cañoneo, entre ellos tenemos: el daño al revestimiento, daño al yacimiento, daño a la tubería, la perforación de una zona no deseada y los elevados costos al implementar operaciones para corregir estos problemas causados como trabajos de estimulación, recañoneo de zonas, transporte de cañones por tubería o mediante equipo de guaya.

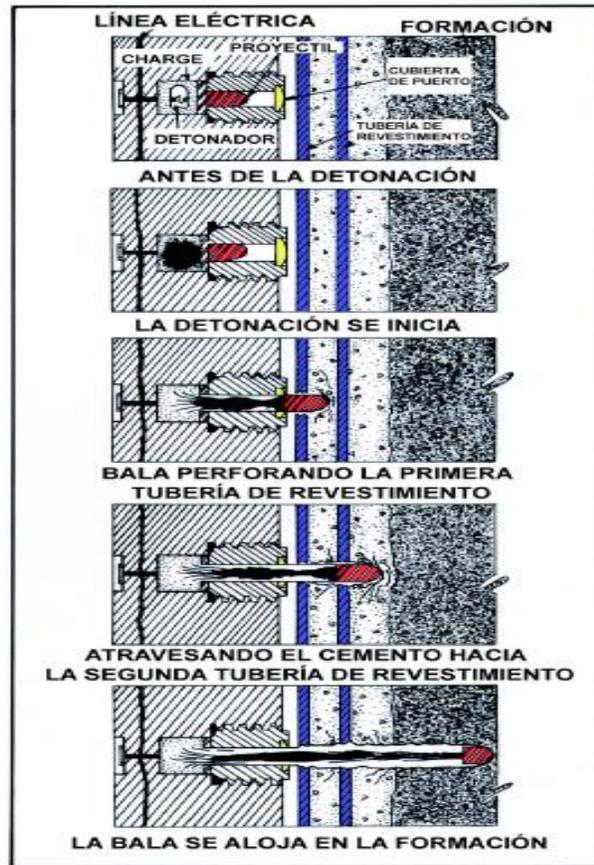
3.1 TIPOS DE CAÑONES

En la década de 1920, las compañías implementaron pistolas de balas para punzar mecánicamente la tubería y el cemento pero su efectividad y penetración eran limitadas, por lo que a partir de 1932 lo hacen por bombeo de abrasivos o más comúnmente detonando explosivos con cargas huecas premoldeadas, esta tecnología es basada en los armamentos militares antitanques y revolucionó las prácticas de terminación de pozos. Hay cañones que pueden insertados en el cable de acero, tubería de producción y en pozos con desviaciones grandes o pozos horizontales ya que los ángulos extremos hacen que los cañones o pistolas perforadoras sean insertados en la tubería. Existe gran variedad de cañones y cargas, dependiendo del trabajo a realizar, algunos de estos dejan caer escombros dentro del pozo lo cual impide tanto la producción como operaciones correctivas futuras.

⁴ BEHRMANN, Larry, et al. Técnicas de diseño de los disparos para optimizar la productividad. En: Oilfield Review. Vol.12, No.2. Schlumberger. Verano de 2000. p. 54-56.

- *Cañoneo tipo bala:* consiste en disparar balas hacia el revestimiento para penetrarlo junto con el cemento y la formación, es un método que pierde eficiencia a medida que la formación tenga mayor dureza y en cementos y tuberías con alta resistencia, un ejemplo de este tipo de cañoneo se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Cañoneo tipo bala



Fuente: WCS-Well Control School. Operaciones de reacondicionamiento de pozo. 2003. p.10.

- *Cañoneo de cargas huecas:* un cañón de este tipo posee un casco externo que aloja un iniciador de la detonación y el material explosivo los cuales son mantenidos por un revestimiento cónico, este no solo mantiene los explosivos en su lugar sino que genera un chorro de energía de alta presión. Estos cañones se clasifican en tres grupos:

1) *Cañones recuperables*: estos poseen un tubo de acero a prueba de presiones donde las cargas explosivas se colocan en el tubo y en forma radial con respecto a su eje, el tubo es cerrado herméticamente y el detonante es rodeado de aire a presión atmosférica. La detonación causa una pequeña expansión del tubo, este puede ser extraído del pozo junto con los detritos que se generaron durante el cañoneo. En la industria petrolera este tipo de cañoneo es el más usado. Algunas ventajas de esta técnica son:

- No deja residuos en el pozo.
- No causa deformación de la tubería de revestimiento.
- Son operacionalmente seguros, ya que las cargas explosivas se encuentran encerradas.
- Se puede operar a grandes profundidades y a presiones relativamente altas.
- Son selectivos.
- Poseen buena resistencia química.
- También se presentan algunas desventajas en el uso de esta técnica, como:
- Son más costosos que los otros tipos de cañones.
- Su rigidez limita la longitud de ensambles, especialmente en cañones de gran diámetro.
- Se reduce la penetración en el caso de cañones pequeños ya que por el tamaño de la carga se limita la cantidad de explosivos a ser usados.⁵

2) *Cañones Desechables*: en estos los residuos de las cargas, el sistema portador, alambre, entre otros se quedan dentro del pozo dejando una gran cantidad de basura. Una ventaja que se presenta en este, es que como las cargas no se encuentran contenidas en un tubo se puede obtener una mayor penetración ya que las cargas serían más grandes. La principal desventaja es que los fluidos

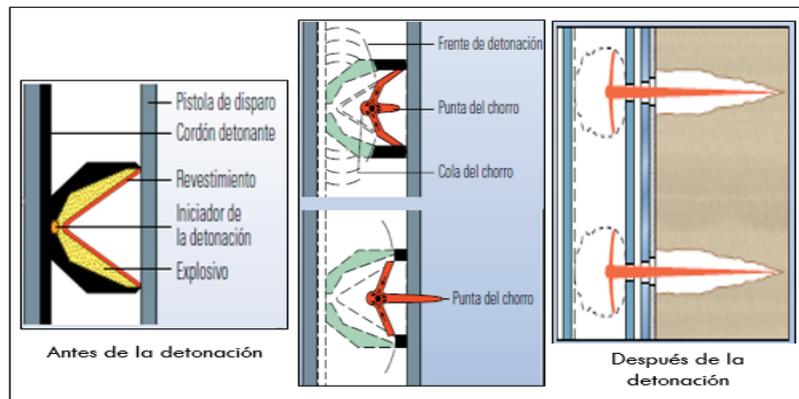
⁵ CIED. Op. cit., p.66-71.

están expuestos a la presión y fluido del pozo, por lo que el uso de esta técnica de cañoneo es limitada.

- 3) *Cañones Semi-desechable*: este es similar al anterior solo con la ventaja de que la cantidad de residuos dejados en el pozo es menor ya que aquí se puede recuperar el portacargas.⁶

Las operaciones de cañoneo implican el uso de explosivos de alto orden, denominados explosivos secundarios lo que significa que otra fuente debe iniciar su detonación. La detonación de cargas huecas inicia cuando un casquillo detonador o detonador de mecha o cordón detonante que conecta las cargas individuales comienzan la detonación en una reacción en cadena en la que el revestimiento enfoca la energía de los explosivos en un chorro, lo cual genera una onda de presión de alta velocidad, lo cual genera túneles de disparos que penetran la tubería de revestimiento, el cemento y la formación como se muestra en la Figura 3. El detonador puede ser iniciado eléctrica o mecánicamente.⁷

Figura 3. Cañoneo de cargas huecas



Fuente: Oilfield Review. Vol.24, No.1. Schlumberger. Primavera de 2012. p. 63

⁶ DÍAZ, Johan y SÁNCHEZ, Christian. Análisis técnico – económico del uso de las diferentes técnicas de cañoneo en los campos operados por petroproducción. Trabajo de grado de Ingeniero de Petróleos. Guayaquil-Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de ingeniería en ciencias de la tierra. 2007 .p.32-35.

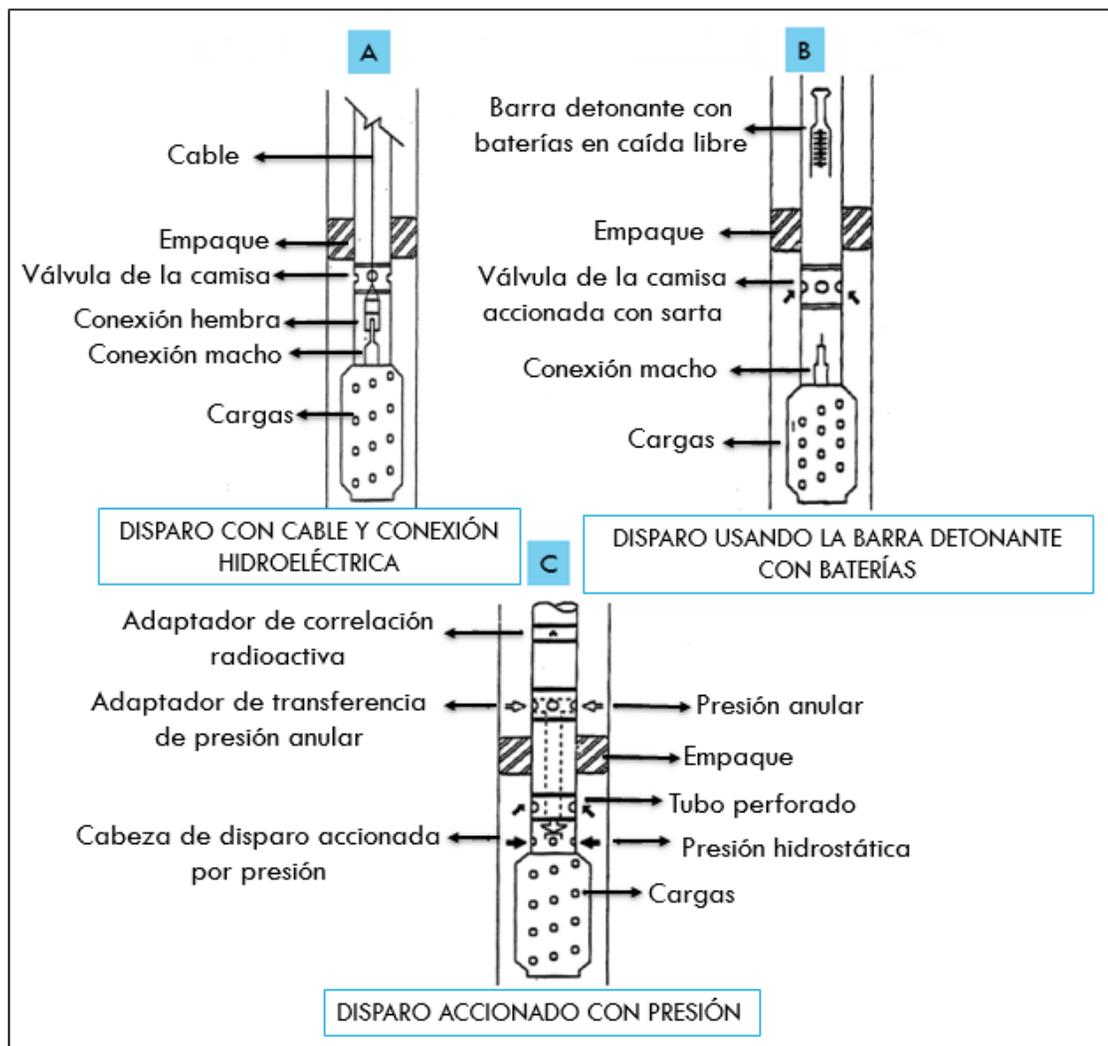
⁷ SMITHSON, Tony. Detonación para inducir el flujo de fluidos. *En*: Oilfield Review. Vol.24, No.1. Schlumberger. Primavera de 2012. p. 63-65.

3.2 TIPOS DE CARGAS O DE DISPARO

Los sistemas más comunes de disparo son:

- Conexión hidroeléctrica por cable, según la Figura 4-A.
- Barra detonante, según la Figura 4-B.
- Sistemas accionados por presión, según la Figura 4-C.

Figura 4. Tipos de disparo



Fuente: CIED, Centro Internacional de Educación y Desarrollo. Completación y reacondicionamiento de pozos. p.105/106/108.

3.3 OPERACIONES Y TÉCNICAS DE CAÑONEO

Una operación de cañoneo se realiza con el fin de lograr llevar al máximo el caudal de producción del pozo, obtener el drenaje más eficiente del yacimiento y repartir el flujo entre varias perforaciones. Esta técnica se puede realizar bajo dos condiciones generales:

- 1) *Diferencial de presión positivo*: se refiere a la diferencia de presión que ejerce la columna hidrostática a la profundidad de la arena cañoneada menos la presión de formación de esa arena, en las operaciones de cañoneo la columna puede ser un lodo, una salmuera, diésel o algún fluido de características especiales. Cuando la presión de la columna hidrostática es mayor que la presión de la formación se obtiene un diferencial de presión positivo.

Al cañonear con este diferencial de presión y con una columna de lodo (usado como un fluido de control en la perforación del pozo), se presenta obstrucción de flujo debido a los taponamientos de las perforaciones o los túneles cañoneados. El daño causado por el lodo es irreversible, lo que quiere decir que cuando se realizan operaciones para reducir la columna hidrostática como el suaveo, por lo general es imposible obtener una limpieza completa de estas perforaciones.

- 2) *Diferencial de presión negativo*: en este caso ocurre lo contrario, cuando la presión de la columna hidrostática a la profundidad de la arena cañoneada es menor que la presión de la formación, se obtiene un diferencial de presión negativo. El cañoneado óptimo se obtiene con este tipo de diferencial de presión y usando fluidos limpios o libres de sólidos. Sin embargo el pozo debe ser controlado de una manera segura ya que cabe aclarar que las altas presiones de la formación se pueden manifestar de una manera rápida en superficie.

Las técnicas de cañoneo se pueden clasificar en tres grupos:

- 1) *Cañoneo mediante el uso de tubería de producción o Through tubing perforating*: consiste en bajar primero la tubería con empaque o la completación final, luego se crea un diferencial de presión negativo y se baja el cañón con equipo de guaya. Por lo general se usan cañones no recuperables o parcialmente recuperables, los restos recuperables del cañón, la guaya y la herramienta en profundidad se extraen usando un lubricador, lo cual permite obtener una buena limpieza de las perforaciones. Una desventaja principal es que estos cañones no son selectivos, por lo que si se desea probar otro intervalo es necesario controlar el pozo exponiendo las demás perforaciones existentes a los fluidos de control, causando cierto grado de daño.

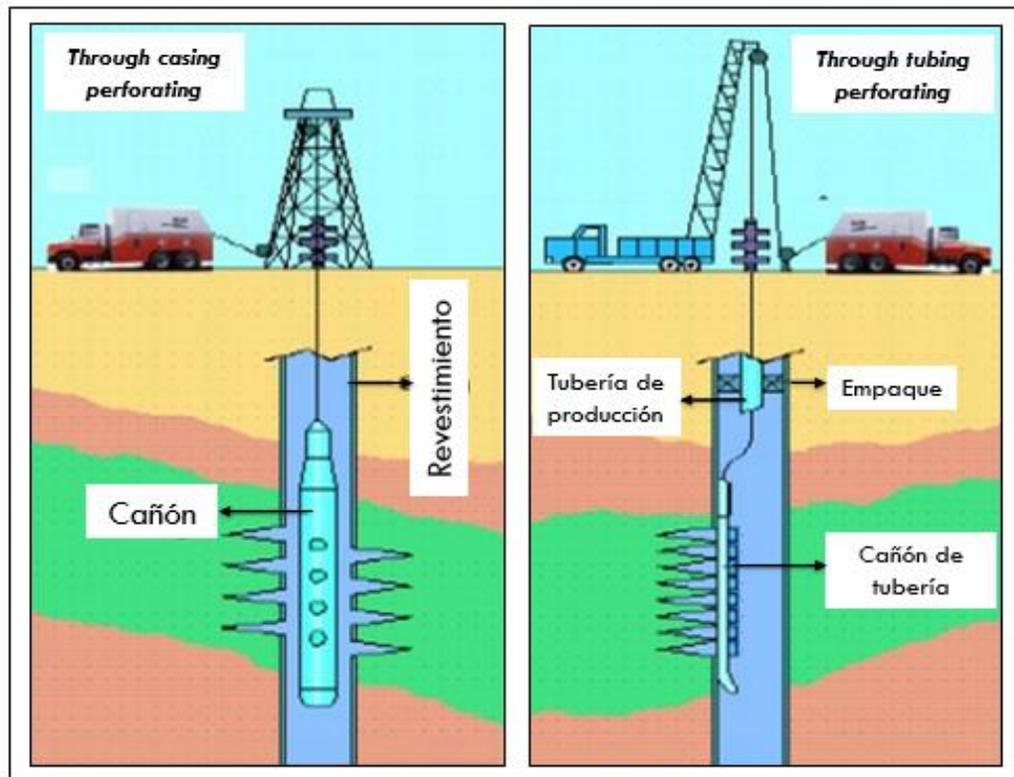
- 2) *Cañoneo mediante el uso de la tubería de revestimiento o Through casing perforating*: estos cañones son bajados con equipo de guaya, por lo general son recuperables y más grandes permitiendo bajar cargas de mayor tamaño, más opciones de fases (es el ángulo que se forma entre las cargas individuales expresado en grados) y una mayor densidad de disparos (este es el número de agujeros por unidad de longitud). Este tipo de cañoneo se realiza con diferencial de presión positivo, lo cual permite mantener el control del pozo. También puede ser usado en hueco abierto, con el fin de penetrar zonas dañadas por fluidos de perforación o depósitos de escala, para lograr esto se usan cargas con alta capacidad de penetración alcanzando rangos de perforación más allá de la zona dañada. En la Figura 5 se muestra un ejemplo de estas técnicas de cañoneo.

- 3) *Cañoneo mediante el uso de cañones transportados por la tubería, T.C.P (Tubing Conveyed Perforating)*: en este método, el cañón es transportado en el extremo inferior de la tubería eductora, con esta se introduce un empaque el cual se debe asentar antes de iniciar con la operación de cañoneo. La ventaja que se presenta es que se puede usar un diferencial de presión negativo y al mismo

tiempo usar un cañón grande con características semejantes a los recuperables, pero que pueden ser desechables, Además se puede obtener con este método: alta densidad de disparo, perforaciones y fases óptimas.

Este también puede ser aplicado en casos de control de arena, mejora la tasa de producción, se reduce el tiempo de operación y es de mayor seguridad, esta última se debe a que cuando se baja el cañón adaptado a la tubería, también se usa el equipo de control de presiones en el cabezal del pozo. La Figura 6 muestra un esquema de esta técnica de cañoneo. Con ella también se puede bajar al pozo cierta variedad de accesorios que facilitan las pruebas y tratamientos de producción.⁸

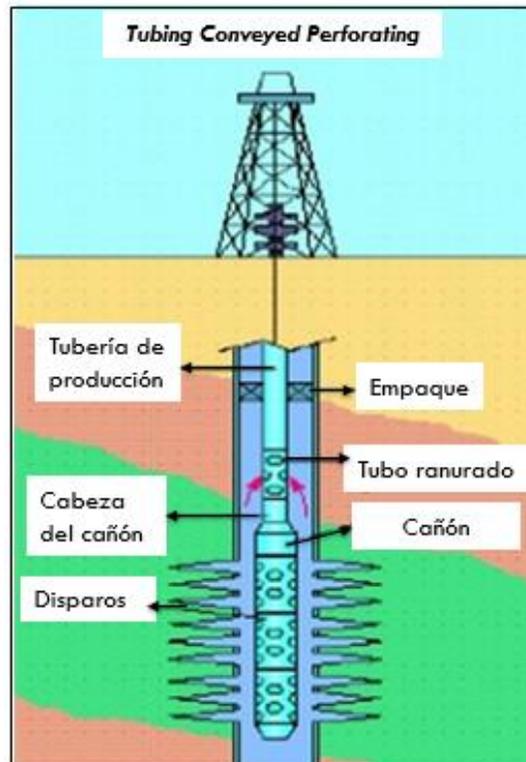
Figura 5. Técnicas convencionales de cañoneo



Fuente: Modificado de ORTEGA, Guillermo. Herramientas de completación. p.54.

⁸ CIED. Op. cit., p.91-102.

Figura 6. Cañoneo TCP



Fuente: Modificado de ORTEGA, Guillermo. Herramientas de completación. p.54.

BIBLIOGRAFÍA

BEHRMANN, Larry, *et al.* Técnicas de diseño de los disparos para optimizar la productividad. En: Oilfield Review. Vol.12, No.2. Schlumberger. Verano de 2000. p. 54-56.

BELLABARBA, Mario, *et al.* Aseguramiento del aislamiento zonal más allá de la vida productiva del pozo. En: Oilfield Review. Vol.20, No.2. Schlumberger, verano de 2008. p. 23-25.

CIED, Centro Internacional de Educación y Desarrollo. COMPLETACIÓN Y REACONDICIONAMIENTO DE POZOS. Venezuela: CIED, 1996. 446p.

DÍAZ, Johan y SÁNCHEZ, Christian. Análisis técnico – económico del uso de las diferentes técnicas de cañoneo en los campos operados por petroproducción. Trabajo de grado de Ingeniero de Petróleos. Guayaquil-Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de ingeniería en ciencias de la tierra. 2007. 278p.

PÉREZ MORENO, Shirly Tatiana y SUÁREZ ARDILA, Maycol Brayan. IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA VIRTUAL COMO APOYO A LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN LA ASIGNATURA COMPLETAMIENTO DE POZOS. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico - químicas. Escuela Ingeniería de Petróleos. 2015.

PERRIN, Denis. Well Completion and Servicing. Paris: Editorial Technip, 1999. 325 p. ISBN: 2710807653

SMITHSON, Tony. Detonación para inducir el flujo de fluidos. En: Oilfield Review. Vol.24, No.1. Schlumberger. Primavera de 2012. p. 63-65.