



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

TECNICA DE DISPAROS

SOBRE-BALANCEADOS Y BAJO-BALANCEADOS

TESIS

PRESENTADA POR :

VICTOR GERARDO VALLEJO ARRIETA

PARA OBTENER EL GRADO DE :

MAESTRO EN INGENIERIA

(PETROLERA)

DIRIGIDA POR :

M. EN C. DANIEL GARCIA GAVITO



DEPFI

T. UNAM
1997
VAL

TECNICA DE DISPAROS
SOBRE-BALANCEADOS
Y
BAJO-BALANCEADOS

CONTENIDO

TECNICA DE DISPAROS

SOBRE-BALANCEADOS Y BAJO BALANCEADOS

RESUMEN	1
CAPITULO 1	
INTRODUCCION	3
CAPITULO 2	
EFICIENCIA DE DISPAROS Y FACTOR DE DAÑO	6
Factores que influyen al daño y a la eficiencia del flujo del pozo	9
Predicción de la eficiencia de flujo del pozo	25
Procedimiento analítico	25
Nomograma de Lock	33
Metodo semianalitico	36
CAPITULO 3	
DISPAROS BAJO-BALANCEADOS	51
Determinación de la presión de bajo-balance (método experimental)	59
Determinación de la presión de bajo-balance (método fuerza de arrastre)	70

CAPITULO 4

DISPAROS SOBRE-BALANCEADOS80

Factores que impactan la extensión de la fractura84

**Determinación de los parámetros operativos para disparos
sobre-balanceados95**

Ejemplo100

CONCLUSIONES.

RECOMENDACIONES.

BIBLIOGRAFIA.

APENDICE A

APENDICE B

RESUMEN

Con esta tesis se pretende que los Ingenieros de Terminación de pozos consideren en la planeación de su diseño la técnica de disparos a efectuar.

El capítulo segundo presenta material de apoyo para la selección de pistolas adecuadas, así como procedimientos para determinar la eficiencia del disparo (por medio del índice de productividad o daño) previo a su ejecución, con el fin de que el Ingeniero de terminación evalúe y seleccione las pistolas y la técnica correcta de disparos.

Se presentan los diferentes métodos para determinar la presión diferencial óptima en la aplicación de disparos bajo-balanceados. Se desarrollo un procedimiento para obtener el bajo-balance adecuado, el cual considera todos los riesgos que esta técnica representa e inclusive si no es recomendable la aplicación de la misma.

Se elaboró un programa de cómputo en lenguaje Basic, que simula el comportamiento en todos y cada uno de los puntos del pozo al llevar a cabo disparos sobre-balanceados ya diseñados, el cual determina la presión máxima en la operación para evitar un siniestro en superficie o alguna falla

de las tuberías ó del equipo materiales existente en el pozo, evitando con esto hasta la pérdida del mismo. Al ejecutar este programa se puede obtener parámetros que auxiliien para el diseño de la tubería de revestimiento, aparejo de producción, empacador y conexiones superficiales de control previo a la intervención. Esta técnica se fundamenta en que la presión dentro del pozo debe ser mayor que la de fractura de la formación al momento de la detonación de las pistolas, proporcionando el programa mencionado el gradiente aplicado en todo momento.

CAPITULO 1

I N T R O D U C C I O N

La Ingeniería de Terminación de Pozos ha detectado que es necesario realizar una serie de operaciones adicionales (inducciones, limpiezas con ácido en el intervalo disparado, estimulaciones, fracturamientos hidráulicos, etc..) para lograr la remoción del daño generado por las operaciones de la perforación del pozo (invasión del filtrado y/o sólidos de lodo de perforación, pérdidas de circulación, sellos de los poros de la formación debido a la acción escareadora de la barrena), la cementación de las tuberías (reducción de la permeabilidad en la cara de la formación debido al arrastre de la tubería de revestimiento, invasión del filtrado del cemento y/o partículas de éste), operaciones de disparo (acumulación de detritos en los disparos debido a las cargas, reducción de permeabilidad alrededor del disparo debido a la formación triturada), invasión de fluidos no limpios y/o compatibles con la formación al momento de la detonación.

La realización de estas operaciones adicionales afectan considerablemente el tiempo y el costo de la terminación del pozo.

Este trabajo pretende ser una guía que conduzca al ingeniero a eliminar el daño y/o posiblemente aumentar la permeabilidad de la formación, disminuyendo con esto las caídas de presión en el sistema a los valores más bajos posibles viéndose reflejándose en un aumento de la producción.

Estos beneficios pueden ser logrados aplicando una técnica óptima de disparo así como un correcto diseño de las pistolas perforadoras, dependiendo de las condiciones de cada pozo. Esto se deberá realizar con todas las medidas de seguridad y al más bajo costo posible.

Las técnicas de disparo con las cuales se pretende llevar a cabo una óptima terminación del pozo son las siguientes:

a) Disparos bajo balanceados;

Para este caso la presión en la formación es mayor que la presión hidrostática generada por el fluido de terminación sobre el intervalo productor, al momento del disparo, favoreciendo con esto a la limpieza del túnel generado tanto por los residuos de la carga como de la formación triturada.

Con esta técnica no se tiene un incremento de la permeabilidad natural de la formación, pero si evita la presencia de daño, teniendo una comunicación efectiva entre el pozo y el intervalo productor.

b) Disparos sobre-balanceados;

La técnica de disparo sobre-balanceado a diferencia de lo anterior, mantiene la presión en la cara del yacimiento mayor a la presión de fractura de este, al momento del disparo. Con esto se pretende generar múltiples fracturas, aprovechando las micro-fracturas generadas en la formación por la alta energía del disparo, aunada a la inyección a alta velocidad de un fluido limpio compatible y en algunos casos aumentando la permeabilidad natural de la formación.

Esta técnica incrementa los gastos de producción inicial, estimula el intervalo productor, reduciendo con esto operaciones posteriores y teniendo una mejor evaluación del yacimiento.

Se incluyen en este trabajo algunos métodos para predecir la eficiencia de flujo y de esta forma lograr un correcto diseño, evaluación y análisis de la terminación de pozos.

CAPITULO 2

EFICIENCIA DE DISPAROS Y FACTOR DE DAÑO

La eficiencia de flujo o productividad de una terminación revestida y disparada, puede ser definida por:

- 1) Relación de productividad; Gasto de un sistema perforado entre el gasto ideal de un agujero descubierto.
- 2) Factor de daño; Una medida de la caída de presión actual a través del sistema perforado comparado con una caída de presión ideal predicha por la teoría de flujo radial para el mismo gasto.

Las dos definiciones son equivalentes y relacionadas por una expresión matemática:

$$J = \frac{q_p}{q_{oh}} = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)}{\left[\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + S_r\right]} \quad \dots(2.1)$$

Donde:

$J =$ Relación de productividad, adimensional

$q_{oh} =$ Flujo ideal para agujero descubierto, bpd

$q_p =$ Flujo del sistema perforado, bpd

$r_e =$ Radio de drene, ft

$r_w =$ radio del pozo, ft

$S_i =$ Daño total, adimensional

El daño a una formación productora de hidrocarburos es la pérdida de productividad parcial o total y natural o inducida de un pozo, resultado de un contacto de la roca con fluidos o materiales extraños, o de un obturamiento de los canales permeables asociado con el proceso natural de producción.

Es importante señalar que en condiciones normales de los pozos, sobre todo a su terminación, la zona de la formación vecina a la pared se encuentra dañada debido a la perforación misma, a la cementación de tuberías y al conjunto de operaciones requeridas para poner el pozo a producir. Es por ello importante analizar las causas de la caída de presión que se obtienen al llevar los fluidos desde el yacimiento al pozo.

Existen una serie de factores o restricciones que pueden además afectar el flujo de fluidos de la formación productora. Algunos de los más importantes son: Daño por penetración parcial, inclinación del pozo, efectos No - Darcianos, geometría de las perforaciones, zona alterada alrededor del túnel, etc.

El factor de daño (S) es positivo cuando existe una o más restricciones adicionales al flujo de los fluidos hacia el pozo. Por el contrario, si el factor de daño es negativo, esto significa una mejoría en cuanto a las condiciones de flujo sobre el pozo.

Valores típicos de "S" y su significancia relativa.

Condición del pozo	Valor del daño en la formación
Altamente dañado	$S > + 10$
Dañado	$S > 0$
Sin daño	$S = 0$
Acidificado	$-3 \leq S \leq - 1$
Fracturado	$- 4 \leq S \leq - 2$
Masivamente fracturado	$S < - 5$

Factores que influyen al daño y a la eficiencia del flujo del pozo

La compleja interacción de la geometría del disparo, características de la formación y medio ambiente de los disparos, permite establecer situaciones globales para diseñar y/o analizar terminaciones de pozos.

Geometría de los disparos

Los parámetros en cuestión son (Fig. 2.1)¹

- Densidad de disparos (perforaciones por pie).
- Penetración de los disparos dentro de la formación.
- Fase de disparos.
- Diámetro del disparo.

Generalmente los factores geométricos tienen influencia sobre la relación de productividad en una terminación.

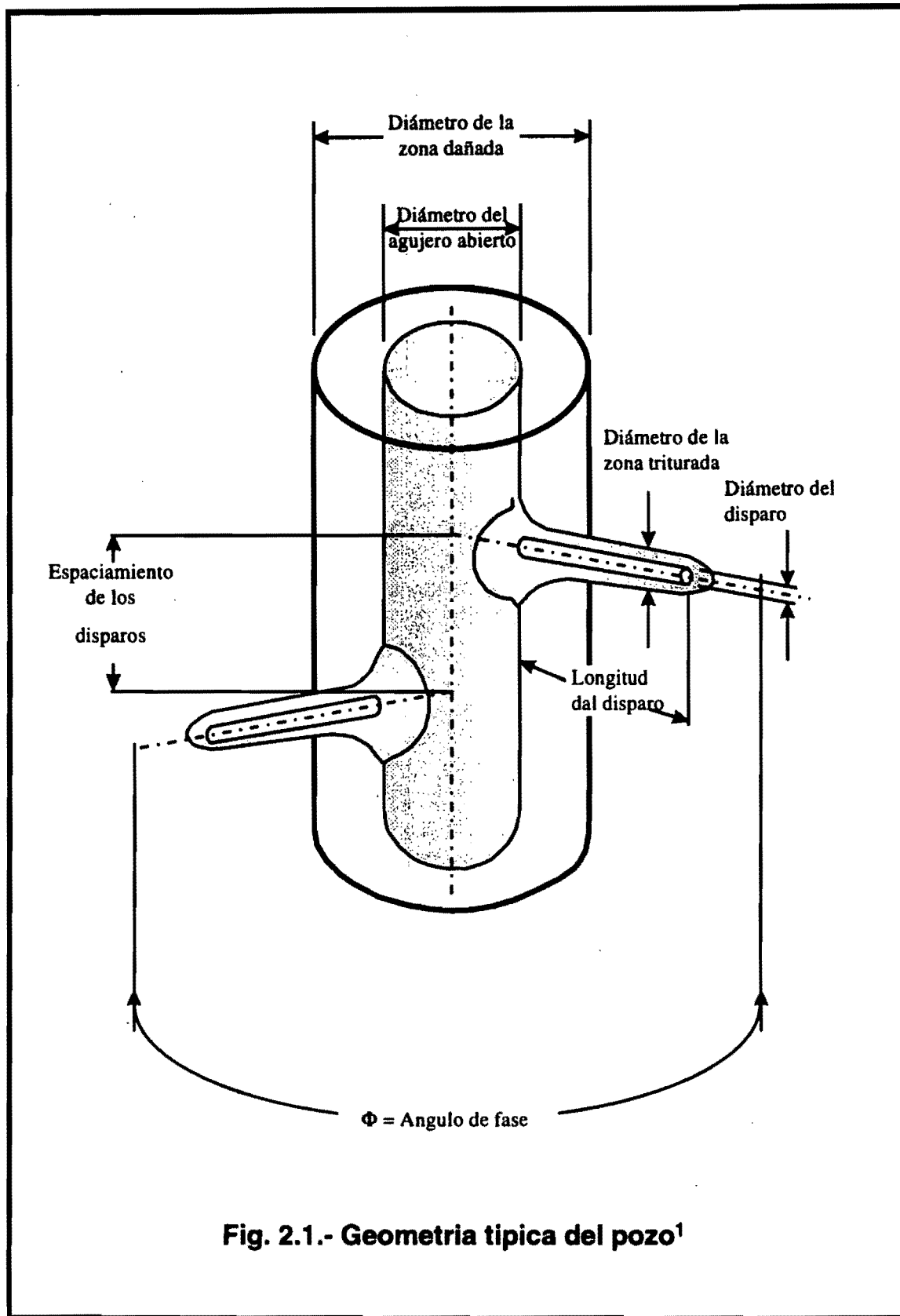


Fig. 2.1.- Geometria tipica del pozo¹

Pruebas de laboratorio han demostrado que¹:

- a) Se incrementa la productividad a medida que se aumenta la densidad de disparos (Fig. 2.2).
- b) Se incrementa la productividad cuando se aumenta la penetración del disparo (Fig. 2.2 y 2.3).
- c) El efecto del incremento de la penetración es más significativo para penetraciones profundas (Fig. 2.2 y 2.3).
- d) Las fases angulares diferentes a 0° incrementan la productividad por reducir la interferencia del flujo (Fig. 2.2 y 2.3).
- e) El diámetro de la perforación juega una relativa minoría en la determinación de la productividad (Fig. 2.3).

Características de la formación:

1) Propiedades físicas

El tipo de formación (areniscas, caliza, etc.), resistencia compresiva y esfuerzo de la roca son condiciones que influyen a la penetración de ésta, así como a la extensión y grado de daño alrededor del túnel y a la limpieza de este.

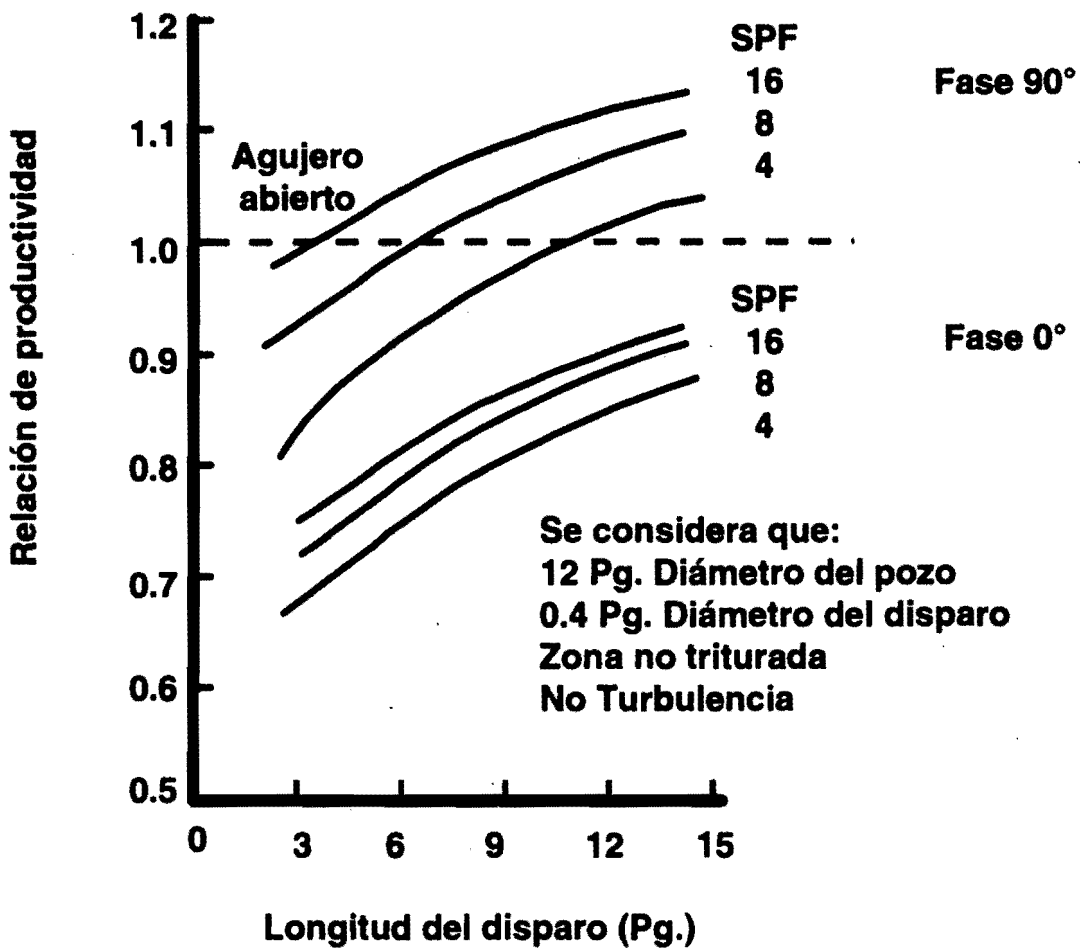


Fig. 2.2.- Efecto de la densidad y longitud del disparo con relación a la productividad (Tariq)¹

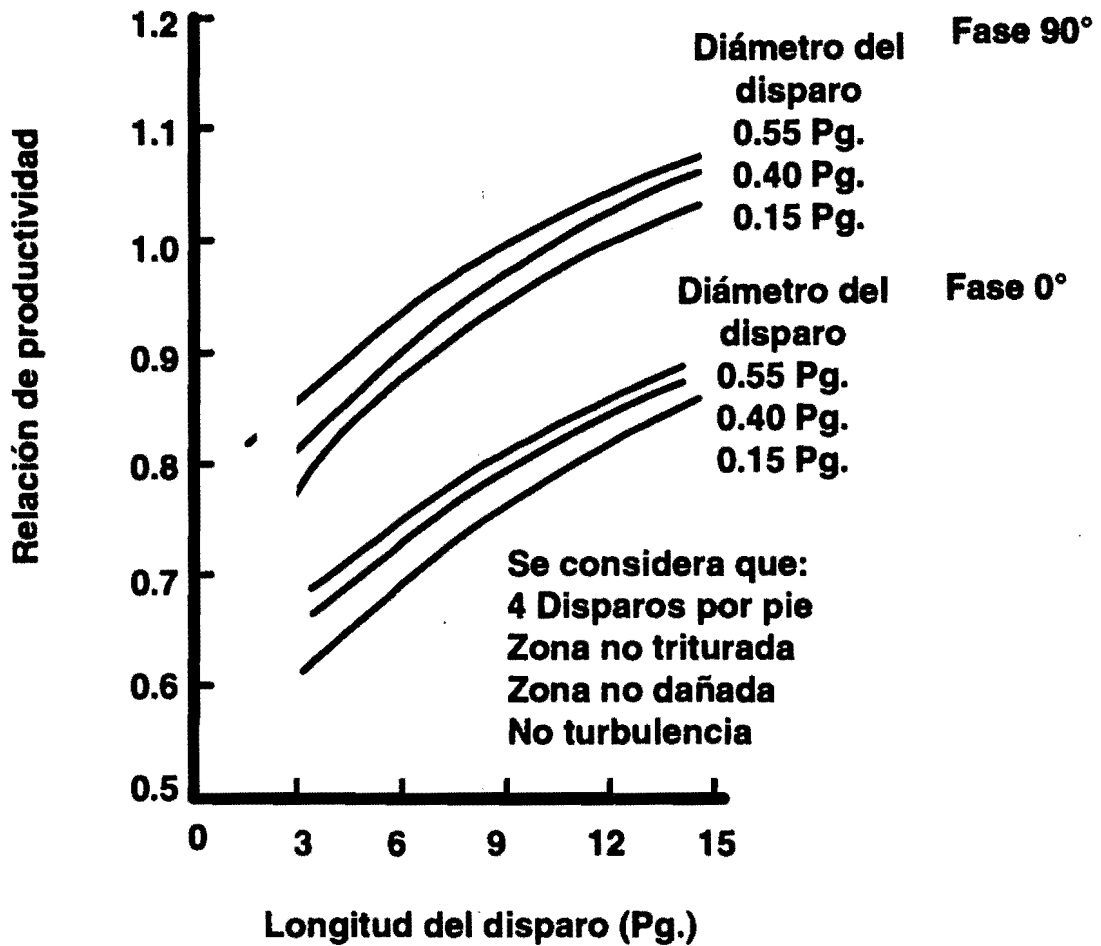


Fig. 2.3.- Efecto de la densidad y longitud del disparo con relación a la productividad (Tariq)¹

2) Permeabilidad y fluidos de la formación.

Estos dos factores determinan considerablemente el nivel de presión diferencial requerido para limpiar eficientemente los disparos. El efecto adverso de permeabilidad reducida alrededor del túnel favorece al flujo turbulento.

3) Permeabilidad anisotrópica

En la Fig. 2.4² se muestra el efecto de la permeabilidad anisotrópica en la eficiencia de los disparos. Incrementos significativos en la productividad, resultan debido a la alta densidad de disparos, así como a el grado de incremento de anisotropía. El efecto de la longitud de la perforación no es tan significativo como el de la densidad de los disparos para este tipo de formaciones.

4) Lutitas Laminares

El efecto de las lutitas laminares es similar a aquel de permeabilidad anisotrópica. La productividad es considerablemente insensible a la longitud del disparo, mientras que el incremento de la densidad de los disparos

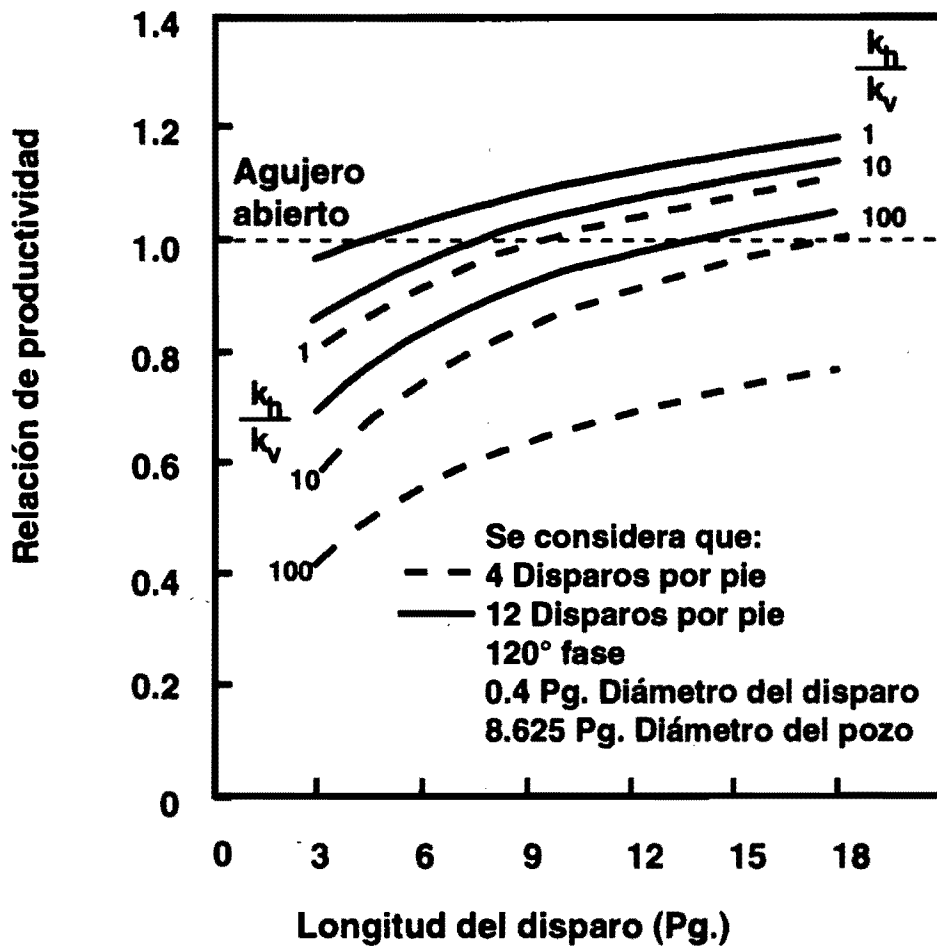


Fig. 2.4.- Efecto de la anisotropía con relación a la productividad (Tariq)¹

genera una mejoría en la eficiencia de flujo para un número grande de estratos productores.

5) Fracturas naturales

Una red de fracturas naturales da un eficiente transporte del fluido dentro de la formación. La producción en terminaciones disparadas depende de la comunicación hidráulica entre el disparo y la red de fracturas. En la Fig. 2.5² indica la productividad teórica de una terminación disparada en una red de fracturas ortogonales. La penetración profunda y un bloque de matriz pequeño proporciona una buena productividad.

Los efectos de la densidad de los disparos son relativamente insignificantes cuando la red de fracturas proporciona una buena comunicación vertical. Sin embargo, las diferencias en la producción pueden resultar de la distinta orientación de las fracturas, y cada caso debe ser analizado individualmente, para efectuar una terminación que asegure una óptima conexión entre las fracturas y el disparo.

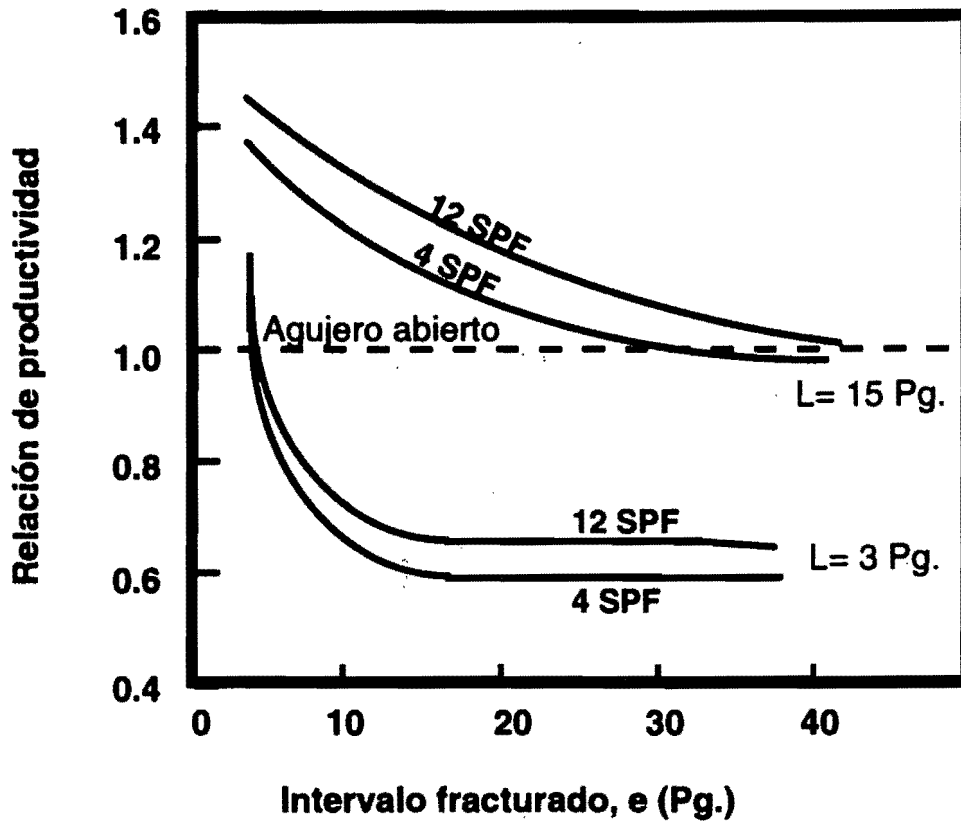
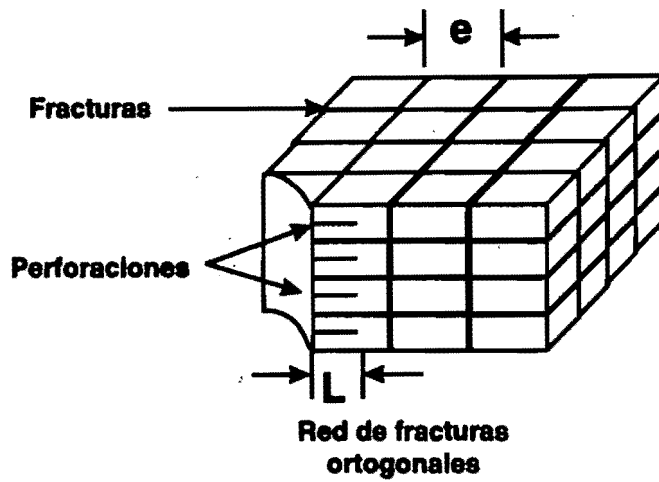


Fig. 2.5.- Relación de la productividad en formaciones naturalmente fracturadas (Tariq)²

Ambiente de disparo

1) Daño en las paredes del pozo

La perforación y operaciones de cementación, crean una zona de permeabilidad reducida alrededor de la pared del pozo, como un resultado del filtrado del cemento, lodo y/o invasión de sólidos. En la Fig. 2.6³ se indica el efecto de la productividad en una zona de 8 pg de permeabilidad reducida en la pared del pozo. En la práctica, la extensión y el grado de daño generalmente es difícil determinar. Si se sospecha un daño significativo, se pueden usar pistolas de máxima penetración.

2) Daño del disparo

Los perfiles de productividad e inyectibilidad, comúnmente muestran que solo una pequeña fracción del intervalo disparado fluye. Las investigaciones de campo y laboratorio indican que hay una zona de permeabilidad dañada alrededor de la perforación (Fig. 2.7.¹). La extensión y grado de daño dependen del tipo de formación, permeabilidad, porosidad, tipo y dirección de carga y nivel de presión diferencial. Cuando se dispara, el daño a la perforación puede incrementarse por filtrado de lodo e invasión de sólidos.

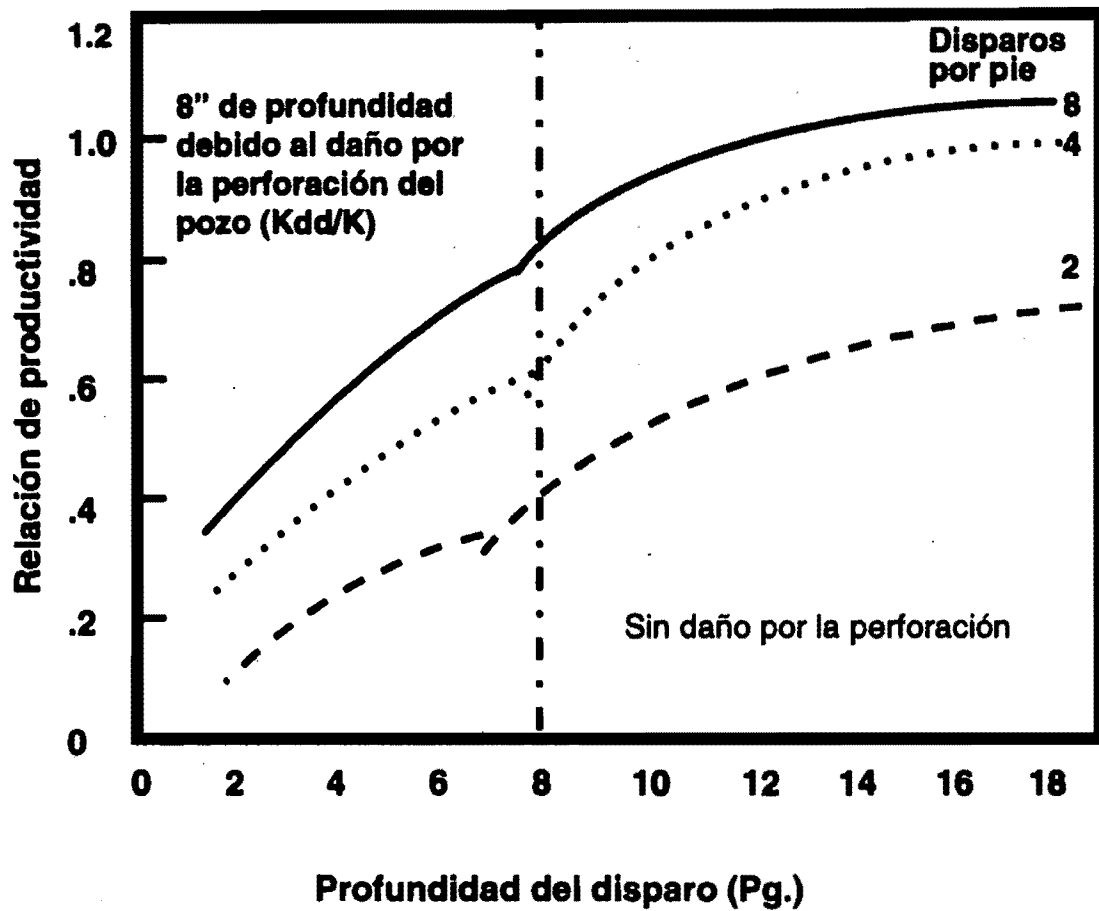


Fig. 2.6.- Efecto de daño en la pared del pozo con relación a la productividad (Klotz)³

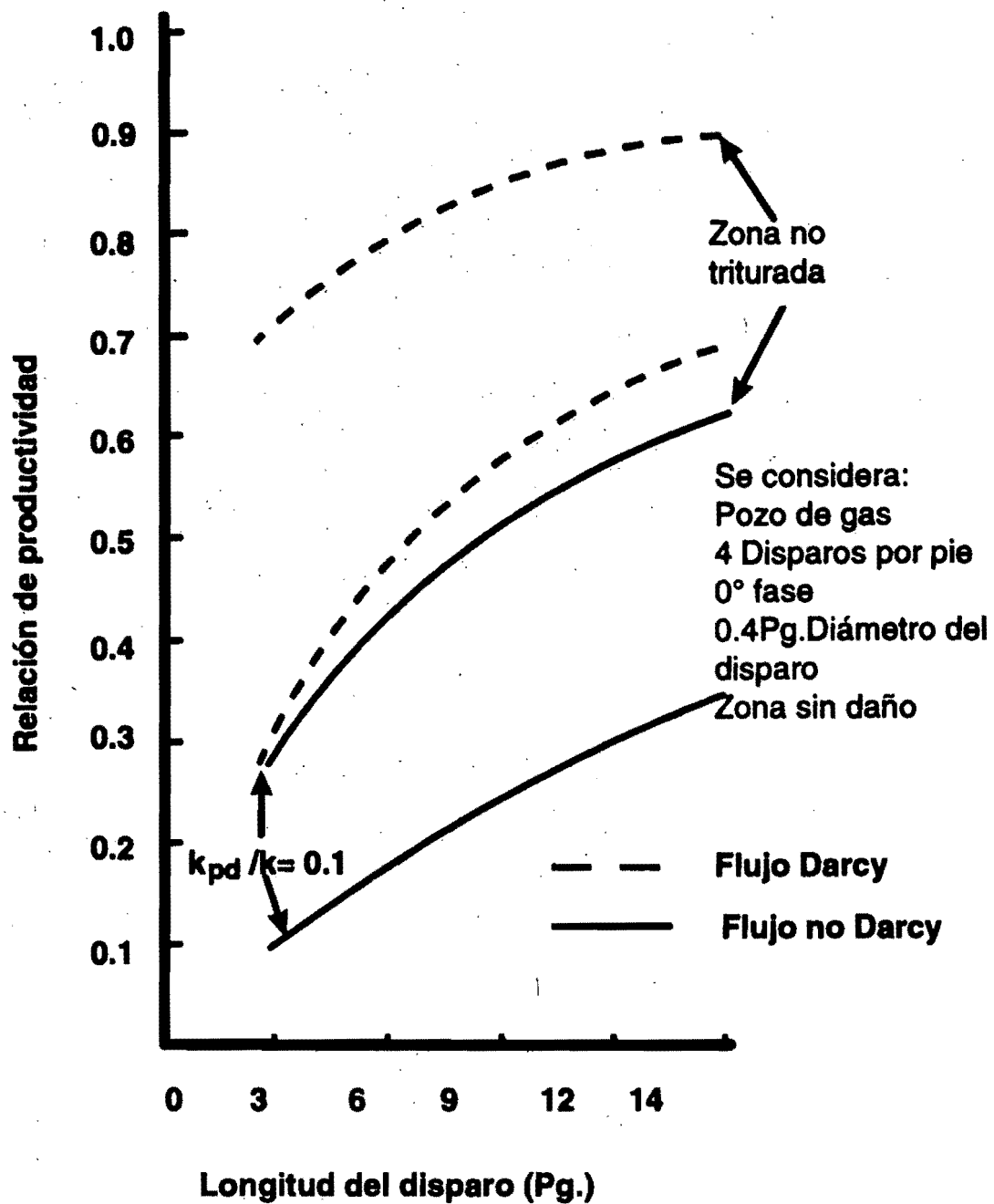


Fig. 2.7.- Efecto del flujo turbulento con relación a la productividad (Tariq)¹

3) Técnica de disparo

Es de suma importancia la determinación del nivel de presión a aplicar al momento del disparo. En caso de que lo conveniente tanto al pozo como al intervalo productor sean disparos bajo-balanceados, se obtendrá la presión diferencial óptima (ver capítulo 3). Por el contrario, si se efectuará la técnica sobre-balanceada, la presión al momento del disparo deberá ser determinada (ver capítulo 4).

4) Fluido de terminación

Este será dependiente de la técnica de disparo a utilizar. En el caso de disparos bajo-balanceados, tan solo con fluidos limpios y compatibles es suficiente. Para la técnica de sobre-balance, aparte de ser limpio y compatible, pudiera favorecer un fluido reactivo a la formación productora.

5) Desviación del pozo

Muchos pozos no atraviesan perpendicularmente el intervalo productor, es decir, que existe un ángulo entre el plano normal de la formación y el eje del pozo. Esto favorece al incremento de producción, debido a que el área del intervalo expuesto al flujo es mayor y resulta en un efecto negativo de daño.

6) Penetración parcial

Cuando el pozo perforado no penetra en su totalidad al intervalo productor, se tiene el efecto de una penetración parcial disminuyendo con esto la productividad.

7) Flujo turbulento

La simulación de estudios y experimentos de flujo en las perforaciones, indican que el flujo turbulento o No-Darciano influye fuertemente en la eficiencia del flujo (Fig. 2.7).¹ Pueden ser reducidos los efectos de turbulencia por una área grande de flujo (alta densidad de disparos, penetración profunda y algún grado de fase angular de los disparos).

8) Claro de las pistolas

Esto se define como el espacio que existe entre el diámetro exterior de la pistola perforadora y el diámetro interior de la tubería de revestimiento. La penetración y el diámetro del disparo pueden variar significativamente para dos tipos de pistolas diferentes con la variación del claro como se muestra en la Fig. 2.8. El disparo será de mayor contundencia cuando el claro es mínimo (Fig. 2.9).⁴

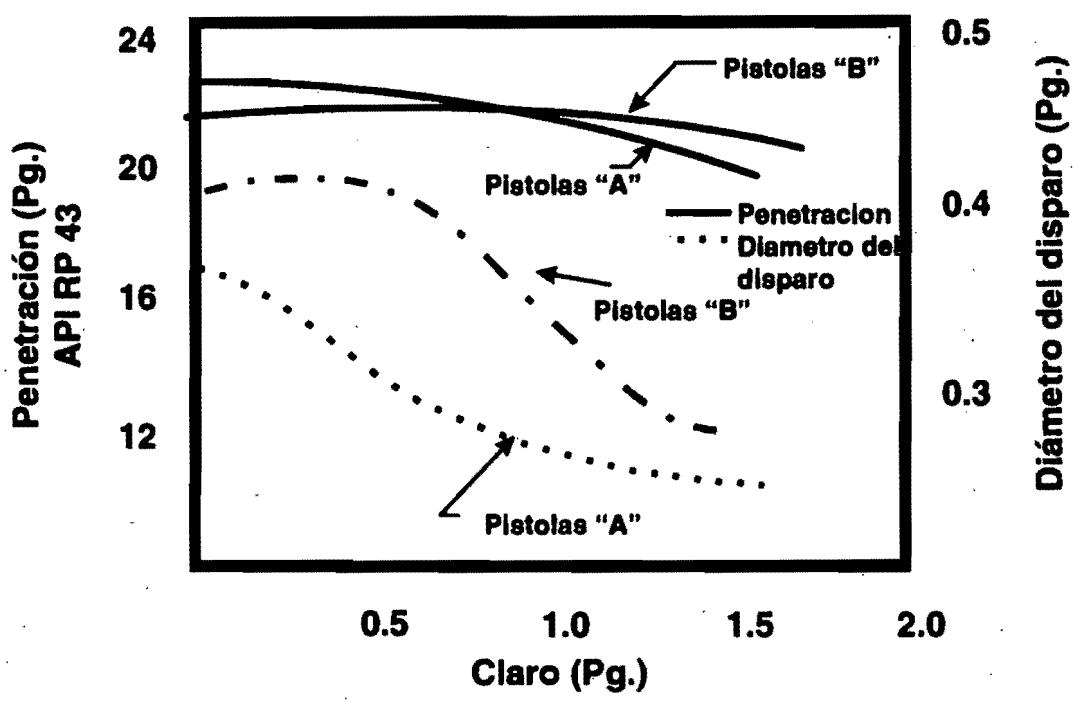
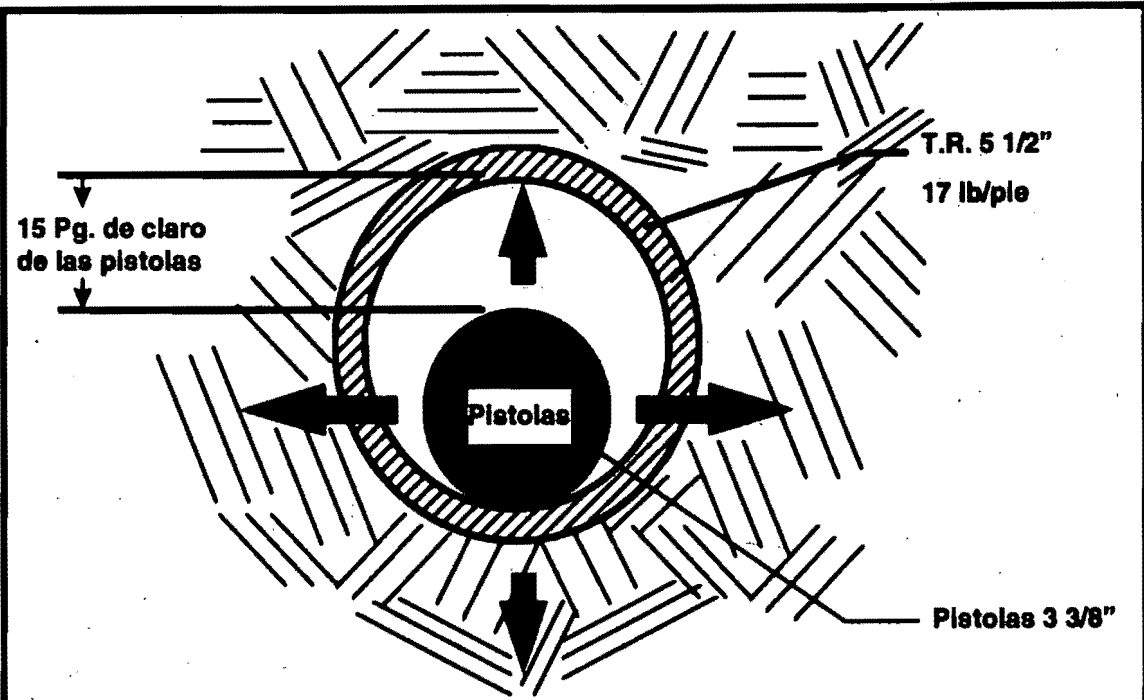


Fig. 2.8.- Efecto del claro de las pistolas vs. penetración y diámetro del disparo (shlumberger)

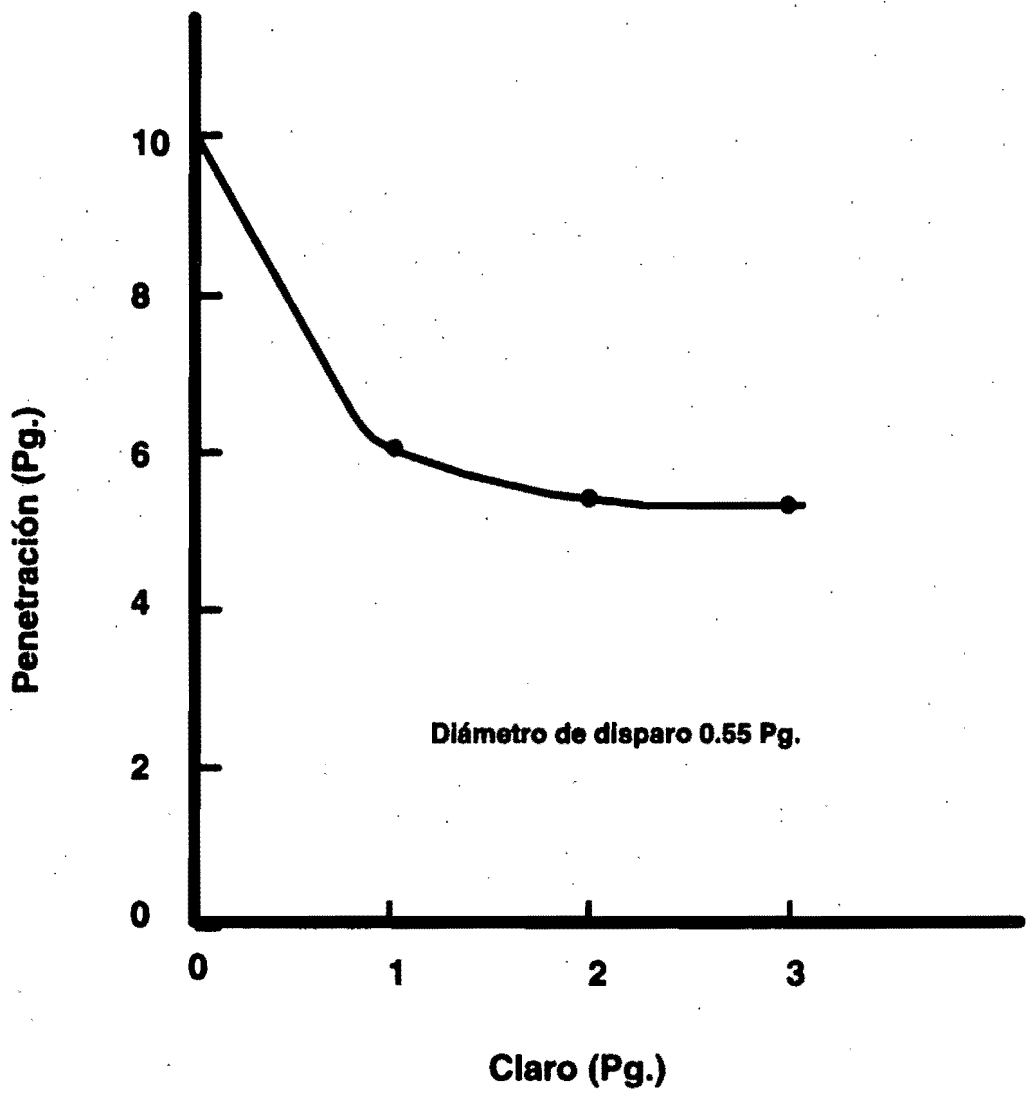


Fig. 2.9.- Efecto del claro de las pistolas contra penetración (Bell y Lebourg)⁴

Es de suma importancia que en el momento de hacer el diseño de una terminación, los factores controlables sean optimizados al máximo posible, pues de antemano se sabe que un éxito global es imposible.

Predicción de la eficiencia de flujo en el pozo

Los estudios de simulación de flujo, técnicas semianalíticas y analíticas son usadas frecuentemente para diseñar, evaluar y analizar una terminación exitosa.

Procedimiento analítico⁵

El procedimiento analítico está basado en la ecuación general de flujo radial, que envuelve un número de suposiciones simples, incluyendo la distribución de flujo uniforme a lo largo de las perforaciones, flujo radial en la zona triturada, flujo radial cerca de la pared del pozo y en el yacimiento. Este procedimiento es menos preciso que el nomograma y que la aproximación semianalítica, pero cuando se valida con resultados de campo, este provee una simple y conveniente medida de estimación en la eficiencia de la terminación. Este procedimiento está basado en el modelo de la Fig. 2.10.⁵

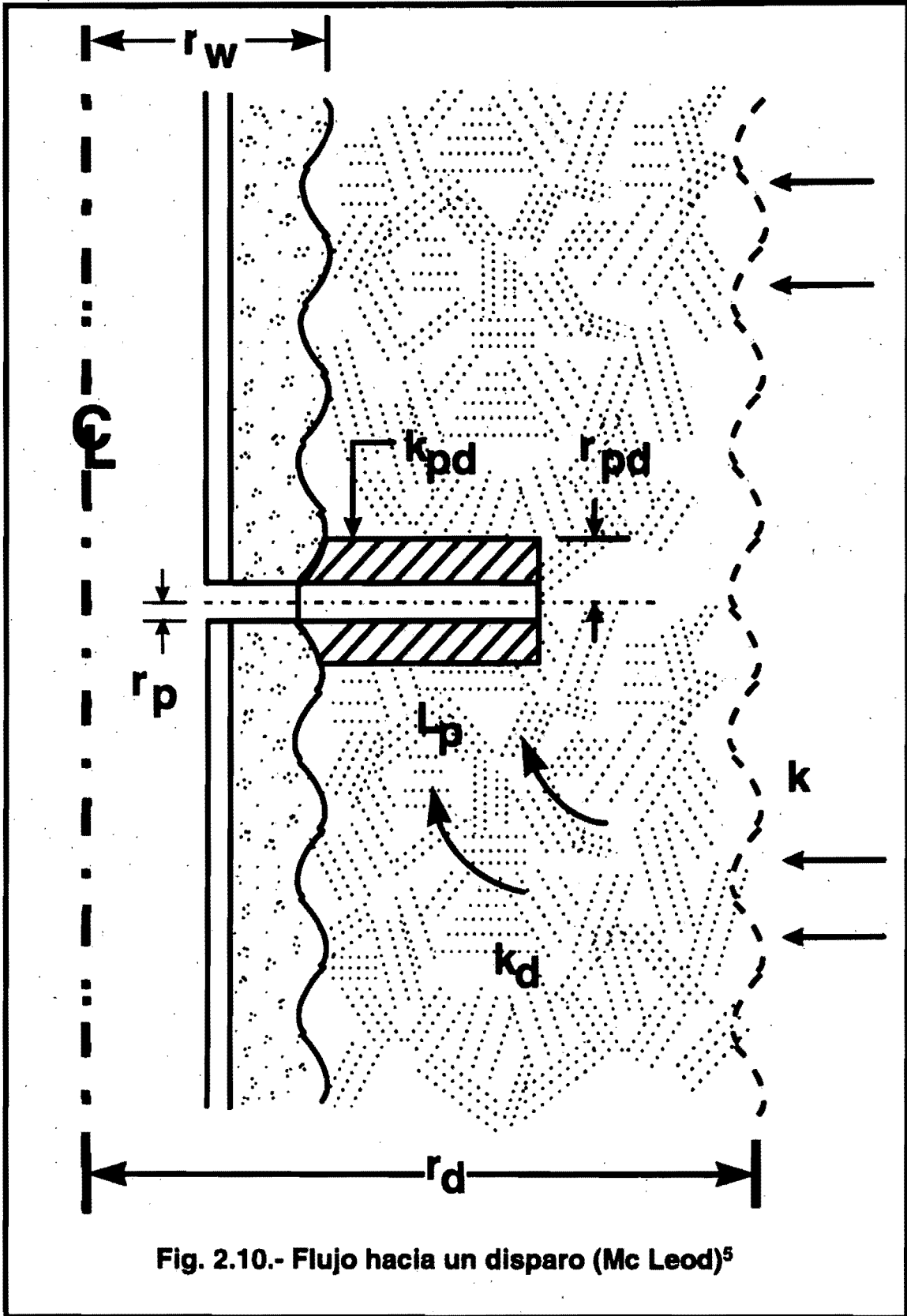


Fig. 2.10.- Flujo hacia un disparo (Mc Leod)⁵

Pozos de aceite

El procedimiento usa dos pasos: primero, determina la caída de presión a través del sistema de perforaciones y posteriormente considera la caída de presión a través del yacimiento.

Caída de presión a través de las perforaciones.

Considerando flujo radial en la zona dañada por el disparo. La ecuación 2.2 permite determinar la caída de presión a través de los disparos.

$$\Delta_{p_p} = A \left(\frac{q_o}{n} \right) + B \left(\frac{q_o}{n} \right)^2 \quad \text{.....(2.2)}$$

Donde:

Δ_{p_p} = Caída de presión a través de las perforaciones, Psi.

n = Número de perforaciones.

q_o = Flujo a través de las perforaciones, Bls/dia.

$$A = \frac{141.2 * \beta_o * \mu_o}{L_p * K_{pd}} \ln \left(\frac{r_{pd}}{r_p} \right) \quad \text{.....(2.3)}$$

Donde

β_o = Factor de volumen de aceite, adimensional.

K_{pd} = Permeabilidad de la zona dañada por el disparo, md.

L_p = Longitud del disparo, ft.

r_p = Radio del disparo, ft.

r_{pd} = Radio de la zona dañada, ft.

μ_o = Viscosidad del aceite, cp.

$$B = \frac{2.3 \cdot 10^{-14} \cdot \beta_{pd} \cdot \beta_o^2 \cdot \rho_o}{L_p^2} \left(\frac{1}{r_p} - \frac{1}{r_{pd}} \right) \quad \dots\dots(2.4)$$

Donde:

ρ_o = Densidad del aceite, Lbm/ft³.

β_{pd} = Coeficiente de velocidad o factor de turbulencia, 1/ft.

$$\beta_{pd} = \frac{2.33 \cdot 10^{10}}{K_{pd}^{1.201}} \quad \dots\dots(2.5)$$

El coeficiente de velocidad puede ser obtenido también por resultados experimentales y/o estimado por medidas de laboratorio en núcleos.

Caída de presión a través del yacimiento.

$$\Delta_{p_r} = (C * q_o) + (D * q_o^2) \quad \dots\dots(2.6)$$

Donde:

Δ_{p_r} = Caída de presión a través del yacimiento, psi.

$$C = \frac{1412 * \mu_o * \beta_o}{K * h_r} \left[\ln \left(0.472 \frac{r_e}{r_w} \right) + S \right] \quad \dots\dots(2.7)$$

Donde:

h_r = Espesor total de la formación, ft.

K = Permeabilidad de la formación, md.

S = Factor de daño, adimensional.

r_e = Radio de drene, ft.

r_w = Radio del pozo, ft.

El factor de daño total "S" puede ser determinado con las Ecuaciones que se presentarán más adelante (método semianalítico).

$$D = \frac{2.3 * 10^{-14} * \beta_o^2 * \rho_o}{h_p^2} \left[\beta_{dd} \left(\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_{dd}} \right) + \beta_f \left(\frac{1}{r_{dd}} - \frac{1}{r_e} \right) \right] \quad \dots\dots(2.8)$$

Donde:

h_p = Espesor perforado, ft.

r_{dd} = Radio de la zona dañada por la perforación del pozo, ft.

$$\beta_{dd} = 2.33 \cdot 10^{10} \cdot K_{dd}^{-1.201} \quad \dots\dots(2.9)$$

Donde:

β_{dd} = Coeficiente de velocidad a través de la zona dañada por la perforación del pozo, 1/ft.

K_{dd} = Permeabilidad de la zona dañada por la perforación del pozo, md.

$$\beta_f = 2.33 \cdot 10^{10} \cdot K_f^{-1.201} \quad \dots(2.10)$$

Donde:

β_f = Coeficiente de velocidad a través de la formación, 1/ft.

K_f = Permeabilidad de la formación, md.

Para flujo no turbulento el coeficiente de velocidad puede considerarse cero.

La suma de las caídas de presión Δ_{p_p} y Δ_{p_R} dan la caída de presión aproximada a través del yacimiento y cerca de la pared del pozo y permite estimar la eficiencia de flujo en la zona disparada.

Pozos de gas

La siguiente ecuación, puede determinar la caída de presión a través de los disparos considerando flujo radial.

$$P_{sf}^2 - P_{wb}^2 = A \left(\frac{q_g}{n} \right) + B \left(\frac{q_g}{n} \right)^2 \quad \dots(2.11)$$

Donde:

P_{sf} = Presión en la cara de la formación, Psi.

P_{wb} = Presión en la pared del pozo, Psi.

q_g = Gasto de gas, Mcf/d.

$$A = \frac{1.424 \cdot 10^3 \cdot \mu_g \cdot Z \cdot T}{K_{pd} \cdot L_p} \left[\ln \left(\frac{r_{pd}}{r_p} \right) \right] \quad \dots(2.12)$$

Donde:

μ_g = Viscosidad del gas, cp.

T = Temperatura de la formación, °R.

Z = Compresibilidad del gas, adimensional.

$$B = \frac{316 \cdot 10^{-12} \cdot \beta_{pd} \cdot \gamma_g \cdot Z \cdot T}{L_p^2} \left(\frac{1}{r_p} - \frac{1}{r_{pd}} \right) \quad \dots(2.13)$$

Donde:

γ_g = Gravedad específica del gas (aire 1.0).

$$\beta_{pd} = 2.33 \cdot 10^{10} \cdot K_{pd}^{-1.201} \quad \dots(2.14)$$

Donde:

β_{pd} = Coeficiente de velocidad, 1/ft.

Caída de presión a través del yacimiento:

$$P_R^2 - P_{sf}^2 = C(q_g) + D(q_g)^2 \quad \dots(2.15)$$

Donde:

P_R = Presión del yacimiento, Psi

$$C = \frac{1.424 \cdot 10^3 \cdot \mu_g \cdot Z \cdot T}{K \cdot h_i} \left[\ln \left(0.472 \frac{r_e}{r_w} \right) + S \right] \quad \dots(2.16)$$

$$D = \frac{3.16 \cdot 10^{-12} \cdot \gamma_g \cdot Z \cdot T}{h_p^2} \left[\beta_{dd} \left(\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_e} \right) + \beta_f \left(\frac{1}{r_{dd}} - \frac{1}{r_e} \right) \right] \quad \dots(2.17)$$

β_{dd} y β_f , se obtienen con las Ecuaciones 2.9 y 2.10 respectivamente.

Nuevamente la caída de presión total a través del sistema, indica la eficiencia de la terminación.

La influencia de la turbulencia generalmente es substancial para pozos de gas y no debe ser ignorado.

Nomograma de locke⁶

Este procedimiento es más fácil, rápido y eficiente que el anterior. A continuación se presenta un ejemplo de como utilizar este nomograma.

Parámetros del pozo:

Longitud del disparo 12.0 pg

Diámetro del disparo 0.5 pg

Espesor de la zona dañada de la pared del pozo 6 pg

Reducción de permeabilidad de la zona dañada en la

Pared del pozo $\left(\frac{K_{dd}}{K}\right)$ 0.4 pg

Reducción de permeabilidad de la zona dañada por el

Disparo $\left(\frac{K_{pd}}{K}\right)$ (el nomograma está basado en una constante

de 0.5 pg de espesor de la zona dañada por el disparo,

$\left(\frac{K_{pd}}{K}\right)$ puede ser derivado de API RP 43 o información similar). 0.2 pg

Perforaciones por pie 4

Fase de disparo 90°

Procedimiento:

- 1.- En la Fig. 2.11 entrar con la longitud de la perforación de 12.0 pg en la parte superior izquierda y proceder horizontalmente, hasta el diámetro de la perforación apropiado 0.5 pg.
- 2.- Proceder verticalmente hacia abajo hasta el espesor de la zona dañada de la pared del pozo, 6.0 pg a lo largo de la línea de 6 pg. Intersectar la línea apropiada de $\left(\frac{K_{dd}}{K}\right)$, 0.4. La distancia b-c, se transfiere a partir del punto a' A b' - c'.
- 3.- Proceder verticalmente hacia abajo hasta la línea de reducción de permeabilidad de la zona dañada por el disparo $\left(\frac{K_{pd}}{K}\right)$, 0.2.
- 4.- Proceder horizontalmente hasta la línea de perforaciones por pie, 4.
- 5.- Proceder verticalmente hacia arriba hasta la línea de fase angular de 90°.

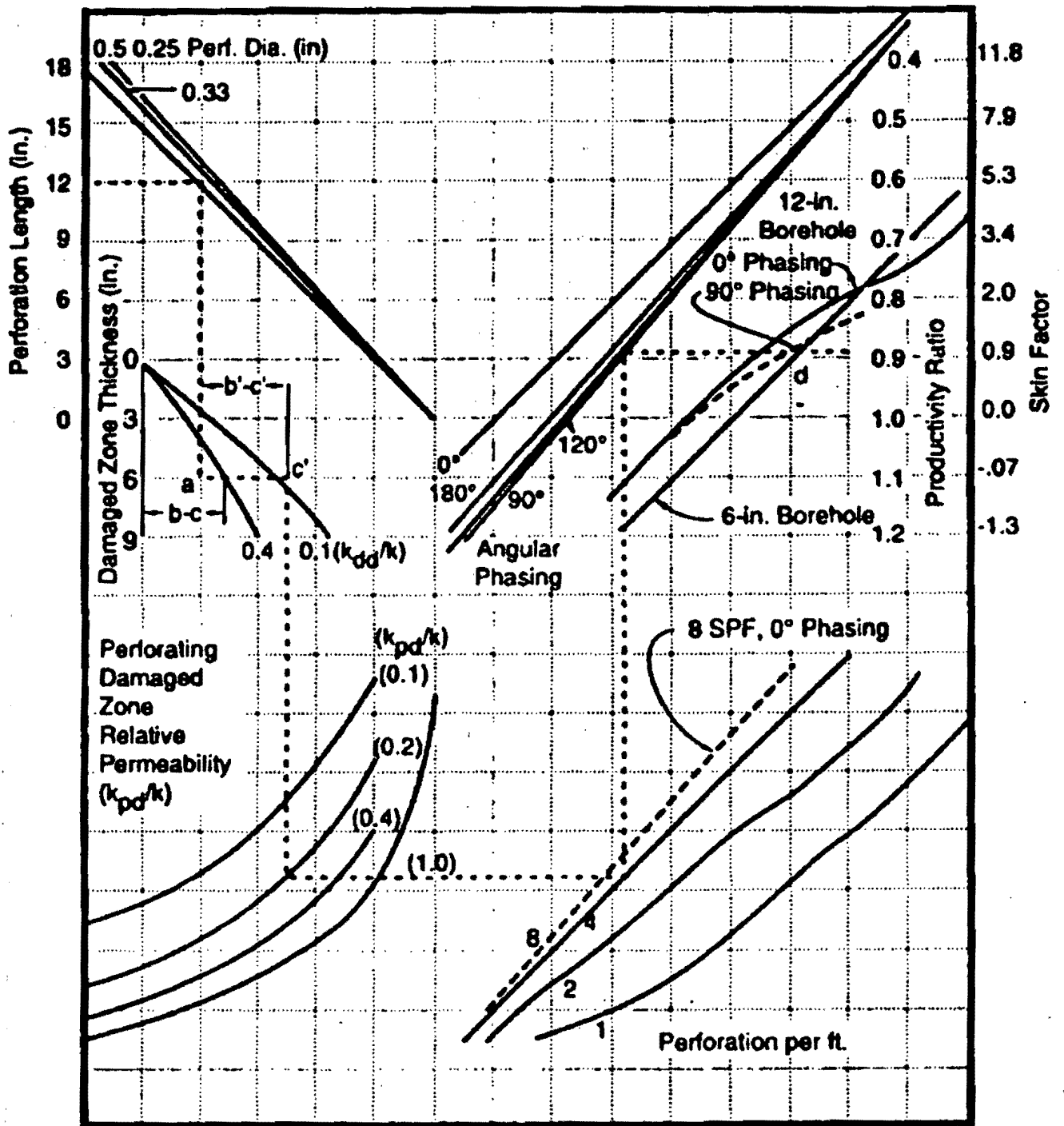


Fig. 2.11.- Nomograma de Lock⁶

6.- Proceder horizontalmente hasta la relación de productividad y factor de daño.

La relación de productividad es de 0.8; el factor de daño causado por el disparo y daño por la perforación en la pared del pozo es 0.92.

El nomograma está basado en un diámetro de pozo de 6 pg, pero los efectos de la variación del tamaño del diámetro del agujero no son significativos y el nomograma puede ser usado sin modificación sobre un rango considerable de diámetros de agujero.

El nomograma es presentado en la Fig. 2.11.⁶ Las pistolas de alta densidad de disparos o multifase no son representadas. Además, el daño resultante de penetración parcial, desviación del pozo, anisotropía de la formación y flujo No-Darciano no son determinados. No obstante, el nomograma todavía permite analizar rápidamente el resultado del daño de los disparos y la perforación del pozo.

*Método semianalítico*⁷

Este método es una simple, sistemática y exacta aproximación semianalítica (depende de la calidad de los valores de entrada) que nos permite determinar los pseudodaños y el daño total.

El método tiene una significativa ventaja sobre los dos anteriores. La expresión para la determinación del daño total es la siguiente: (Ver parámetros en la Fig. 2.12).

$$S_t = s_{bf} + \frac{1}{b_f} \left[\frac{1}{\gamma} (s_p) + \frac{1}{20} (9 + 11b_f) s_{\alpha l} \right] \quad \dots(2.18)$$

Donde:

S_t = Daño total, adimensional.

s_{bf} = Daño causado por penetración parcial de la zona productora, adimensional.

b_f = Fracción de formación abierta al flujo, adimensional.

γ = Factor de corrección, adimensional.

s_p = Daño causado por los disparos, adimensional.

$s_{\alpha l}$ = Daño causado por la desviación del pozo, adimensional.

Los daños individuales para determinar S_t , se determinan como sigue:

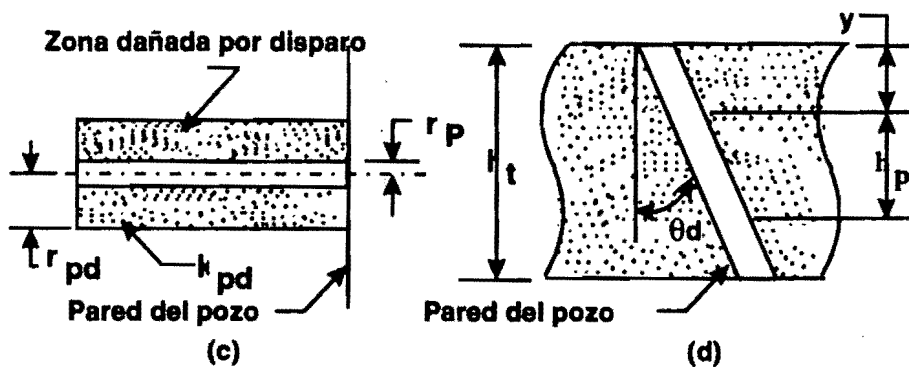
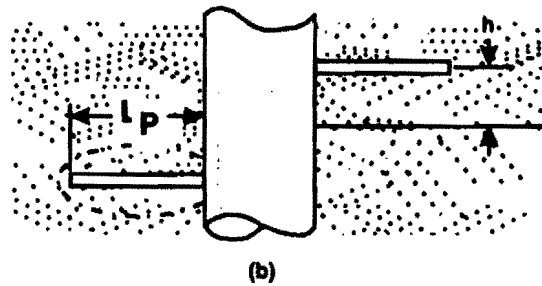
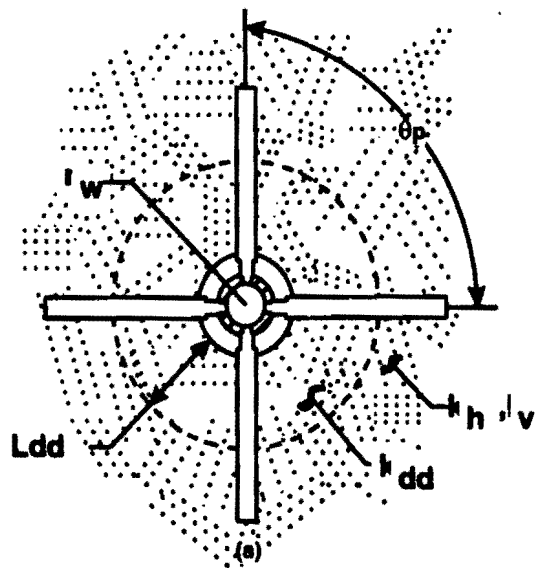


Fig. 2.12.- Parámetros del pozo

Daño debido al disparo

El daño que causa el disparo está compuesto de varios elementos:

$$s_p = s_h + s_v + s_{wb} + s_{pd} \quad \dots(2.19)$$

Donde:

s_h = Componente horizontal del daño del disparo, adimensional.

s_v = Componente vertical del daño del disparo, adimensional.

s_{wb} = Daño causado por los efectos de la pared del pozo, adimensional.

s_{pd} = Daño resultado de la zona dañada alrededor del disparo,
adimensional.

Daño horizontal para fase de disparo de 0° .

$$s_h = \ln\left(\frac{r_w}{0.25L_p}\right) \quad \dots(2.20)$$

Donde:

r_w = Radio del pozo, ft.

L_p = Longitud del disparo, ft.

Para fase de disparo diferente de 0° .

$$s_h = \ln \left[\frac{r_w}{\alpha_\theta (L_p + r_w)} \right] \quad \dots(2.21)$$

Donde:

α_θ = Parámetro de fase (tabla 2.1)

El parámetro α_θ puede ser usado para configuración de disparo en espiral y/o de grupo. Sin embargo, una exactitud reducida se tendrá para arreglos de grupo.

Daño vertical

$$s_v = 10^a h_D^{b-1} r_{pD}^b \quad \dots(2.22)$$

Donde:

h_D = Espaciamiento de disparos, adimensional.

r_{pD} = Radio del disparo, adimensional.

$$a = a_1 \log_{10} r_{pD} + a_2 \quad \dots(2.23)$$

Donde a_1 y a_2 son determinados de la tabla 2.2 para la fase de disparos apropiada.

$$b = b_1 r_{pD} + b_2 \quad \dots(2.24)$$

Donde b_1 y b_2 son determinados de la tabla 2.2 para la fase de disparos apropiada.

$$h_D = \frac{h}{L_p} \sqrt{\frac{K_h}{K_v}} \quad \dots(2.25)$$

Donde:

h = Espaciamiento del disparo, ft.

K_h = Permeabilidad horizontal de la formación, md.

K_v = Permeabilidad vertical de la formación, md.

$$r_{pD} = \frac{r_p}{2h} \left(1 + \sqrt{\frac{K_v}{K_h}} \right) \quad \dots(2.26)$$

Donde:

r_p = Radio del disparo, ft.

Daño por efecto de la pared del pozo

$$s_{wh} = C_1 \exp \left[C_2 \left(\frac{r_w}{L_p + r_w} \right) \right] \quad \dots(2.27)$$

Tabla 2.1.- Parámetros α_θ para varias fases⁷

Fase del disparo (Grados)	α_θ
0 (360)	0.250
180	0.500
120	0.648
90	0.726
60	0.813
45 (135)	0.860
30 (150)	0.912

Tabla 2.2.- Parametros a_1 , a_2 , b_1 , y b_2 para varias fases⁷

Fase del disparo (Grados)	a_1	a_2	b_1	b_2
0 (360)	-2.091	0.0453	5.1313	1.8672
180	-2.025	0.1943	3.0373	1.8115
120	-2.018	0.0634	1.6136	1.7770
90	-1.905	0.1038	1.5674	1.6935
60	-1.898	0.1023	1.3654	1.6490
45 (135)	-1.788	0.2398	1.1915	1.6392
30 (150)	-1.670	0.3460	1.0243	1.6300

C_1 y C_2 están dados en la tabla 2.3 para varias fases de disparo.

Daño por la zona alterada del disparo.

$$s_{pd} = \frac{h}{L_p} \left(\frac{K}{K_{pd}} - 1 \right) \ln \left(\frac{r_{pd}}{r_p} \right) \quad \dots(2.28)$$

Donde:

r_{pd} = Radio de la zona dañada, ft.

K = Permeabilidad de la formación, md.

K_{pd} = Permeabilidad de la zona alterada por el disparo, md.

Daño causado por la perforación del pozo.

s_p debe ser modificado para considerar el efecto de la zona alterada por la perforación del pozo alrededor de la pared de éste. Para disparos que no se extiendan más allá de la zona dañada por la perforación del pozo se tiene:

$$s'_p = \left(\frac{K}{K_{dd}} - 1 \right) \ln \left(\frac{r_{dd}}{r_w} \right) + \left(\frac{K}{K_{dd}} \right) (s_p + s_x) \quad \dots(2.29)$$

Donde:

s'_p = Daño modificado debido al disparo, adimensional.

K_{dd} = Permeabilidad de la zona alterada por la perforación del pozo, md.

r_{dd} = Radio de la zona dañada por la perforación del pozo, ft.

s_x está dado por la tabla 2.4 y es despreciable para $r_d \geq 1.5(r_w + L_p)$.

Para disparos que se extienden más allá de la zona alterada por la perforación del pozo, se modifica el radio del pozo y la longitud del disparo por:

$$L'_p = L_p - \left(1 - \frac{K_{dd}}{K}\right) L_{dd} \quad \dots(2.30)$$

$$r'_w = r_w + \left(1 - \frac{K_{dd}}{K}\right) L_{dd} \quad \dots(2.31)$$

Donde:

L'_p = Longitud del disparo modificado para considerar los efectos del daño por la perforación del pozo, ft.

r'_w = Radio del pozo modificado para considerar los efectos del daño por la perforación del pozo, ft.

L_{dd} = Espesor de la zona dañada por la perforación del pozo, ft.

Table 2.3.- Parametros C_1 and C_2 para varias fases⁷

Fase del disparo (Grados)	C_1	C_2
0 (360)	0.16	2.675
180	0.026	4.532
120	0.0066	5.320
90	0.0019	6.155
60	0.0003	7.509
45 (135)	0.000046	8.791
30 (150)	0.000008	9.930

Table 2.4.- Parametros⁷ S_x

$r_\theta / (r_w + L_p)$	S_x
18.0	0.000
10.0	-0.001
2.0	-0.002
1.5	-0.024
1.2	-0.085

Use L'_p y r'_w en lugar de r_p y r_w para determinar s_h , s_{wb} y s_{pd} .

Daño debido a la desviación del pozo.

Cinco L. et al⁸ desarrollaron la siguiente expresión para determinar el daño resultado de la desviación del pozo, $s_{\theta d}$:

$$s_{\theta d} = -\left(\frac{\theta'_d}{41}\right)^{2.06} - \left(\frac{\theta'_d}{56}\right)^{1.865} \log_{10}\left(\frac{h_{td}}{100}\right) \quad \dots(2.32)$$

Donde:

h_{td} = Espesor de la formación, adimensional.

θ'_d = Ajuste de la desviación del pozo, grados.

$$h_{td} = \left(\frac{h_t}{r_w}\right) \sqrt{\frac{K_h}{K_v}} \quad \dots(2.33)$$

Donde:

h_t = Espesor total de la formación, ft.

$$\theta'_d = \tan^{-1}\left(\sqrt{\frac{K_v}{K_h}} \tan \theta_d\right) \quad \dots(2.34)$$

Donde:

θ_d = Desviación del pozo (máxima desviación o ángulo), grados.

Daño por penetración parcial.

La simple expresión para el cálculo de daño causado por la penetración parcial de la zona productora está dado por Odeh⁹:

$$s_{bf} = 1.35 \left[\left(\frac{h_i}{h_p} - 1 \right)^{0.825} \left\{ \ln \left(h_i \sqrt{\frac{K_h}{K_v}} + 7 \right) - \left(0.49 + 0.1 \ln \left(h_i \sqrt{\frac{K_h}{K_v}} \right) \right) \ln(r_{wc}) - 1.95 \right\} \right] \quad \dots(2.35)$$

Donde:

h_p = Espesor disparado, ft.

r_{wc} = Radio del pozo corregido por penetración parcial, ft

$$r_{wc} = r_w \exp \left[0.2126 \left(\frac{Z_m}{h_i} + 2.753 \right) \right] \text{ para } y > 0 \quad \dots(2.36)$$

Donde:

y = Distancia entre la parte superior de la arena y la parte superior del intervalo abierto, ft.

para $0 < \frac{Z_m}{h} < 0.5$ Usar la Ec. 2.36

Cuando $\frac{Z_m}{h} > 0.5$ reemplazar $\frac{Z_m}{h}$ por $\left(1 - \frac{Z_m}{h}\right)$

para $r_{wc} = r_w$, $\gamma = 0$ (2.37)

$$Z_m = y + \left(\frac{h_p}{2}\right) \quad \text{.....(2.38)}$$

Daño Total

Cuando el valor del factor de corrección γ es determinado, los elementos del daño pueden ser combinados para utilizar la Ec. 2.18. El valor de γ depende del radio de daño causado por la perforación del pozo y la relación de anisotropía de la formación. Odeh¹⁰ presentó un simple pero preciso principio de expresión para la determinación de γ .

Si el intervalo abierto al flujo inicia en la parte superior de la zona productora

$$\gamma = \log_{10} \left(\frac{h_p}{r_w} \right) \left[0.66 - 0.62 \left(\frac{r_{dd}}{h_p} \right)^{0.33} \right] + 1.12 \left(\frac{r_{dd}}{h_p} \right)^{0.33} \quad \dots(2.39)$$

La Ec. 2.39 está sujeta a la limitación de $\gamma = 1.0$ cuando

$$r_{dd} \leq \frac{0.13h_p}{r_w} \quad \dots(2.40)$$

$$\text{o} \quad h_p = 0.85h_i \quad \dots(2.41)$$

Además, si γ se determina que es menor que 1, esta deberá ser igual a 1.

Si el intervalo abierto no está en la parte superior de la zona productora, la

Ecuación 2.39 en la parte productora llegará a ser:

$$\gamma = \log_{10} \left(\frac{h_p}{r_{wc}} \right) \left[0.66 - 0.62 \left(\frac{r_{ddc}}{h_p} \right)^{0.33} \right] + 1.12 \left(\frac{r_{ddc}}{h_p} \right)^{0.33} \quad \dots(2.42)$$

Donde:

r_{ddc} = Radio de la zona dañada por la perforación del pozo corregido
por efecto de anisotropía, adimensional.

$$r_{ddc} = \frac{r_{wc}}{r_w} \quad \dots(2.43)$$

La Ec. 2.42 es válida cuando:

$y \geq 0.05h$, y cuando $y < 0.05h$, use la ec. 2.39.

Para formaciones anisotrópicas se requieren correcciones adicionales.

$$h'_p = h_p \sqrt{\frac{K_h}{K_v}} \quad \dots(2.44)$$

$$h'_t = h_t \sqrt{\frac{K_h}{K_v}} \quad \dots(2.45)$$

h'_p = Espesor disparado corregido por efecto de anisotropía, ft.

h'_t = Espesor total de la formación corregido por efecto de anisotropía, ft.

Los valores corregidos h'_p y h'_t pueden ser usado en lugar de h_p y h_t en las Ecuaciones 2.39 y 2.42.

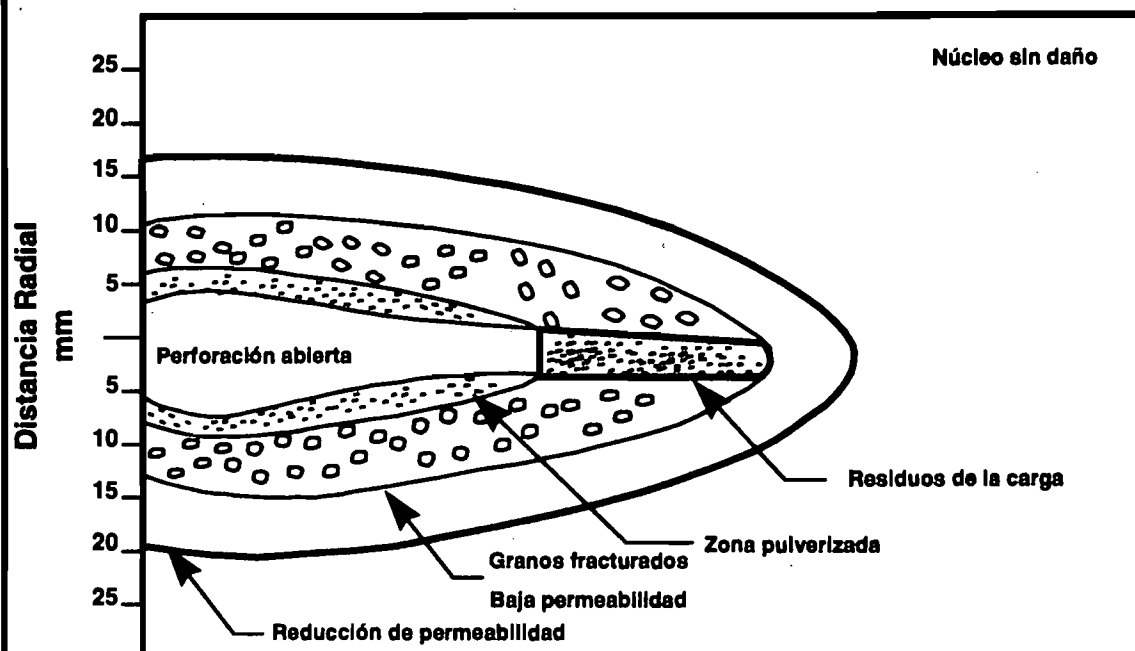
CAPITULO 3

DISPAROS BAJO - BALANCEADOS

El objetivo fundamental del disparo en una terminación revestida es maximizar la producción del pozo y esto es logrado con una reducción mínima de daño.

El incremento de daño puede ser causado al momento del disparo por taponamiento de la formación, residuos de carga, por daño mecánico a la matriz de la roca debido al alto impacto, reducción de permeabilidad por formación triturada alrededor del túnel (Fig. 3.1),¹¹ destrucción de poros, migración de finos generados debido a esta operación y se agrava aún más cuando se tiene una presión hidrostática en el pozo mayor que la presión de formación con fluidos de terminación no adecuados.

Considerando el daño generado debido a lo anterior mencionado, se verá esto reflejado en excesivas caídas de presión y por lo tanto reducción drástica en la producción de hidrocarburos.



**Fig. 3.1.- Zona dañada alrededor del disparo
(Saucier and Lands)¹¹**

A continuación se presenta una técnica de disparo con la que se obtienen túneles limpios en los cuales se evita la mayoría de las situaciones adversas mencionadas, siendo esta sumamente económica comparada con los beneficios obtenidos.

El principio de disparos bajo-balanceados, se basa en llevar a cabo una operación con una presión hidrostática en la pared del intervalo productor menor que la presión de formación lo que favorece el flujo de los fluidos del yacimiento al pozo y de esta forma se elimina en los túneles el material propio y extraño dejando, en teoría una perforación prácticamente limpia. Esto se complementa con un correcto diseño de pistolas perforadoras.

Pruebas de laboratorio realizadas con núcleos artificiales (bajo la norma API RP 43)¹² demuestran que los efectos de la zona dañada por el disparo pueden ser mitigadas por el flujo a través de la perforación. La Fig. 3.2¹³ presenta una serie de eventos del disparo y de la limpieza de los residuos de las cargas después de un cierto volumen de flujo.

En la Fig. 3.3¹³ se presenta como se incrementa la eficiencia de flujo en el núcleo a medida que se tiene mayor tiempo o volumen de flujo, obteniendo una eficiencia final de flujo (CFE) de 0.7 a 0.8. Se observa que no se alcanza la eficiencia de flujo en el núcleo (CFE) ideal debido al daño

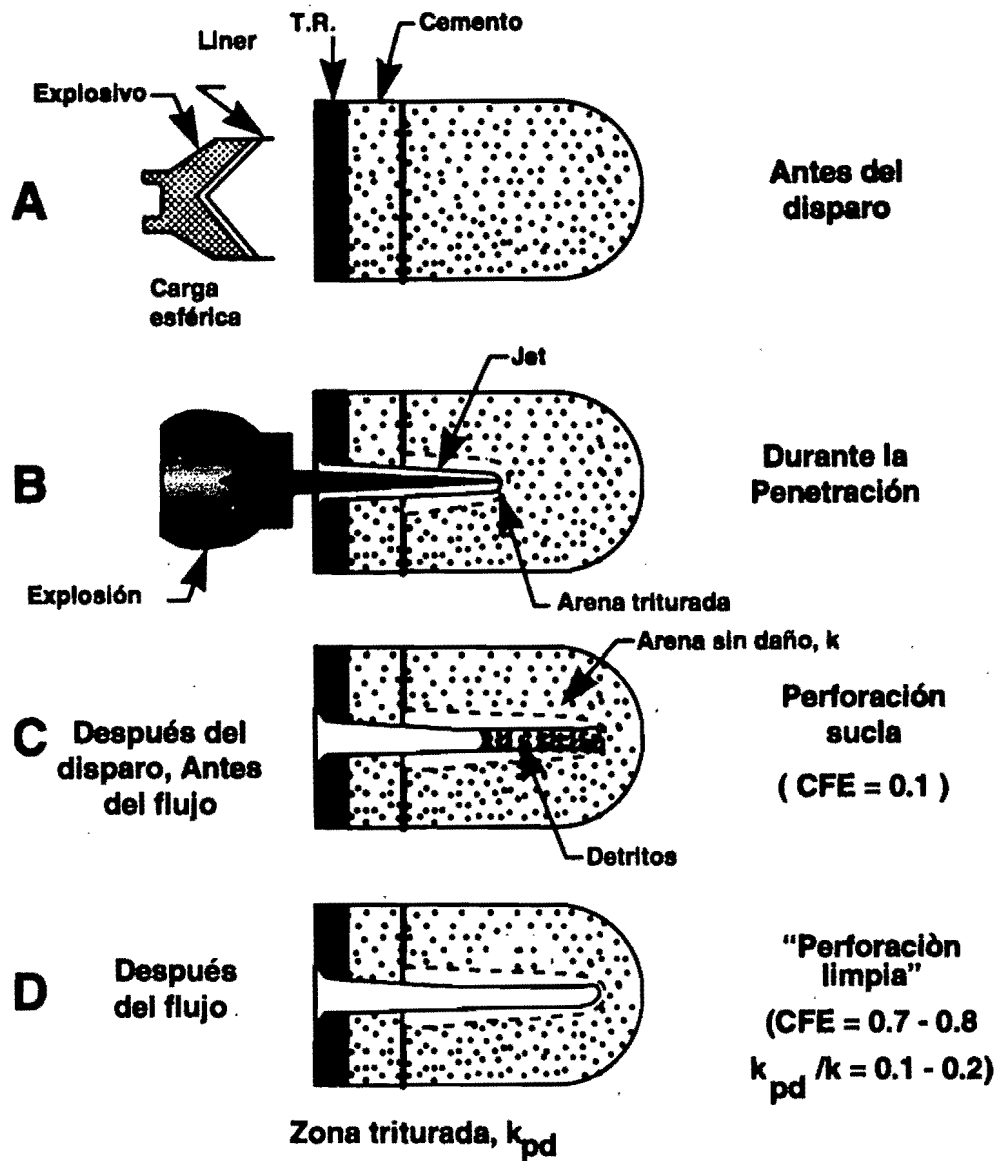


Fig. 3.2.- Eventos de la limpieza en una perforación (after Bell)¹³

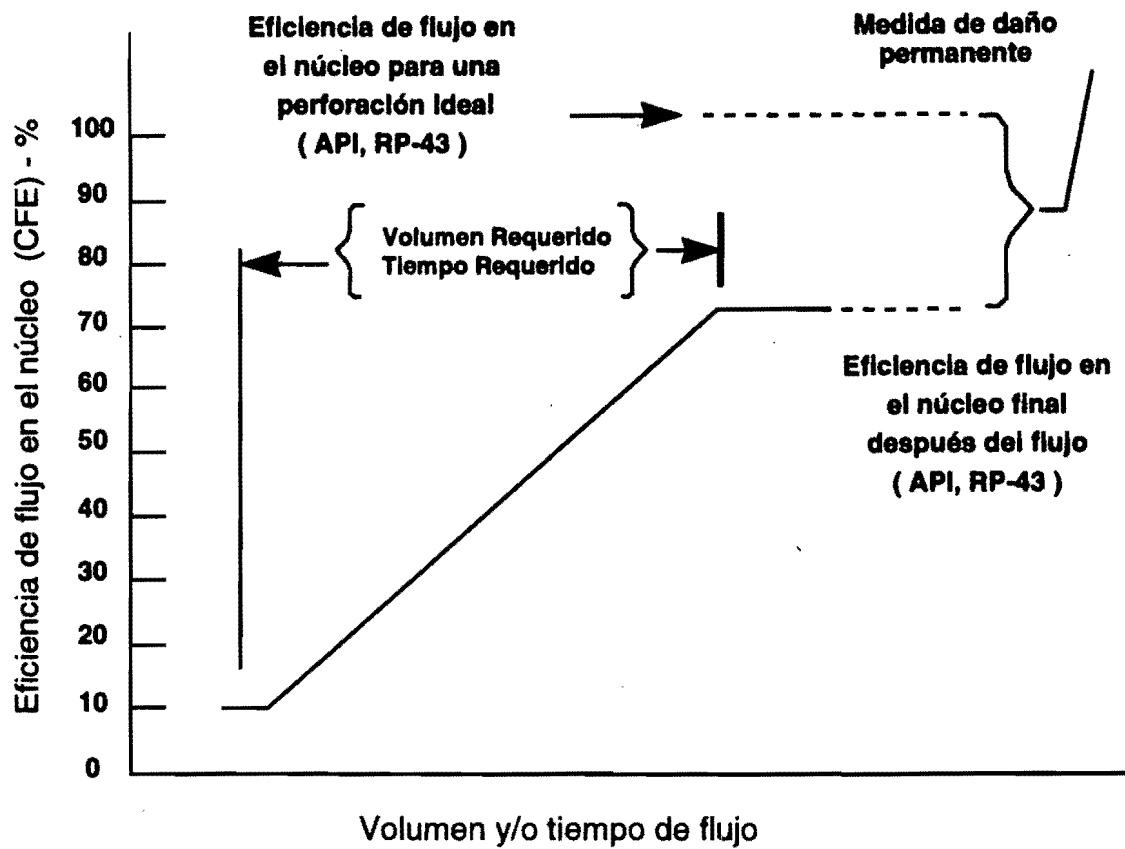


Fig. 3.3 Características de flujo durante la limpieza (after Bell)¹³

permanente generado por el disparo. Las pruebas de las figuras 3.2¹³ y 3.3¹³ se llevaron a cabo sin aplicar presión diferencial y con núcleos completamente limpios, a diferencia de la limpieza del disparo por flujo, se utilizó la presión diferencial como se observa en la Fig. 3.4¹³ alcanzando con solamente 200 psi una eficiencia de flujo mayor al 70%.

Para cualquier circunstancia siempre existe una presión diferencial óptima. En la Fig. 3.5¹⁴ se observa que aproximadamente a 2000 psi de presión diferencial se alcanzó la mayor eficiencia de flujo en el núcleo (CFE) sin importar la limpieza por flujo. Con menor presión diferencial fue necesario esperar un tiempo de flujo para tener una mejora en el CFE. No necesariamente a medida que se aplica más diferencial de presión se tendrá un mayor CFE, como se ilustra en la última prueba realizada.

El nivel de presión diferencial óptimo para efectuar operaciones de disparos es inicialmente determinada por las propiedades del yacimiento y ajustado por las características mecánicas del pozo, como los valores de resistencia de la tubería de revestimiento, empacador y pistolas perforadoras.

Un nivel de bajo-balance demasiado bajo, puede resultar en una pobre limpieza del túnel de lo contrario un nivel demasiado alto puede resultar en:

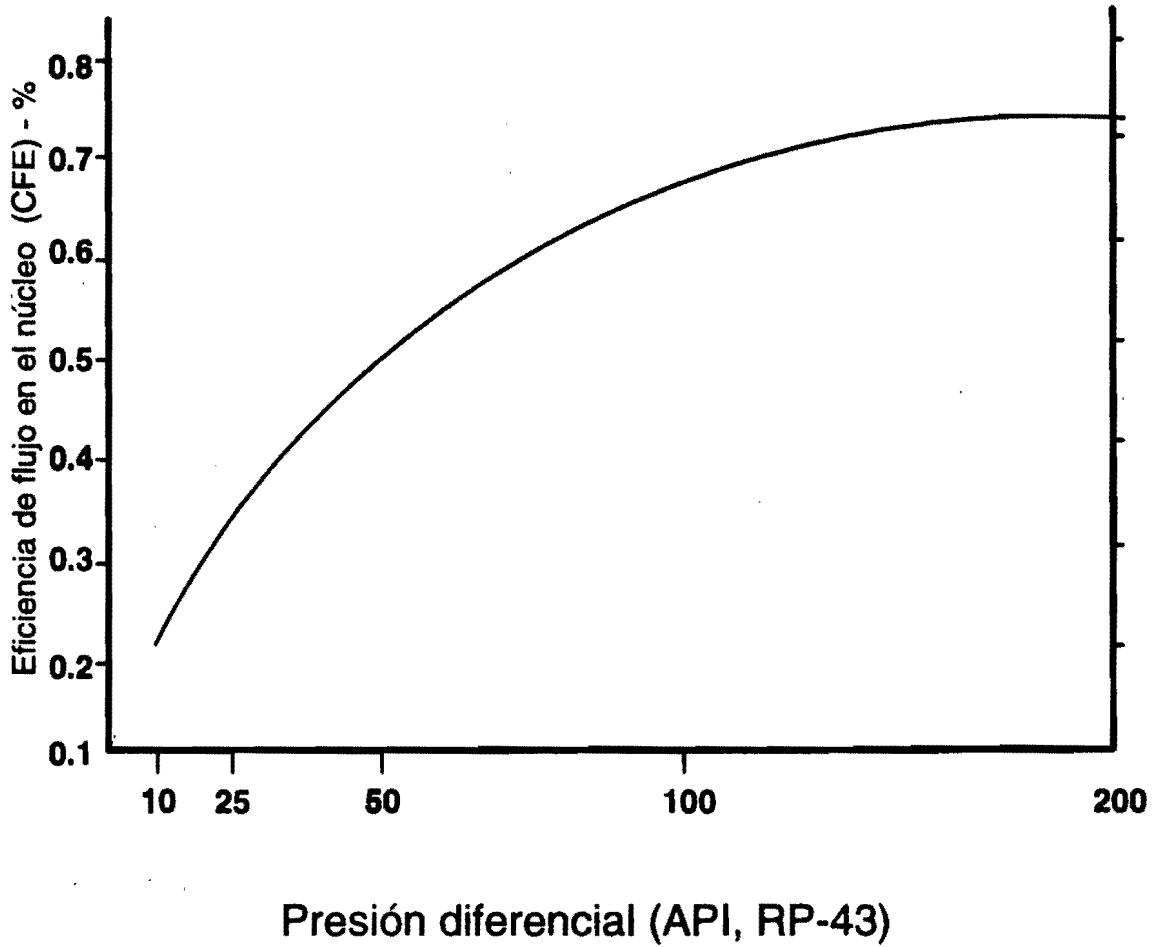


Fig. 3.4.- Efecto de la presión diferencial en el CFE final (after Bell)¹³

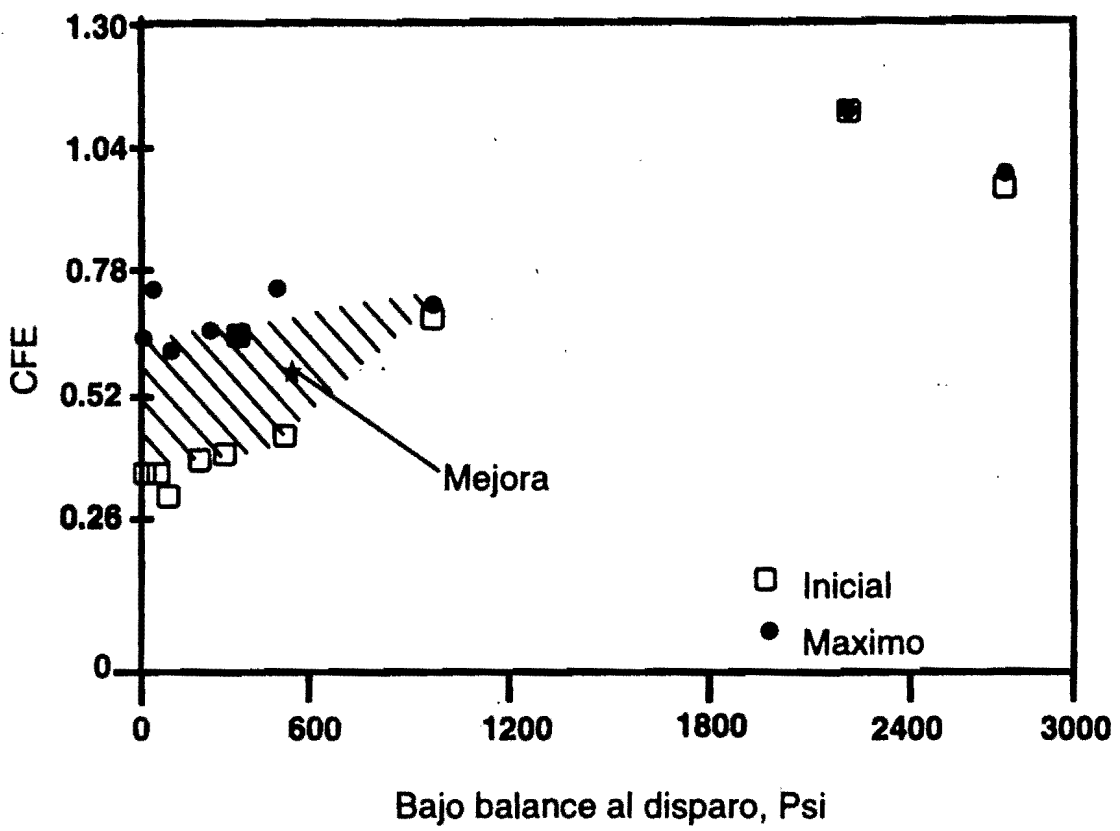


Fig. 3.5.- Bajo balance al disparo¹⁴, Psi

- Falla mecánica de la formación.
- Movimiento de finos.
- Atrapamiento de las pistolas.
- Colapso de la tubería de revestimiento.
- Atrapamiento del empacador por la tubería de revestimiento, ensolvamiento de éste u otros problemas.

Determinación de la presión de bajo-balance

(Método experimental).¹⁵

En un estudio realizado por King¹⁶, Anderson y Bingham en más de noventa pozos se obtuvieron correlaciones en función de la permeabilidad de la formación, para determinar la presión de bajo-balance mínima para obtener perforaciones limpias en yacimientos de areniscas. Estos estudios son representados en las figuras 3.6¹⁶ y 3.7¹⁶. Las líneas en estas gráficas muestran la separación de las perforaciones limpias con las perforaciones dañadas. Las Ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 fueron consideradas para la realización de las figuras mencionadas.

Colle¹⁷ presenta gráficas donde recomienda la máxima presión de bajo-balance permisible para evitar la producción de arena en yacimientos de gas y aceite poco consolidados. Las figuras 3.8¹⁷ y 3.9¹⁷ muestran la

Mínima presión de bajo balance para disparar zonas de gas en arenas

**Lineas de mínimo bajo balance de las ecuaciones 3.1 y 3.2
(datos de King, Anderson y Bingham)**

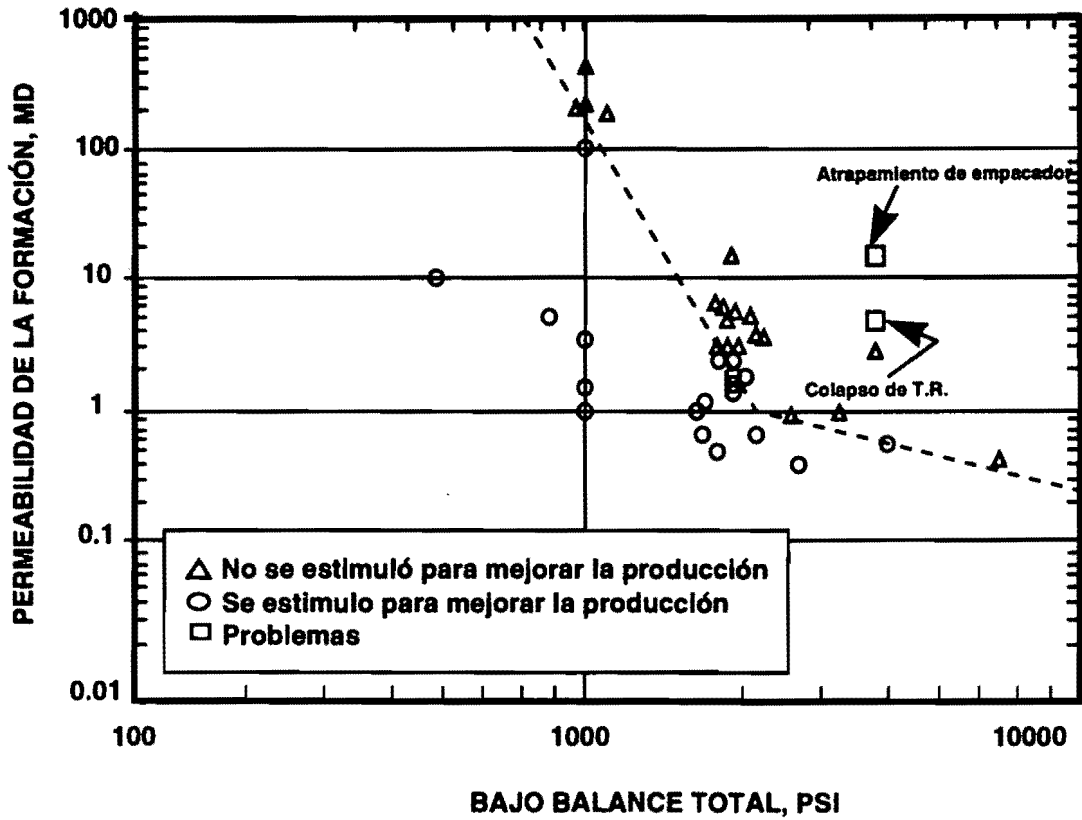


Fig. 3.6.- Mínima presión de bajo balance para disparar zonas de gas en arenas¹⁶

Mínima presión de bajo balance para disparar zonas de aceite en arenas
Líneas de mínimo bajo balance de la ecuación 3.3
(datos de King, Anderson y Bingham)

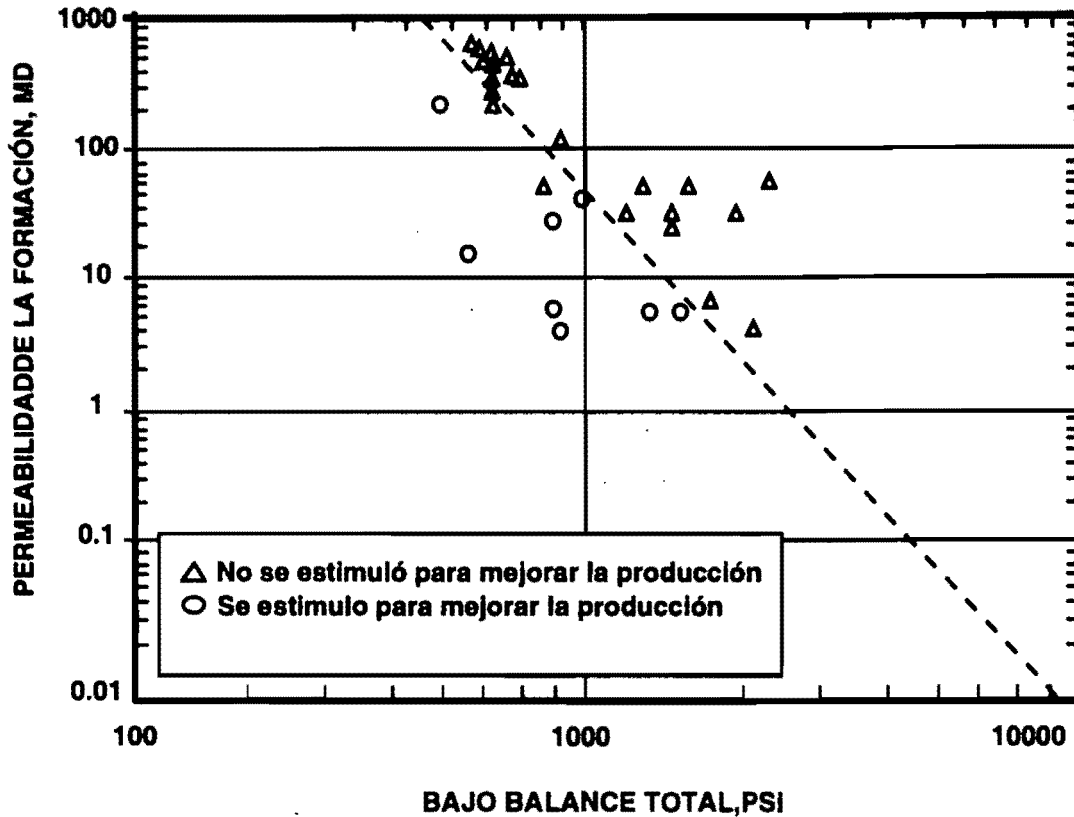


Fig. 3.7.- Mínima presión de bajo balance para disparar zonas de aceite en arenas¹⁶

Máxima presión de bajo balance para disparar arenas poco consolidadas
Basado en la velocidad sónica en lutitas adyacentes
Lineas representadas por las ecuaciones 3.4 y 3.5 (datos de Colle)

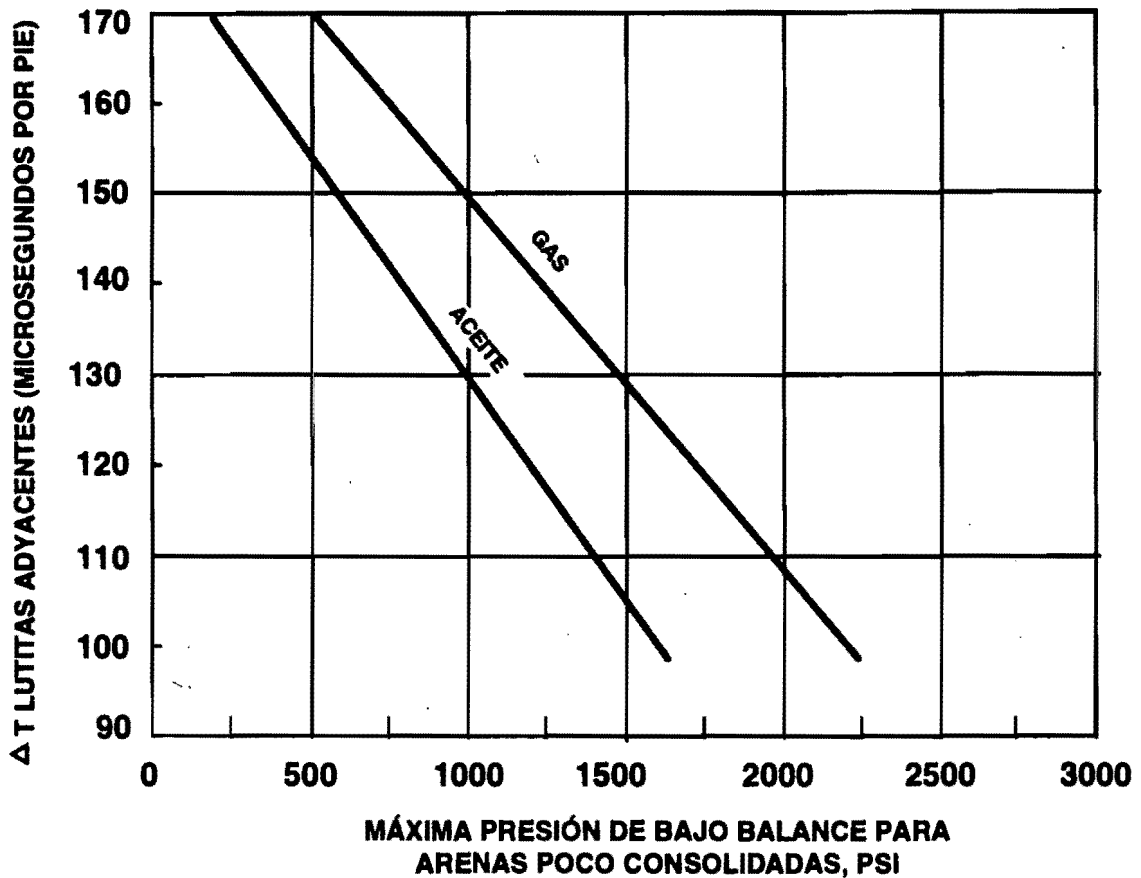


Fig. 3.8.- Máxima presión de bajo balance para disparar arenas poco consolidadas basado en la velocidad sónica en lutitas adyacentes¹⁷

Máxima presión de bajo balance para disparar arenas poco consolidadas
Basado en la densidad de lutitas adyacentes
Líneas representadas por las ecuaciones 3.6 y 3.7 (datos de Colle)

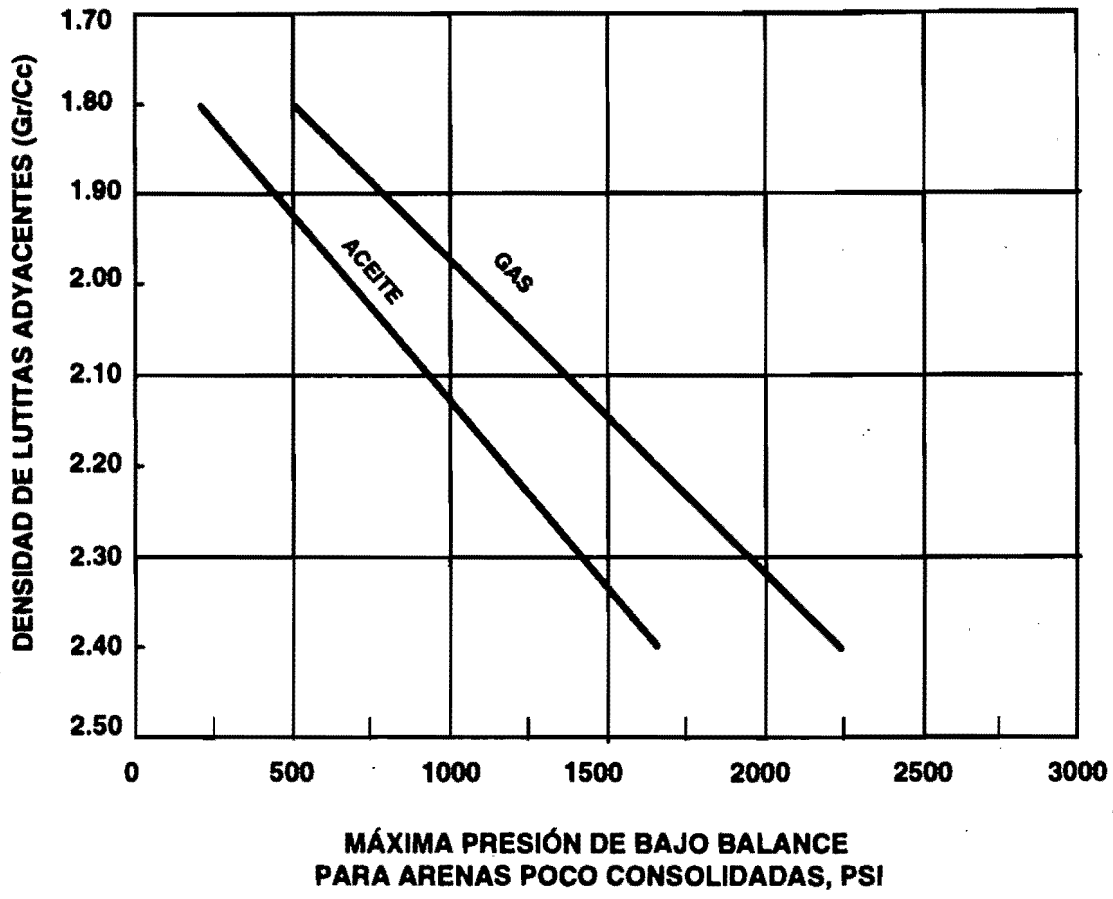


Fig. 3.9.- Máxima presión de bajo balance para disparar arenas poco consolidadas basado en la velocidad sónica en lutitas adyacentes¹⁷

máxima presión de bajo-balance permisible en función del tiempo de tránsito (registro sónico) y en función de la densidad de las lutitas limpias cercanas a la zona productora. Estos gráficos fueron obtenidos con experiencias en las formaciones de las costas del Golfo de México y Venezuela.

Ecuaciones para diseñar disparos bajo-balanceados en arenas¹⁴

Minimo bajo-balance en función de la permeabilidad de la zona productora:

Para yacimientos de gas.:

$$\text{Presión mínima (Psi)} = \frac{2500}{K} \quad K < 1md \quad \dots(3.1)$$

$$\text{Presión mínima (kg/cm}^2\text{)} = \frac{175.75}{K} \quad K < 1md \quad \dots(3.1b)$$

$$\text{Presión mínima (Psi)} = \frac{2500}{K^{0.18}} \quad K > 1md \quad \dots(3.2)$$

$$\text{Presión mínima (kg/cm}^2\text{)} = \frac{175.75}{K^{0.18}} \quad K > 1md \quad \dots(3.2b)$$

Para yacimientos de aceite.:

$$\text{Presión mínima (Psi)} = \frac{2500}{K^{0.3}} \quad \dots(3.3)$$

$$\text{Presión mínima (kg/cm}^2\text{)} = \frac{175.75}{K^{0.3}} \quad \dots (3.3b)$$

Máximo bajo-balance en función del tiempo de tránsito en lutitas adyacentes.:

Para tiempos de tránsito mayores a 90 microsegundos/pie (300 microsegundos/m).

Para yacimientos de gas.:

$$\text{Presión máxima (Psi)} = 4800 - 25(\Delta t) \quad \dots(3.4)$$

$$\text{Presión máxima (kg/cm}^2\text{)} = 337.44 - 1.7575(\Delta t) \quad \dots(3.4b)$$

Para yacimientos de aceite.:

$$\text{Presión máxima (Psi)} = 3500 - 19(\Delta t) \quad \dots(3.5)$$

$$\text{Presión máxima (kg/cm}^2\text{)} = 246.05 - 1.3357(\Delta t) \quad \dots(3.5b)$$

Máximo bajo-balance en función de la densidad de lutitas adyacentes.:

Para densidades menores de 2.4 gr/cm³ (2400 kg/m³).

Para yacimientos de gas.:

$$\text{Presión máxima (Psi)} = 2900(\rho_l) - 4700 \quad \dots(3.6)$$

$$\text{Presión máxima (kg/cm}^2\text{)} = 203.87(\rho_l) - 330.41 \quad \dots(3.6b)$$

Para yacimientos de aceite.:

$$\text{Presión máxima (Psi)} = 2340(\rho_l) - 4000 \quad \dots(3.7)$$

$$\text{Presión máxima (kg/cm}^2\text{)} = 164.502(\rho_l) - 281.2 \quad \dots(3.7b)$$

Máximo bajo-balance para tiempos de tránsito menores de 90 microsegundos/pie (300 microsegundos/m) o para densidades mayores de 2.4 gr/cm³ (2400 kg/m³).

Presión máxima = Máxima presión permisible de la T.R. y cemento en la zona de disparos(3.8)

Presión recomendada de bajo-balance.

Si no se tienen antecedentes de producción de arena.:

$$\text{Presión recomendada} = (0.2 \times \text{presión mínima}) + (0.8 \times \text{presión máxima})$$

....(3.9)

Si se tienen antecedentes de alta producción de arena y/o alta saturación de agua.:

$$\text{Presión recomendada} = (0.8 \times \text{presión mínima}) + (0.2 \times \text{presión máxima})$$

..(3.10)

Las Ecuaciones 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 no son recomendables cuando se tienen problemas de producción de arena o cuando se dispare cerca de contactos aceite/agua ó gas/agua.

Como se puede observar en las ecuaciones anteriores se aplicará mayor presión diferencial para formaciones de gas que para formaciones que contengan aceite, esto debido a que las primeras pueden ser más susceptibles al daño durante el disparo, pues la compresibilidad del gas favorece a la formación de cavidades permitiendo mayor acceso de fluidos y partículas extrañas al yacimiento.

Para lograr una excelente eficiencia en los disparos y con esto una mayor producción de hidrocarburos, el siguiente método es recomendado:

1.- Determinar los valores estimados de:

- a) Permeabilidad de la formación.**
- b) Presión de formación.**
- c) Tiempo de tránsito de lutitas adyacentes (en caso de existir)**
- d) Densidad de lutitas adyacentes (en caso de existir).**
- e) Fluido predominante en el yacimiento (gas o aceite).**
- f) Formación con antecedentes de producción de arena.**

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

- a) Obtener el mínimo bajo-balance requerido usando las ecuaciones correspondientes (Ecs. 3.1, 3.2 y 3.3).**
- b) Estimar el máximo bajo-balance permisible con las ecuaciones correspondientes (Ecs. 3.4, 3.5, 3.6 , 3.7 y 3.8).**
- c) Seleccionar la presión de bajo-balance recomendada con la Ec. 3.9 en caso de no haber antecedentes de producción de arena.**
- d) Seleccionar la presión de bajo-balance recomendada con la ec. 3.10 en caso de haber antecedentes de producción de arena y/o si se tiene alta saturación de agua.**

- 3.- Efectuar un diseño de las pistolas perforadoras (ver capítulo 2).
- 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.- Considerar los contactos para evitar una conificación.
- 7.- Utilizar algún método de predicción de eficiencia de flujo (ver capítulo 2), para estimar el daño y/o las caídas de presión en los disparos.
- 8.- 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 sobrebalanceada.

Determinación de la presión de bajo balance

(Método de fuerza de arrastre)¹⁷

Este modelo considera que la limpieza del daño debido a la perforación es generado por fuerzas dinámicas (presión diferencial y arrastre), pues éstas son altas al momento del disparo por la descompresión del fluido.

La fuerza de arrastre es:

$$F_D = \frac{C_D \rho V^2 A}{2} \quad \dots(3.11)$$

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre, adimensional.

ρ = Densidad del fluido, kg/m^3

V = Velocidad del fluido, m/seg .

A = Area de la sección transversal de la partícula, m^2

$$C_D = \frac{1}{N \text{Re} \gamma} \quad \dots(3.12)$$

Donde:

$N \text{Re}$ = Número de Reynolds, adimensional.

γ = Coeficiente de esfericidad (1 para una esfera).

$$N Re = \frac{\rho V \delta}{\mu} \quad \dots(3.13)$$

Donde:

δ = Diámetro de poro característico, m.

μ = Viscosidad del fluido, kg/m * seg.

Suponiendo granos esféricos como un promedio y área constante tenemos:

$$C_D = \frac{\mu}{\rho V \delta} \quad \dots(3.14)$$

Sustituyendo C_D en la ecuación (3.11)

$$F_D = \frac{\mu \rho V^2 A}{2 \rho V \delta} = \frac{A \mu V}{2 \delta}$$

Pero $\frac{A}{2} = \text{constante}$

Entonces:

$$F_D \propto \frac{V \mu}{\delta} \quad \dots(3.15)$$

Para Van Everdingen¹⁹ el flujo radial migratorio dentro de una perforación, está dado en términos de flujo adimensional Q_t y tiempo adimensional t . El flujo total por unidad de longitud del túnel de la perforación es:

$$Q_t = 2\pi\phi Cr^2 \Delta P Q_t \quad \dots(3.16)$$

Donde:

ϕ = Porosidad interconectada, fracción

C = Compresibilidad del fluido, 1/bar

r = Radio del túnel, cm

ΔP = Presión diferencial, bar

El tiempo total es:

$$T = \frac{\phi\mu Cr^2 t}{K} \quad \dots(3.17)$$

Donde:

K = Permeabilidad de la roca, md

La velocidad de flujo en el radio de la perforación r es:

$$V_r = \left(\frac{dQ_t}{dT} \right) AREA \quad \dots(3.18)$$

Donde:

$$AREA = 2\pi r r \phi$$

$$\frac{dQT}{dT} = \frac{2\pi\phi Cr^2 \Delta PK}{\phi Cr^2} \frac{dQt}{dt} = 2\pi\Delta PK \left(\frac{dQt}{dt} \right) \quad \dots(3.19)$$

Sustituyendo la Ec. (3.19) en (3.18)

$$V_r = \frac{2\pi\Delta PK \left(\frac{dQt}{dt} \right)}{2\pi r \phi} = \frac{\Delta PK}{r\phi} \left(\frac{dQt}{dt} \right) \quad \dots(3.20)$$

Donde $\frac{dQt}{dt}$ es el gasto de flujo adimensional

Sustituyendo la Ec. (3.20) en la Ec. (3.15)

$$F_D \alpha \frac{\Delta PK}{\delta r \phi} \left(\frac{dQt}{dt} \right) \quad \dots(3.21)$$

De experimentos realizados²⁰ encontraron que $\frac{dQt}{dt}$ es despreciable, además de que este modelo considera que la limpieza de la perforación solo ocurre de la descompresión del fluido, la cual por la fuerza de arrastre para desalojar los granos fracturados y la remoción de partículas en los túneles. El flujo

subsecuente ayuda a barrer algún grano remanente del túnel de la perforación, pero esto no tiene una ayuda significativa a la limpieza del daño debido a la perforación.

Por lo anterior expuesto, la fuerza de arrastre crítica es:

$$F_D \propto \frac{K \Delta P}{\delta \phi r}$$

Considerando la correlación de ward²¹

$$\delta \propto K^{1/2}$$

Entonces:

$$F_D \propto \frac{k^{1/2} \Delta P}{\phi D} \quad \dots(3.22)$$

Donde D es el diámetro del túnel.

Se realizaron una serie de experimentos donde se obtuvieron las gráficas 3.10,¹⁸ 3.11¹⁸ y 3.12,¹⁸ las cuales fueron elaboradas con datos de daño únicamente por el disparo contra fuerza de arrastre (Ec. 3.22), resultando la

fuerza de arrastre crítica en la intersección con daño igual a cero. El diámetro del túnel de la perforación tuvo que ser reducido a $D^{0.3}$ para lograr correlacionar los juegos de datos.

El bajo balance crítico para tener un daño de la perforación cercano a cero es:

$$\Delta P = \frac{1480\phi D^{0.3}}{K^{1/2}} \quad K > 100md \quad \dots(3.23)$$

Donde:

ΔP = Diferencial de presión al momento del disparo (psi).

ϕ = Porosidad del intervalo a disparar, (%).

K = Permeabilidad del intervalo a disparar, (fraccion).

D = Diámetro del túnel del disparo, (Pg).

1480 = Promedio de intersección con daño igual a cero de las gráficas 3.10, 3.11 y 3.12.

La aplicación de la ecuación anterior para núcleos de yacimientos con baja permeabilidad dio bajo balances relativamente altos, por lo que para rocas de baja permeabilidad, la permeabilidad fue reducida de $K^{0.5}$ a $K^{0.33}$.

El exponente 0.33 es un número arbitrario que permite un valor estimado de bajo balance crítico de yacimientos poco permeables.

Gold sandstone, 3.2 gm carga

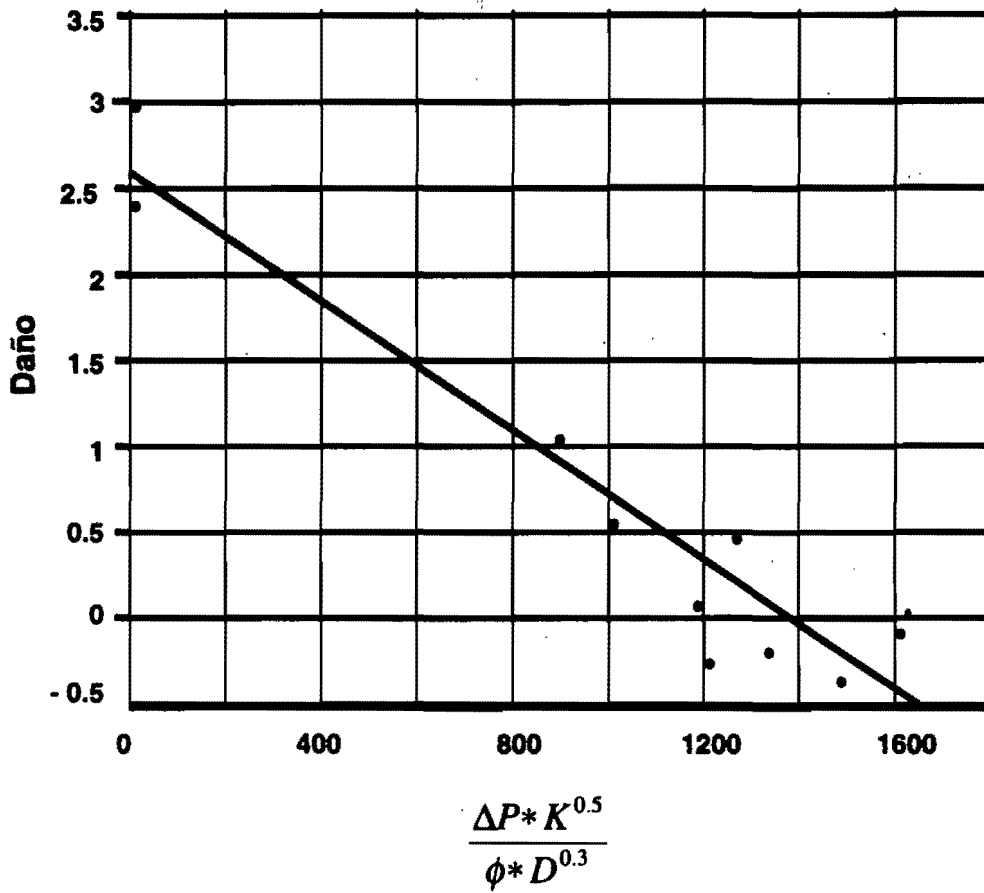


Fig. 3.10.- Daño por el disparo contra arrastre¹⁸

Berea sandstone, 3.2 gm carga

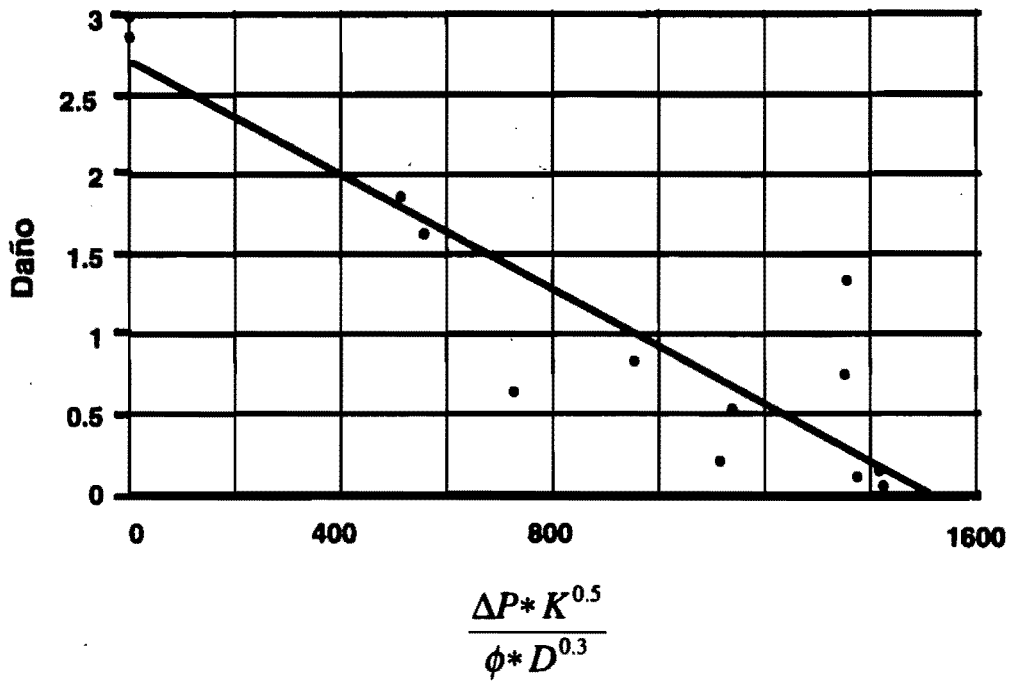


Fig. 3.11.- Daño por la perforación contra arrastre¹⁸

Berea sandstone, 15 gm carga

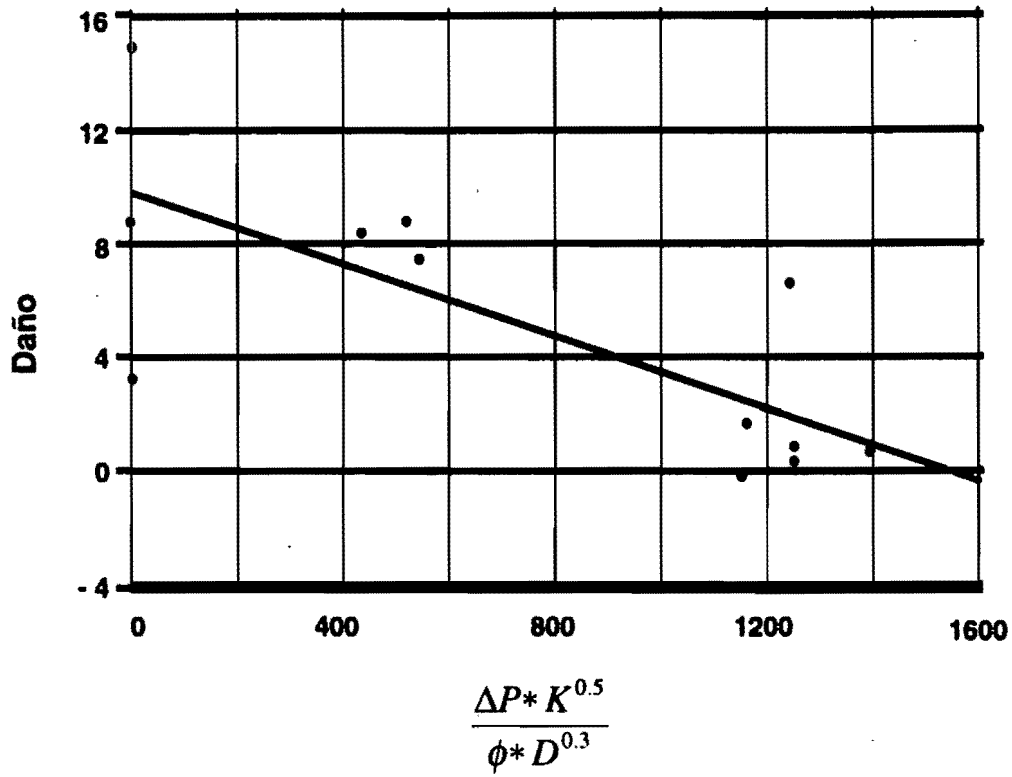


Fig. 3.12.- Daño por la perforación contra arrastre¹⁸

Para yacimientos con permeabilidades menores a 100 md, la siguiente ecuación es propuesta para el mínimo bajo balance para obtener un daño debido a la perforación cercano a cero.

$$\Delta P = \frac{630\phi D^{0.3}}{k^{1/3}} \quad K < 100md \quad \dots(3.24)$$

Es recomendable obtener la presión de bajo balance por los dos métodos estudiados e ir seleccionando el que mejor resultado presente en el campo donde se aplique, con el consecuente seguimiento a cada método para el ajuste correspondiente.



CAPITULO 4

DISPAROS SOBRE - BALANCEADOS

La técnica de disparos sobre-balanceados consiste en disparar las pistolas perforadoras con una presión hidrostática mayor frente al intervalo productor que la presión de fractura de la formación. Esto propicia la generación de fracturas. Con esta operación el pozo es normalmente estimulado, incrementando los gastos de producción y mejorando la evaluación del yacimiento.

Un disparo ejerce un esfuerzo de 4 a 5 millones de psi, lo que es suficiente para exceder todos los esfuerzos principales de la roca así como la resistencia de la misma, generando una serie de microfracturas alrededor del túnel (Fig. 4.1)²³. Esta energía disipada en la formación, más la inyección simultánea de fluidos a presiones mayores que la de fractura, son las causantes de generar múltiples fracturas que llegarán más allá de la zona de daño.

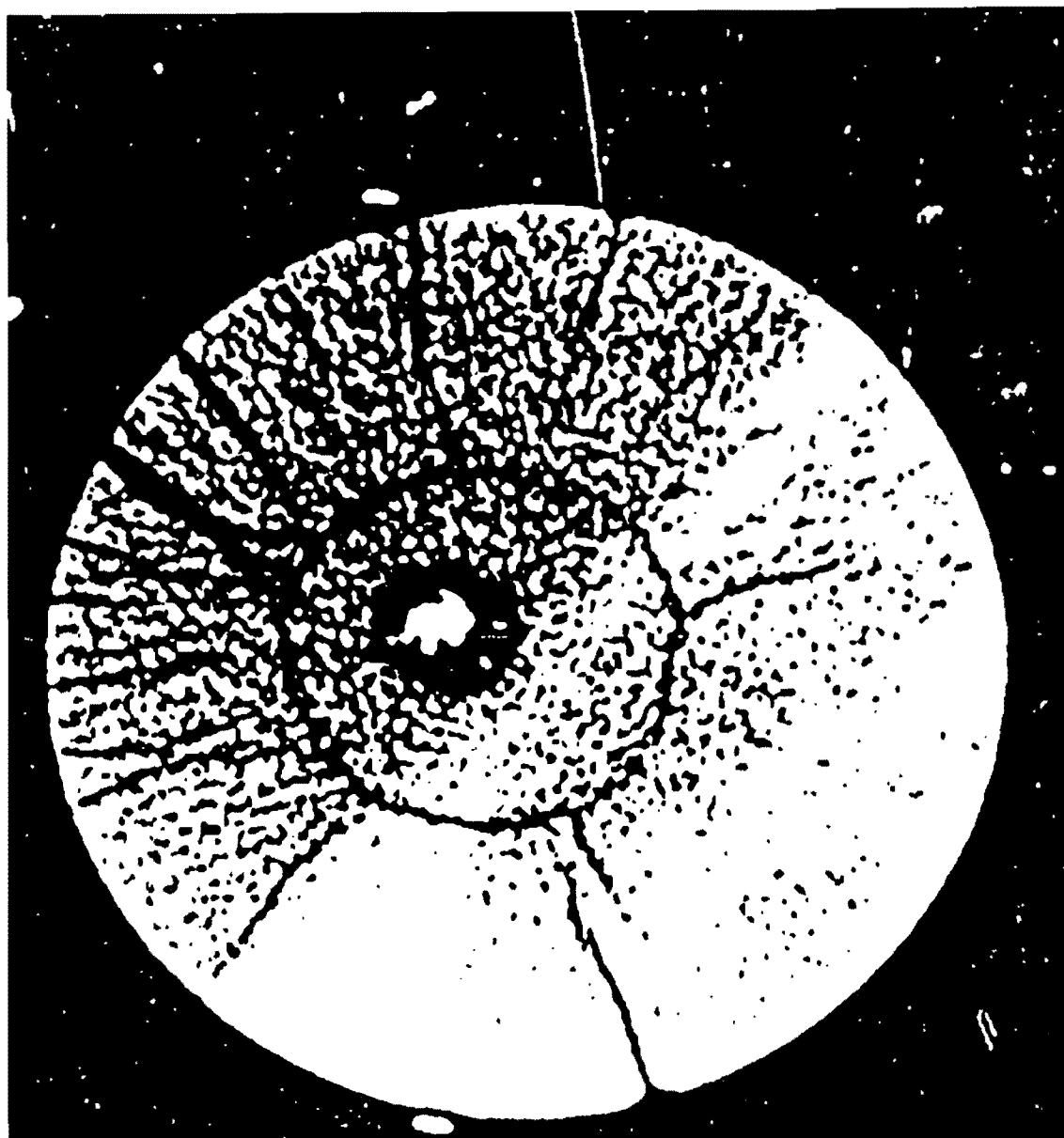


Fig. 4.1.- Scan de nucleo de 4 Pg., perforado con 22 gm. de carga mostrando fracturas circulares y radiales²²

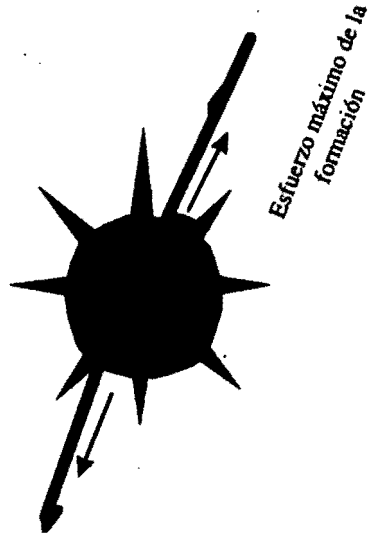
Este proceso es considerado como una técnica de fracturamiento dinámico debido a las altas velocidades del fluido durante la generación de la fractura.

El desarrollo de las fracturas en este tipo de operaciones es considerado como una situación intermedia entre roca dinamitada y fracturamiento hidráulico.

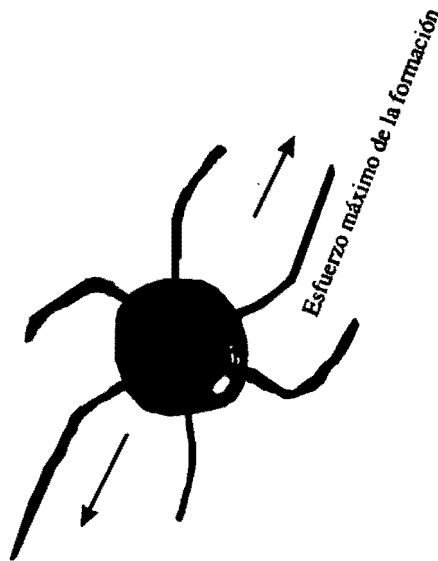
Las ventajas que se presentan sobre el fracturamiento hidráulico son:

- a) La generación de múltiples fracturas alineadas al esfuerzo máximo de la formación, a diferencia de las dos alas del fracturamiento hidráulico. (Fig. 4.2).²³
- b) El flujo turbulento de el fluido fracturante como consecuencia de la alta velocidad de propagación teniendo con esto una erosión en la cara de la fractura y por lo tanto un grabado que favorecerá a la conductividad de la misma.
- c) La rápida ejecución de la operación y costo inferior al del fracturamiento hidráulico.

Para incrementar considerablemente la extensión de las fracturas es fundamental considerar una columna de gas presurizado dentro de la



En fracturamiento hidráulico las fracturas no necesariamente se extienden por los tuneles del disparo



Para disparos sobre balanceados las fracturas se extienden por los tuneles del disparo y alineadas al esfuerzo máximo de la formación

Fig. 4.2.- Comparación de comportamiento de las fracturas entre una operación de sobre balance y fracturamiento hidráulico²³

tubería de producción antes del disparo de las cargas, esta columna de gas presurizada y el líquido abajo de esta generarán una alta presión en el fondo del pozo.

Cuando la pistola perforadora es accionada, el gas presurizado empujará el líquido dentro del túnel para que éste extienda la fractura en la formación. El gas comprimido mantiene la presión lo suficientemente alta para que la elevada propagación de fractura y el rápido flujo del fluido se mantengan dentro de ésta.

Factores que impactan la extensión de la fractura:

Esfuerzo de la formación.

Una reducción del esfuerzo de la formación facilitará el proceso de fracturamiento, así como las fuerzas necesarias para mantener las fracturas abiertas. La velocidad del filtrado es proporcional a la diferencia entre la presión dentro de la fractura y la presión de la formación; Por lo tanto una reducción del esfuerzo efectivo disminuirá la pérdida de fluido fracturante (Fig. 4.3).²⁴ En las figuras 4.4²⁴ y 4.5²⁴ se ilustran el comportamiento de la extensión de la fractura y la velocidad de propagación contra el tiempo respectivamente, para diferentes esfuerzos en la formación, la velocidad de

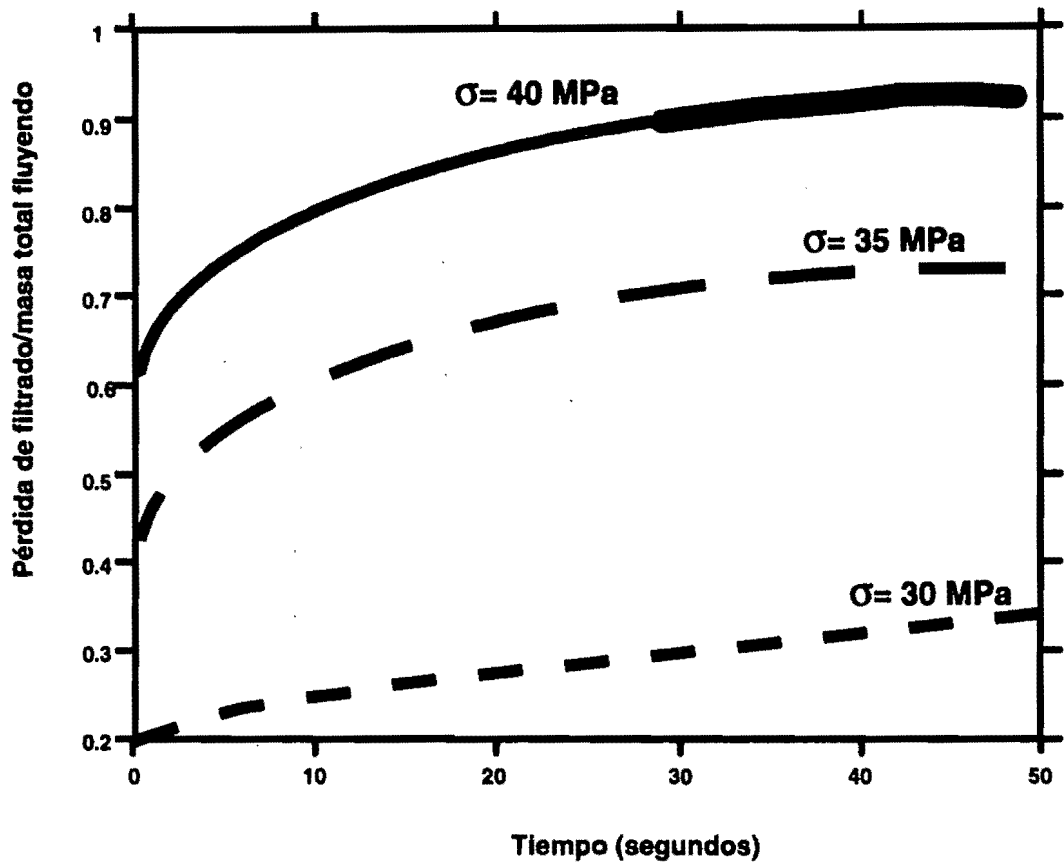


Fig. 4.3.- Pérdida de filtrado contra el tiempo para varios esfuerzos de la formación²⁴

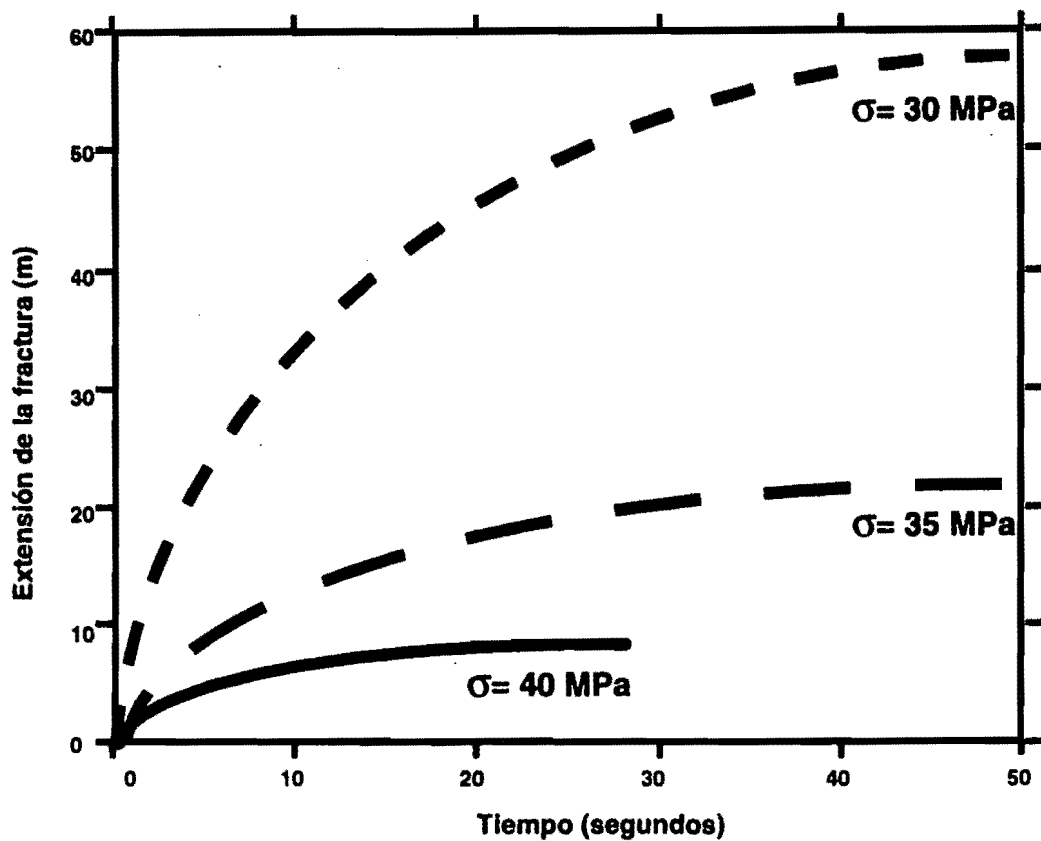


Fig. 4.4.- Extensión de la fractura contra el tiempo para varios esfuerzos de la formación²⁴

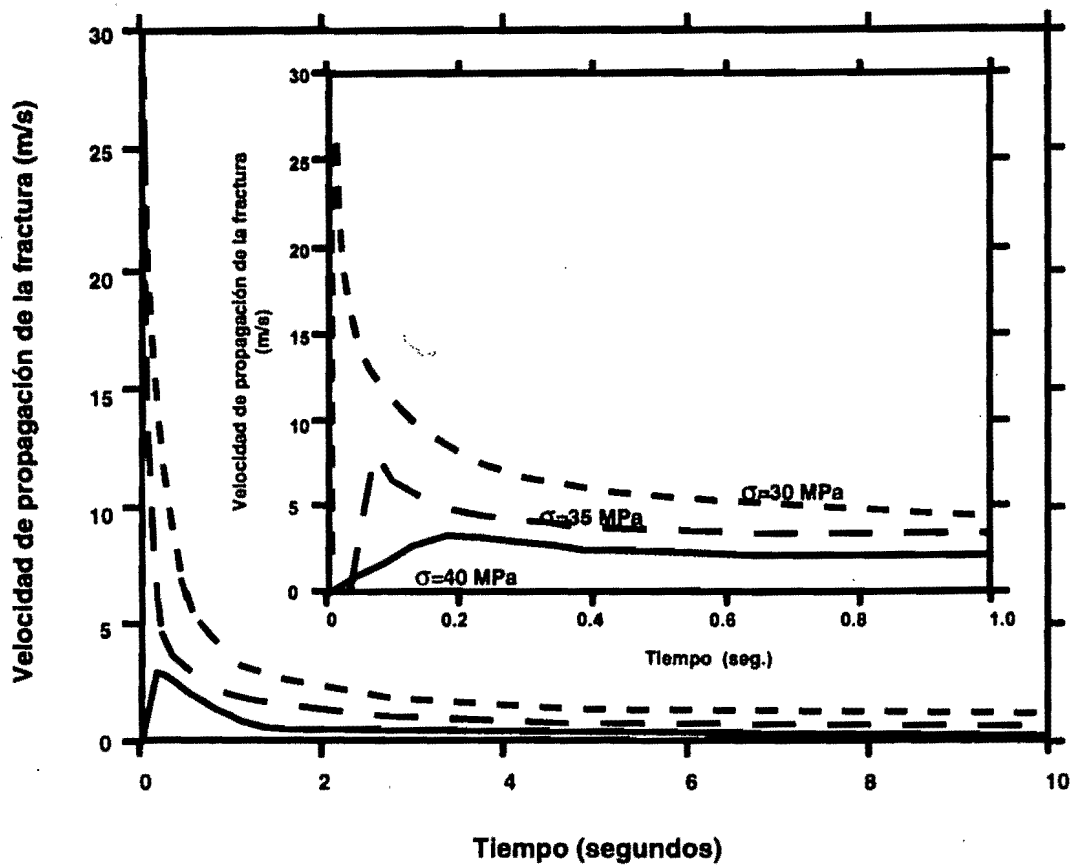


Fig. 4.5.- Velocidad de propagación de la fractura contra el tiempo para varios valores de esfuerzo de la formación²⁴

propagación es significativamente alta para bajos esfuerzos y esto también favorece a valores bajos de filtrado.

Presión en la cabeza del pozo.

Los efectos de la presión en la cabeza del pozo se muestran en las Fig. 4.6²⁴ y 4.7²⁴, las cuales presentan el comportamiento de la extensión de la fractura y las pérdidas de filtrado contra el tiempo respectivamente. Alta presión en la cabeza del pozo permite un incremento en la velocidad de propagación, sin embargo, el impacto en la pérdida del filtrado es ligeramente reducido. Esto se verá reflejado en un incremento de la extensión final de la fractura.

Volumen de gas

Los efectos del volumen de gas sobre la extensión de la fractura son mostrados en la Fig. 4.8.²⁴ El volumen de gas es variado por la modificación de la longitud en la columna de gas y/o diámetro de la tubería de producción, aunque esto último puede alterar las caídas de presión por fricción.

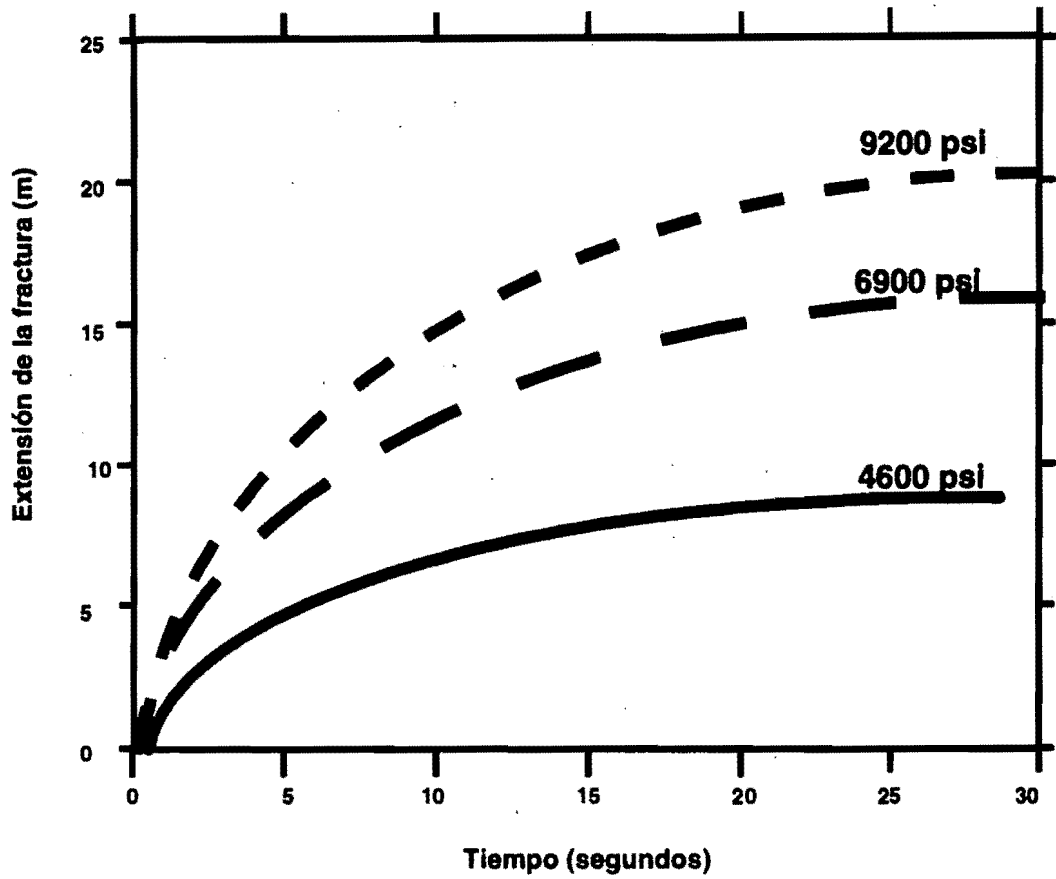


Fig. 4.6.- Extensión de la fractura contra el tiempo para varias presiones en la cabeza del pozo²⁴

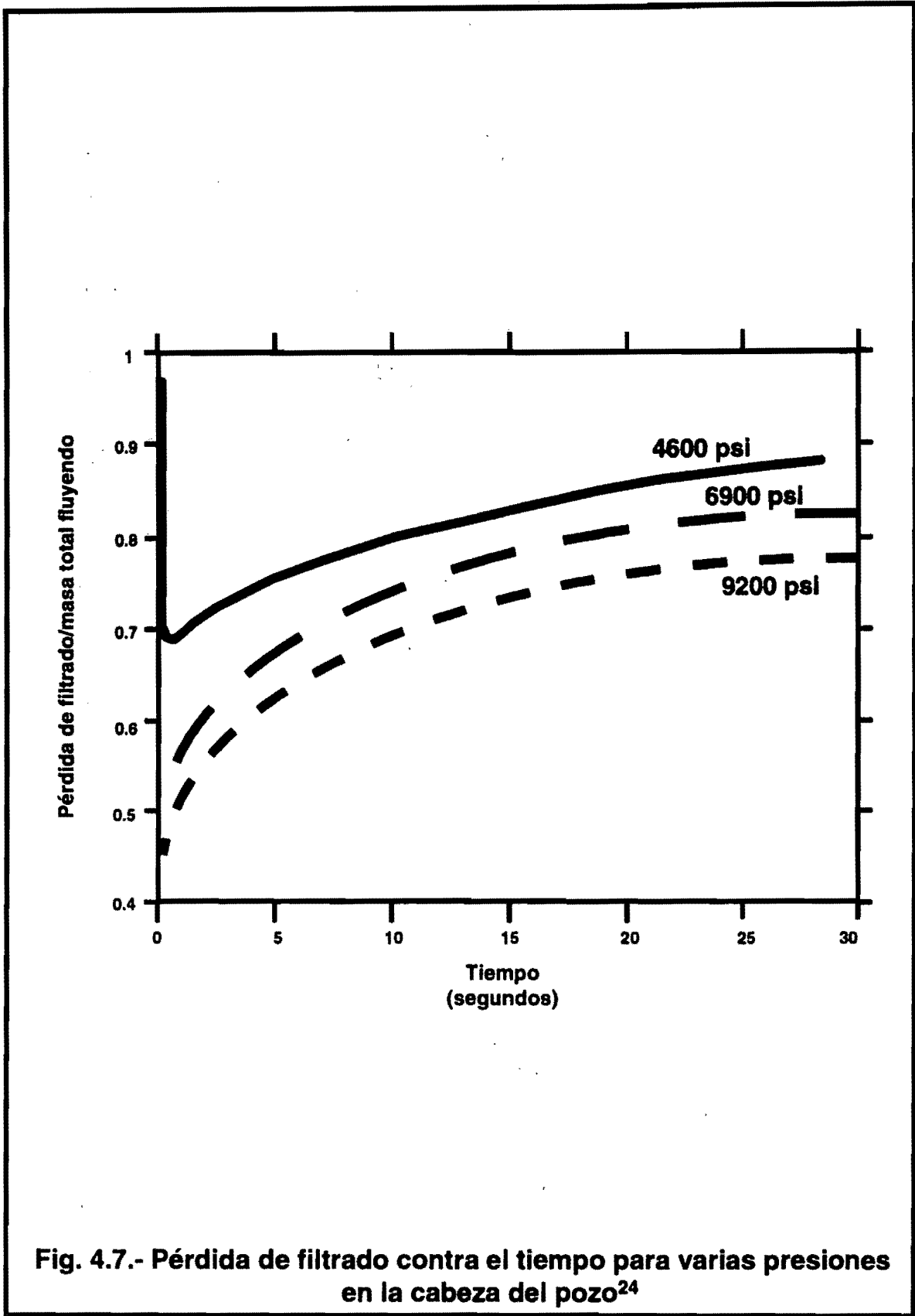


Fig. 4.7.- Pérdida de filtrado contra el tiempo para varias presiones en la cabeza del pozo²⁴

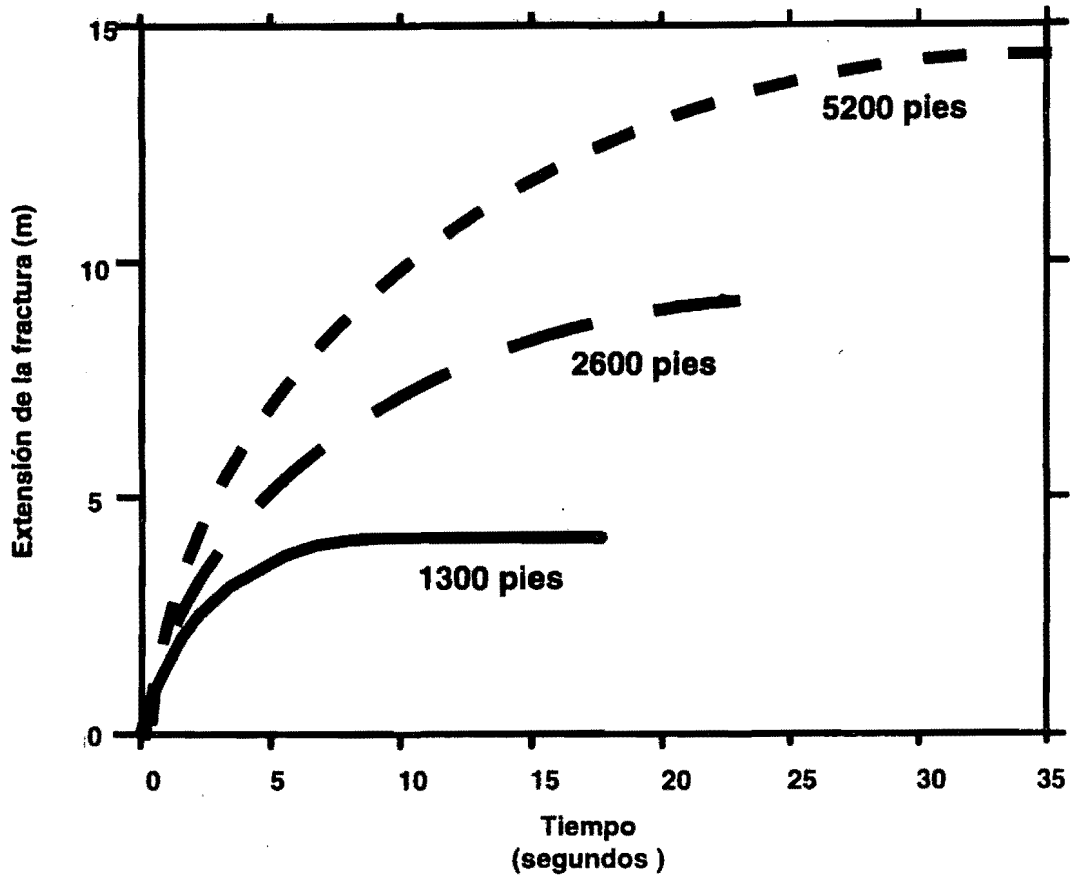


Fig. 4.8.- Extensión de la fractura contra el tiempo para varias alturas de columna de gas²⁴

A medida que es mayor el volumen de gas, se incrementa la velocidad de propagación y se mantiene la presión por más tiempo, teniendo un impacto en la disminución de las pérdidas de filtrado y esto a su vez se reflejará en un incremento en la extensión de la fractura.

Permeabilidad de la formación

La permeabilidad de la formación puede impactar la propagación de la fractura. En la Fig. 4.9²⁴ se muestra el comportamiento de la extensión de la fractura contra el tiempo para diferentes permeabilidades. La presión en el fondo del pozo y las pérdidas de filtrado son afectadas significativamente por esta propiedad de la formación, como se muestra en la Fig. 4.10.²⁴ se observa que si se reduce la permeabilidad disminuirá la pérdida del filtrado produciéndose una larga extensión de fractura, alta velocidad de propagación y un firme decremento en la presión.

Número de fracturas

El número de fracturas puede ser modificado en el campo variando la densidad de los disparos en las pistolas perforadoras. En el pozo, el número de fracturas que pueden ser propagadas dependen no solo de la densidad de disparos, sino también de la posición de las perforaciones con respecto

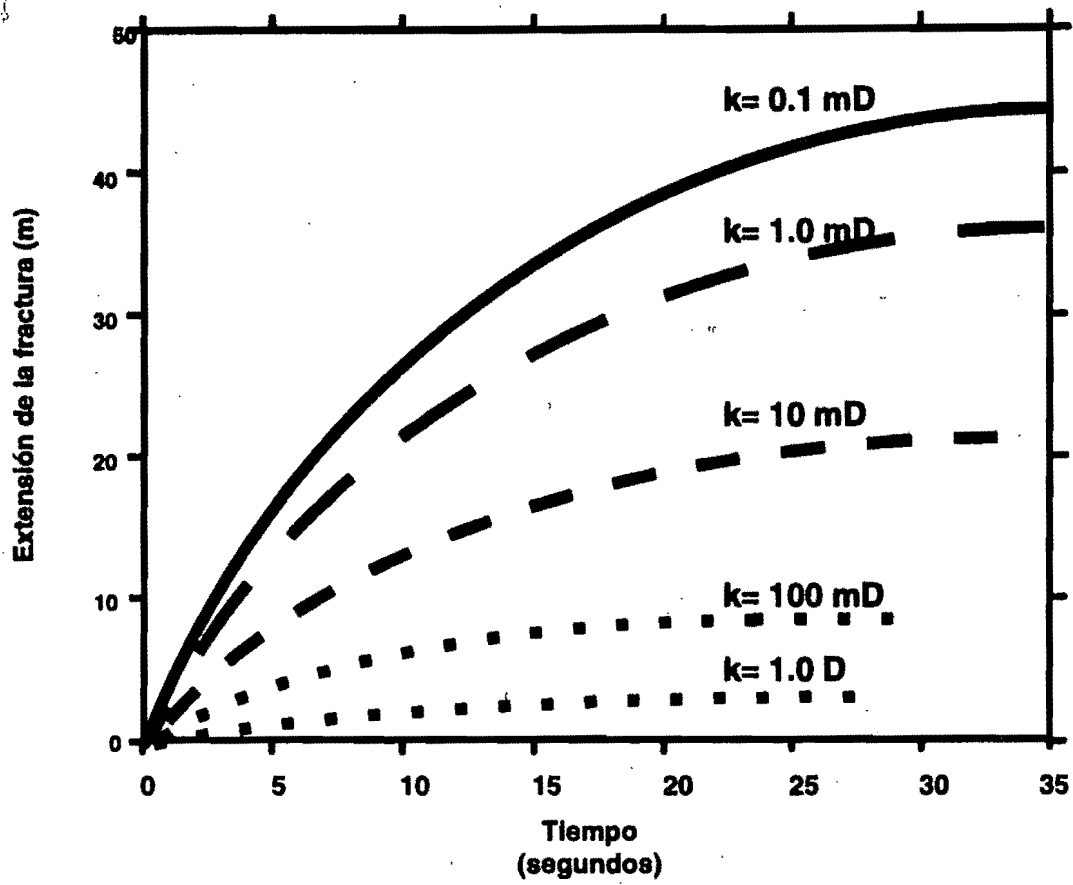


Fig. 4.9.- Extensión de la fractura contra el tiempo para varias permeabilidades²⁴

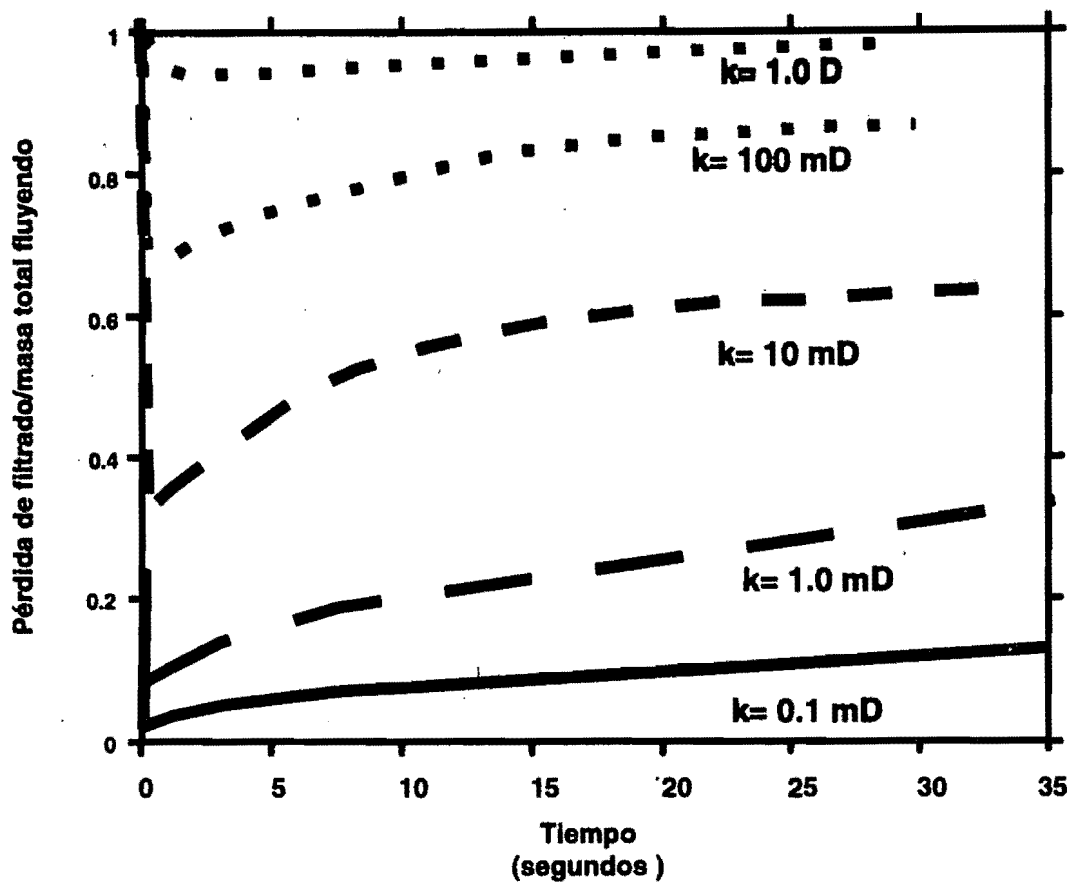


Fig. 4.10.- Pérdida de filtrado contra el tiempo para varias permeabilidades²⁴

al esfuerzo del campo así como la presión de fondo aplicada. En las Fig. 4.11,²⁴ 4.12²⁴ y 4.13²⁴ se muestran respectivamente el comportamiento de la extensión de la fractura, pérdida de filtrado y apertura de ésta contra el tiempo para diferente número de fracturas. Un incremento en el número de fracturas mantiene la apertura de la fractura como se muestra en la Fig. 4.13. Todas estas se consideran de igual longitud y en una formación isotrópica.

Determinación de los parámetros operativos para disparos sobre - balanceados

Debido a las altas presiones que involucran el desarrollo de esta técnica, se requiere especial atención en la seguridad durante la ejecución de la misma, así como un análisis del estado mecánico del pozo y los accesorios a utilizar para no poner en riesgo tanto al personal como la integridad del pozo.

A continuación se presenta un ejemplo de ejecución del programa desarrollado (listado en apéndice A) que permite obtener los parámetros óptimos para la realización de disparos sobre-balanceados , el cual nos determina las condiciones de presión en todos los puntos críticos del pozo, antes y durante la operación, al igual que los requerimientos de ácido, nitrógeno y los gradientes de presión aplicados a la formación a disparar.

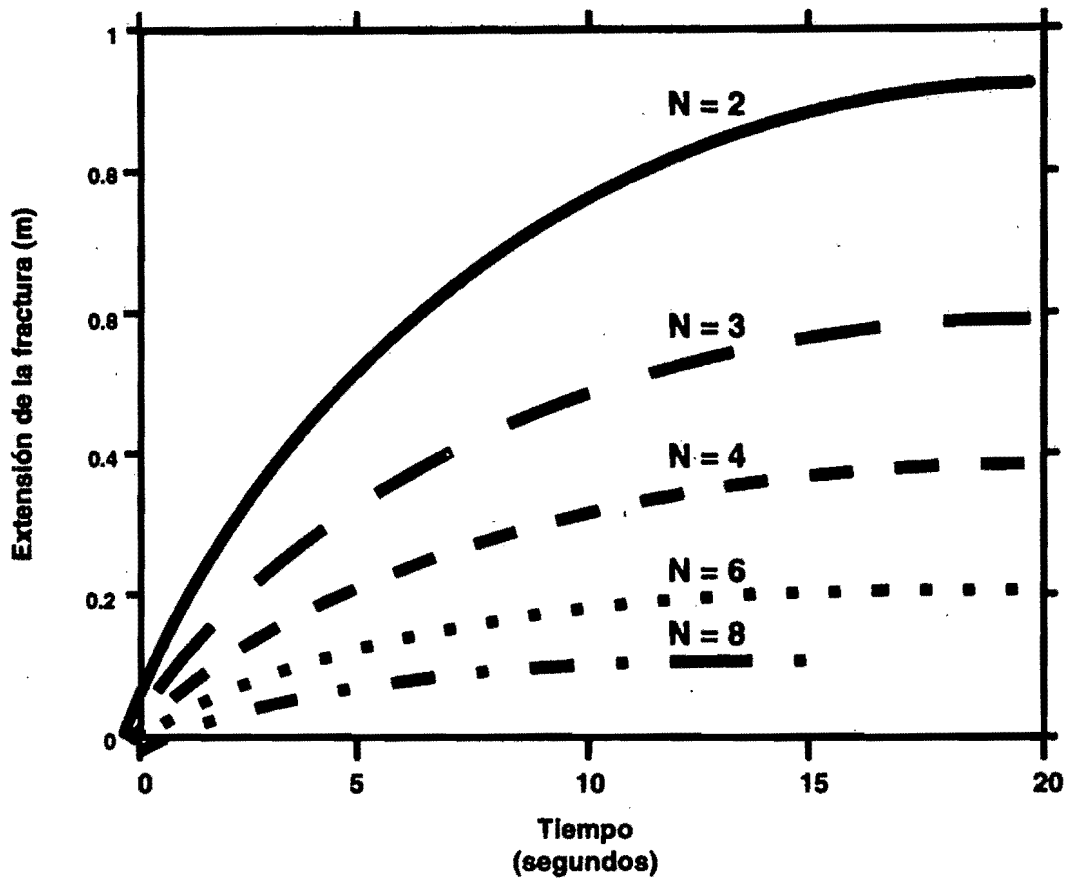


Fig. 4.11.- Extensión de la fractura contra el tiempo para multiples fracturas²⁴

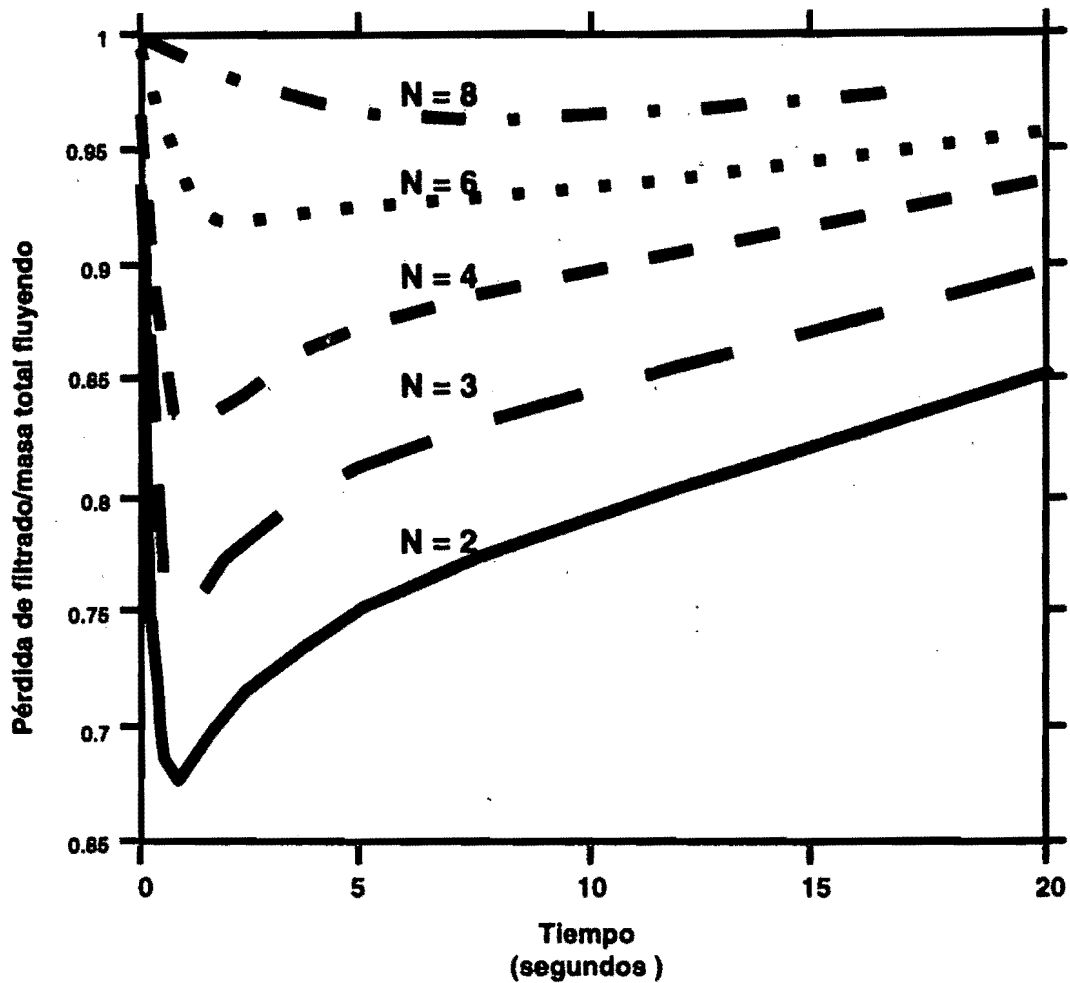


Fig. 4.12.- Pérdida de filtrado contra el tiempo para multiples fracturas²⁴

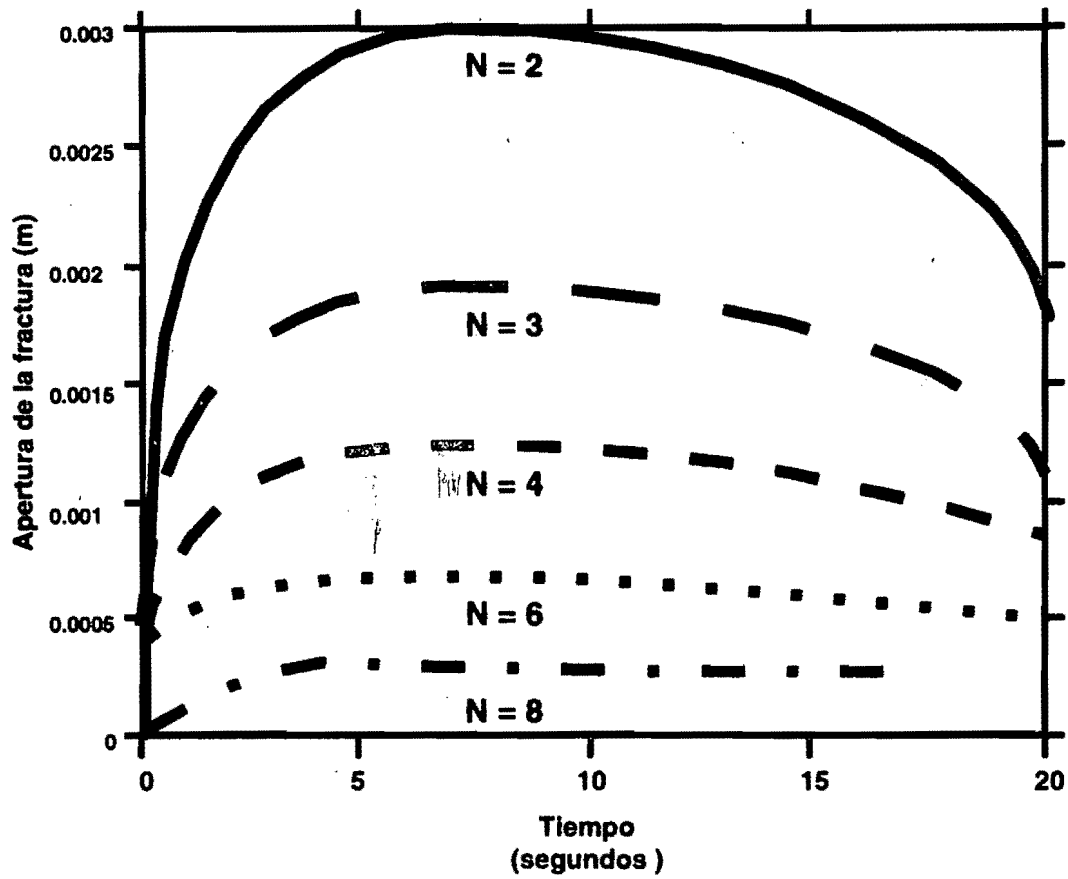


Fig. 4.13.- Apertura de la fractura contra el tiempo para multiples fracturas²⁴

Se pueden realizar infinidad de corridas, haciendo análisis de sensibilidad, hasta obtener los parámetros óptimos para la ejecución de la intervención.

Para ilustrar el funcionamiento del programa de cómputo mencionado, se ejemplificó con datos reales de un pozo (fig. 4.14), concluyendo lo siguiente:

Las pistolas fueron calibradas para disparar con 12000 psi. (9000 psi en la cabeza del pozo), lo cual generaba un gradiente de presión en ese momento de 2.04 gr/cc., que era lo suficientemente mayor que el gradiente de fractura (1.95 gr/cc.). El volumen de ácido necesario fue de 16 bls. y 7345 m³ de nitrógeno, después de la detonación se procedió a la inyección de salmuera (1.3 gr/cc.) al mayor gasto posible observando lo siguiente:

Al bombear el barril No 12 se presenta falla del aparejo de producción (resistencia por diseño, 14 082 psi.).

Al bombear el barril No 17 se presenta falla del empacador de producción (resistencia por diseño, 15 000 psi.) y falla de la tubería de revestimiento a la profundidad de los disparos (resistencia por diseño, 15 170 psi.).

Debido a las presiones que se tendrían en la cabeza del pozo, para alcanzar los gradientes necesarios para fracturar la formación de interés, se modificó la instalación del medio árbol de válvulas de 10000 psi. a 15000 psi., con el fin de lograr con éxito la operación.

ENTRADA DE DATOS

Presión Inicial de Superficie (Psi)	9000	Profundidad a Base de Nitrogeno (M)	3950
Temperatura de Superficie (°F)	86	Profundidad de Empacador (M)	4000
Gradiente de Temperatura (°F/Pie)	0.0119	Profundidad a Cima de disparos (M)	4120
Gradiente de poro (Gr/Cc)	1.45	Profundidad a Base de disparos (M)	4140
Diámetro Interior de T.P. (Pg)	2.992	Diámetro Interior de T.R. (Pg)	6.004
		Diámetro Exterior de T.P. (Pg)	3.5
Densidad del Acido (Gr/Cc)	1.07	Densidad de la Salmuera (Lb/Gal)	1.3

CALCULAR

RESULTADOS

Capacidad de T.P. (L/M)	4.536	Capacidad de T.R. (L/M)	18.265
		Capacidad T.R. - T.P. (L/M)	16.594
Volumen de Acido (Bls)	16.03	Volumen Inicial de Nitrogeno (Bls)	112.68
Factor de Volumen (M3/Bl)	65.184	Requerimiento de Nitrogeno (M3)	7345.48

Barriles	Presión en Cabeza del Pozo (Psi)	Presión en Superficie del Nitrogeno (Psi)	Presión en el Fondo del Nitrogeno (Psi)	Presión en el Empacador (Psi)	Presión a Nivel Medio de Disparos (Psi)	Presión Diferencial Aplicada (Psi)	Gradiente de Presión Aplicado (Gr/Cc)
13	10763	11607	14183	14259	14457	5932	2.46
14	10917	11825	14391	14467	14665	6140	2.49
15	11073	12046	14602	14678	14876	6351	2.53
16	11232	12270	14816	14892	15090	6565	2.56
17	11394	12497	15033	15110	15308	6783	2.60
18	11560	12727	15240	15516	15714	7190	2.67
19	11729	12961	15479	15555	15753	7229	2.6
20	11901	13198	15708	15784	15982	7457	2.72
21	12076	13438	15940	16016	16214	7690	2.76
22	12255	13682	16176	16252	16450	7926	2.80
23	12438	13930	16417	16493	16691	8166	2.84
24	12624	14181	16662	16738	16936	8411	2.88
25	12814	14436	16911	16987	17185	8660	2.92

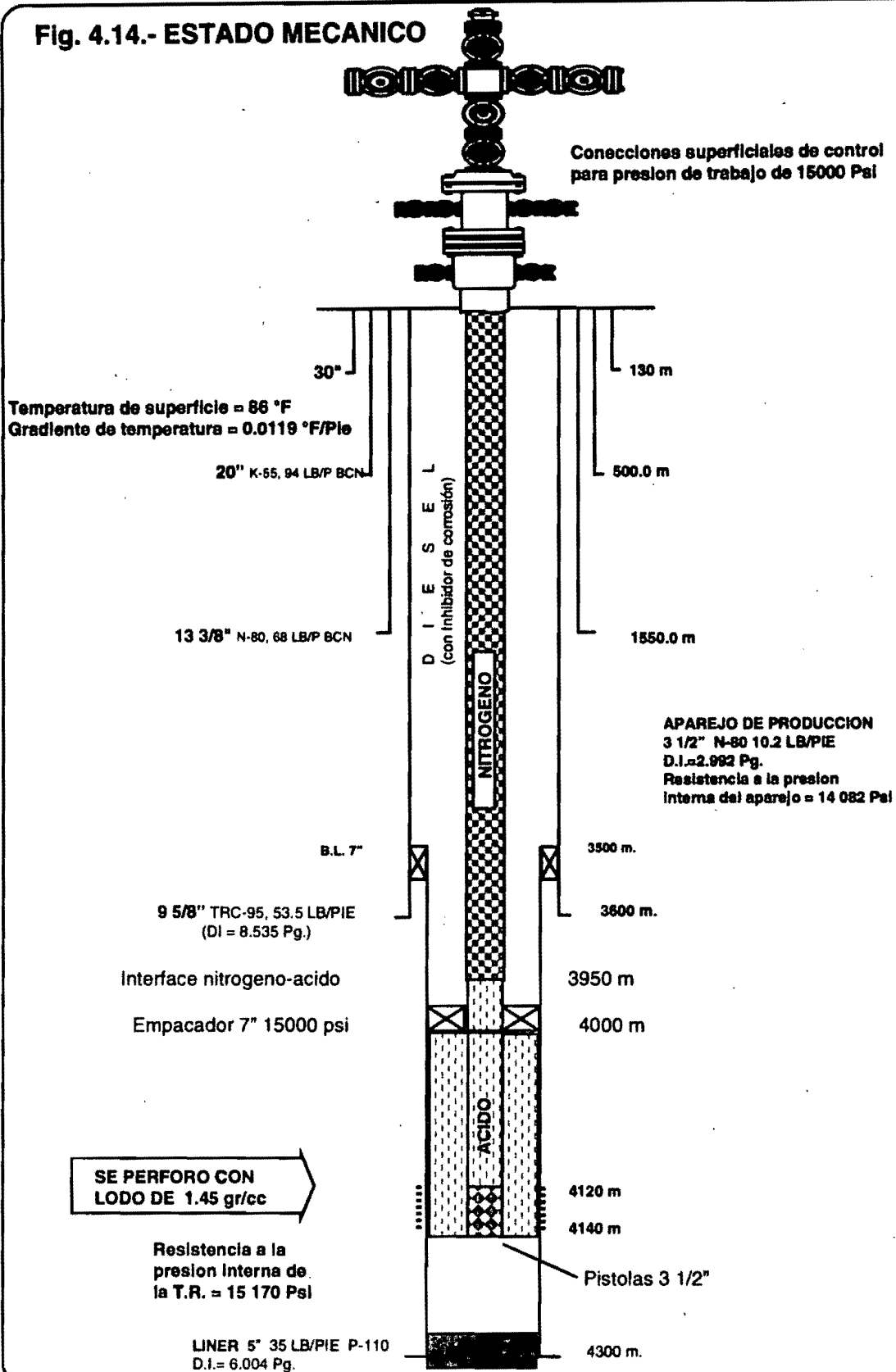
CONDICIONES INICIALES

Presión de Superficie (Psi)	9000	Presión a Nivel Medio de Disparos (Psi)	11984
Presión en Base de Nitrogeno (Psi)	11720	Presión Diferencial Efectiva (Psi)	3470
Presión en Empacador (Psi)	11796	Gradiente Aplicado (Gr/Cc)	2.042

CONDICIONES DURANTE LA OPERACION

Barriles	Presión en Cabeza del Pozo (Psi)	Presión en Superficie del Nitrogeno (Psi)	Presión en el Fondo del Nitrogeno (Psi)	Presión en el Empacador (Psi)	Presión a Nivel Medio de Disparos (Psi)	Presión Diferencial Aplicada (Psi)	Gradiente de Presión Aplicado (Gr/Cc)
01	9125	9190	11902	11978	12176	3652	2.07
02	9249	9378	12079	12155	12353	3829	2.10
03	9375	9569	12258	12334	12532	4008	2.13
04	9503	9762	12439	12515	12713	4189	2.16
05	9633	9957	12623	12699	12897	4372	2.19
06	9763	10155	12808	12885	13083	4558	2.22
07	9901	10355	12997	13073	13271	4746	2.25
08	10038	10557	13188	13264	13462	4937	2.29
09	10178	10762	13381	13457	13655	5131	2.32
10	10320	10969	13577	13653	13851	5327	2.35
11	10465	11179	13776	13852	14050	5526	2.39
12	10613	11391	13978	14054	14252	5728	2.42

Fig. 4.14.- ESTADO MECANICO



Del análisis de las Figs. 4.15, 4.16 y 4.17 se puede observar lo siguiente.:

En la Fig. 4.15 se muestra el comportamiento antes mencionado, concluyendo que la operación deberá suspenderse al bombear el barril No 11, para no poner en riesgo la integridad del pozo.

La Fig. 4.16 presenta el aumento de gradiente de presión aplicado conforme se incrementa la presión en la cabeza del pozo.

La Fig. 4.17 ilustra el comportamiento de la presión diferencial efectiva sobre la formación (presión aplicada menos presión del yacimiento) al aumentar la presión en la cabeza del pozo

Fig. 4.15.- PRESIÓN CONTRA VOLUMEN INYECTADO

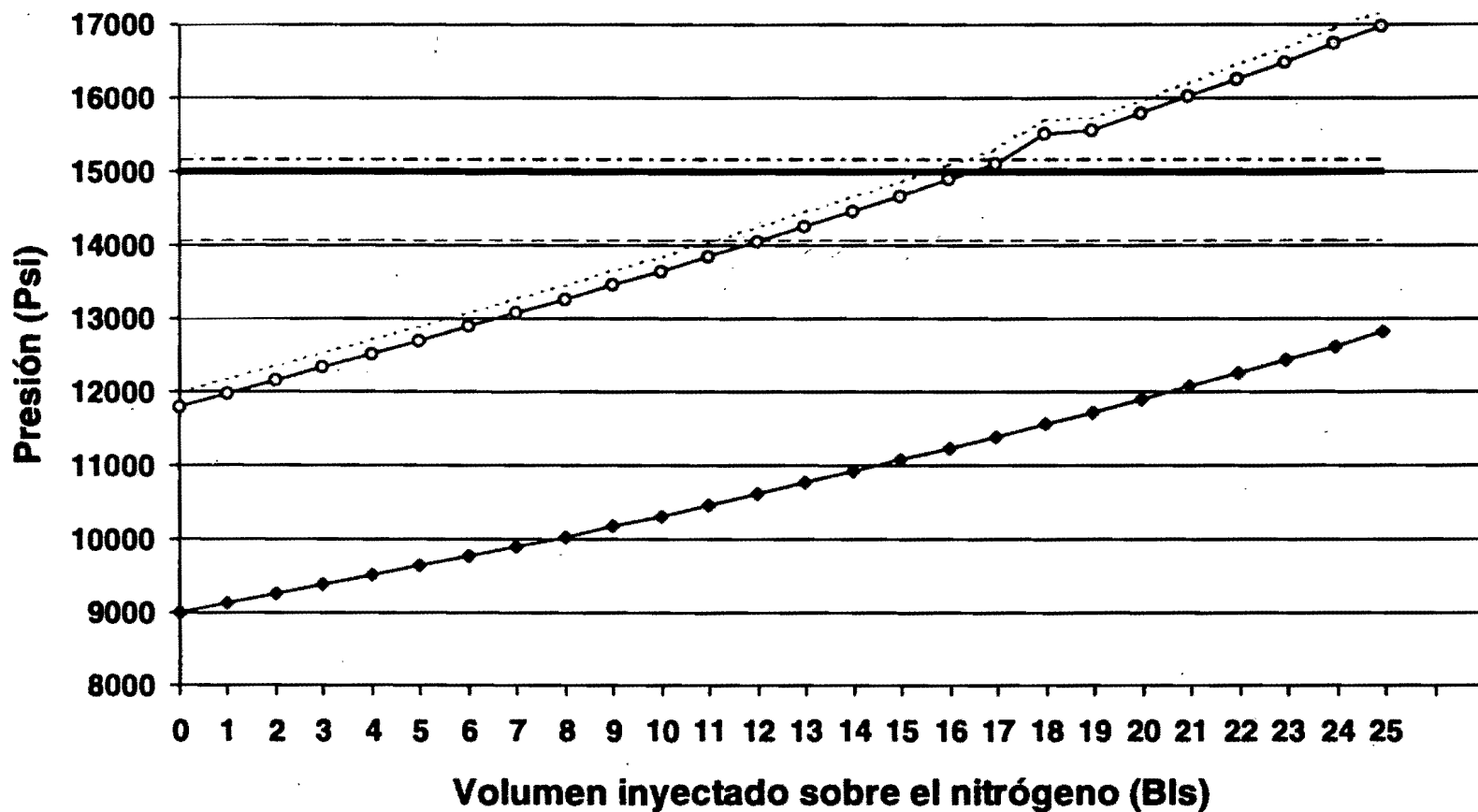


Fig. 4.16.- PRESIÓN CONTRA GRADIENTE DE PRESIÓN

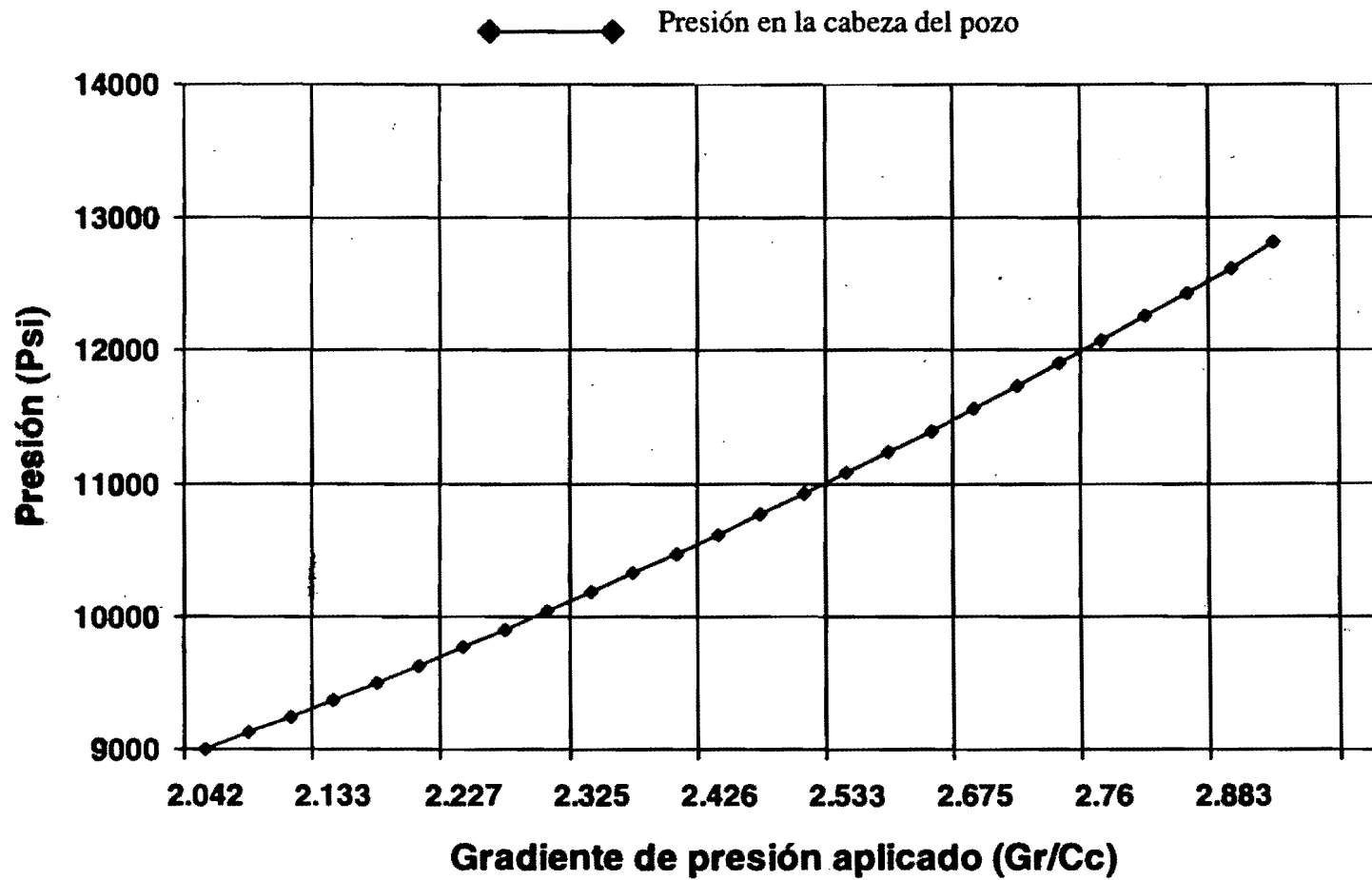
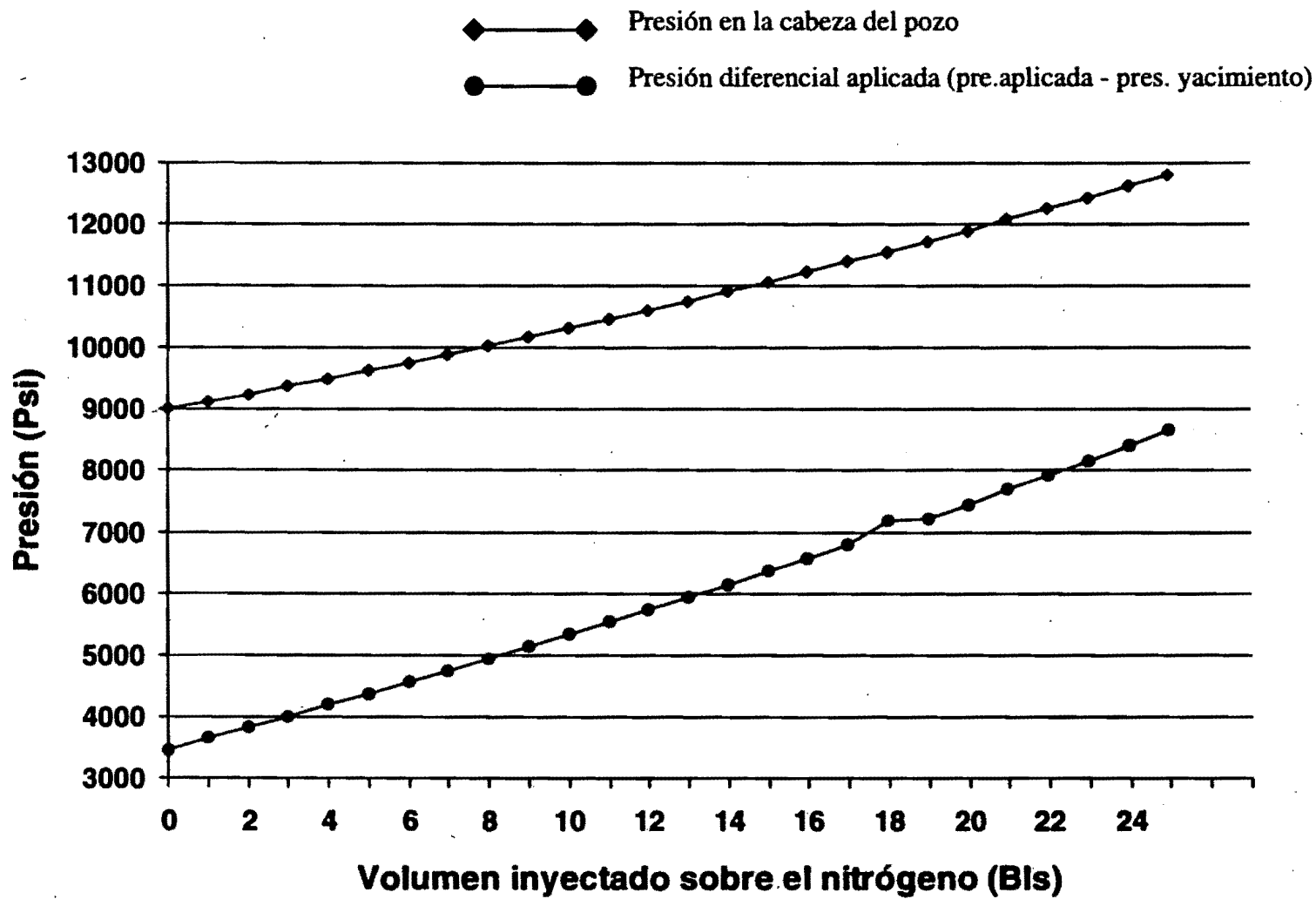


Fig. 4.17.- PRESIÓN DIFERENCIAL CONTRA VOLUMEN INYECTADO



CONCLUSIONES

1.- Se debe considerar el procedimiento propuesto para obtener la presión de bajo-balance optima al aplicar esta técnica, para evitar problemas mecánicos del pozo y aportaciones de agua y/o finos.

2.- Si se contempla efectuar el disparo con sobre-balance, se deben considerar los esfuerzos a que será sometido el pozo (proporcionados por el programa presentado), para diseñar la tubería de explotación, aparejo de producción, empacador y conexiones superficiales de control previo a la terminación.

3.- En pozos terminados se analizará la resistencia a los esfuerzos de la tubería de explotación, aparejo de producción, empacador y conexiones superficiales de control (proporcionados por el programa anexo) al aplicar el sobre-balance, pues para el éxito de esta, la presión dentro del pozo a la profundidad del intervalo productor deberá de ser mayor que la presión de fractura de la formación.

4.- Con la técnica de bajo-balance, solo es posible restablecer la permeabilidad natural de la formación en el mejor de los casos, a diferencia del sobre-balance que se mejora la permeabilidad natural de la formación.

RECOMENDACIONES

- 1.- Es necesario efectuar un correcto diseño de disparos para incrementar la producción y reducir los costos de terminación.**
- 2.- Es importante en primera instancia, diseñar los disparos con las dos técnicas estudiadas y seleccionar la mas conveniente según el caso.**
- 3.- Deberán de obtenerse el mayor numero de datos posibles (pozo y yacimiento) para un correcto diseño de disparos.**
- 4.- Definir la presión óptima de bajo-balance para obtener una correcta limpieza del túnel disparado, pero considerando siempre los puntos débiles del pozo, contactos agua/aceite, aceite/gas y aportación de arena.**
- 5.- Para disparos bajo-balanceados, es recomendable aplicar los dos métodos estudiados, llevando una gráfica de diferencial aplicada vs. Indice de productividad ó daño obtenido, para el mismo campo hasta encontrar el valor optimo.**
- 6.- Para formaciones con fracturas naturales, se recomienda utilizar la técnica de disparos bajo-balanceados.**

7.- Para diseñar disparos sobre-balanceados, es necesario efectuar múltiples corridas de el programa desarrollado para obtener los parámetros óptimos.

8.- Al ejecutar la técnica de sobre-balance, se deberá aplicar el mayor represionamiento posible con nitrógeno, es decir entre mas grande sea el volumen de gas, mayor será la extensión de la fractura.

9.- Para formaciones con bajas permeabilidades es recomendable utilizar la técnica de sobre-balance.

10.- Se deberán extremar las precauciones de seguridad cuando se utilice la técnica de sobre-balance.

11.- Es favorable la colocación de ácido para la limpieza del túnel generado en disparos sobre-balanceados.

12.- Es necesario revisar previo al disparo, las características de las pistolas a utilizar, para seleccionar la que mejor resultados proporcione.

13.- El orden de importancia para la selección de pistolas es: Longitud del túnel generado, fase del disparo, cargas por metro y diámetro del orificio.

14.- Se deberá realizar una simulación de la predicción de flujo, previo a la intervención.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Tariq S.M. "Evaluation of Flow Characteristics of Perforations Including Nonlinear Effects With the Finite-Element Method" SPE 1987.
- 2.- Tariq S.M., Jchara m.j. and Ayestaran "Performance of Perforated Completions in the Presence of Anisotropy, Laminations, or Natural Fractures" spe 1989.
- 3.- Klotz J.A., Kruger R.F. "Effect of Perforating Damage on Well Productivity" JPT 1974.
- 4.- W.T. Bell, R.A. Sukup, S.M. Tariq "Perforating" First Printing (1995).
- 5.- Harry O. McLeod Jr. "The Effects of Perforating Conditions on Well Performance". JPT, January 1983.
- 6.- Stanley Locke "An Advanced Method for Predicting the Productivity Ratio of a Perforated Well" JPT (1981).
- 7.- Karakas M. and Tariq S.M. "Semianalytical Productivity Models for Perforated Completions" spe 1991.

8.- Cinco L.,H.,Miller, F.G., and Ramey, H.J. Jr.: "Unsteady-state Pressure Distribution Created by a Directionally Drilled Well" JPT (Nov.1975).

9.- Odeh, A.S.: "An Equation for Calculating Skin Factor Due to Restricted Entry " JPT (June 1980).

10.- Odeh, A. S.: "Pseudosteady-State Flow Capacity of Oil Wells With Limited Entry and an Altered Zone Around the Wellbore" SPE (Agu. 1977).

11.- Saucier, R.J. and Lands "A Laboratory Study of Perforations in Stressed Formation Rocks" JPT 1978.

12.- Norma API RP43.

13.- Bell, W.T. "Perforating Underbalanced Evolving Techniques" SPE 13413 (October 1984).

14.- P.M. Halleck and M. Deo. "The Effects of Underbalance on Perforation Flow". SPE 16895.(1987).

15.- H.R. Crawford. "Underbalanced Perforating Design." SPE 19749.(1989).

16.- G.E. King, A.R. Anderson and M.D. Bingham. "A Field Study of Underbalance Pressures Necessary To Obtain Clean Perforations Using TCP". SPE 14321, September 1986.

17.- Colle, E.D. "Increase Production with Underbalanced Perforation" Petroleum Engineer International (jul. 1988)

18.- L.A. Behrmann, "Underbalance Criteri for Minimum Perforation Damage" SPE 30081 (1995).

19.- Van Everdingen, A.F. and Hurst, W., "The Application of the Laplace Transformation to Flow Problems in Reservoirs", Transaction of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, Volume 186

20.- Bartusiak, R., Behrmann, L.A. and Halleck P.M., "Experiments. Investigate Underbalance Flow Velocity and Volume Needed to Obtain Cleanup", SPE 26896

21.- Ward,J.S. and Morrow: Capillari Presures and Relative Permiabilities of Low-Permiability , SPE 13882

- 22.- J.K. Pucknell, B.P. Research and L.A. Behrmanm "An Investigation of the Damaged Zone Created by Perforating" SPE 22811 (1991).
- 23.- Handren P.J.; Jupp T.B.; Dees, J.M. "Overbalance Perforating and Stimulation Method of Wells" SPE 26515 (Oct. 1993).
- 24.- Petitjean, L.; Couet, B. "Modeling of Fracture Propagation During Overbalanced Perforating" SPE 28560 (February 1994).
- 25.- Terry Walker, Jack E. Brown. and George E. Briggs "Maximum Differential Pressure Perforating". SPE. 2648 (1969).
- 26.- J.A. Regalbuto and R.S. Riggs. "High Differential Pressure, Radial Flow Characteristics of Gun Perforations". SPE 14319.(1985).
- 27.- L.A. Behrmann, J.K. Pucknell and S.R. Bishop. "Effects of Underbalance and Effective Stress on Perforation Damage in Weak Sandstone: Initial Results". SPE 24770. (1992).
- 28.- G.C. Bihn and S.A. Brown "Perforation Perfomance in the Kaparuk River Field". SPE 14323.(1985).

29.- T.E. Bundy and M.J. Elmer. "Perforating a Hig-Pressure Gas Well Overbalance in Mud: Is It Really That Bad?. SPE 16894.(1987).

30.- T.O. Allen and H.C. Worzel. "Productivity Method of Evaluating Gun Perforating". API Southwest District Meeting". March 1956.

31.- T.S. Kelly "Discussion of Perforating Underbalanced-Evolving Techniques", JPT, June 1985.

32.- T.Y. Hsia and L.A. Behrmann. "Perforating Skin as a Function of Rock Permeability and Underbalance". SPE 22810. October 1991.

33.- Regalbuto, J.A.; Riggs, R.S. "Underbalanced Perforation Characteristics as Affected by Differential Pressure", SPE 15816 (February 1988).

34.- John M.Dees "Highly Overbalanced Perforating" JPT (1995).

35.- W.T. Bell "Perforating Techniques for Maximizing Well Productivity" spe
100033

APENDICE A

INICIO

DATOS

dlt_p, dl_{tr}, det_p, D_n, D_e, D_c, D_b, Presi, Temps,
Graterm, Grapepo, Daci, Dsalm

CONSTANTES

Prof = 0
Inc = 30.4878
Pmol = 28.0134
Ct_{teu} = 10.732

$C_{tp} = (dl_{tp}^2) * 0.5067$
 $C_{tr} = (dl_{tr}^2) * 0.5067$
 $C_{trp} = (dl_{tr}^2 - det_p^2) * 0.5067 + (dlt_p^2) * 0.5067$
 $V_a = ((D_b - D_e) * C_{trp} + (D_e - D_n) * C_{tp}) / 159$
 $V_n = (D_n * C_{tp}) / 159$

Presini = Presi
Tempini = Temps

I = Prof To Dn step Inc

Temp = (Temps + Graterm * (I * 3.28)) + 460

I <> Prof

SI

I = Dn + 1

Presi = Presi + (100 * Dens * 0.052)

$Z = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presi) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presi^2))$
 $- ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presi^3)) - (0.02 * (Temp - 170) / 90)$
 $Dens = ((Presi * Pmol) / (Z * Ct_{teu} * Temp)) * 0.1337$

NO

CONDICIONES INICIALES

Presempini = Presi + ((D_e - D_n) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052
PresNMDini = Presempini + ((((D_b + D_c) / 2) - D_e) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052
Presdifini = PresNMDini - ((((D_b + D_c) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052
Gradpresini = ((PresNMDini / 14.22) * 10) / ((D_b + D_c) / 2)
Presprom0 = (Presi + Presini) / 2
Temprom0 = ((Temp + 460) + Tempini) / 2
 $Zprom0 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom0) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom0^2))$
 $- ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom0^3)) - (0.02 * (Temprom0 - 170) / 90)$
Facvol = (198.6 * ((Presprom0) / (Zprom0 * Temprom0))) * (2.832 * 10^{-2})
Reqn2 = (Facvol * V_n)
Voln20 = V_n * 159 * 0.03531
Masa0 = (Presprom0 * Voln20) / (Zprom0 * Ct_{teu} * Temprom0)

Ⓐ



BOMBEANDO PRIMER BARRIL

$$\begin{aligned} \text{Temint1} &= ((521.52 / \text{Ctp}) * \text{Gratern}) + \text{Temps} \\ \text{Temprom1} &= (((\text{Gratern} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint1})) / 2) + 460 \\ \text{Voln21} &= \text{Voln20} - 5.61429 \\ \text{Presprom1} &= (\text{Zprom0} * \text{Masa0} * \text{Temprom1} * \text{Ctteu}) / \text{Voln21} \\ \text{Zprom1} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom1}) + (7.918656 * 10^{-9}) * (\text{Presprom1}^2)) \\ &\quad - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom1}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom1} - 170) / 90) \\ \text{Dens1} &= ((\text{Presprom1} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom1} * \text{Ctteu} * \text{Temprom1})) * 0.1337 \\ \text{Preshidn21} &= \text{Dens1} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - (521.52 / \text{Ctp})) \\ \text{Presupn21} &= (((2 * \text{Presprom1}) - \text{Preshidn21}) / 2) + ((521.52 / \text{Ctp}) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup1} &= (((2 * \text{Presprom1}) - \text{Preshidn21}) / 2) \\ \text{Presfondn21} &= \text{Presupn21} + \text{Preshidn21} \\ \text{Presemp1} &= \text{Presfondn21} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD1} &= \text{Presemp1} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{Presdif1} &= \text{PresNMD1} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{Gradpres1} &= ((\text{PresNMD1} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \\ \text{Masa1} &= (\text{Presprom1} * \text{Voln21}) / (\text{Zprom1} * \text{Ctteu} * \text{Temprom1}) \end{aligned}$$

BOMBEANDO SEGUNDO BARRIL

$$\begin{aligned} \text{Temint2} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 2) * \text{Gratern}) + \text{Temps} \\ \text{Temprom2} &= (((\text{Gratern} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint2})) / 2) + 460 \\ \text{Voln22} &= \text{Voln21} - 5.61429 \\ \text{Presprom2} &= (\text{Zprom1} * \text{Masa1} * \text{Temprom2} * \text{Ctteu}) / \text{Voln22} \\ \text{Zprom2} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom2}) + (7.918656 * 10^{-9}) * (\text{Presprom2}^2)) \\ &\quad - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom2}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom2} - 170) / 90) \\ \text{Dens2} &= ((\text{Presprom2} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom2} * \text{Ctteu} * \text{Temprom2})) * 0.1337 \\ \text{Preshidn22} &= \text{Dens2} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - (521.52 / \text{Ctp}) * 2) \\ \text{Presupn22} &= (((2 * \text{Presprom2}) - \text{Preshidn22}) / 2) + ((521.52 / \text{Ctp}) * 2) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459) \\ \text{Pressup2} &= (((2 * \text{Presprom2}) - \text{Preshidn22}) / 2) \\ \text{Presfondn22} &= \text{Presupn22} + \text{Preshidn22} \\ \text{Presemp2} &= \text{Presfondn22} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD2} &= \text{Presemp2} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{Presdif2} &= \text{PresNMD2} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{Gradpres2} &= ((\text{PresNMD2} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \\ \text{Masa2} &= (\text{Presprom2} * \text{Voln22}) / (\text{Zprom2} * \text{Ctteu} * \text{Temprom2}) \end{aligned}$$

BOMBEANDO TERCER BARRIL

$$\begin{aligned} \text{Temint3} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 3) * \text{Gratern}) + \text{Temps} \\ \text{Temprom3} &= (((\text{Gratern} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint3})) / 2) + 460 \\ \text{Voln23} &= \text{Voln22} - 5.61429 \\ \text{Presprom3} &= (\text{Zprom2} * \text{Masa2} * \text{Temprom3} * \text{Ctteu}) / \text{Voln23} \\ \text{Zprom3} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom3}) + (7.918656 * 10^{-9}) * (\text{Presprom3}^2)) \\ &\quad - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom3}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom3} - 170) / 90) \\ \text{Dens3} &= ((\text{Presprom3} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom3} * \text{Ctteu} * \text{Temprom3})) * 0.1337 \\ \text{Preshidn23} &= \text{Dens3} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - (521.52 / \text{Ctp}) * 3) \\ \text{Presupn23} &= (((2 * \text{Presprom3}) - \text{Preshidn23}) / 2) + ((521.52 / \text{Ctp}) * 3) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459) \\ \text{Pressup3} &= (((2 * \text{Presprom3}) - \text{Preshidn23}) / 2) \\ \text{Presfondn23} &= \text{Presupn23} + \text{Preshidn23} \\ \text{Presemp3} &= \text{Presfondn23} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD3} &= \text{Presemp3} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{Presdif3} &= \text{PresNMD3} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{Gradpres3} &= ((\text{PresNMD3} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \\ \text{Masa3} &= (\text{Presprom3} * \text{Voln23}) / (\text{Zprom3} * \text{Ctteu} * \text{Temprom3}) \end{aligned}$$





BOMBEANDO CUARTO BARRIL

$Temint4 = ((521.52 / Ctp * 4) * Graterm) + Temps$
 $Temprom4 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint4)) / 2) + 460$
 $Voln24 = Voln23 - 5.61429$
 $Presprom4 = (Zprom3 * Masa3 * Temprom4 * Ctteu) / Voln24$
 $Zprom4 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom4) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom4^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom4^3)) - (0.02 * (Temprom4 - 170) / 90)$
 $Dens4 = ((Presprom4 * Pmol) / (Zprom4 * Ctteu * Temprom4)) * 0.1337$
 $Preshidn24 = Dens4 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 4))$
 $Presupn24 = (((2 * Presprom4) - Preshidn24) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 4) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup4 = (((2 * Presprom4) - Preshidn24) / 2)$
 $Presfondn24 = Presupn24 + Preshidn24$
 $Presemp4 = Presfondn24 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD4 = Presemp4 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif4 = PresNMD4 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres4 = ((PresNMD4 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa4 = (Presprom4 * Voln24) / (Zprom4 * Ctteu * Temprom4)$



BOMBEANDO QUINTO BARRIL

$Temint5 = (((521.52 / Ctp) * 5) * Graterm) + Temps$
 $Temprom5 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint5)) / 2) + 460$
 $Voln25 = Voln24 - 5.61429$
 $Presprom5 = (Zprom4 * Masa4 * Temprom5 * Ctteu) / Voln25$
 $Zprom5 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom5) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom5^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom5^3)) - (0.02 * (Temprom5 - 170) / 90)$
 $Dens5 = ((Presprom5 * Pmol) / (Zprom5 * Ctteu * Temprom5)) * 0.1337$
 $Preshidn25 = Dens5 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp) * 5)$
 $Presupn25 = (((2 * Presprom5) - Preshidn25) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 5) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup5 = (((2 * Presprom5) - Preshidn25) / 2)$
 $Presfondn25 = Presupn25 + Preshidn25$
 $Presemp5 = Presfondn25 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD5 = Presemp5 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif5 = PresNMD5 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres5 = ((PresNMD5 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa5 = (Presprom5 * Voln25) / (Zprom5 * Ctteu * Temprom5)$



BOMBEANDO SEXTO BARRIL

$Temint6 = (((521.52 / Ctp) * 6) * Graterm) + Temps$
 $Temprom6 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint6)) / 2) + 460$
 $Voln26 = Voln25 - 5.61429$
 $Presprom6 = (Zprom5 * Masa5 * Temprom6 * Ctteu) / Voln26$
 $Zprom6 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom6) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom6^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom6^3)) - (0.02 * (Temprom6 - 170) / 90)$
 $Dens6 = ((Presprom6 * Pmol) / (Zprom6 * Ctteu * Temprom6)) * 0.1337$
 $Preshidn26 = Dens6 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp) * 6)$
 $Presupn26 = (((2 * Presprom6) - Preshidn26) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 6) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup6 = (((2 * Presprom6) - Preshidn26) / 2)$
 $Presfondn26 = Presupn26 + Preshidn26$
 $Presemp6 = Presfondn26 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD6 = Presemp6 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif6 = PresNMD6 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres6 = ((PresNMD6 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa6 = (Presprom6 * Voln26) / (Zprom6 * Ctteu * Temprom6)$



BOMBEANDO SEPTIMO BARRIL

$Temint7 = ((521.52 / Ctp * 7) * Gratern) + Temps$
 $Temprom7 = (((Gratern * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint7)) / 2) + 460$
 $Voln27 = Voln26 - 5.61429$
 $Presprom7 = (Zprom6 * Masa6 * Temprom7 * Ctteu) / Voln27$
 $Zprom7 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom7) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom7^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom7^3)) - (0.02 * (Temprom7 - 170) / 90)$
 $Dens7 = ((Presprom7 * Pmol) / (Zprom7 * Ctteu * Temprom7)) * 0.1337$
 $Preshidn27 = Dens7 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 7))$
 $Presupn27 = (((2 * Presprom7) - Preshidn27) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 7) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup7 = (((2 * Presprom7) - Preshidn27) / 2)$
 $Presfondn27 = Presupn27 + Preshidn27$
 $Presemp7 = Presfondn27 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD7 = Presemp7 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif7 = PresNMD7 - (((((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)$
 $Gradpres7 = ((PresNMD7 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa7 = (Presprom7 * Voln27) / (Zprom7 * Ctteu * Temprom7)$

BOMBEANDO OCTAVO BARRIL

$Temint8 = (((521.52 / Ctp) * 8) * Gratern) + Temps$
 $Temprom8 = (((Gratern * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint8)) / 2) + 460$
 $Voln28 = Voln27 - 5.61429$
 $Presprom8 = (Zprom8 * Masa8 * Temprom8 * Ctteu) / Voln28$
 $Zprom8 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom8) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom8^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom8^3)) - (0.02 * (Temprom8 - 170) / 90)$
 $Dens8 = ((Presprom8 * Pmol) / (Zprom8 * Ctteu * Temprom8)) * 0.1337$
 $Preshidn28 = Dens8 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp) * 8)$
 $Presupn28 = (((2 * Presprom8) - Preshidn28) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 8) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup8 = (((2 * Presprom8) - Preshidn28) / 2)$
 $Presfondn28 = Presupn28 + Preshidn28$
 $Presemp8 = Presfondn28 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD8 = Presemp8 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif8 = PresNMD8 - (((((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)$
 $Gradpres8 = ((PresNMD8 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa8 = (Presprom8 * Voln28) / (Zprom8 * Ctteu * Temprom8)$

BOMBEANDO NOVENO BARRIL

$Temint9 = (((521.52 / Ctp) * 9) * Gratern) + Temps$
 $Temprom9 = (((Gratern * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint9)) / 2) + 460$
 $Voln29 = Voln28 - 5.61429$
 $Presprom9 = (Zprom8 * Masa8 * Temprom9 * Ctteu) / Voln29$
 $Zprom9 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom9) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom9^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom9^3)) - (0.02 * (Temprom9 - 170) / 90)$
 $Dens9 = ((Presprom9 * Pmol) / (Zprom9 * Ctteu * Temprom9)) * 0.1337$
 $Preshidn29 = Dens6 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp) * 9)$
 $Presupn29 = (((2 * Presprom9) - Preshidn29) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 9) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup9 = (((2 * Presprom9) - Preshidn29) / 2)$
 $Presfondn29 = Presupn29 + Preshidn29$
 $Presemp9 = Presfondn29 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD9 = Presemp9 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif9 = PresNMD9 - (((((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)$
 $Gradpres9 = ((PresNMD9 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa9 = (Presprom9 * Voln29) / (Zprom9 * Ctteu * Temprom9)$



BOMBEANDO DECIMO BARRIL

$Temint10 = ((521.52 / Ctp * 10) * Graterm) + Temps$
 $Temprom10 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint10)) / 2) + 460$
 $Voln210 = Voln29 - 5.61429$
 $Presprom10 = (Zprom9 * Masa9 * Temprom10 * Ctteu) / Voln210$
 $Zprom10 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom10) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom10^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom10^3)) - (0.02 * (Temprom10 - 170) / 90)$
 $Dens10 = ((Presprom10 * Pmol) / (Zprom10 * Ctteu * Temprom10)) * 0.1337$
 $Preshidn210 = Dens10 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 10))$
 $Presupn210 = (((2 * Presprom10) - Preshidn210) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 10) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup10 = (((2 * Presprom10) - Preshidn210) / 2)$
 $Presfondn210 = Presupn210 + Preshidn210$
 $Presemp10 = Presfondn210 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD10 = Presemp10 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif10 = PresNMD10 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres10 = ((PresNMD10 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa10 = (Presprom10 * Voln210) / (Zprom10 * Ctteu * Temprom10)$



BOMBEANDO DECIMO PRIMERO BARRIL

$Temint11 = ((521.52 / Ctp * 11) * Graterm) + Temps$
 $Temprom11 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint11)) / 2) + 460$
 $Voln211 = Voln210 - 5.61429$
 $Presprom11 = (Zprom10 * Masa10 * Temprom11 * Ctteu) / Voln211$
 $Zprom11 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom11) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom11^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom11^3)) - (0.02 * (Temprom11 - 170) / 90)$
 $Dens11 = ((Presprom11 * Pmol) / (Zprom11 * Ctteu * Temprom11)) * 0.1337$
 $Preshidn211 = Dens11 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 11))$
 $Presupn211 = (((2 * Presprom11) - Preshidn211) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 11) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup11 = (((2 * Presprom11) - Preshidn211) / 2)$
 $Presfondn211 = Presupn211 + Preshidn211$
 $Presemp11 = Presfondn211 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD11 = Presemp11 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif11 = PresNMD11 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres11 = ((PresNMD11 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa11 = (Presprom11 * Voln211) / (Zprom11 * Ctteu * Temprom11)$



BOMBEANDO DECIMO SEGUNDO BARRIL

$Temint12 = ((521.52 / Ctp * 12) * Graterm) + Temps$
 $Temprom12 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint12)) / 2) + 460$
 $Voln212 = Voln211 - 5.61429$
 $Presprom12 = (Zprom11 * Masa11 * Temprom12 * Ctteu) / Voln212$
 $Zprom12 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom12) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom12^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom12^3)) - (0.02 * (Temprom12 - 170) / 90)$
 $Dens12 = ((Presprom12 * Pmol) / (Zprom12 * Ctteu * Temprom12)) * 0.1337$
 $Preshidn212 = Dens12 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 12))$
 $Presupn212 = (((2 * Presprom12) - Preshidn212) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 12) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup12 = (((2 * Presprom12) - Preshidn212) / 2)$
 $Presfondn212 = Presupn212 + Preshidn212$
 $Presemp12 = Presfondn212 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD12 = Presemp12 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif12 = PresNMD12 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres12 = ((PresNMD12 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa12 = (Presprom12 * Voln212) / (Zprom12 * Ctteu * Temprom12)$





BOMBEANDO DECIMO TERCERO BARRIL

$Temint13 = ((521.52 / Ctp * 13) * Graterm) + Temps$
 $Temprom13 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint13)) / 2) + 460$
 $Voln213 = Voln212 - 5.61429$
 $Presprom13 = (Zprom12 * Masa12 * Temprom13 * Ctteu) / Voln213$
 $Zprom13 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom13) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom13^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom13^3)) - (0.02 * (Temprom13 - 170) / 90)$
 $Dens13 = ((Presprom13 * Pmol) / (Zprom13 * Ctteu * Temprom13)) * 0.1337$
 $Preshidn213 = Dens13 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 13))$
 $Presupn213 = (((2 * Presprom13) - Preshidn213) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 13) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup13 = (((2 * Presprom13) - Preshidn213) / 2)$
 $Presfondn213 = Presupn213 + Preshidn213$
 $Presemp13 = Presfondn213 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD13 = Presemp13 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif13 = PresNMD13 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)$
 $Gradpres13 = ((PresNMD13 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa13 = (Presprom13 * Voln213) / (Zprom13 * Ctteu * Temprom13)$



BOMBEANDO DECIMO CUARTO BARRIL

$Temint14 = ((521.52 / Ctp * 14) * Graterm) + Temps$
 $Temprom14 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint14)) / 2) + 460$
 $Voln214 = Voln213 - 5.61429$
 $Presprom14 = (Zprom13 * Masa13 * Temprom14 * Ctteu) / Voln214$
 $Zprom14 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom14) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom14^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom14^3)) - (0.02 * (Temprom14 - 170) / 90)$
 $Dens14 = ((Presprom14 * Pmol) / (Zprom14 * Ctteu * Temprom14)) * 0.1337$
 $Preshidn214 = Dens14 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 14))$
 $Presupn214 = (((2 * Presprom14) - Preshidn214) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 14) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup14 = (((2 * Presprom14) - Preshidn214) / 2)$
 $Presfondn214 = Presupn214 + Preshidn214$
 $Presemp14 = Presfondn214 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD14 = Presemp14 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif14 = PresNMD14 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)$
 $Gradpres14 = ((PresNMD14 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa14 = (Presprom14 * Voln214) / (Zprom14 * Ctteu * Temprom14)$



BOMBEANDO DECIMO QUINTO BARRIL

$Temint15 = ((521.52 / Ctp * 15) * Graterm) + Temps$
 $Temprom15 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint15)) / 2) + 460$
 $Voln215 = Voln214 - 5.61429$
 $Presprom15 = (Zprom14 * Masa14 * Temprom15 * Ctteu) / Voln215$
 $Zprom15 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom15) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom15^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom15^3)) - (0.02 * (Temprom15 - 170) / 90)$
 $Dens15 = ((Presprom15 * Pmol) / (Zprom15 * Ctteu * Temprom15)) * 0.1337$
 $Preshidn215 = Dens15 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 15))$
 $Presupn215 = (((2 * Presprom15) - Preshidn215) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 15) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup15 = (((2 * Presprom15) - Preshidn215) / 2)$
 $Presfondn215 = Presupn215 + Preshidn215$
 $Presemp15 = Presfondn215 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD15 = Presemp15 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif15 = PresNMD15 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)$
 $Gradpres15 = ((PresNMD15 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa15 = (Presprom15 * Voln215) / (Zprom15 * Ctteu * Temprom15)$





BOMBEANDO DECIMO SEXTO BARRIL

$Temint16 = ((521.52 / Ctp * 16) * Graterm) + Temps$
 $Temprom16 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint16)) / 2) + 460$
 $Voln216 = Voln215 - 5.61429$
 $Presprom16 = (Zprom15 * Masa15 * Temprom16 * Ctteu) / Voln216$
 $Zprom16 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom16) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom16^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom16^3)) - (0.02 * (Temprom16 - 170) / 90)$
 $Dens16 = ((Presprom16 * Pmol) / (Zprom16 * Ctteu * Temprom16)) * 0.1337$
 $Preshidn216 = Dens16 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 16))$
 $Presupn216 = (((2 * Presprom16) - Preshidn216) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 16) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup16 = (((2 * Presprom16) - Preshidn216) / 2)$
 $Presfondn216 = Presupn216 + Preshidn216$
 $Presemp16 = Presfondn216 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD16 = Presemp16 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif16 = PresNMD16 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres16 = ((PresNMD16 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa16 = (Presprom16 * Voln216) / (Zprom16 * Ctteu * Temprom16)$



BOMBEANDO DECIMO SEPTIMO BARRIL

$Temint17 = ((521.52 / Ctp * 17) * Graterm) + Temps$
 $Temprom17 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint17)) / 2) + 460$
 $Voln217 = Voln216 - 5.61429$
 $Presprom17 = (Zprom16 * Masa16 * Temprom17 * Ctteu) / Voln217$
 $Zprom17 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom17) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom17^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom17^3)) - (0.02 * (Temprom17 - 170) / 90)$
 $Dens17 = ((Presprom17 * Pmol) / (Zprom17 * Ctteu * Temprom17)) * 0.1337$
 $Preshidn217 = Dens17 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 17))$
 $Presupn217 = (((2 * Presprom17) - Preshidn217) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 17) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup17 = (((2 * Presprom17) - Preshidn217) / 2)$
 $Presfondn217 = Presupn217 + Preshidn217$
 $Presemp17 = Presfondn217 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD17 = Presemp17 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif17 = PresNMD17 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres17 = ((PresNMD17 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa17 = (Presprom17 * Voln217) / (Zprom17 * Ctteu * Temprom17)$



BOMBEANDO DECIMO OCTAVO BARRIL

$Temint18 = ((521.52 / Ctp * 18) * Graterm) + Temps$
 $Temprom18 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint18)) / 2) + 460$
 $Voln218 = Voln217 - 5.61429$
 $Presprom18 = (Zprom17 * Masa17 * Temprom18 * Ctteu) / Voln218$
 $Zprom18 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom18) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom18^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom18^3)) - (0.02 * (Temprom18 - 170) / 90)$
 $Dens18 = ((Presprom18 * Pmol) / (Zprom18 * Ctteu * Temprom18)) * 0.1337$
 $Preshidn218 = Dens18 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 18))$
 $Presupn218 = (((2 * Presprom18) - Preshidn218) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 18) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup18 = (((2 * Presprom18) - Preshidn218) / 2)$
 $Presfondn218 = Presupn218 + Preshidn218$
 $Presemp18 = Presfondn218 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD18 = Presemp18 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif18 = PresNMD18 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres18 = ((PresNMD18 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa18 = (Presprom18 * Voln218) / (Zprom18 * Ctteu * Temprom18)$



BOMBEANDO DECIMO NOVENO BARRIL

$Temint19 = ((521.52 / Ctp * 19) * Graterm) + Temps$
 $Temprom19 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint19)) / 2) + 460$
 $Voln219 = Voln218 - 5.61429$
 $Presprom19 = (Zprom18 * Masa18 * Temprom19 * Ctteu) / Voln219$
 $Zprom19 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom19) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom19^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom19^3)) - (0.02 * (Temprom19 - 170) / 90)$
 $Dens19 = ((Presprom19 * Pmol) / (Zprom19 * Ctteu * Temprom19)) * 0.1337$
 $Preshidn219 = Dens19 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 19))$
 $Presupn219 = (((2 * Presprom19) - Preshidn219) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 19) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup19 = (((2 * Presprom19) - Preshidn219) / 2)$
 $Presfondn219 = Presupn219 + Preshidn219$
 $Presemp19 = Presfondn219 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD19 = Presemp19 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif19 = PresNMD19 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres19 = ((PresNMD19 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa19 = (Presprom19 * Voln219) / (Zprom19 * Ctteu * Temprom19)$

BOMBEANDO VIGESIMO BARRIL

$Temint20 = ((521.52 / Ctp * 20) * Graterm) + Temps$
 $Temprom20 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint20)) / 2) + 460$
 $Voln220 = Voln219 - 5.61429$
 $Presprom20 = (Zprom19 * Masa19 * Temprom20 * Ctteu) / Voln220$
 $Zprom20 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom20) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom20^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom20^3)) - (0.02 * (Temprom20 - 170) / 90)$
 $Dens20 = ((Presprom20 * Pmol) / (Zprom20 * Ctteu * Temprom20)) * 0.1337$
 $Preshidn220 = Dens20 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 20))$
 $Presupn220 = (((2 * Presprom20) - Preshidn220) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 20) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup20 = (((2 * Presprom20) - Preshidn220) / 2)$
 $Presfondn220 = Presupn220 + Preshidn220$
 $Presemp20 = Presfondn220 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD20 = Presemp20 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif20 = PresNMD20 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres20 = ((PresNMD20 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa20 = (Presprom20 * Voln220) / (Zprom20 * Ctteu * Temprom20)$

BOMBEANDO VIGESIMO PRIMERO BARRIL

$Temint21 = ((521.52 / Ctp * 21) * Graterm) + Temps$
 $Temprom21 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint21)) / 2) + 460$
 $Voln221 = Voln220 - 5.61429$
 $Presprom21 = (Zprom20 * Masa20 * Temprom21 * Ctteu) / Voln221$
 $Zprom21 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom21) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom21^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom21^3)) - (0.02 * (Temprom21 - 170) / 90)$
 $Dens21 = ((Presprom21 * Pmol) / (Zprom21 * Ctteu * Temprom21)) * 0.1337$
 $Preshidn221 = Dens21 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 21))$
 $Presupn221 = (((2 * Presprom21) - Preshidn221) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 21) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup21 = (((2 * Presprom21) - Preshidn221) / 2)$
 $Presfondn221 = Presupn221 + Preshidn221$
 $Presemp21 = Presfondn221 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD21 = Presemp21 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif21 = PresNMD21 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres21 = ((PresNMD21 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa21 = (Presprom21 * Voln221) / (Zprom21 * Ctteu * Temprom21)$



BOMBEANDO VIGESIMO SEGUNDO BARRIL

$Temint22 = ((521.52 / Ctp * 22) * Graterm) + Temps$
 $Temprom22 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint22)) / 2) + 460$
 $Voln222 = Voln221 - 5.61429$
 $Presprom22 = (Zprom21 * Masa21 * Temprom22 * Ctteu) / Voln222$
 $Zprom22 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom22) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom22^2) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom22^3)) - (0.02 * (Temprom22 - 170) / 90)$
 $Dens22 = ((Presprom22 * Pmol) / (Zprom22 * Ctteu * Temprom22)) * 0.1337$
 $Preshidn222 = Dens22 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 22))$
 $Presupn222 = (((2 * Presprom22) - Preshidn222) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 22) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup22 = (((2 * Presprom22) - Preshidn222) / 2)$
 $Presfondn222 = Presupn222 + Preshidn222$
 $Presemp22 = Presfondn222 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD22 = Presemp22 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif22 = PresNMD22 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres22 = ((PresNMD22 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa22 = (Presprom22 * Voln222) / (Zprom22 * Ctteu * Temprom22)$



BOMBEANDO VIGESIMO TERCERO BARRIL

$Temint23 = ((521.52 / Ctp * 23) * Graterm) + Temps$
 $Temprom23 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint23)) / 2) + 460$
 $Voln223 = Voln222 - 5.61429$
 $Presprom23 = (Zprom22 * Masa21 * Temprom23 * Ctteu) / Voln223$
 $Zprom23 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom23) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom23^2) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom23^3)) - (0.02 * (Temprom23 - 170) / 90)$
 $Dens23 = ((Presprom23 * Pmol) / (Zprom23 * Ctteu * Temprom23)) * 0.1337$
 $Preshidn223 = Dens23 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 23))$
 $Presupn223 = (((2 * Presprom23) - Preshidn223) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 23) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup23 = (((2 * Presprom23) - Preshidn223) / 2)$
 $Presfondn223 = Presupn223 + Preshidn223$
 $Presemp23 = Presfondn223 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD23 = Presemp23 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif23 = PresNMD23 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres23 = ((PresNMD23 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa23 = (Presprom23 * Voln223) / (Zprom23 * Ctteu * Temprom23)$



BOMBEANDO VIGESIMO CUARTO BARRIL

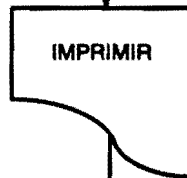
$Temint24 = ((521.52 / Ctp * 24) * Graterm) + Temps$
 $Temprom24 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint24)) / 2) + 460$
 $Voln224 = Voln223 - 5.61429$
 $Presprom24 = (Zprom23 * Masa23 * Temprom24 * Ctteu) / Voln224$
 $Zprom24 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * Presprom24) + (7.918656 * 10^{-9}) * (Presprom24^2) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (Presprom24^3)) - (0.02 * (Temprom24 - 170) / 90)$
 $Dens24 = ((Presprom24 * Pmol) / (Zprom24 * Ctteu * Temprom24)) * 0.1337$
 $Preshidn224 = Dens24 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp * 24))$
 $Presupn224 = (((2 * Presprom24) - Preshidn224) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 24) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459)$
 $Pressup24 = (((2 * Presprom24) - Preshidn224) / 2)$
 $Presfondn224 = Presupn224 + Preshidn224$
 $Presemp24 = Presfondn224 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $PresNMD24 = Presemp24 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)$
 $Presdif24 = PresNMD24 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052$
 $Gradpres24 = ((PresNMD24 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)$
 $Masa24 = (Presprom24 * Voln224) / (Zprom24 * Ctteu * Temprom24)$





BOMBEANDO VIGESIMO QUINTO BARRIL

```
Temint25 = (( 521.52 / Ctp * 25 ) * Graterm ) + Temps
Temprom25 = ((( Graterm * ( Dn * 3.28 ) ) + ( 2 * Temint25 ) ) / 2 ) + 460
Voln225 = Voln224 - 5.61429
Presprom25 = ( Zprom24 * Masa24 * Temprom25 * Cttau ) / Voln225
Zprom25 = ( 0.9997826 + (( 7.7759772 * 10 ^ - 6 ) * Presprom25 ) + ( 7.918656 * 10 ^ - 9 ) * ( Presprom25 ^ 2 )
- ( ( 3.54548 * 10 ^ - 13 ) * ( Presprom25 ^ 3 ) ) - ( 0.02 * ( Temprom25 - 170 ) / 90 )
Dens25 = (( Presprom25 * Pmol ) / ( Zprom25 * Cttau * Temprom25 ) ) * 0.1337
Preshidn225 = Dens25 * 0.052 * (( Dn * 3.28 ) - ( 521.52 / Ctp * 25 ) )
Presupn225 = ((( 2 * Presprom25 ) - Preshidn225 ) / 2 ) + (( 521.52 / Ctp ) * 25 ) * 0.052 * ( Dsalm * 8.3459 )
Pressup25 = ((( 2 * Presprom25 ) - Preshidn225 ) / 2 )
Presfondn225 = Presupn225 + Preshidn225
Presemp25 = Presfondn225 + ((( ( De - Dn ) * 3.28 ) * ( Daci * 8.3459 ) ) * 0.052 )
PresNMD25 = Presemp25 + ((( ( ( Db + Dc ) / 2 ) - De ) * 3.28 ) * ( Daci * 8.3459 ) * 0.052 )
Presdif25 = PresNMD25 - ((( ( Db + Dc ) / 2 ) * 3.28 ) * ( Grapepo * 8.3459 ) * 0.052 )
Gradpres25 = (( PresNMD25 / 14.22 ) * 10 ) / (( Db + Dc ) / 2 )
Masa25 = ( Presprom25 * Voln225 ) / ( Zprom25 * Cttau * Temprom25 )
```



NOMENCLATURA

ditp = Diametro interior de T.P.
ditr = Diametro interior de T.R.
detp = Diametro exterior de T.P.
Dn = Profundidad a base de nitrogeno
De = Profundidad de empacador
Dc = Profundidad a cima de disparos
Db = Profundidad a base de disparos
Presi = Presión inicial de superficie
Temps = Temperatura de superficie
Graterm = Gradiente geotermico
Grapepo = Gradiente de presión de poro
Daci = Densidad del ácido
Dsalm = Densidad de salmuera
Ctp = Capacidad de T.P.
Ctr = Capacidad de T.R.
Ctrtp = Capacidad entre T.R. y T.P.
Va = Volumen de ácido
Vn = Volumen de nitrógeno
Prof = Profundidad
Inc = Incremento de profundidad
Temp = Temperatura a profundidad de los incrementos
Pmol = Peso molecular del nitrógeno
Ctueu = Costante universal de los gases
Dens = Densidad del nitrogeno
Z = Factor de desviación del nitrogeno
Presempini = Presión inicial en el empacador
PresNMDini = Presión inicial a nivel medio de disparos
Presdifini = Presión diferencial inicial aplicada a nivel medio de disparos
Gradpresini = Gradiente de presión inicial aplicado a la formación
Facvol = Factor de volumen del nitrógeno
Reqn2 = Requerimiento de nitrógeno
Tempint# = Temperatura en la interfase #
Temprom# = Temperatura promedio #
Voln2# = Volumen de nitrógeno #
Presprom# = Presión promedio #
Zprom# = Factor de desviación #
Dens# = Densidad del nitrógeno #
Preshidn2# = Presión hidrostática del nitrógeno #
Presupn2# = Presión en la superficie del nitrógeno #
Presfondn2# = Presión en el fondo del nitrógeno #
Presemp# = Presión en el empacador #
PresNMD# = Presión a nivel medio de disparos #
Presdif# = Presión diferencial aplicada a nivel medio de disparos #
Gradpres# = Gradiente de presión aplicado a la formación #

APENDICE B

```

Private Sub Command1_Click()
    Dim ditp As Double
    Dim ditr As Double
    Dim detp As Double
    Dim Dn As Double
    Dim De As Double
    Dim Dc As Double
    Dim Db As Double
    Dim PresIni As Double
    Dim Temps As Double
    Dim TempIni As Double
    Dim Graterm As Double
    Dim Grapepo As Double
    Dim Daci As Double
    Dim Dsalm As Double

    Const Prof As Double = 0
    Const Inc As Double = 30.4878
    Const Pmol As Double = 28.0134
    Const Ctteu As Double = 10.732

    itp = Val(Entradaditp.Text)
    ditr = Val(Entradaditr.Text)
    detp = Val(Entradadetp.Text)
    n = Val(EntradaDn.Text)
    e = Val(EntradaDe.Text)
    Dc = Val(EntradaDc.Text)
    Db = Val(EntradaDb.Text)
    resi = Val(EntradaPresi.Text)
    emps = Val(EntradaTemps.Text)
    Graterm = Val(EntradaGraterm.Text)
    Grapepo = Val(EntradaGrapepo.Text)
    daci = Val(EntradaDaci.Text)
    dsalm = Val(EntradaDsalm.Text)

    Ctp = (ditp ^ 2) * 0.5067
    tr = (ditr ^ 2) * 0.5067
    Ctrtp = (ditr ^ 2 - detp ^ 2) * 0.5067 + (ditp ^ 2) * 0.5067
    Va = ((Db - De) * Ctrtp + (De - Dn) * Ctp) / 159
    Vn = (Dn * Ctp) / 159

    PresIni = Presi
    TempIni = Temps

    For I = Prof To Dn Step Inc
        Temp = (Temps + Graterm * (I * 3.28)) + 460
        If I <> Prof Then
            Presi = Presi + (100 * Dens * 0.052)
        End If
        Z = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10 ^ -6) * Presi) + (7.918656 * 10 ^ -9) * (Presi ^ 2)) - ((3.54548 * 10 ^ -13) * (Presi ^ 3)) - (0.02 * (Temp - 170) / 90)
        Dens = ((Presi * Pmol) / (Z * Ctteu * Temp)) * 0.1337
    Next I

    Presempini = Presi + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)
    PresNMDini = Presempini + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)
    Presdifini = PresNMDini - (((((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)
    radpresini = ((PresNMDini / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)

    Presprom0 = (Presi + PresIni) / 2
    Temprom0 = ((Temp + 460) + TempIni) / 2
    prom0 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10 ^ -6) * Presprom0) + (7.918656 * 10 ^ -9) * (Presprom0 ^ 2)) - ((3.54548 * 10 ^ -13) * (Presprom0 ^ 3)) - (0.02 * (Temprom0 - 170) / 90)
    Facvol = (198.6 * ((Presprom0) / (Zprom0 * Temprom0))) * (2.832 * 10 ^ -2)
    eqn2 = (Facvol * Vn)

```

ATOS1 - 2

Voln20 = Vn * 159 * 0.03531

Masa0 = (Presprom0 * Voln20) / (Zprom0 * Ctteu * Temprom0)

bombeando 1er Barril

Temint1 = ((521.52 / Ctp) * Graterm) + Temps

emprom1 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint1)) / 2) + 460

Voln21 = Voln20 - 5.61429

Presprom1 = (Zprom0 * Masa0 * Temprom1 * Ctteu) / Voln21

Zprom1 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10⁻⁶) * Presprom1) + (7.918656 * 10⁻⁹) * (Presprom1²) - ((3.54548 * 10⁻¹³) * (Presprom1³)) - (0.02 * (Temprom1 - 170) / 90)

Dens1 = (Presprom1 * Pmol) / (Zprom1 * Ctteu * Temprom1) * 0.1337

Preshidn21 = Dens1 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - (521.52 / Ctp))

resupn21 = (((2 * Presprom1) - Preshidn21) / 2) + ((521.52 / Ctp) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459))

Pressup1 = (((2 * Presprom1) - Preshidn21) / 2)

Presfondn21 = Presupn21 + Preshidn21

resempl = Presfondn21 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)

PresNMD1 = Presemp1 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)

resdif1 = PresNMD1 - (((((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)

radpres1 = ((PresNMD1 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)

Masa1 = (Presprom1 * Voln21) / (Zprom1 * Ctteu * Temprom1)

bombeando 2do Barril

Temint2 = (((521.52 / Ctp) * 2) * Graterm) + Temps

emprom2 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint2)) / 2) + 460

Voln22 = Voln21 - 5.61429

Presprom2 = (Zprom1 * Masa1 * Temprom2 * Ctteu) / Voln22

Zprom2 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10⁻⁶) * Presprom2) + (7.918656 * 10⁻⁹) * (Presprom2²) - ((3.54548 * 10⁻¹³) * (Presprom2³)) - (0.02 * (Temprom2 - 170) / 90)

Dens2 = (Presprom2 * Pmol) / (Zprom2 * Ctteu * Temprom2) * 0.1337

Preshidn22 = Dens2 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - ((521.52 / Ctp) * 2))

resupn22 = (((2 * Presprom2) - Preshidn22) / 2) + (((521.52 / Ctp) * 2) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459))

Pressup2 = (((2 * Presprom2) - Preshidn22) / 2)

Presfondn22 = Presupn22 + Preshidn22

resempl = Presfondn22 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)

PresNMD2 = Presemp2 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)

resdif2 = PresNMD2 - (((((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)

radpres2 = ((PresNMD2 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)

Masa2 = (Presprom2 * Voln22) / (Zprom2 * Ctteu * Temprom2)

bombeando 3er Barril

Temint3 = (((521.52 / Ctp) * 3) * Graterm) + Temps

emprom3 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint3)) / 2) + 460

Voln23 = Voln22 - 5.61429

Presprom3 = (Zprom2 * Masa2 * Temprom3 * Ctteu) / Voln23

Zprom3 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10⁻⁶) * Presprom3) + (7.918656 * 10⁻⁹) * (Presprom3²) - ((3.54548 * 10⁻¹³) * (Presprom3³)) - (0.02 * (Temprom3 - 170) / 90)

Dens3 = (Presprom3 * Pmol) / (Zprom3 * Ctteu * Temprom3) * 0.1337

Preshidn23 = Dens3 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - ((521.52 / Ctp) * 3))

resupn23 = (((2 * Presprom3) - Preshidn23) / 2) + (((521.52 / Ctp) * 3) * 0.052 * (Dsalm * 8.3459))

Pressup3 = (((2 * Presprom3) - Preshidn23) / 2)

Presfondn23 = Presupn23 + Preshidn23

resempl = Presfondn23 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)

PresNMD3 = Presemp3 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)

resdif3 = PresNMD3 - (((((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)

radpres3 = ((PresNMD3 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)

$$\text{Masa3} = (\text{Presprom3} * \text{Voln23}) / (\text{Zprom3} * \text{Ctceu} * \text{Temprom3})$$

bombeando 4to Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint4} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 4) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom4} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint4})) / 2) + 460 \\ \text{oln24} &= \text{Voln23} - 5.61429 \\ \text{Presprom4} &= (\text{Zprom3} * \text{Masa3} * \text{Temprom4} * \text{Ctceu}) / \text{Voln24} \\ \text{Zprom4} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom4}) + (7.918656 * 10^{-9}) \\ &\quad * (\text{Presprom4}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom4}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom4} \\ &\quad - 170) / 90) \\ \text{Dens4} &= (\text{Presprom4} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom4} * \text{Ctceu} * \text{Temprom4}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn24} &= \text{Dens4} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 4)) \\ \text{resupn24} &= (((2 * \text{Presprom4}) - \text{Preshidn24}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 4) * 0.052 \\ &\quad * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup4} &= (((2 * \text{Presprom4}) - \text{Preshidn24}) / 2) \\ \text{Presfondn24} &= \text{Presupn24} + \text{Preshidn24} \\ \text{resemp4} &= \text{Presfondn24} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD4} &= \text{Presemp4} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif4} &= \text{PresNMD4} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres4} &= ((\text{PresNMD4} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa4} = (\text{Presprom4} * \text{Voln24}) / (\text{Zprom4} * \text{Ctceu} * \text{Temprom4})$$

bombeando 5to Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint5} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 5) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom5} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint5})) / 2) + 460 \\ \text{oln25} &= \text{Voln24} - 5.61429 \\ \text{Presprom5} &= (\text{Zprom4} * \text{Masa4} * \text{Temprom5} * \text{Ctceu}) / \text{Voln25} \\ \text{Zprom5} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom5}) + (7.918656 * 10^{-9}) \\ &\quad * (\text{Presprom5}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom5}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom5} \\ &\quad - 170) / 90) \\ \text{Dens5} &= (\text{Presprom5} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom5} * \text{Ctceu} * \text{Temprom5}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn25} &= \text{Dens5} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 5)) \\ \text{resupn25} &= (((2 * \text{Presprom5}) - \text{Preshidn25}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 5) * 0.052 \\ &\quad * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup5} &= (((2 * \text{Presprom5}) - \text{Preshidn25}) / 2) \\ \text{Presfondn25} &= \text{Presupn25} + \text{Preshidn25} \\ \text{resemp5} &= \text{Presfondn25} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD5} &= \text{Presemp5} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif5} &= \text{PresNMD5} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres5} &= ((\text{PresNMD5} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa5} = (\text{Presprom5} * \text{Voln25}) / (\text{Zprom5} * \text{Ctceu} * \text{Temprom5})$$

bombeando 6to Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint6} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 6) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom6} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint6})) / 2) + 460 \\ \text{oln26} &= \text{Voln25} - 5.61429 \\ \text{Presprom6} &= (\text{Zprom5} * \text{Masa5} * \text{Temprom6} * \text{Ctceu}) / \text{Voln26} \\ \text{Zprom6} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom6}) + (7.918656 * 10^{-9}) \\ &\quad * (\text{Presprom6}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom6}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom6} \\ &\quad - 170) / 90) \\ \text{Dens6} &= (\text{Presprom6} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom6} * \text{Ctceu} * \text{Temprom6}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn26} &= \text{Dens6} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 6)) \\ \text{resupn26} &= (((2 * \text{Presprom6}) - \text{Preshidn26}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 6) * 0.052 \\ &\quad * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup6} &= (((2 * \text{Presprom6}) - \text{Preshidn26}) / 2) \\ \text{Presfondn26} &= \text{Presupn26} + \text{Preshidn26} \\ \text{resemp6} &= \text{Presfondn26} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD6} &= \text{Presemp6} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif6} &= \text{PresNMD6} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres6} &= ((\text{PresNMD6} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

ATOS1 - 4

$$\text{Masa6} = (\text{Presprom6} * \text{Voln26}) / (\text{Zprom6} * \text{Ctceu} * \text{Temprom6})$$

bombeando 7mo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint7} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 7) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom7} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint7})) / 2) + 460 \\ \text{oln27} &= \text{Voln26} - 5.61429 \\ \text{Presprom7} &= (\text{Zprom6} * \text{Masa6} * \text{Temprom7} * \text{Ctceu}) / \text{Voln27} \\ \text{Zprom7} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom7}) + (7.918656 * 10^{-9}) \\ &\quad * (\text{Presprom7}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom7}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom7} \\ &\quad - 170) / 90) \\ \text{Dens7} &= (\text{Presprom7} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom7} * \text{Ctceu} * \text{Temprom7}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn27} &= \text{Dens7} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 7)) \\ \text{resupn27} &= (((2 * \text{Presprom7}) - \text{Preshidn27}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 7) * 0.052 \\ &\quad * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup7} &= (((2 * \text{Presprom7}) - \text{Preshidn27}) / 2) \\ \text{Presfondn27} &= \text{Presupn27} + \text{Preshidn27} \\ \text{reemp7} &= \text{Presfondn27} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD7} &= \text{Preemp7} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif7} &= \text{PresNMD7} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres7} &= ((\text{PresNMD7} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa7} = (\text{Presprom7} * \text{Voln27}) / (\text{Zprom7} * \text{Ctceu} * \text{Temprom7})$$

bombeando 8vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint8} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 8) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom8} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint8})) / 2) + 460 \\ \text{oln28} &= \text{Voln27} - 5.61429 \\ \text{Presprom8} &= (\text{Zprom7} * \text{Masa7} * \text{Temprom8} * \text{Ctceu}) / \text{Voln28} \\ \text{Zprom8} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom8}) + (7.918656 * 10^{-9}) \\ &\quad * (\text{Presprom8}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom8}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom8} \\ &\quad - 170) / 90) \\ \text{Dens8} &= (\text{Presprom8} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom8} * \text{Ctceu} * \text{Temprom8}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn28} &= \text{Dens8} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 8)) \\ \text{resupn28} &= (((2 * \text{Presprom8}) - \text{Preshidn28}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 8) * 0.052 \\ &\quad * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup8} &= (((2 * \text{Presprom8}) - \text{Preshidn28}) / 2) \\ \text{Presfondn28} &= \text{Presupn28} + \text{Preshidn28} \\ \text{reemp8} &= \text{Presfondn28} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD8} &= \text{Preemp8} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif8} &= \text{PresNMD8} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres8} &= ((\text{PresNMD8} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa8} = (\text{Presprom8} * \text{Voln28}) / (\text{Zprom8} * \text{Ctceu} * \text{Temprom8})$$

bombeando 9no Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint9} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 9) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom9} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint9})) / 2) + 460 \\ \text{oln29} &= \text{Voln28} - 5.61429 \\ \text{Presprom9} &= (\text{Zprom8} * \text{Masa8} * \text{Temprom9} * \text{Ctceu}) / \text{Voln29} \\ \text{Zprom9} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom9}) + (7.918656 * 10^{-9}) \\ &\quad * (\text{Presprom9}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom9}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom9} \\ &\quad - 170) / 90) \\ \text{Dens9} &= (\text{Presprom9} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom9} * \text{Ctceu} * \text{Temprom9}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn29} &= \text{Dens9} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 9)) \\ \text{resupn29} &= (((2 * \text{Presprom9}) - \text{Preshidn29}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 9) * 0.052 \\ &\quad * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup9} &= (((2 * \text{Presprom9}) - \text{Preshidn29}) / 2) \\ \text{Presfondn29} &= \text{Presupn29} + \text{Preshidn29} \\ \text{reemp9} &= \text{Presfondn29} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD9} &= \text{Preemp9} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif9} &= \text{PresNMD9} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres9} &= ((\text{PresNMD9} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

ATOS1 - 5

$$\text{Masa9} = (\text{Presprom9} * \text{Voln29}) / (\text{Zprom9} * \text{Ctceu} * \text{Temprom9})$$

bombeando 10mo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint10} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 10) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom10} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint10})) / 2) + 460 \\ \text{oln210} &= \text{Voln29} - 5.61429 \\ \text{Presprom10} &= (\text{Zprom9} * \text{Masa9} * \text{Temprom10} * \text{Ctceu}) / \text{Voln210} \\ \text{Zprom10} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom10}) + (7.918656 * 10^{-} \\ & \quad) * (\text{Presprom10}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom10}^3)) - (0.02 * (\text{Te} \\ & \quad \text{mprom10} - 170) / 90) \\ \text{Dens10} &= (\text{Presprom10} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom10} * \text{Ctceu} * \text{Temprom10}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn210} &= \text{Dens10} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 10)) \\ \text{resupn210} &= (((2 * \text{Presprom10}) - \text{Preshidn210}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 10) * 0 \\ & \quad .052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Presup10} &= (((2 * \text{Presprom10}) - \text{Preshidn210}) / 2) \\ \text{Presfondn210} &= \text{Presupn210} + \text{Preshidn210} \\ \text{resempl10} &= \text{Presfondn210} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD10} &= \text{Presemp10} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.0 \\ & \quad 52) \\ \text{resdif10} &= \text{PresNMD10} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres10} &= ((\text{PresNMD10} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa10} = (\text{Presprom10} * \text{Voln210}) / (\text{Zprom10} * \text{Ctceu} * \text{Temprom10})$$

bombeando 11vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint11} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 11) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom11} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint11})) / 2) + 460 \\ \text{oln211} &= \text{Voln210} - 5.61429 \\ \text{Presprom11} &= (\text{Zprom10} * \text{Masa10} * \text{Temprom11} * \text{Ctceu}) / \text{Voln211} \\ \text{Zprom11} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom11}) + (7.918656 * 10^{-} \\ & \quad) * (\text{Presprom11}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom11}^3)) - (0.02 * (\text{Te} \\ & \quad \text{mprom11} - 170) / 90) \\ \text{Dens11} &= (\text{Presprom11} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom11} * \text{Ctceu} * \text{Temprom11}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn211} &= \text{Dens11} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 11)) \\ \text{resupn211} &= (((2 * \text{Presprom11}) - \text{Preshidn211}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 11) * 0 \\ & \quad .052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Presup11} &= (((2 * \text{Presprom11}) - \text{Preshidn211}) / 2) \\ \text{Presfondn211} &= \text{Presupn211} + \text{Preshidn211} \\ \text{resempl11} &= \text{Presfondn211} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD11} &= \text{Presemp11} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.0 \\ & \quad 52) \\ \text{resdif11} &= \text{PresNMD11} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres11} &= ((\text{PresNMD11} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa11} = (\text{Presprom11} * \text{Voln211}) / (\text{Zprom11} * \text{Ctceu} * \text{Temprom11})$$

bombeando 12vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint12} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 12) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom12} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint12})) / 2) + 460 \\ \text{oln212} &= \text{Voln211} - 5.61429 \\ \text{Presprom12} &= (\text{Zprom11} * \text{Masa11} * \text{Temprom12} * \text{Ctceu}) / \text{Voln212} \\ \text{Zprom12} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom12}) + (7.918656 * 10^{-} \\ & \quad) * (\text{Presprom12}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom12}^3)) - (0.02 * (\text{Te} \\ & \quad \text{mprom12} - 170) / 90) \\ \text{Dens12} &= (\text{Presprom12} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom12} * \text{Ctceu} * \text{Temprom12}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn212} &= \text{Dens12} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 12)) \\ \text{resupn212} &= (((2 * \text{Presprom12}) - \text{Preshidn212}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 12) * 0 \\ & \quad .052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Presup12} &= (((2 * \text{Presprom12}) - \text{Preshidn212}) / 2) \\ \text{Presfondn212} &= \text{Presupn212} + \text{Preshidn212} \\ \text{resempl12} &= \text{Presfondn212} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD12} &= \text{Presemp12} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.0 \\ & \quad 52) \\ \text{resdif12} &= \text{PresNMD12} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres12} &= ((\text{PresNMD12} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

ATOS1 - 6

$$\text{Masal2} = (\text{Presprom12} * \text{Voln212}) / (\text{Zprom12} * \text{Ctteu} * \text{Temprom12})$$

bombeando 13vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint13} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 13) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom13} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint13})) / 2) + 460 \\ \text{oln213} &= \text{Voln212} - 5.61429 \\ \text{Presprom13} &= (\text{Zprom12} * \text{Masal2} * \text{Temprom13} * \text{Ctteu}) / \text{Voln213} \\ \text{Zprom13} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom13}) + (7.918656 * 10^{-6}) * (\text{Presprom13}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom13}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom13} - 170) / 90) \\ \text{Dens13} &= (\text{Presprom13} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom13} * \text{Ctteu} * \text{Temprom13}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn213} &= \text{Dens13} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 13)) \\ \text{resupn213} &= (((2 * \text{Presprom13}) - \text{Preshidn213}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 13) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup13} &= (((2 * \text{Presprom13}) - \text{Preshidn213}) / 2) \\ \text{Presfondn213} &= \text{Presupn213} + \text{Preshidn213} \\ \text{resempl13} &= \text{Presfondn213} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD13} &= \text{Presemp13} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif13} &= \text{PresNMD13} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres13} &= ((\text{PresNMD13} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masal3} = (\text{Presprom13} * \text{Voln213}) / (\text{Zprom13} * \text{Ctteu} * \text{Temprom13})$$

bombeando 14vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint14} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 14) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom14} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint14})) / 2) + 460 \\ \text{oln214} &= \text{Voln213} - 5.61429 \\ \text{Presprom14} &= (\text{Zprom13} * \text{Masal3} * \text{Temprom14} * \text{Ctteu}) / \text{Voln214} \\ \text{Zprom14} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom14}) + (7.918656 * 10^{-6}) * (\text{Presprom14}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom14}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom14} - 170) / 90) \\ \text{Dens14} &= (\text{Presprom14} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom14} * \text{Ctteu} * \text{Temprom14}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn214} &= \text{Dens14} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 14)) \\ \text{resupn214} &= (((2 * \text{Presprom14}) - \text{Preshidn214}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 14) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup14} &= (((2 * \text{Presprom14}) - \text{Preshidn214}) / 2) \\ \text{Presfondn214} &= \text{Presupn214} + \text{Preshidn214} \\ \text{resempl14} &= \text{Presfondn214} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD14} &= \text{Presemp14} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif14} &= \text{PresNMD14} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres14} &= ((\text{PresNMD14} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masal4} = (\text{Presprom14} * \text{Voln214}) / (\text{Zprom14} * \text{Ctteu} * \text{Temprom14})$$

bombeando 15vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint15} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 15) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom15} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint15})) / 2) + 460 \\ \text{oln215} &= \text{Voln214} - 5.61429 \\ \text{Presprom15} &= (\text{Zprom14} * \text{Masal4} * \text{Temprom15} * \text{Ctteu}) / \text{Voln215} \\ \text{Zprom15} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom15}) + (7.918656 * 10^{-6}) * (\text{Presprom15}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom15}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom15} - 170) / 90) \\ \text{Dens15} &= (\text{Presprom15} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom15} * \text{Ctteu} * \text{Temprom15}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn215} &= \text{Dens15} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 15)) \\ \text{resupn215} &= (((2 * \text{Presprom15}) - \text{Preshidn215}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 15) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup15} &= (((2 * \text{Presprom15}) - \text{Preshidn215}) / 2) \\ \text{Presfondn215} &= \text{Presupn215} + \text{Preshidn215} \\ \text{resempl15} &= \text{Presfondn215} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD15} &= \text{Presemp15} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif15} &= \text{PresNMD15} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres15} &= ((\text{PresNMD15} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masal5} = (\text{Presprom15} * \text{Voln215}) / (\text{Zprom15} * \text{Ctceu} * \text{Temprom15})$$

bombeando 16vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint16} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 16) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom16} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint16})) / 2) + 460 \\ \text{oln216} &= \text{Voln215} - 5.61429 \\ \text{Presprom16} &= (\text{Zprom15} * \text{Masal5} * \text{Temprom16} * \text{Ctceu}) / \text{Voln216} \\ \text{Zprom16} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom16}) + (7.918656 * 10^{-6}) * (\text{Presprom16}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom16}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom16} - 170) / 90) \\ \text{Dens16} &= (\text{Presprom16} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom16} * \text{Ctceu} * \text{Temprom16}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn216} &= \text{Dens16} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 16)) \\ \text{resupn216} &= (((2 * \text{Presprom16}) - \text{Preshidn216}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 16) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup16} &= (((2 * \text{Presprom16}) - \text{Preshidn216}) / 2) \\ \text{Presfondn216} &= \text{Presupn216} + \text{Preshidn216} \\ \text{reempl16} &= \text{Presfondn216} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD16} &= \text{Presemp16} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif16} &= \text{PresNMD16} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres16} &= ((\text{PresNMD16} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masal6} = (\text{Presprom16} * \text{Voln216}) / (\text{Zprom16} * \text{Ctceu} * \text{Temprom16})$$

bombeando 17vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint17} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 17) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom17} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint17})) / 2) + 460 \\ \text{oln217} &= \text{Voln216} - 5.61429 \\ \text{Presprom17} &= (\text{Zprom16} * \text{Masal6} * \text{Temprom17} * \text{Ctceu}) / \text{Voln217} \\ \text{Zprom17} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom17}) + (7.918656 * 10^{-6}) * (\text{Presprom17}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom17}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom17} - 170) / 90) \\ \text{Dens17} &= (\text{Presprom17} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom17} * \text{Ctceu} * \text{Temprom17}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn217} &= \text{Dens17} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 17)) \\ \text{resupn217} &= (((2 * \text{Presprom17}) - \text{Preshidn217}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 17) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup17} &= (((2 * \text{Presprom17}) - \text{Preshidn217}) / 2) \\ \text{Presfondn217} &= \text{Presupn217} + \text{Preshidn217} \\ \text{reempl17} &= \text{Presfondn217} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD17} &= \text{Presemp17} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif17} &= \text{PresNMD17} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres17} &= ((\text{PresNMD17} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masal7} = (\text{Presprom17} * \text{Voln217}) / (\text{Zprom17} * \text{Ctceu} * \text{Temprom17})$$

bombeando 18vo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint18} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 18) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom18} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint18})) / 2) + 460 \\ \text{oln218} &= \text{Voln217} - 5.61429 \\ \text{Presprom18} &= (\text{Zprom17} * \text{Masal7} * \text{Temprom18} * \text{Ctceu}) / \text{Voln218} \\ \text{Zprom18} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom18}) + (7.918656 * 10^{-6}) * (\text{Presprom18}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom18}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom18} - 170) / 90) \\ \text{Dens18} &= (\text{Presprom18} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom18} * \text{Ctceu} * \text{Temprom18}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn218} &= \text{Dens18} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 18)) \\ \text{resupn218} &= (((2 * \text{Presprom18}) - \text{Preshidn218}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 18) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup18} &= (((2 * \text{Presprom18}) - \text{Preshidn218}) / 2) \\ \text{Presfondn218} &= \text{Presupn218} + \text{Preshidn218} \\ \text{reempl18} &= \text{Presfondn218} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD18} &= \text{Presemp18} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{resdif18} &= \text{PresNMD18} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres18} &= ((\text{PresNMD18} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

ATOS1 - 8

$$\text{Masa18} = (\text{Presprom18} * \text{Voln218}) / (\text{Zprom18} * \text{Ctceu} * \text{Temprom18})$$

bombeando 19avo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint19} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 19) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom19} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint19})) / 2) + 460 \\ \text{oln219} &= \text{Voln218} - 5.61429 \\ \text{Presprom19} &= (\text{Zprom18} * \text{Masa18} * \text{Temprom19} * \text{Ctceu}) / \text{Voln219} \\ \text{mprom19} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom19}) + (7.918656 * 10^{-} \\ & \quad) * (\text{Presprom19}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom19}^3)) - (0.02 * (\text{Te} \\ & \quad \text{mprom19} - 170) / 90) \\ \text{Dens19} &= (\text{Presprom19} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom19} * \text{Ctceu} * \text{Temprom19}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn219} &= \text{Dens19} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 19)) \\ \text{resupn219} &= (((2 * \text{Presprom19}) - \text{Preshidn219}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 19) * 0 \\ & \quad .052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup19} &= (((2 * \text{Presprom19}) - \text{Preshidn219}) / 2) \\ \text{Presfondn219} &= \text{Presupn219} + \text{Preshidn219} \\ \text{resempl9} &= \text{Presfondn219} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD19} &= \text{Presemp19} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.0 \\ & \quad 52) \\ \text{resdif19} &= \text{PresNMD19} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres19} &= ((\text{PresNMD19} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa19} = (\text{Presprom19} * \text{Voln219}) / (\text{Zprom19} * \text{Ctceu} * \text{Temprom19})$$

bombeando 20avo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint20} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 20) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom20} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint20})) / 2) + 460 \\ \text{oln220} &= \text{Voln219} - 5.61429 \\ \text{Presprom20} &= (\text{Zprom19} * \text{Masa19} * \text{Temprom20} * \text{Ctceu}) / \text{Voln220} \\ \text{mprom20} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom20}) + (7.918656 * 10^{-} \\ & \quad) * (\text{Presprom20}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom20}^3)) - (0.02 * (\text{Te} \\ & \quad \text{mprom20} - 170) / 90) \\ \text{Dens20} &= (\text{Presprom20} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom20} * \text{Ctceu} * \text{Temprom20}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn220} &= \text{Dens20} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 20)) \\ \text{resupn220} &= (((2 * \text{Presprom20}) - \text{Preshidn220}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 20) * 0 \\ & \quad .052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup20} &= (((2 * \text{Presprom20}) - \text{Preshidn220}) / 2) \\ \text{Presfondn220} &= \text{Presupn220} + \text{Preshidn220} \\ \text{resempl20} &= \text{Presfondn220} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD20} &= \text{Presemp20} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.0 \\ & \quad 52) \\ \text{resdif20} &= \text{PresNMD20} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres20} &= ((\text{PresNMD20} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa20} = (\text{Presprom20} * \text{Voln220}) / (\text{Zprom20} * \text{Ctceu} * \text{Temprom20})$$

bombeando 21avo Barril

$$\begin{aligned} \text{Temint21} &= (((521.52 / \text{Ctp}) * 21) * \text{Graterm}) + \text{Temps} \\ \text{emprom21} &= (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint21})) / 2) + 460 \\ \text{oln221} &= \text{Voln220} - 5.61429 \\ \text{Presprom21} &= (\text{Zprom20} * \text{Masa20} * \text{Temprom21} * \text{Ctceu}) / \text{Voln221} \\ \text{mprom21} &= (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom21}) + (7.918656 * 10^{-} \\ & \quad) * (\text{Presprom21}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom21}^3)) - (0.02 * (\text{Te} \\ & \quad \text{mprom21} - 170) / 90) \\ \text{Dens21} &= (\text{Presprom21} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom21} * \text{Ctceu} * \text{Temprom21}) * 0.1337 \\ \text{Preshidn221} &= \text{Dens21} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 21)) \\ \text{resupn221} &= (((2 * \text{Presprom21}) - \text{Preshidn221}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 21) * 0 \\ & \quad 052 * (\text{Dsalm} * 8.3459)) \\ \text{Pressup21} &= (((2 * \text{Presprom21}) - \text{Preshidn221}) / 2) \\ \text{Presfondn221} &= \text{Presupn221} + \text{Preshidn221} \\ \text{resempl21} &= \text{Presfondn221} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{PresNMD21} &= \text{Presemp21} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.0 \\ & \quad 52) \\ \text{resdif21} &= \text{PresNMD21} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052) \\ \text{radpres21} &= ((\text{PresNMD21} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) \end{aligned}$$

$$\text{Masa21} = (\text{Presprom21} * \text{Voln221}) / (\text{Zprom21} * \text{Ctceu} * \text{Temprom21})$$

bombeando 22avo Barril

$$\text{Temint22} = (((521.52 / \text{Ctp}) * 22) * \text{Graterm}) + \text{Temps}$$

$$\text{emprom22} = (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint22})) / 2) + 460$$

$$\text{oln222} = \text{Voln221} - 5.61429$$

$$\text{Presprom22} = (\text{Zprom21} * \text{Masa21} * \text{Temprom22} * \text{Ctceu}) / \text{Voln222}$$

$$\text{Zprom22} = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom22}) + (7.918656 * 10^{-9}) * (\text{Presprom22}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom22}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom22} - 170) / 90)$$

$$\text{Dens22} = (\text{Presprom22} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom22} * \text{Ctceu} * \text{Temprom22}) * 0.1337$$

$$\text{Preshidn222} = \text{Dens22} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 22))$$

$$\text{resupn222} = (((2 * \text{Presprom22}) - \text{Preshidn222}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 22) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459))$$

$$\text{Pressup22} = (((2 * \text{Presprom22}) - \text{Preshidn222}) / 2)$$

$$\text{Presfondn222} = \text{Pressup22} + \text{Preshidn222}$$

$$\text{resem22} = \text{Presfondn222} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{PresNMD22} = \text{Presem22} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{resdif22} = \text{PresNMD22} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{radpres22} = ((\text{PresNMD22} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2)$$

$$\text{Masa22} = (\text{Presprom22} * \text{Voln222}) / (\text{Zprom22} * \text{Ctceu} * \text{Temprom22})$$

bombeando 23avo Barril

$$\text{Temint23} = (((521.52 / \text{Ctp}) * 23) * \text{Graterm}) + \text{Temps}$$

$$\text{emprom23} = (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint23})) / 2) + 460$$

$$\text{oln223} = \text{Voln222} - 5.61429$$

$$\text{Presprom23} = (\text{Zprom22} * \text{Masa22} * \text{Temprom23} * \text{Ctceu}) / \text{Voln223}$$

$$\text{Zprom23} = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom23}) + (7.918656 * 10^{-9}) * (\text{Presprom23}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom23}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom23} - 170) / 90)$$

$$\text{Dens23} = (\text{Presprom23} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom23} * \text{Ctceu} * \text{Temprom23}) * 0.1337$$

$$\text{Preshidn223} = \text{Dens23} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 23))$$

$$\text{resupn223} = (((2 * \text{Presprom23}) - \text{Preshidn223}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 23) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459))$$

$$\text{Pressup23} = (((2 * \text{Presprom23}) - \text{Preshidn223}) / 2)$$

$$\text{Presfondn223} = \text{Pressup23} + \text{Preshidn223}$$

$$\text{resem23} = \text{Presfondn223} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{PresNMD23} = \text{Presem23} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{resdif23} = \text{PresNMD23} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{radpres23} = ((\text{PresNMD23} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2)$$

$$\text{Masa23} = (\text{Presprom23} * \text{Voln223}) / (\text{Zprom23} * \text{Ctceu} * \text{Temprom23})$$

bombeando 24avo Barril

$$\text{Temint24} = (((521.52 / \text{Ctp}) * 24) * \text{Graterm}) + \text{Temps}$$

$$\text{emprom24} = (((\text{Graterm} * (\text{Dn} * 3.28)) + (2 * \text{Temint24})) / 2) + 460$$

$$\text{oln224} = \text{Voln223} - 5.61429$$

$$\text{Presprom24} = (\text{Zprom23} * \text{Masa23} * \text{Temprom24} * \text{Ctceu}) / \text{Voln224}$$

$$\text{Zprom24} = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10^{-6}) * \text{Presprom24}) + (7.918656 * 10^{-9}) * (\text{Presprom24}^2)) - ((3.54548 * 10^{-13}) * (\text{Presprom24}^3)) - (0.02 * (\text{Temprom24} - 170) / 90)$$

$$\text{Dens24} = (\text{Presprom24} * \text{Pmol}) / (\text{Zprom24} * \text{Ctceu} * \text{Temprom24}) * 0.1337$$

$$\text{Preshidn224} = \text{Dens24} * 0.052 * ((\text{Dn} * 3.28) - ((521.52 / \text{Ctp}) * 24))$$

$$\text{resupn224} = (((2 * \text{Presprom24}) - \text{Preshidn224}) / 2) + (((521.52 / \text{Ctp}) * 24) * 0.052 * (\text{Dsalm} * 8.3459))$$

$$\text{Pressup24} = (((2 * \text{Presprom24}) - \text{Preshidn224}) / 2)$$

$$\text{Presfondn224} = \text{Pressup24} + \text{Preshidn224}$$

$$\text{resem24} = \text{Presfondn224} + (((\text{De} - \text{Dn}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{PresNMD24} = \text{Presem24} + (((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) - \text{De}) * 3.28) * (\text{Daci} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{resdif24} = \text{PresNMD24} - ((((\text{Db} + \text{Dc}) / 2) * 3.28) * (\text{Grapepo} * 8.3459) * 0.052)$$

$$\text{radpres24} = ((\text{PresNMD24} / 14.22) * 10) / ((\text{Db} + \text{Dc}) / 2)$$

ATOS1 - 10

Masa24 = (Presprom24 * Voln224) / (Zprom24 * Ctteu * Temprom24)

bombeando 25avo Barril

```
Temint25 = (((521.52 / Ctp) * 25) * Graterm) + Temps
emprom25 = (((Graterm * (Dn * 3.28)) + (2 * Temint25)) / 2) + 460
voln225 = Voln224 - 5.61429
Presprom25 = (Zprom24 * Masa24 * Temprom25 * Ctteu) / Voln225
Prom25 = (0.9997826 + ((7.7759772 * 10 ^ -6) * Presprom25) + (7.918656 * 10 ^ -
) * (Presprom25 ^ 2)) - ((3.54548 * 10 ^ -13) * (Presprom25 ^ 3)) - (0.02 * (Te
prom25 - 170) / 90)
Dens25 = (Presprom25 * Pmol) / (Zprom25 * Ctteu * Temprom25) * 0.1337
Preshidn225 = Dens25 * 0.052 * ((Dn * 3.28) - ((521.52 / Ctp) * 25))
Presupn225 = (((2 * Presprom25) - Preshidn225) / 2) + (((521.52 / Ctp) * 25) * 0
.052 * (Dsalm * 8.3459))
Pressup25 = (((2 * Presprom25) - Preshidn225) / 2)
Presfondn225 = Presupn225 + Preshidn225
Presemp25 = Presfondn225 + (((De - Dn) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.052)
PresNMD25 = Presemp25 + (((((Db + Dc) / 2) - De) * 3.28) * (Daci * 8.3459) * 0.0
52)
resdif25 = PresNMD25 - (((Db + Dc) / 2) * 3.28) * (Grapepo * 8.3459) * 0.052)
radpres25 = ((PresNMD25 / 14.22) * 10) / ((Db + Dc) / 2)
```

Masa25 = (Presprom25 * Voln225) / (Zprom24 * Ctteu * Temprom25)

```
resionIni.Caption = EntradaPresi.Text
Llena Tabla
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
nd
End Sub
```

```
Private Sub Llena Tabla()
Grid1.RowHeight(0) = 1250
For I = 1 To 7
Grid1.ColWidth(I) = 1250
Next I
Grid1.Row = 0
Grid1.Col = 0
Grid1.Text = "Barriles"
Grid1.Col = 1
Grid1.Text = "Presión en cabeza del Pozo (psi)"
Grid1.Col = 2
Grid1.Text = "Presión en superficie del nitrogeno (psi)"
Grid1.Col = 3
Grid1.Text = "Presión en el fondo del nitrogeno(psi)"
Grid1.Col = 4
Grid1.Text = "Presión en el empacador (psi)"
Grid1.Col = 5
Grid1.Text = "Presión a nivel medio de disparos (psi)"
Grid1.Col = 6
Grid1.Text = "Presión diferencial aplicada (psi)"
Grid1.Col = 7
```