

PUNZAMIENTO DE POZOS

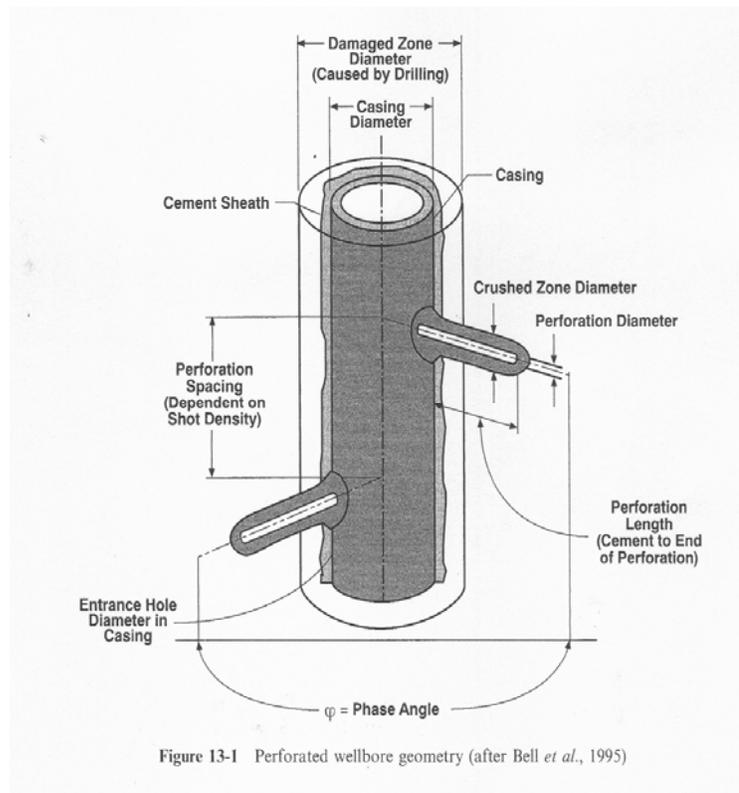
PUNZAMIENTO

Introducción

Después de que un pozo de petróleo o gas es perforado, el pozo es aislado de las formaciones adyacentes por medio de un casing y cemento. Para establecer comunicación de fluidos entre el pozo y la formación para poder producir o inyectar, se requieren algunas operaciones de punzamiento.

El punzamiento es el proceso de creación de agujeros en el casing que pasa a través de la envoltura de cemento y se extiende algo en profundidad dentro de la formación. La penetración en la formación tiene un rango de cero a varias pulgadas, dependiendo del tipo de perforador (carga) usado y de la mecánica y propiedades físicas del material a ser penetrado. Los agujeros pueden estar dispuestos en un patrón angular alrededor del interior del pozo, esta disposición es llamada posición en fase (PHASING).

El numero de disparos por pie lineal puede variar, normalmente en un rango de 1 a 24 (o mas si la zona es perforada varias veces) estas cantidades se la conoce como DENSIDAD DE DISPAROS (SHOT DENSITY). La figura 13.1 muestra la geometría típica de un pozo punzado.

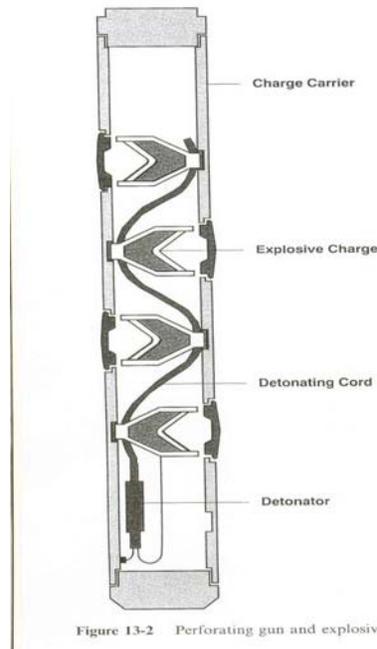


Son utilizados distintos métodos para efectuar los agujeros en el pozo, la perforación con bala esta entre uno de los mas viejos. Hilchie (1990) reporta que el perforador a bala originalmente fue concebido y patentado en 1926, pero fue hasta 1930 que el método comenzó a usarse extensivamente. El cañón perforador con balas fue la operación de completación mas utilizada en los años 1950, pero poco se ha desarrollado en los cañones con balas en las últimas dos décadas. (Bell, 1995). En el método de perforación con bala, las balas se disparan propulsadas y guiadas a través del casing y cemento dentro de la formación. Un portador de acero (carrier) denominado cañón (gun), es usado para transportar las balas penetrantes dentro del pozo. El fuego es logrado enviando una señal eléctrica por un cable para iniciar la detonación y encender el propulsor. El propulsor ardiente, acelera la bala a través de un barril corto (dos pulgadas o menos) a velocidades de hasta 3300 pies por segundo. Esta velocidad es suficiente para que la bala penetre el casing, la cubierta de cemento y la formación. Por lo tanto el rendimiento de la penetración de la bala decrece sustancialmente en formaciones altamente compactadas y donde se usan casings muy altamente resistentes. (Bell 1995, thompson 1962). Hoy en día, los cañones a bala no son usados frecuentemente, pero todavía tienen usos en formaciones suaves, en formaciones frágiles, o donde alrededor de los agujeros en el casing (como selladores de bola) sea necesario. (king 1995).

Otros métodos de punzamiento incluyen el uso de chorros de agua de alta presión o mezclas de arena y laven para abrir un agujero en el casing, cemento y formación. La mezcla se bombea hacia abajo por la tubería y es girada en el fondo por un arreglo de desviación en el inyector que permita que la corriente del fluido afecte directamente el casing. (King 1995). Agujeros y ranuras pueden ser hechas, y el casing se puede incluso cortar totalmente mediante la manipulación del tubing. En otro método, una herramienta que usa una bomba para forzar un fluido a alta presión, se lanza a través de un flexible, lo que se extiende y transporta hacia el fondo del pozo. En este proceso, el chorro lanzado, penetra en la formación. La mejor ventaja de este método consiste en la creación de agujeros limpios con pequeños o nulos daños en la formación. La mayor desventaja, por lo tanto, es que el proceso es lento y costoso y los agujeros deben ser creados de a uno en tiempo. Así el proceso es impracticable para largos intervalos. Un tercer método para punzar los pozos, llamado jet perforador, implica el uso de altos explosivos y de cargas moldeadas de metal-alineadas. El jet que perfora es en gran medida la técnica más extensamente usada para crear perforaciones en pozos. (Bell 1995) Reporta que el 95% de todas las operaciones de punzados son efectuadas con cargas moldeadas jet perforators. El jet que perfora puede ser transportado hacia el fondo del pozo por una variedad de medios: alambre, cable electrico, coiled tubing y tubing de producción. Pero el perforador jet es el método mas popular usado hoy en día, el resto de este capítulo será dedicado a describir la técnica y el hardware asociados a él.

EL TREN EXPLOSIVO

Los sistemas de punzado con jet contienen diferentes componentes explosivos que están ligados para formar un tren explosivo. La figura 13.2 muestra esquemáticamente un cañón de punzamiento típico y el tren explosivo dentro del mismo.



Los elementos explosivos pertinentes del tren son:

- 1) un iniciador o detonador que es usado para iniciar el proceso explosivo.
- 2) Un cordón detonante que es usado para transmitir la detonación a lo largo del eje longitudinal del cañón.
- 3) cargas moldeadas que perforan el casing, penetran la envoltura de cemento y la formación.

Los explosivos usados en esos componentes son denominados ALTOS EXPLOSIVOS. Cuando están iniciados, los altos explosivos reaccionan supersónicamente en los procesos llamados detonación.

Por comparación, los bajos explosivos reaccionan subsonicamente en un proceso llamado deflagración. Los propulsores y las pólvoras son ejemplos de explosivos bajos, mientras que el TNT es un ejemplo de alto explosivo. Los bajos explosivos no son usados generalmente en aplicaciones de punzados jet, pero se utilizan en lugar de otro en otras situaciones del campo petrolífero, como fijaciones de tapones y packers y la obtención de muestras de coring cerca de la formación.

ALTOS EXPLOSIVOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

La familia de los altos explosivos ha sido subdividida en dos categorías: Primaria y Secundaria. Los altos explosivos primarios son usados en iniciadores o detonadores solamente, su único propósito es iniciar la reacción de detonación con una pequeña energía de entrada (usualmente por un calentamiento eléctrico de un filamento de alambre o por impacto). Ellos son sensitivos a los pulsos de energía del calor, llama, fricción, impacto y descarga estática.

Los altos explosivos secundarios son usados en tres componentes del punzamiento (detonadores. Cordon detonante y cargas moldeadas) en el tren de explosivos. Los explosivos secundarios son mucho menos sensitivos a los estímulos externos que los explosivos primarios y por lo tanto mucho mas seguros para transportar. Debido a la insensitividad, ellos son mas dificultosos de iniciar, pero una vez iniciados ellos liberan tremenda cantidad de energía química en microsegundos. Por ejemplo el TNT es un explosivo secundario muy comun.

DESCOMPOSICION TERMAL

La estabilidad termal de los explosivos es importante debido a que los explosivos son materiales energéticos con rangos de descomposición que son funciones exponenciales de la temperatura. A temperatura ambiente, donde los rangos de descomposición son extremadamente pequeños, la vida efectiva de un explosivo puede ser de un millón de años, pero ese mismo material puede reaccionar en microsegundos a 1500°F.

La descomposición de los explosivos es un proceso que genera calor y productos gaseosos. Esta descomposición es comúnmente denominada "Termal outgassing" y si el calor generado por descomposición puede ser balanceado por disipación del calor hacia los alrededores, entonces el explosivo se descompone hasta que se agota. Sin embargo, el calor generado por la descomposición no es removido rápidamente, entonces es posible el proceso sea inestable y la reacción se acelere incontrolablemente antes que ocurra la explosión (comúnmente llamado "Termal Runaway". Este proceso puede ser explicado en los terminos siguientes:

Rango de Temp.en el explosivo = f (Índice de generacion de calor debido a la descomposición – Índice de calor perdido por debido a la conducción del entorno).

El rango de generación de calor causado por descomposición es una funcion exponencial de la temperatura pero el color perdido no lo es.

La siguiente figura, muestra curvas de tiempo – temperatura sacadas experimentalmente para varios explosivos.

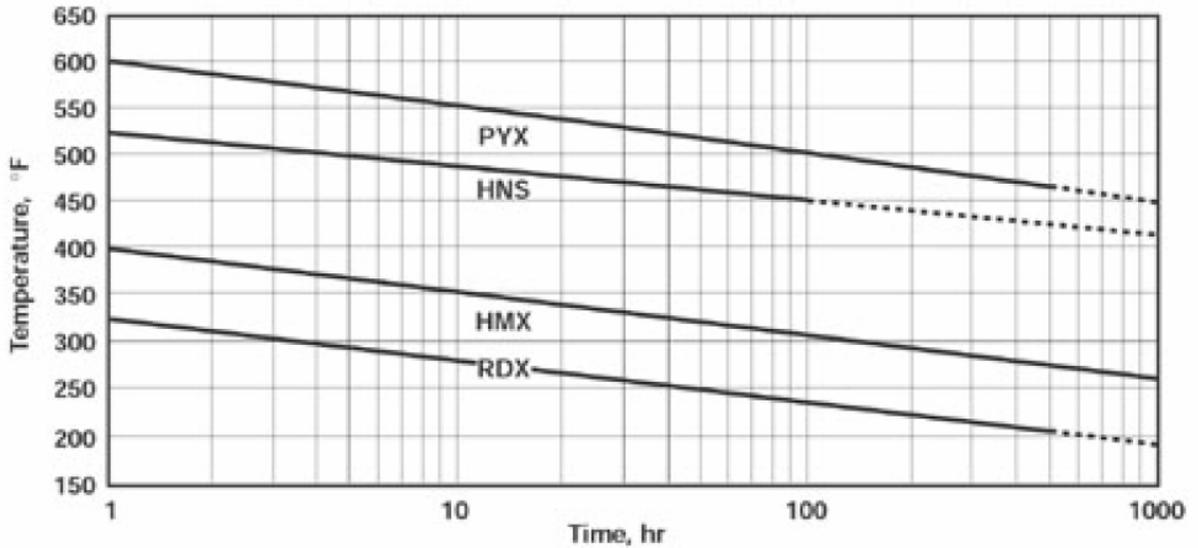


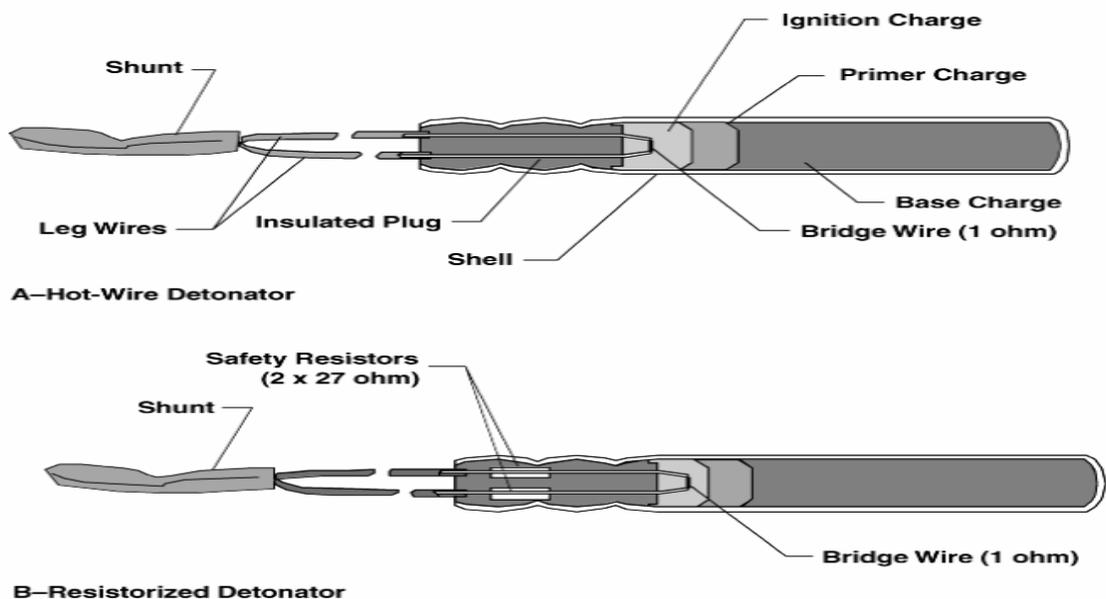
Figure 10-3 Time/Temperature Curves for Example Explosives

Esta figura provee una idea acerca de las probabilidades de descomposiciones lentas versus eventos violentos.

Por lo tanto los límites de tiempo – temperatura nunca deben ser excedidos y se deben tener en cuenta para un trabajo seguro y para la planificación de los mismos.

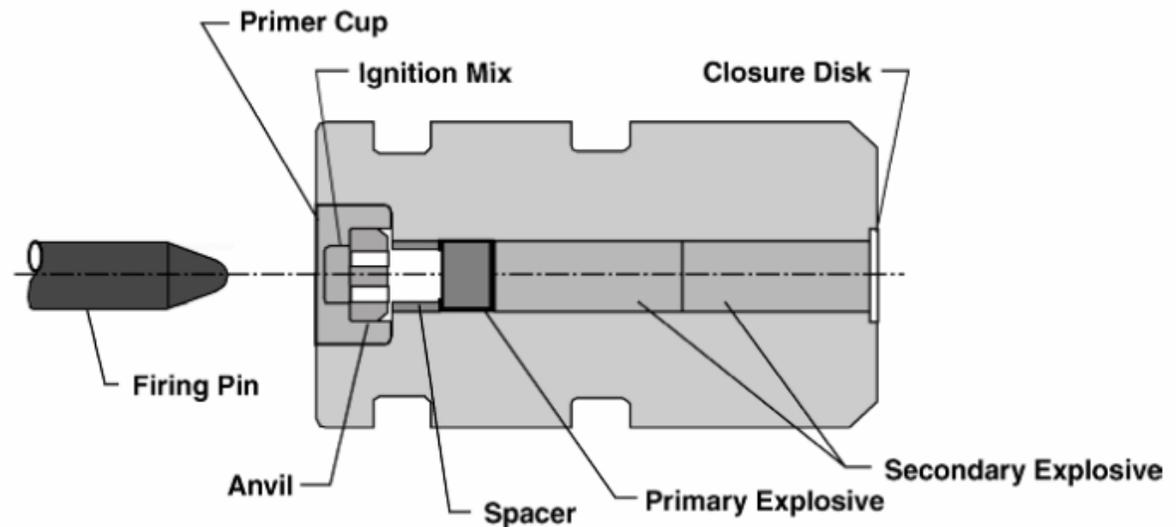
INICIADORES

Los iniciadores comúnmente usados en sistemas de punzamiento de pozos petrolíferos son en general de dos tipos, eléctricos y de percusión. Para sistemas de punzamiento con cable, el método más común de iniciación es el detonador eléctrico como se demuestra en la siguiente figura:



El tipo más comúnmente usado es el detonador HOT-WIRE, Posteriormente se adicionaron elementos de seguridad como los dos resistores en el conductor y se denominó al arreglo detonadores resistorizados. Estos impiden el pasaje de corriente de más alto nivel. Los detonadores HOT-WIRE y Resistorizados son muy simples de iniciar pero también se debe tener mucho cuidado en la operación de transporte y se deben silenciar las radiofrecuencias cuando se opera con ellos.

Para operaciones de punzamiento transportadas con tuberías, los iniciadores comúnmente usados son los iniciadores por percusión.



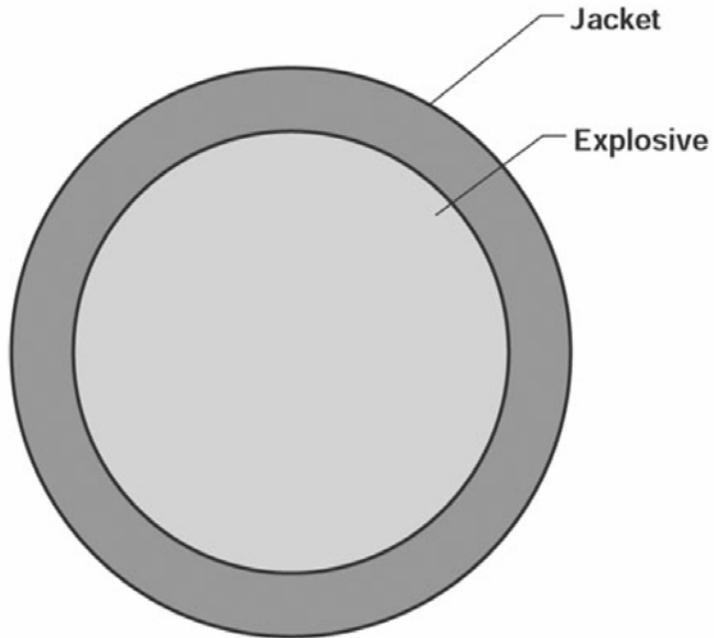
C-Percussion Initiator

El funcionamiento de este tipo de detonador depende de un perno con huelga contorneada que choca apropiadamente una parte sensitiva del iniciador. Al pinchar cortar el lado explosivo, el iniciador genera un flash que reacciona con los explosivos primarios y secundarios para alcanzar la detonación. Estos detonadores no tienen cables conductores y no son susceptibles a cargas eléctricas. Estos deben ser transportados con cuidado debido a que son susceptibles a impactos.

CORDONES DETONANTES

El cordón detonante es usado para transmitir la detonación a lo largo de un eje dentro del cañón de punzamiento, iniciando secuencialmente cada carga a medida que pasa la onda de detonación.

Consiste simplemente en un cordón de explosivo secundario dentro de una camisa protectora.



CARGAS MOLDEADAS

La carga moldeada o perforador Jet, es el componente explosivo que actualmente crea la perforación en el casing. Consiste en un simple arreglo de tres componentes:

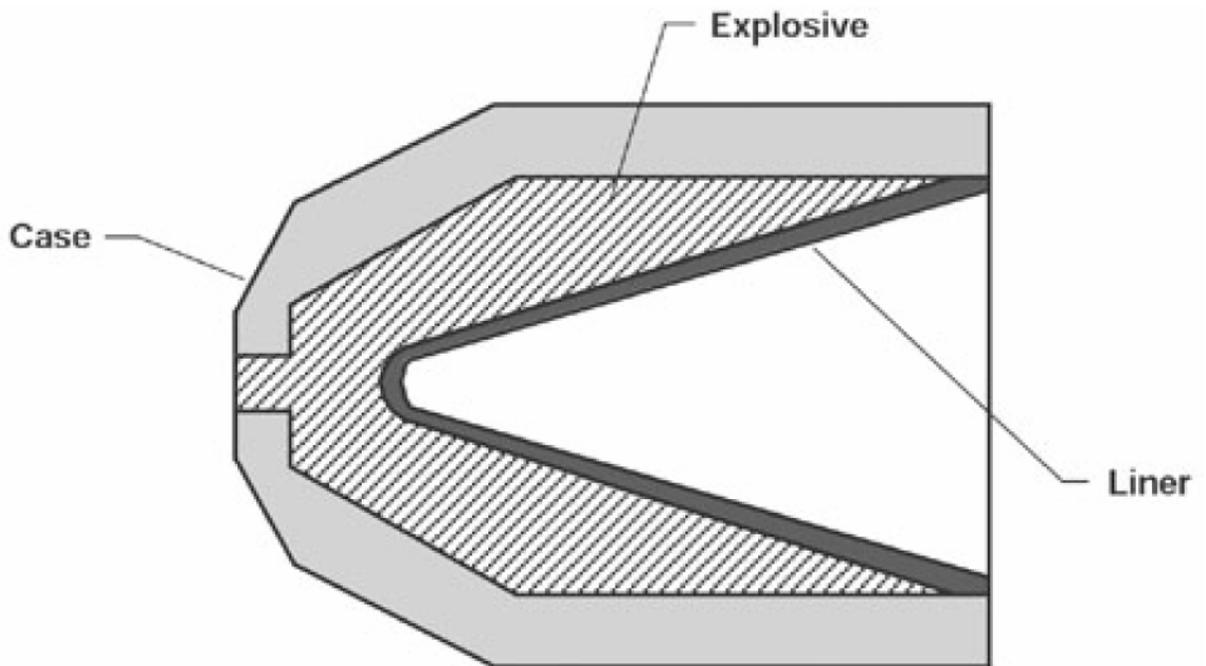


Figure 10-6 Shaped Charge Perforator

La complicación por lo tanto reside en la física entre el colapso del trazador y la penetración en el blanco; las condiciones dinámicas extremas que existen durante el colapso y la penetración, envuelven disciplinas de elasticidad, plasticidad, hidrodinámica, mecánica de fractura y características de materiales. Si estos parámetros son introducidos en sistemas computados denominados HYDROCODES, los mecanismos de colapso y penetración pueden ser estudiados en detalle. La siguiente figura muestra la penetración predispuesta correspondiente a un JET sobre un blanco de hierro en forma experimental.

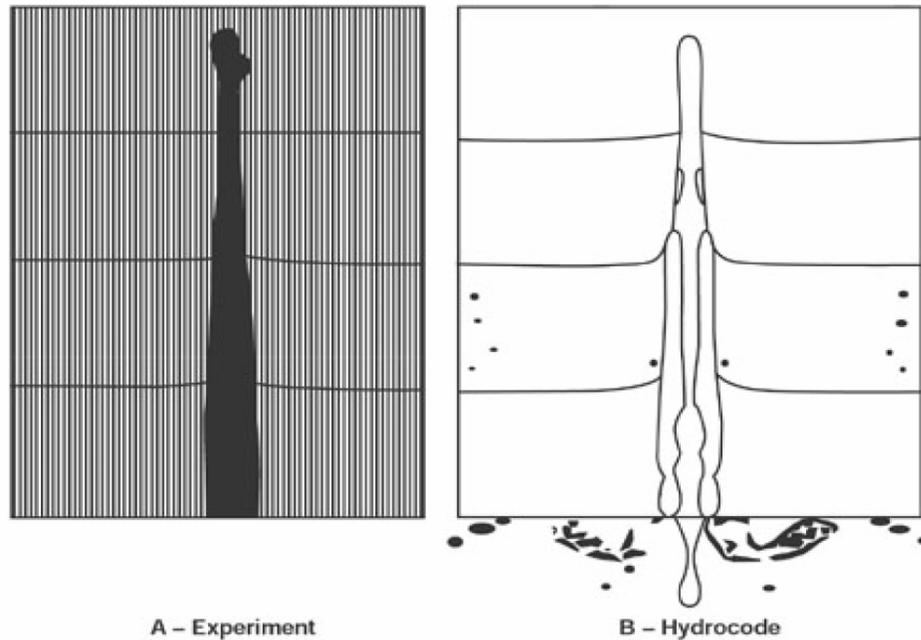


Figure 10-11 Perforation-Damaged Zone (from Bell et al., 1995)

El proceso de colapso lineal u perforación del Jet en la formación comienza con la iniciación del explosivo en la base de la carga. Una onda detonante pasa a través del explosivo, liberando químicamente la energía del explosivo sólido. Los gases de alta presión en el frente de la detonación (aprox. 3 a 5 millones de PSI) imponen un momento en el cual las fuerzas del trazador colapsan a lo largo de un eje de simetría. Dependiendo del ángulo y del material del trazador, pueden resultar diferentes colapsos y características de penetración en el blanco. Si la geometría del trazador es cónica, se puede producir un JET largo y fino.

La penetración del JET sobre el blanco es relativamente profunda y el diámetro del orificio es pequeño.

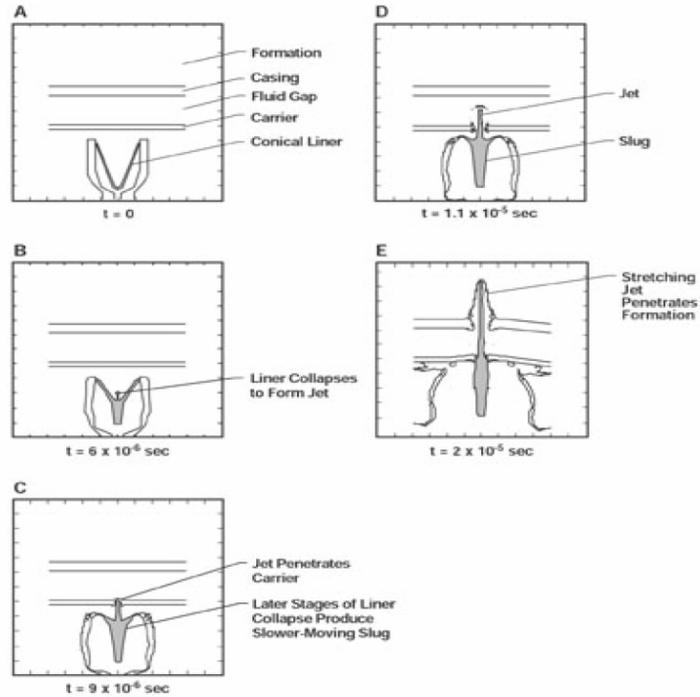


Figure 10-8 The Deep Penetrating (DP) Charge

Si el trazador es parabólico o hemiesférico como se muestra en la siguiente figura, un JET mas masivo y corto puede ser formado con penetración mas corta. Por lo tanto el diámetro del orificio creado durante la penetración puede ser relativamente grande.

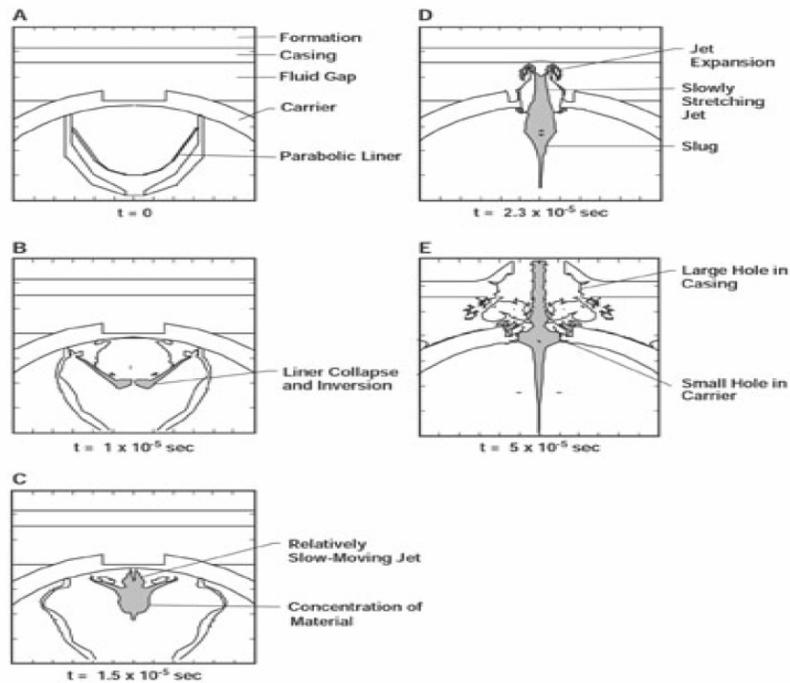
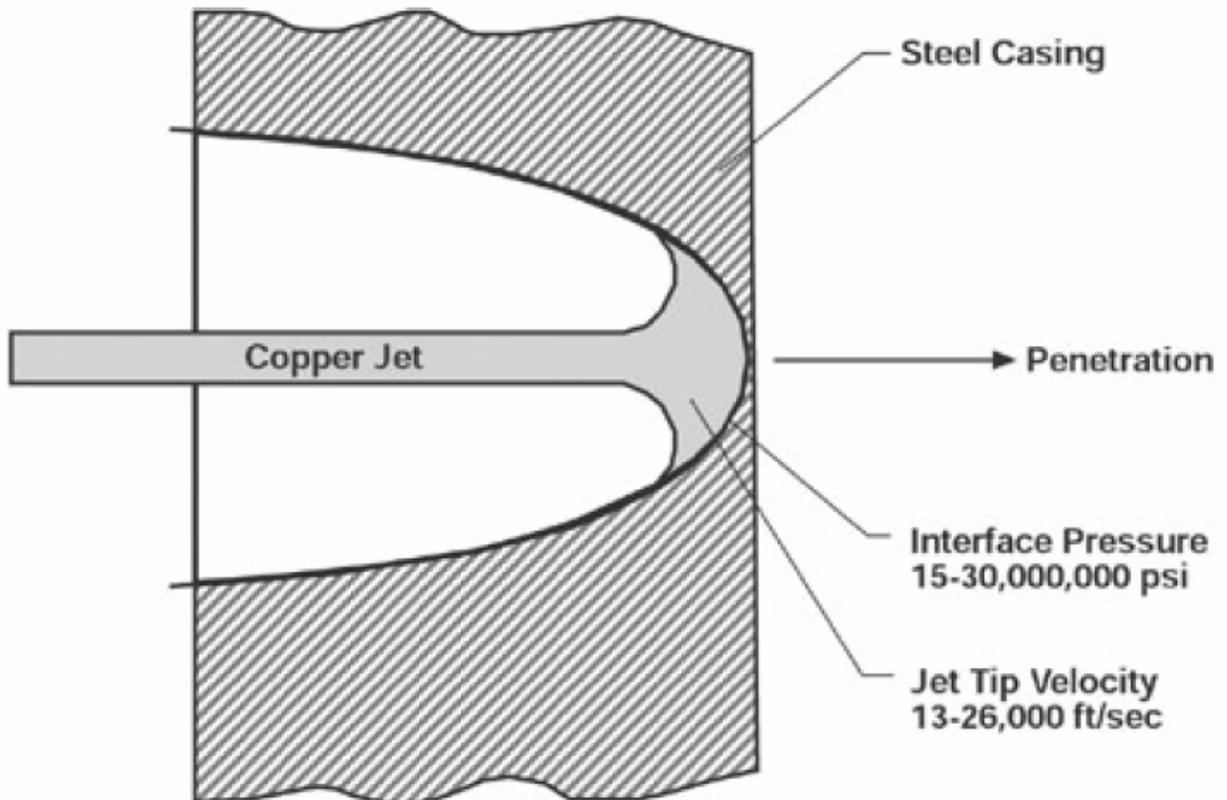


Figure 10-9 The Big Hole (BH) Charge

EL PROCESO DE PENETRACIÓN

La penetración del JET desde una carga moldeada ocurre por que el JET empuja el material a un lado radialmente. El proceso es análogo a un chorro de agua con alta presión, penetrando un block de gelatina. El esfuerzo de corte de la gelatina es muy bajo y no ofrece esencialmente resistencia al chorro de agua. El material es desplazado radialmente.

Esencialmente el mismo proceso de penetración ocurre cuando un Jet de carga moldeada penetra un blanco, solo a muy alta presión.



Los primeros modelos de penetración asumían que el Jet y el blanco eran incompresibles. Esto trajo como consecuencia que los esfuerzos y viscosidades del Jet y los materiales del blanco sean descuidados. Otro modelo asumido fue llamado aproximación hidrodinámica, este modelo hidrodinámico de aproximación, es más racional para los primeros estados de la penetración del JET desde que la presión del impacto exceda el esfuerzo de resistencia del material. La temperatura en juego aquí, es una parte insignificante del proceso debido a que el tiempo es muy corto para que se produzca el intercambio de calor. Para la penetración de rocas dentro del pozo, no solamente son importantes los esfuerzos compresivos dentro del pozo sino también los esfuerzos efectivos los cuales son iguales al esfuerzo de sobrecarga menos la presión poral. El esfuerzo efectivo hace que la roca sea más dura y resistente a la penetración. En resumen, muchos son los factores que se reconocen para reducir la penetración de un JET en las rocas que componen las formaciones dentro del pozo.

ZONA DAÑADA

Durante el proceso de penetración del JET algún daño ocurre en la matriz de la roca alrededor del tunnel de penetración como lo muestra la siguiente figura:

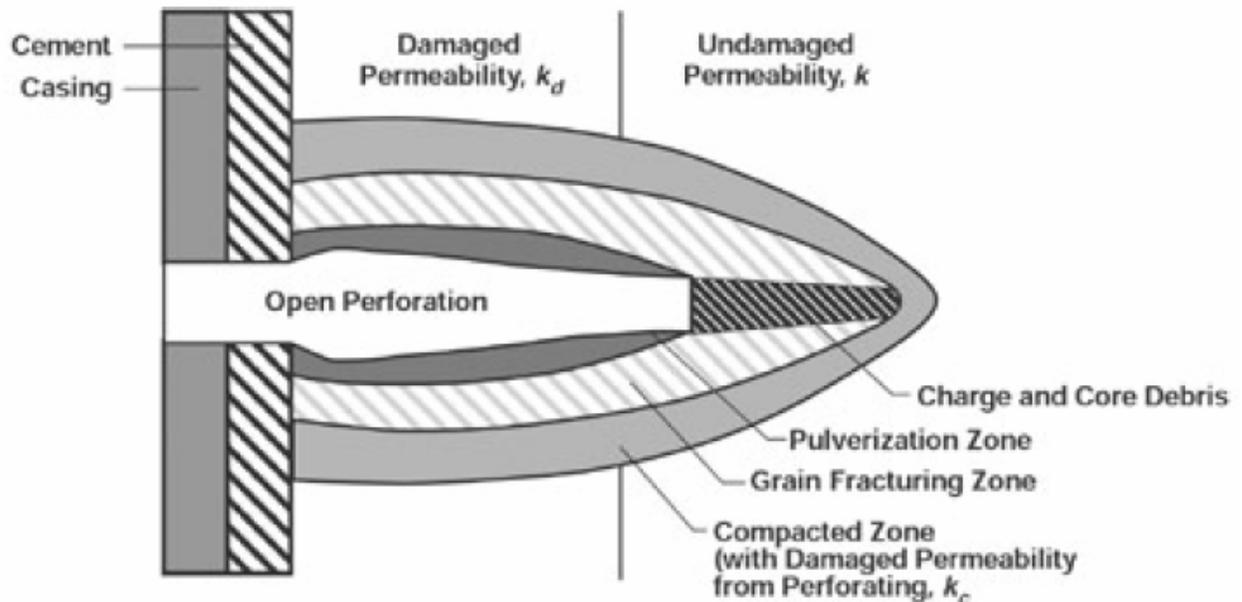


Fig. 10-11 Perforation-Damaged Zone (from Bell et al., 1995)

La zona alterada es una zona denominada dañada (o compactada o machacada) y resulta del alto impacto de presión que ocurre durante la perforación. La zona dañada consiste de granos compactados y machacados de la capa aproximadamente de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor lo cual rodea el tunnel de la perforación. Posteriormente se demostró que la zona dañada no es uniforme en espesor y esta actualmente decrece a lo largo hacia el final del tunnel. El mayor daño ocurre cerca del agujero de entrada donde la presión del impacto del JET es grande, mientras que el menor daño ocurre al final del tunnel donde el esfuerzo de impacto es pequeño. Estas son evidencias que cargas de agujero grande (especialmente cargas que exceden los 23g) pueden causar zonas dañadas de aproximadamente 1 pulgada. Estudios de laboratorio indican que la permeabilidad de la zona dañada puede ser de 10 a 20 % de la zona virgen circundante. Para restaurar una comunicación efectiva entre el reservorio y el pozo, varias técnicas son usadas en un intento de remediar los efectos de la zona dañada. Una técnica es el punzado en desbalance, en el cual el operador intenta remover el daño mediante un lavado o surgimiento de la formación. Otra técnica consiste en un punzado extremadamente sobrebalanceado en la cual se intenta hacer circular el daño inducido en la perforación creando microfracturas que cruzan a través de la zona machacada. El sobrebalance se puede realizar mediante la presurización del pozo o por medio de cargas propelantes. Adicionalmente hoy en día las investigaciones acerca

de las cargas moldeadas tratan de hacer que el proceso de penetración disminuya el daño a través de nuevas geometrías de trazadores y metalurgia.

TIPOS DE SISTEMA DE CAÑONES

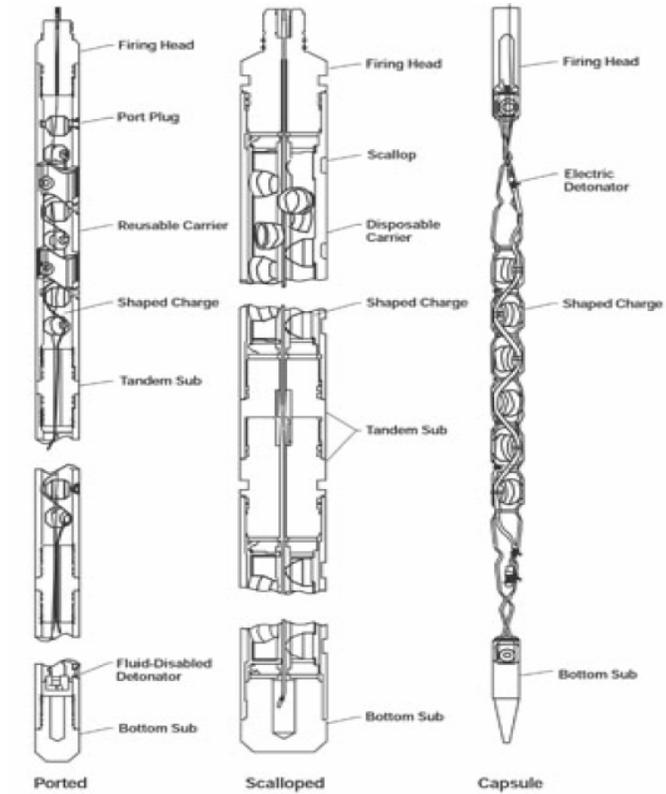


Figure 10-12 Gun System Types

Existen tres tipos generales de sistemas de cañones usados en la industria actualmente: PORTED, SCALLOPED y CAPSULE.

Los dos primeros son descartables y relativamente de pared gruesa tubulares que son usados para transportar el tren de explosivos dentro de ellos y proteger dichos explosivos de las condiciones ambientales del pozo. Los cañones CAPSULE consisten de cargas que son incluidas o encapsuladas por una protección. Las cargas son fijadas a un carrier el cual es generalmente un set de cables o strip flexible y son usualmente bajadas con cable. Las cargas están en comunicación con el fluido del pozo y se usa este sistema para condiciones de diámetros reducidos.