



Disparos

Ing. Juan Carlos Sabido Alcántara

Ingeniero Petrolero

Facultad de Ingeniería UNAM



Disparos





Disparos

- Cuando la terminación del pozo es con tubería de revestimiento cementada, los disparos conectan al pozo con el yacimiento.
- Si se fractura, entonces los disparos son el conducto del fluido entre la fractura y el pozo. Por lo que el conocimiento de los mismos es fundamental para realizar fracturamiento hidráulico.



Disparos



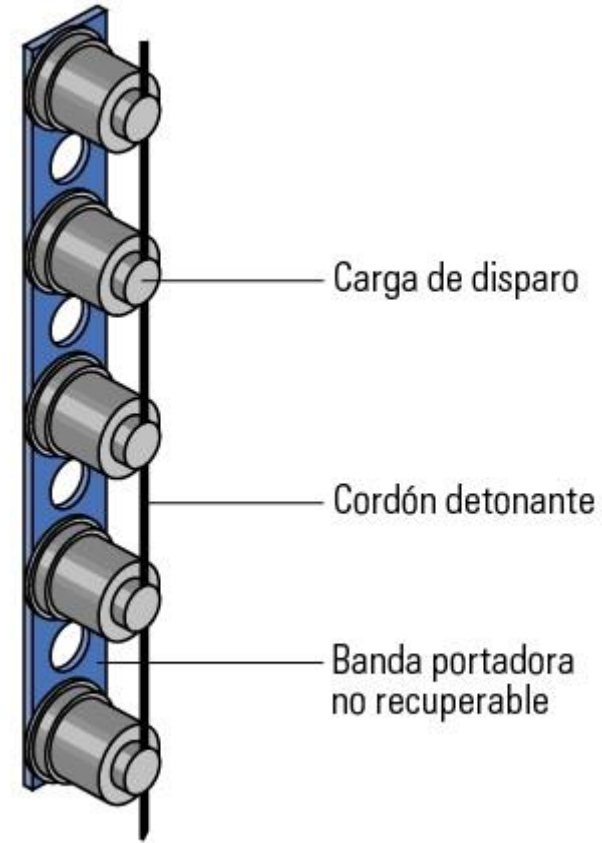
- El objetivo del diseño de los disparos en fracturamiento es el de elegir los parámetros y procesos que minimicen las caídas de presión cerca del pozo durante el fracturamiento y la producción. Los disparos también deben permitir la colocación de una barrera de arena efectiva entre el yacimiento y el pozo.



Disparos

- ***Pistolas.***

- Una pistola o sistema de disparo está compuesto por la carga moldeada, el cordón explosivo, el estopín eléctrico y el porta cargas.



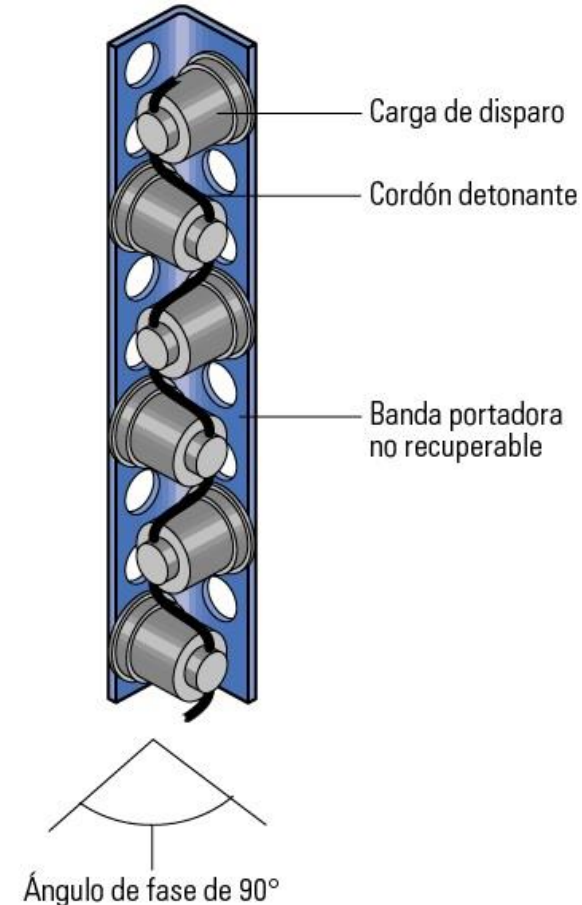


Disparos

• Pistolas.

Estopín.- Es el que inicia la detonación cuando se le envía corriente eléctrica desde superficie.

Cordón explosivo.- Proporciona la energía necesaria (por percusión) para detonar las cargas.



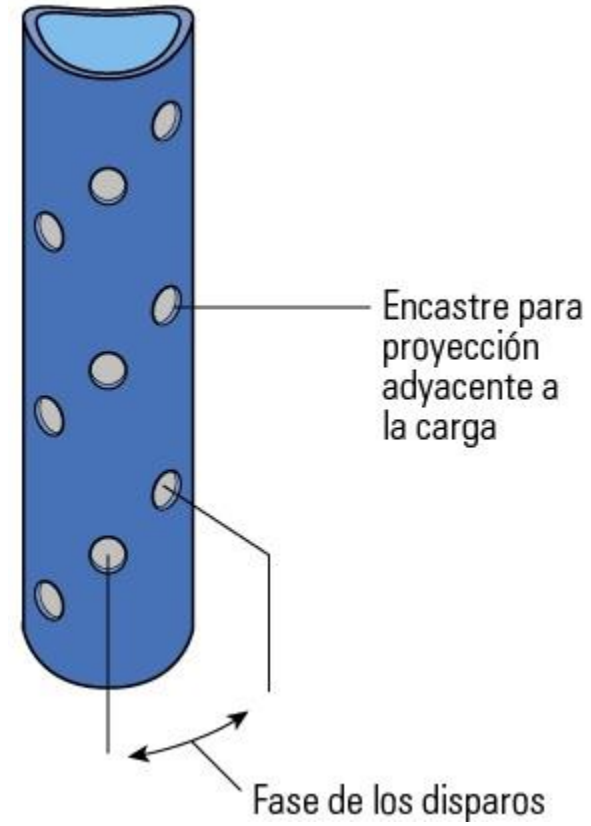


Disparos



• Pistolas.

Carga moldeada revestida.- Es el componente más importante de una pistola, esta utiliza un explosivo alto secundario para impulsar un chorro (jet) de partículas metálicas a altas velocidad que penetra la TR, el cemento y la formación.





Disparos



- ***Pistolas: Carga.***

- La cubierta o carcasa aloja a los otros componentes y de tener resistencia a la temperatura y la abrasión.
- El revestimiento o liner provee de la masa necesaria para que el jet penetre en la TR, cemento y formación. Las presiones ejercidas sobre el revestimiento cuando detona el explosivo provocan que este colapse y forme un chorro o jet. La forma, grosor y composición del revestimiento influyen grandemente en la longitud, diámetro y efectividad del disparo.



Disparos



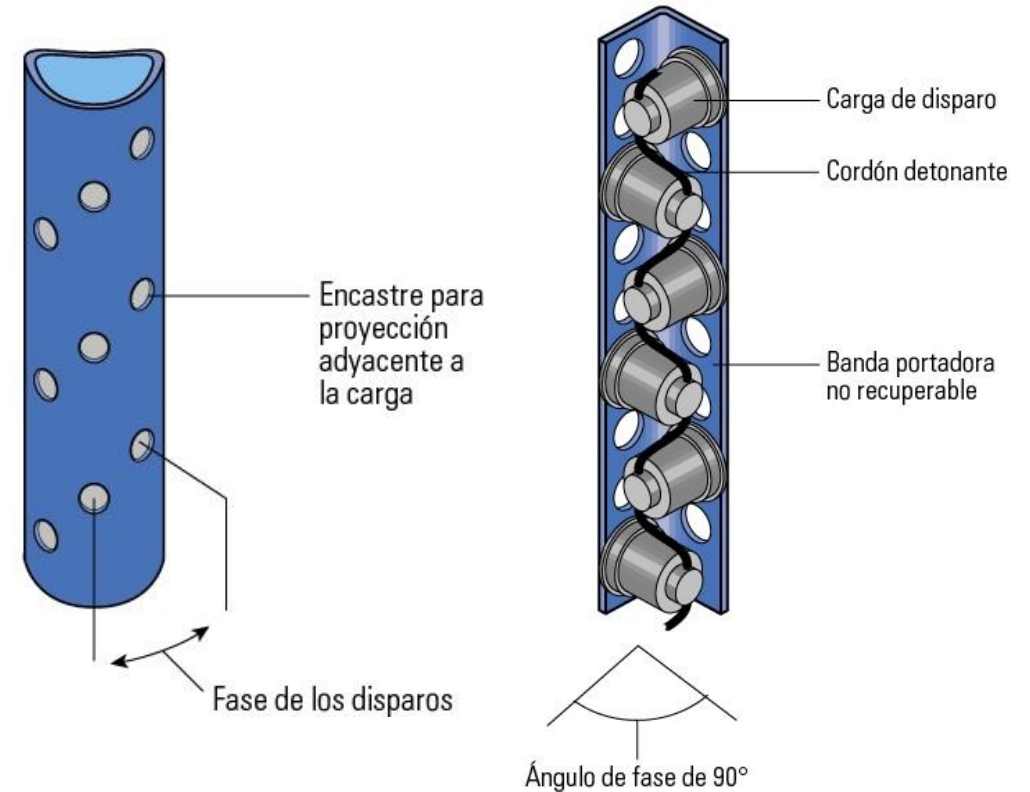
- ***Pistolas: Carga.***

- El explosivo principal provee de la energía necesaria para producir el jet. La masa, distribución y velocidad de detonación del explosivo principal afectan el desempeño de la carga.
- El iniciador está compuesto de una pequeña cantidad de explosivo más sensible que el explosivo principal. El iniciador se conoce también como carga de transferencia ya que su propósito primario es transferir el choque del cordón detonante al explosivo principal.



Disparos

- ***Pistolas: Porta Carga.***
- Es el dispositivo que se utiliza para montar las cargas y se clasifican en: tubo portador, lámina y alambre.





Disparos



• ***Pistolas: Sistemas.***

1. Sistemas recuperables (no expuestos).- En este sistema todos los residuos son recuperados y los explosivos no están expuestos a la presión. La desventaja de este sistema es que reduce la penetración.
2. Sistemas desechables.- En estos sistemas el cordón explosivo, estopín y el sistema portador se quedan dentro del pozo. Las desventajas de este sistema son: los explosivos están expuestos a la presión y al fluido de terminación y la cantidad de basura que dejan. Su ventaja es que son de mayor penetración.



Disparos

• ***Pistolas: Sistemas.***

3. Sistema semi-desechable.- Es similar al anterior con la ventaja de que dejan menos residuos debido a que el porta cargas se recupera.

Recuperable



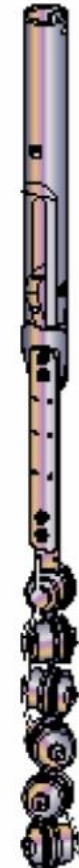
Scallop

Desechable



Spiral Shogun

Semidesechables



Enerjet Desintegrable

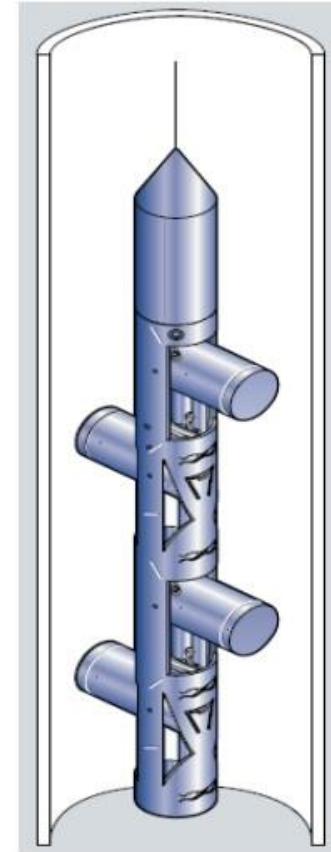


Disparos



- ***Pistolas: Transporte.***

- Pistolas bajadas con cable:
Pueden usarse antes y después de introducir el aparejo de producción, los explosivos son montados en portacargas que pueden ser recuperables, semi-deschables o desechables.





Disparos



- ***Pistolas: Transporte.***

- La ventaja de efectuar el disparo antes de bajar el aparejo de producción es que se pueden emplear pistolas de diámetro más grande generando un disparo más profundo. Los componentes explosivos se montan en un portacargas que puede ser un tubo, una lamina o un alambre.



Disparos

• ***Pistolas: Transporte.***

- Pistolas bajadas con tubería (DBT): Solo utilizan porta cargas entubados y el objetivo principal es favorecer la productividad del pozo creando agujeros de mayor diámetro y mayor penetración.

Recuperable



Scallop

Desechable



Spiral Shogun

Semidesechables



Enerjet Desintegrable



Disparos



- ***Pistolas: Transporte.***

- En el sistema de Disparo Bajado con Tubería (**DBT**), la pistola es bajada al intervalo de interés con tubería de trabajo o con el aparejo de producción. A diferencia de las pistolas bajadas con cable, la operación de disparos puede ser efectuada en una sola corrida, lo cual favorece la técnica de disparos bajo balance.



Disparos



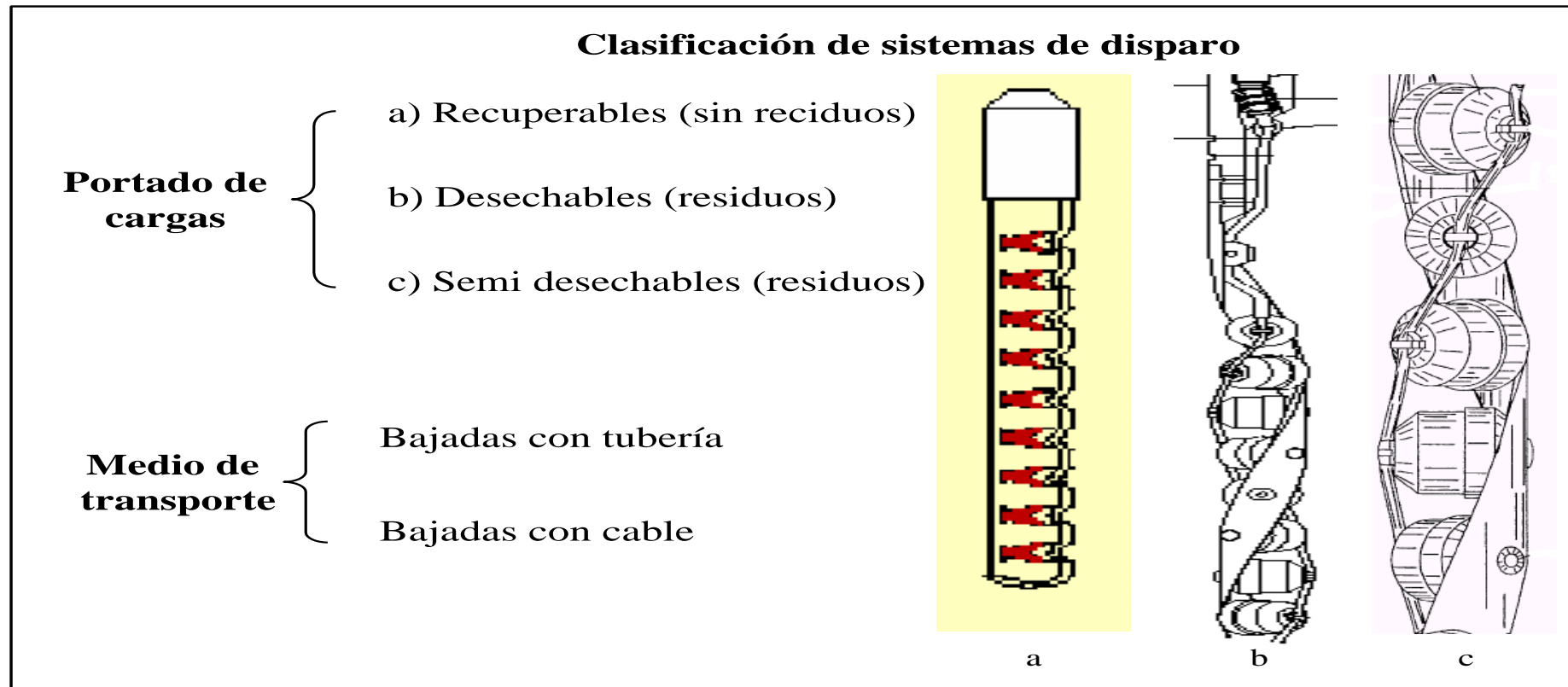
- ***Pistolas: Transporte.***

- El disparo del pozo utilizando el sistema **DBT** permite bajar el aparejo de producción junto con las las pistolas reduciendo así el tiempo para poner el pozo en producción. El disparo de un pozo utilizando la técnica **DBT** puede resultar muy ventajoso desde el punto de vista de seguridad. Grandes desviaciones no representan ningún impedimento para efectuar una operación de disparo.



Disparos

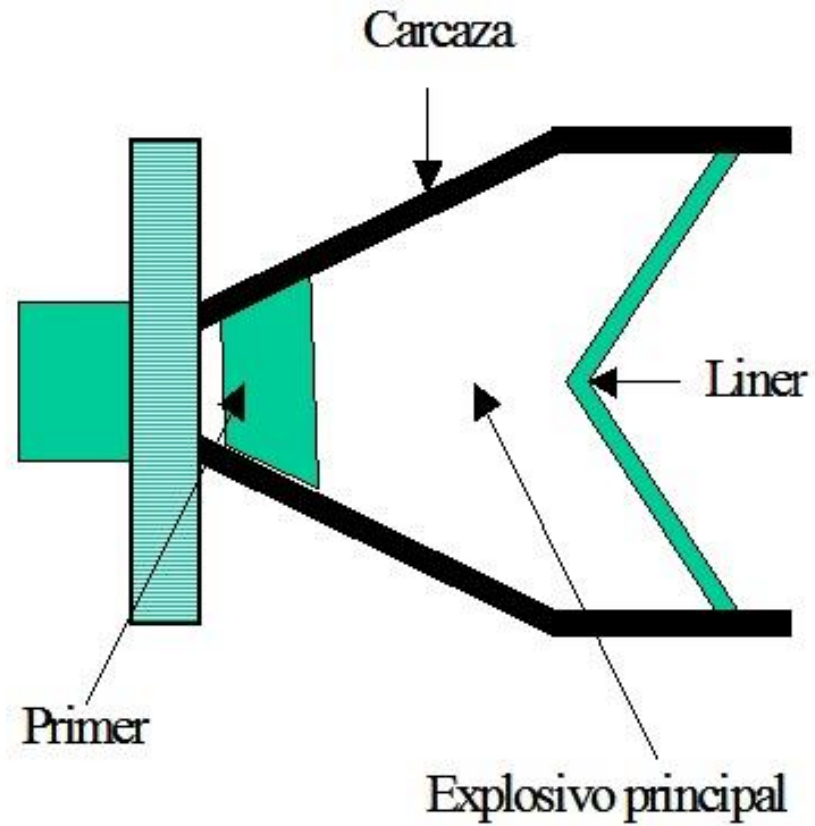
• Pistolas: Clasificación.





Disparos

- ***Pistolas: Carga.***



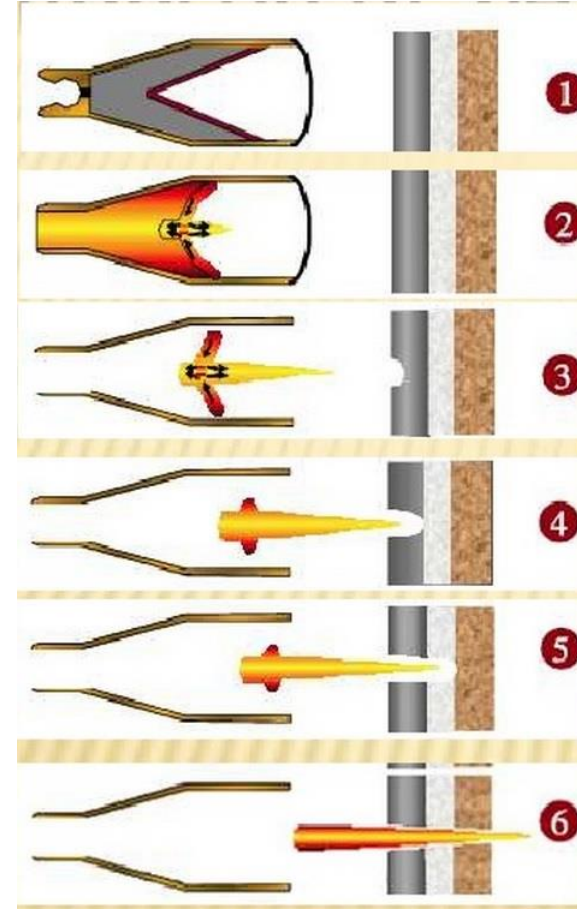


Disparos



• Pistolas: *Proceso de Disparo.*

1. *Carga sin detonar.*
2. *La carga se detona. La carcasa se expande. El liner comienza a colapsarse.*
3. *Se forma un chorro de alta presión de partículas de metal fluidizado.*



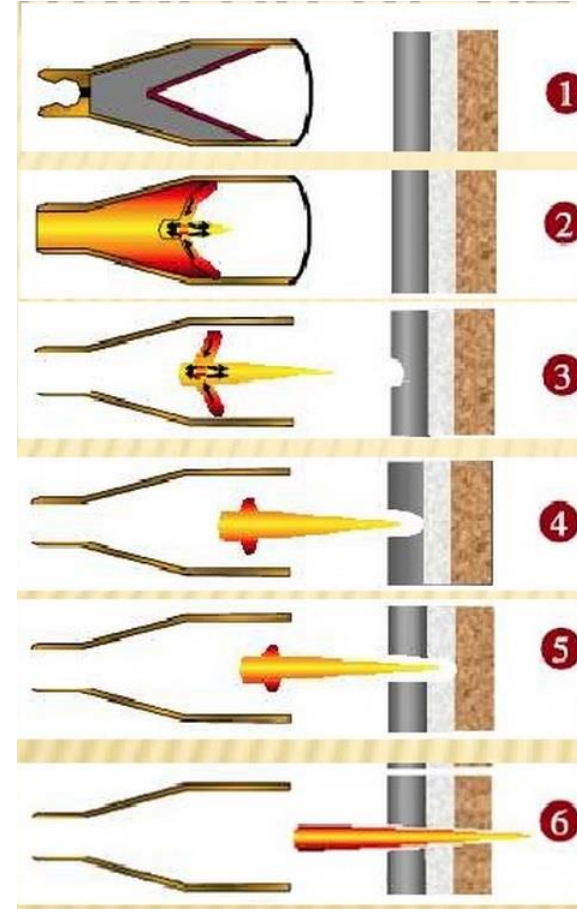


Disparos



• Pistolas: Proceso de Disparo.

4. *El chorro se desarrolla más. La presión hace que la velocidad aumente.*
5. *El chorro se elonga porque la parte posterior viaja a una velocidad menor.*
6. *Se logra la penetración con millones de [psi] de presión en el casing y miles de [psi] en la formación.*





Disparos

- ***Factores geométricos del disparo.***

- La geometría de los agujeros hechos por las cargas explosivas en la formación influyen significativamente en la relación de Productividad del Pozo y está definida por los factores geométricos señalados a continuación:
 1. Penetración (longitud de la perforación).
 2. Densidad de cargas.
 3. Fase angular de las perforaciones.
 4. Diámetro de la perforación.

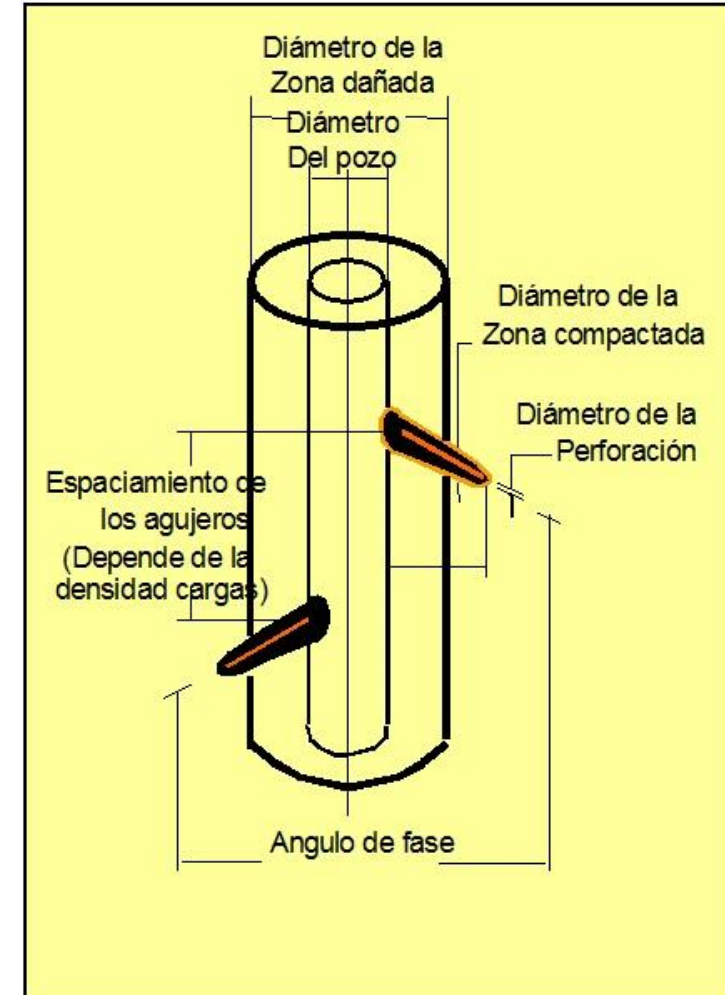


Disparos



• Factores geométricos del disparo.

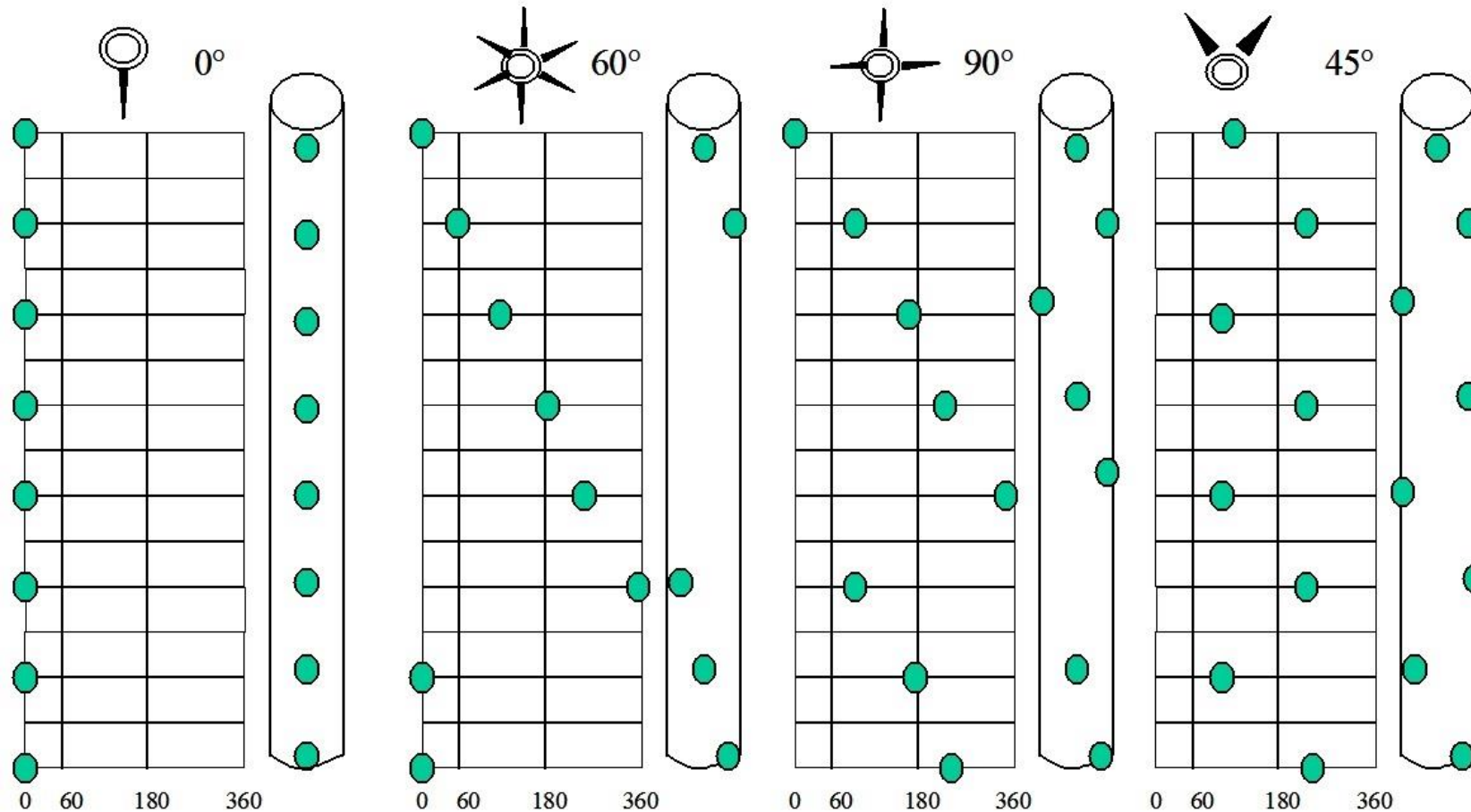
1. Penetración (longitud de la perforación).
2. Densidad de cargas (cargas/m).
3. Fase angular de las perforaciones (ángulo entre disparos)
4. Diámetro de la perforación.





Disparos

- Factores geométricos del disparo.***

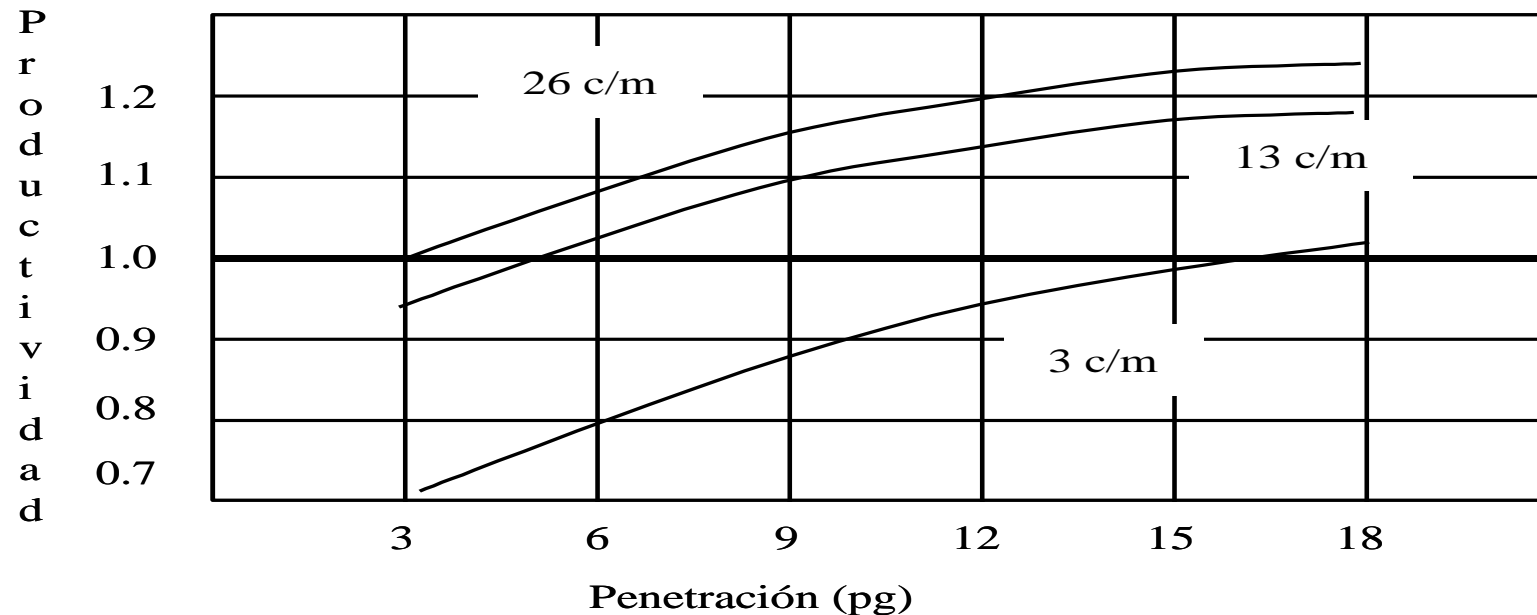




Disparos

- ***Factores geométricos del disparo.***

- Efecto de la penetración y la densidad de carga en la productividad.

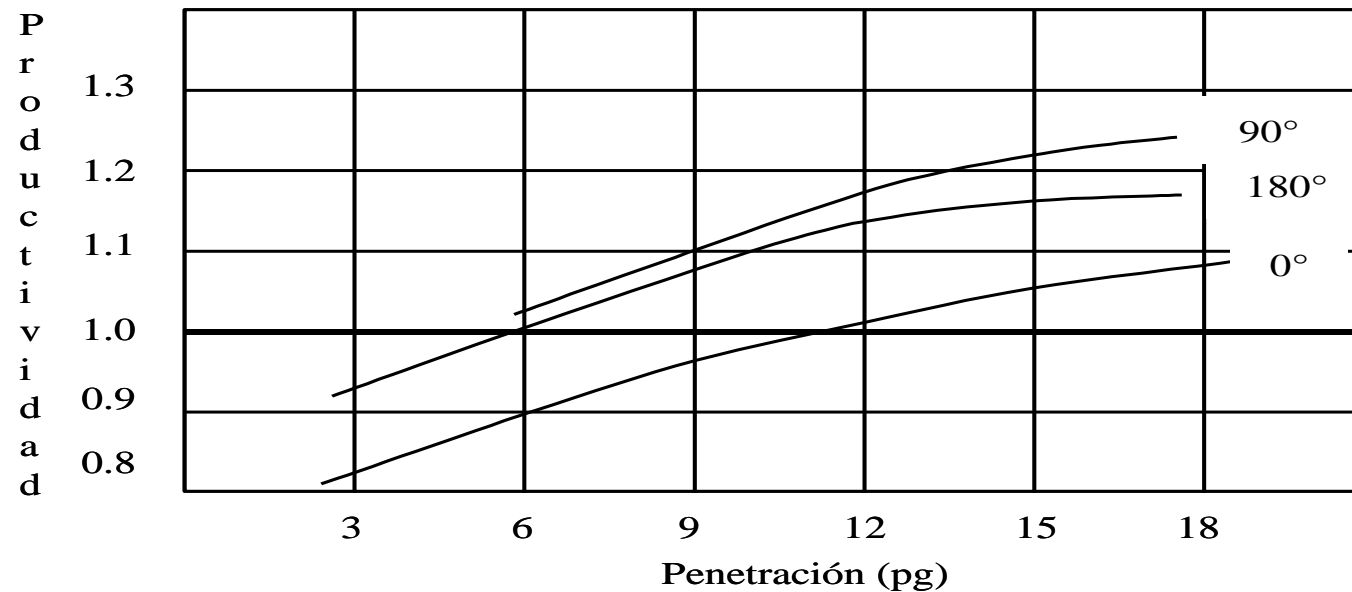




Disparos

- ***Factores geométricos del disparo.***

- Efecto de la penetración y la fase en la productividad.





Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo.***

- Condición de Balance: La condición balanceada se presenta cuando la presión hidrostática del fluido de terminación es igual a la presión del yacimiento.
- Condición de Sobre Balance: Se obtiene cuando se aplica una presión hidrostática mayor que la presión de yacimiento.
- Condición de Bajo Balance: Se realiza cuando la presión hidrostática ejercida por el fluido de terminación es menor que la presión del yacimiento.



Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo.***
 - La condición de sobre balance, puede ocasionar que los agujeros se taponen con los residuos de las pistolas y la realización de esta condición operativamente es más complicada y poco usual, por lo que la condición de **bajo balance** es la más empleada en la industria petrolera.



Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo.***

- Para determinar la presión diferencial bajo balance óptima al efectuar el disparo, se deben considerar los siguientes factores:
 - Grado de consolidación de la formación.
 - Permeabilidad de la formación.
 - Tipo de fluido contenido en la formación.



Disparos



- ***Condiciones de presión al disparo.***

- Una formación se considera **consolidada** cuando su densidad es mayor de 2.4 [gr/cc] o cuando el tiempo de tránsito de las lutitas adyacentes (arriba y abajo) es menor a 100 [μ seg/pie] y se considera **no consolidada** cuando su densidad es menor a 2.4 [gr/cc] y el tiempo de tránsito de las lutitas adyacentes es mayor a 100 [μ seg/pie]. Este concepto es aplicable únicamente para arenas.



Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo.***

- Procedimiento de cálculo para determinar la presión diferencial bajo balance (ΔP) en formaciones consolidadas: La resistencia compresiva de la formación puede ser usada para calcular la ΔP_{max} . De acuerdo a pruebas de laboratorio con núcleos de formación, *no hay movimiento de la matriz de formación hasta que el esfuerzo efectivo excede en 1.7 veces la resistencia compresiva de la formación*. El esfuerzo efectivo es igual a la presión de sobrecarga menos la presión de poro. Por lo tanto la presión de poro mínima es igual a la presión de sobrecarga menos 1.7 veces la resistencia compresiva.



Disparos



- ***Condiciones de presión al disparo.***

- Ejercicio. Expresa lo anterior matemáticamente.



Disparos

- **Condiciones de presión al disparo.**
- Lo anterior se expresa analíticamente con las siguientes expresiones matemáticas:
 - $\sigma_z = \sigma_{sob} - P_{p \min} ; \sigma_z < 1.7 * R_c ;$
 - $P_{p \min} = \sigma_{sob} - 1.7 * R_c ; \Delta P_{\max} = P_f - P_{p \min}$
 - σ_z = Esfuerzo efectivo (psi)
 - σ_{sob} = Esfuerzo de sobrecarga (psi)
 - R_c = Resistencia compresiva de la formación (psi)
 - $P_{p \min}$ = Presión de poro mínima (psi)
 - P_f = Presión de formación (psi)
 - ΔP_{\max} = Presión diferencial máxima previa al disparo (psi)



Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo.***
 - Si no se dispone del dato de la presión de formación, se puede obtener una aproximación aceptable suponiendo que la presión de formación es \leq a la presión hidrostática ocasionada por el fluido de perforación a la profundidad del intervalo.



Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo.***

- Para determinar la presión diferencial mínima (Δp_{\min}) para disparar un intervalo en bajo balance se ha obtenido con base en estudios estadísticos y depende de la permeabilidad y del fluido contenido en la formación a probar. Las expresiones matemáticas para su cálculo son las siguientes:

- **Para aceite :** $\Delta P_{\min} = \frac{3500}{K^{0.37}}$; **Para gas :** $\Delta P_{\min} = \frac{2500}{K^{0.17}}$;

- ΔP_{\min} = Presión diferencial mínima previa al disparo (psi)
- K = Permeabilidad de la formación (mD)



Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo.***
 - En formaciones consolidadas, también será posible calcular ΔP_{\max} con el 80% de la mayor presión diferencial que pueda ser soportada por los elementos mecánicos del pozo de menor rango que son los empacadores.



Disparos

- **Condiciones de presión al disparo.**

- Para el cálculo de la presión diferencial bajo balance (ΔP) se deberán seguir los siguientes lineamientos:
 - a. Si los registros indican una **invasión somera** de fluidos, ΔP estará entre ΔP_{\min} y el punto medio.
 - b. Si por el contrario indican una **invasión media o profunda**, ΔP estará entre el punto medio y ΔP_{\max} .
 - c. El **punto medio** es la suma algebraica de $\Delta P_{\min} + \Delta P_{\max}$ entre 2.
 - d. Si la presión diferencial calculada (ΔP) está fuera de los rangos se muestran en la siguiente tabla, se deberá ajustar el valor calculado al **mínimo o máximo** indicado en la tabla, el que esté más cercano al valor calculado.



Disparos

- **Condiciones de presión al disparo.**

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



Disparos

• ***Condiciones de presión al disparo. Ejercicio 1.***

- Se desea disparar bajo balance el intervalo 2500 – 2506 m (arenas del terciario) con una permeabilidad de 500 mD, se tiene un empacador de 5,000 psi de presión de trabajo. El registro sónico de densidad proporciona un Δt de 70 μ seg/ft, una ρ_b de 2.5 gr/cc y nos indica una invasión somera. El fluido esperado es gas con una presión de 4000 psi. La profundidad interior del pozo es de 2520 m ¿Cuál debe ser la presión diferencial previo al disparo y como se lograría si el fluido de terminación es agua?



Disparos

• **Condiciones de presión al disparo. Ejercicio 1.**

- **Paso 1.-** Los datos mostrados por el registro sónico nos indica que es una formación consolidada por lo tanto la ΔP_{min} es:
- $\Delta P_{min} = 2500 / (K^{0.17}) = 2500 / (500^{0.17}) = 869$ [psi]
- **Paso 2.-** Calcule la ΔP_{max} , considerando que la presión de trabajo del empacador es de 5000 [psi].
- $\Delta P_{max} = P_t(\text{empacador}) * 80\% = 0.8 * 5000 = 4000$ [psi]
- Ya que la invasión es somera, la ΔP deberá estar entre el punto medio y la Δp_{min} , por lo tanto:
- $\Delta P_{media} = (\Delta P_{min} + \Delta P_{max}) / 2 = (869 + 4000) / 2 = 2434$ [psi],
- luego: $\Delta P = (2434 + 869) / 2 = 1651$ psi. **$\Delta P = 1651$ [psi].**
- Como el valor calculado está dentro del rango de valores de la Tabla 1, se tomará como bueno dicho valor.



Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo. Ejercicio 1.***

- **Paso 3.-** La presión hidrostática del fluido de terminación (agua) nos proporciona una P_h de 3559 psi y se requieren únicamente 2349 psi; por lo que la densidad del fluido tendría que ser de 0.66 gr/cc o tendrá que haber una **columna de 1652 m de agua** para obtener el bajo balance deseado.



Disparos

• ***Condiciones de presión al disparo. Ejercicio 2.***

- Calcular la columna de fluido de terminación (salmuera 1.10 gr/c.c.) si se desea disparar bajo balance un intervalo de arenas de 2400 – 2420 m, en un pozo productor de aceite y con una permeabilidad de 200 mD. Durante la perforación se utilizó un lodo con densidad de 1.20 gr/c.c., la resistencia compresiva de la formación es de 2000 psi y una presión de sobrecarga de 6000 psi. Considere la formación consolidada y con una invasión somera.



Disparos

• *Condiciones de presión al disparo. Ejercicio 2.*

- Paso 1.- Calcular $P_{p \text{ min}}$, $P_{p \text{ min}} = 6000 - (1.7 * 2000) = 2600$ [psi]
- Paso 2.- Calcular P_f , $P_f = 1.422 * 1.20 * 2410 = 4112$ [psi]
- Paso 3.- Calcular ΔP_{max} , $\Delta P_{\text{max}} = 4112 - 2600 = 1512$ [psi]
- Paso 4.- Calcular ΔP_{min} , $\Delta P_{\text{min}} = 3500 / (200)^{0.37} = 493$ [psi]
- Paso 5.- Calcular punto medio, $\Delta P_{\text{med}} = (1512 + 493) / 2 = 1002$ [psi]
- Paso 6.- Como la invasión es somera, ΔP estará entre ΔP_{min} y el punto medio $\Delta P = (493 + 1002) / 2 = 748$ [psi].
- Como es un pozo de aceite con permeabilidad alta ($K > 100$ mD) y el valor de ΔP de 748 psi se sale del rango indicado en la tabla (200-500 psi), se tomará el valor máximo del rango indicado en la tabla ($\Delta P = 500$ psi) como presión diferencial a utilizar previa al disparo.



Disparos

- ***Condiciones de presión al disparo. Ejercicio 2.***

- Por lo expuesto la columna hidrostática de salmuera deberá ejercer una presión de:

- $P_h = P_f - \Delta P$, $P_h = 4115 - 500 = 3615$ psi, por lo que la columna de fluido de terminación (salmuera de 1.10 gr/c.c.) deberá tener una longitud de:

- $L = P_h / (1.422 * \rho_{sal}) = 3615 / (1.422 * 1.10)$

Long. = 2311 m.



Disparos



- ***Cargas DP y BH.***
- Las cargas DP (deep-penetrating o penetración profunda) son largas pero con un diámetro pequeño que varía de 0.2 a 0.5 pulgadas. Este tipo de cargas por lo general se usa en formaciones duras.



Disparos



- ***Cargas DP y BH.***
- Las cargas BH (big-hole o de agujero grande) se usan normalmente para formaciones no consolidadas. Este tipo de cargas generan diámetros entre 0.6 y 1.5 pulgadas y una longitud que no llega a exceder 8 pulgadas.



Disparos



- ***Cargas DP y BH.***
- En yacimientos de alta permeabilidad, el flujo dominante es a través de los ejes de los disparos y se requiere una mayor área abierta al flujo, y cargas BH. En el caso de pozos de gas se puede hacer hincapié en el uso de cargas BH.



Disparos



- ***Cargas DP y BH.***
- Las cargas DP tendrán un menor daño localizado por disparo cuando este se realiza bajo balance, y debido a la diferencia de la geometría de la cavidad generaran menos residuos de la roca comparados con las cargas BH. Eliminar los residuos de roca de una cavidad de disparo DP durante un disparo bajo balance o durante el flujo posterior a la perforación es más sencillo.



Disparos

- ***Importancia de los Disparos.***
- El método óptimo de disparos así como el proceso de fracturamiento hidráulico se debe de seleccionar tomando en cuenta la resistencia de la formación y fluidos del yacimiento. Se debe de considerar si se trata de arenas consolidadas o no consolidadas y las respectivas diferencias entre las mismas.



Disparos



- ***Importancia de los Disparos.***
- Con la técnica de disparo bajo balance se puede eliminar la zona triturada por los disparos y así minimizar una posible producción de arena en formaciones no consolidadas.



Disparos



- ***Importancia de los Disparos.***
- Para definir si se utilizan cargas DP o BH se deben tener en cuenta los esfuerzos de la formación, la permeabilidad del yacimiento, los fluidos a producir y los posibles mecanismo de daño.



Disparos



- ***Importancia de los Disparos.***
- Si se va a fracturar un pozo con alto gasto de gas se requiere usar cargas tipo BH para lograr una máxima área abierta al flujo. Mientras que para pozos de aceite débilmente consolidados se recomienda usar cargas DP, pues se puede presentar un extenso daño.



Disparos

- ***Importancia de los Disparos.***
- Debe considerarse con cuidado la selección de los intervalos disparados para evitar el crecimiento vertical indeseado de la fractura hidráulica en las capas de lutita que sobreyacen y subyacen los intervalos productivos.



Disparos



- ***Importancia de los Disparos.***
- El fracturamiento dentro de las capas de lutita restringe la pérdida de fluido. Las fracturas dinámicas en lutitas permanecen abiertas más tiempo porque la pérdida de los fluidos de tratamiento no es suficientemente rápida.



Disparos



• Referencias.

- Fracturamiento Hidráulico Multietapas, Tesis presentada por Blanca Ingrid Álvarez López, Director de Tesis M.I. Tomás Eduardo Pérez García.
- Curso Fluidos de Fractura Convencionales, Impartido por ABAdvisors, Poza Rica Veracruz 2010.
- “Apuntes de Estimulación de Pozos”, Garaicochea, México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 1980 .



GRACIAS

Ing. Juan Carlos Sabido Alcántara

Ingeniero Petrolero

Facultad de Ingeniería UNAM