

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Programa Académico de Ingeniería de Petróleo  
y Petroquímica**



**T E S I S**

**Para optar el Título de:  
INGENIERO DE PETROLEO**

**Control de Reventones de un  
Pozo de Petróleo**

**Rolando Chávez Bayona**

**Promoción 1957**

**LIMA — PERU**

EXPERIENCIA PROFESIONAL DEL BACHILLER DE INGENIERIA DE  
PETROLEO Sr. ROLANDO E. CHAVEZ BAYONA EN LA COMPAÑIA  
PETROLEOS BRASILEIROS S.A. (PETROBRAS)

Agos. 1958 - Dic. 1959.	Ciclo de Entrenamiento en el Departamento de Perforación.
Dic. 1959 - Enero 1961	Ingeniero Fiscal de las compañías contratistas de perforación contratadas por Petrobras.
Enero 1961 - Junio 1965	Sección de Perforación de Pozos pioneros en las diversas áreas de la R.P. Bahía.
Junio 1965 - Julio 1970	Sección de Perforación de Pozos de Desarrollo.
Julio 1970 - Julio 1971	Sección de perforación de Pozos en la Plataforma Continental. Ingeniero Fiscal.
Julio 1971 - Actual	Sección de Perforación de Pozos en Areas de Desarrollo.

PRACTICAS Y EXPERIENCIAS ANTES DE EGRESAR

<u>FECHA</u>	<u>DESCRIPCION</u>
1955 ( 2 meses )	Entrenamientos en la Empresa Petrolera Fiscal - Lobitos.
1956 ( 2 meses )	Entrenamiento en la Empresa Petrolera Fiscal - Iquitos y Campò de Desarrollo de Ganzo Azul.
1957 ( 2 meses )	Entrenamiento en la International Petroleum Co. LTD.
1958 ( 2 meses )	Entrenamiento en la Creole Petroleum Company, Shell y Mene Grande - Venezuela.

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

Las fallas en el control del "blow out", están relacionadas directamente a las fallas humanas, como su principal causa, así como la falta de experiencia de los encargados del manejo de la sonda.

El entrenamiento del personal en simulacros de "kick" asociado a los constantes chequeos de los equipos de seguridad de la cabeza del pozo son las medidas a tomar. Los simulacros de "kick", no solamente corrigen la performance tornándola casi automática, sino también garantiza que los BOP estén en perfecto funcionamiento. Este método ejercita al personal a controlar posibles "blow out" en un tiempo mínimo.

Un conocimiento más profundo sobre las operaciones de matar pozo de parte del Encargado de la Sonda y del Ingeniero de Campo se hace necesario.

- - - - -

# 1. CONSIDERACIONES GENERALES

## 1.1. PRINCIPIOS APLICABLES A FLUIDOS ESTATICOS:

A una profundidad abajo de la superficie de un líquido de densidad uniforme hay una presión debido al peso del líquido. Esto puede ser representado como se sigue:

$$P = h \times d \times 0.052$$

donde:

P = presión hidrostática, psi.

h = profundidad, pies.

d = densidad, lbs/gal.

La constante 0.052 es usada para convertir lbs/gal para gradiente de presión.

Si el peso específico es usado a cambio del de densidad, la ecuación será la siguiente:

$$P = h \times sp.6 \times 0.433$$

1.2. Hay tre tipos de presión que son encontradas en operaciones de perforación. Ellos son: Presión hidrostática, "over burden" y Presión de Formación.

1.2.1. Presión Hidrostática - la presión ejercida a cualquier profundidad debido al peso del fluido.

agua dulce .....	0.433 psi/pie
agua de mar .....	0.444 psi/pie
agua salada (100,000 ppm).	0.465 psi/pie (gradiente normal).
agua salada saturada .....	0.520 psi/pie

1.2.2. Presión "over burden" - la presión ejercida a cualquier profundidad debido al peso de los minerales que componen los sedimentos más el peso de los fluidos en los espacios porosos de los sedimentos. Es aproximadamente igual a 1.0 psi/pie.

1.2.3. Presión de formación - la presión de formación sobre los fluidos contenidos en los espacios porosos. No hay necesariamente relación directa entre la presión de formación y la presión "over burden". Las presiones de formación normales son debido a la columna de agua que vá de la superficie hasta la formación.

Gulf Coast..... 0.465 psi/pie.

Mid Continent..... 0.433 psi/pie.

Presiones anormales son oriundas de cualquier formación porosa que se encontraba a grandes profundidades y que posteriormente por un proceso geológico cualquiera, aisladas en cuanto a la transmisión de presiones, quedaron relativamente próximas a la superficie, manteniendo de esta manera la presión original, se dá el nombre de "Presión Fósil" a estas presiones y el límite superior no deberá exceder de 1.0 psi/pie.

### 1.3. CONCEPTO DE VASOS COMUNICANTES.

Si una presión es aplicada a un fluido que no es comprimible ella es transmitida igualmente por todo el fluido.

#### 1.4. PRESION DINAMICA (Circulación)

Cuando los fluidos de perforación son circulados, una cierta cantidad de energía es necesaria para mantener el flujo. La presión es necesaria para contrarrestar la fricción y las fuerzas electro-químicas en el fluido. La cantidad de presión requerida depende del tipo de flujo.

1.4.1. Flujo turbulento - Debido a las altas velocidades dentro del tubo de perforación, de los DC y de los orificios de la broca el fluido presentará flujo turbulento. De acuerdo con las ecuaciones usadas para calcular la pérdida de presión en flujo turbulento hemos visto que la presión es proporcional al cuadrado del volumen. Esto nos dá un método de ajustar la presión por ajuste de las razones de volumen. Esto es importante cuando ocurre un "kick" por que podemos reducir la razón de circulación cuando colocamos el pozo en "choke" y tenemos que mantener la presión de acuerdo con la columna de perforación de manera a controlar la intrusión de los fluidos de formación. La ecuación para flujo turbulento es la siguiente:

$$P = \frac{f L v^2 W}{25.6 D}$$

donde:

P = presión, psi.

f = factor de fricción.

v = velocidad del fluido, pies/seg.

w = densidad del fluido, lbs/gal.

D = diámetro de la tubería, pulg.

L = longitud o profundidad, pies.

1.4.2. Flujo Laminar - Debido a la baja velocidad en el espacio anular el fluido tiene flujo laminar. Un conocimiento de las pérdidas de presión que ocurren en el espacio anular es muy importante porque si esas presiones son debidamente usadas ellas dan al lodo, automáticamente, un margen de seguridad.

La ecuación para flujo laminar es como sigue:

$$P = \frac{L(Y P)}{225 (D_h - D_p)} + \frac{L Y P V}{1500 (D_h - D_p)^2}$$

donde:

P = presión, psi.

L = Longitud o profundidad, pies.

YP = Punto de cedencia, lbs/100 pies<sup>2</sup>.

PV = viscosidad plástica, cps.

V = velocidad del fluido, pies/seg.

D<sub>h</sub> = diámetro del pozo, pulgadas.

D<sub>p</sub> = diámetro del tubo, pulgadas.

1.4.3. Principios aplicados a vasos comunicantes.

a. Condiciones estáticas

- columna de perforación - 0 psi.

- casing. - 0 psi.

- fondo del pozo. - presión hidrostática, psi.

b. En circulación

- columna de perforación - La presión es igual de la pérdida de presión del sistema.
- casing - 0 psi.
- fondo del pozo. - presión hidrostática más la pérdida de presión en el espacio anular.

c. Bomba sin funcionar - el mismo que Condición estática.

d. Retirando los tubos.

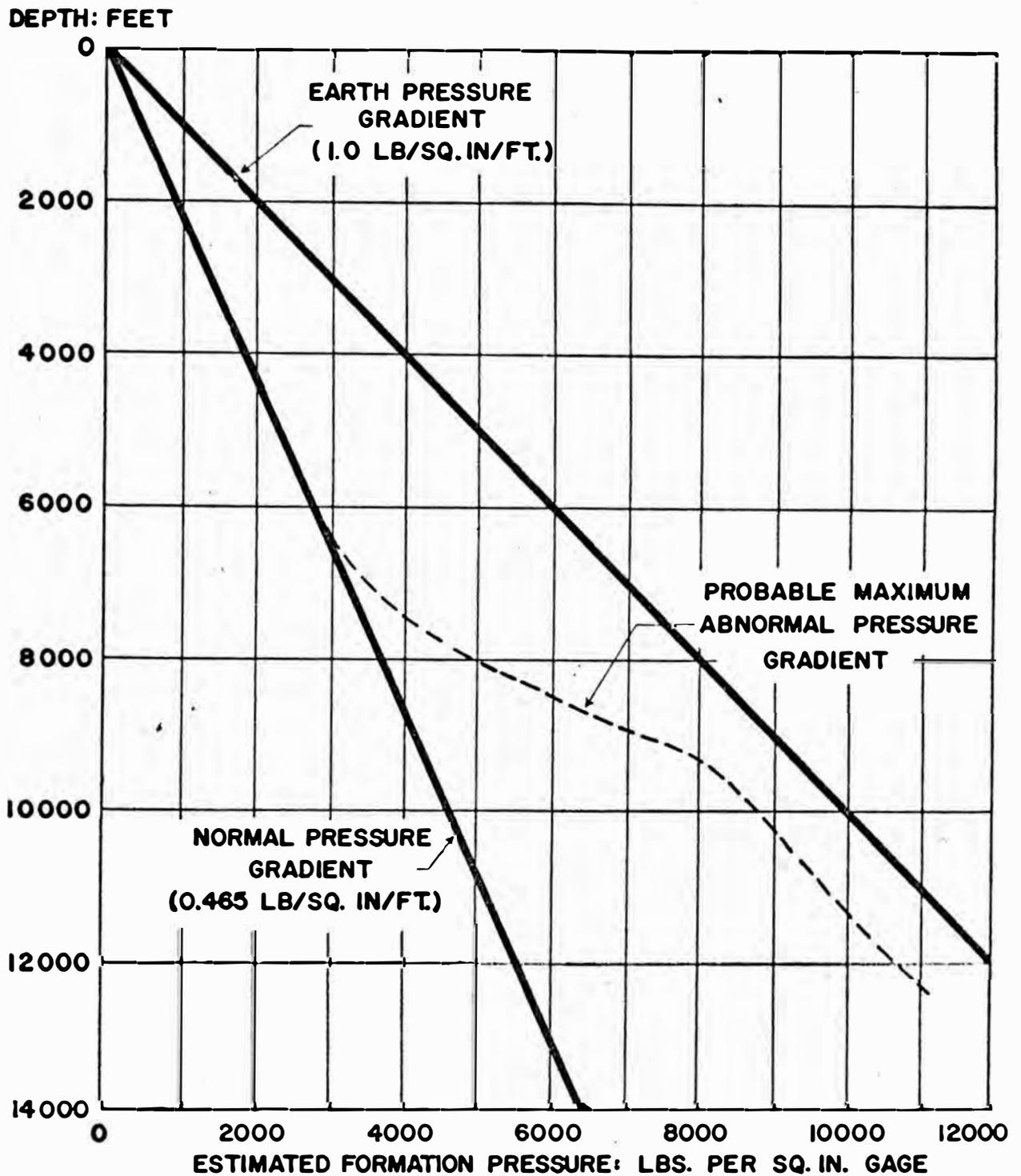
- Columna de perforación + 0 psi.
- Casing - 0 psi.
- fondo del pozo. - presión hidrostática menos la pérdida de presión en el espacio anular.

TABELA Nº 1 - Densidade das Lentes

DENSIDADE	E S O		GRADIENTE DE PRESSÃO psi/pé
	lbs/pé <sup>3</sup>	lbs/gal	
1.00	62.5	8.34	0.433
1.02		8.5	0.442
1.04	65.0		0.451
1.08	67.5	9.0	0.468
1.12	70.0		0.486
1.14		9.5	0.494
1.16	72.5		0.503
1.20	75.0	10.0	0.520
1.24	77.5		0.537
1.26		10.5	0.546
1.28	80.0		0.555
1.32	82.5	11.0	0.572
1.36	85.0		0.590
1.38		11.5	0.598
1.40	87.5		0.607
1.44	90.0	12.0	0.624
1.48	92.5		0.641
1.50		12.5	0.650
1.52	95.0		0.659
1.56	97.5	13.0	0.676
1.60	100.0		0.694
1.62		13.5	0.702
1.64	102.5		0.711
1.68	105.0	14.0	0.728
1.72	107.5		0.745
1.74		14.5	0.754
1.76	110.0		0.763
1.80	112.5	15.0	0.780
1.84	115.0		0.797
1.86		15.5	0.806
1.88	117.5		0.815
1.92	120.0	16.0	0.832
1.96	122.5		0.850
1.98		16.5	0.858
2.00	125.0		0.867
2.04	127.5	17.0	0.884
2.08	130.0		0.902
2.10		17.5	0.910
2.12	132.5		0.919
2.16	135.0	18.0	0.936
2.20	137.5		0.954
2.22		18.5	0.962

/no.

# Earth Pressure Gradients—U.S. Gulf Coast



## 2. CAUSAS DEL "KICK".

El primer síntoma de un "kick" es la elevación del nivel en los tanques de lodo. Un "kick" ocurre cuando la presión hidrostática de lodo del pozo es menor que la presión de la formación, provocando de esta manera flujo de flúidos para el pozo de la formación. "Kick" es resultado de uno o más factores abajo citados:

- lodo de bajo peso
- pozo parcialmente vacío.
- reducción de la presión hidrostática por pistoneo.
- reducción de la presión hidrostática por pérdidas de la circulación.
- perforación de zonas de presiones anormales.

2.1. Lodo de Peso bajo - Si estamos perforando con lodo de peso bajo, o sea, la gradiente de presión del lodo es inferior al de las formaciones atravesadas, los flúidos contenidos en las formaciones pueden invadir el pozo provocando de esta manera un "kick".

Por motivos de seguridad es costumbre utilizar un mayor peso de lodo del mínimo necesario. Llamamos de "over balance" la diferencia encontrada entre el peso calculado y el peso utilizado realmente. Un "over balance" de 10% en formaciones que poseen gradientes de presiones normales es satisfactorio para los trabajos de perforación.

2.2. Pozo parcialmente vacío - El censo mundial ( octubre 1966), sobre causas de "kick", ha demostrado que el 42% de los mismos son debidos a pozos que esta-

ban parcialmente vacíos, o sea, el perforador no atacó debidamente durante la retirada de la columna de perforación.

Es obvio que cuando retiramos la columna de perforación el nivel de lodo en el pozo cae proporcionalmente con el volumen del acero de las barras de perforación. Si dejamos caer el nivel del lodo en el pozo estamos reduciendo la presión.

El volumen de lodo usado para llenar el pozo puede ser controlado por la variación de nivel en el tanque. El número de barriles por pulgada debe ser conocido y el número de barriles por 10 (diez) secciones o múltiplos debe ser fijadas en la casa del perforador.

Sin embargo, pocos barriles en un tanque grande no puede ser exactamente medido, siendo aconsejable disponer de un tanque pequeño (10 bls), calibrado de barril en barril. Una verificación más fácil es convertir el volumen de los tubos retirados en strokes de la bomba y, simplemente, contar el número de strokes hasta que el lodo aparece en el retorno. Es aconsejable disponer de un contador de strokes.

La manutención de un pozo lleno es más crítica durante la retirada de DC del pozo, pues el volumen del acero de los DC es cerca de 4 a 5 veces mayor que la de los tubos de perforación. Por lo tanto, para evitar reducción en la presión hidrostática del fondo, el pozo debe ser abastecido de 4 a 5 veces

más que cuando se está retirando la columna de tubos.

Esta condición es aún más crítica en pozos sin casing con zonas de poca profundidad portadores de gas, porque la corta columna de lodo promueve solamente un margen de seguridad pequeño sobre la presión de la formación. Las tablas a seguir muestran la reducción en la presión del fondo para diversas secciones de DP y DC retiradas del pozo y para ayudar la interpretación, este valor de presión fue transformado en peso de lodo.

### 2.3. - Reducción de la Presión Hidrostática por Pistoneo.

Cuando se inicia la retirada de la columna, y la bomba es paralizada, hay una pérdida de la presión en la formación debido a no existir la pérdida de carga en el espacio anular, que se suma a la hidrostática del pozo. En esta situación el pozo podrá fluir y debe ser observado detenidamente. Lógicamente que el margen de seguridad fue disipado y la densidad del lodo debe ser aumentada, si hay flujo con la bomba parada.

Cuando se retira la columna, la broca actúa como si fuera un pistón y hay también una reducción temporaria en la presión del fondo mientras los tubos se mueven. La intensidad de esta reducción está ligada a los siguientes factores:

- a) Alta viscosidad del lodo.
- b) Costra de lodo espesa.

c) Existencia de protectores de casing y collares los cuales promueven restricciones en el espacio angular.

d) Broca encerada.

e) Existencia de "float valve" en la columna.

También cuando menor es la columna, menor es la intensidad del pistoneo, siendo la mayor intensidad de pistoneo cuando la broca deja el fondo, es en este momento que se toman mayores cuidados para determinar si los flúidos de la formación están siendo pistoneados para dentro del pozo. Si 5 barriles de acero son retirados, deben ser inyectados 5 barriles de lodo para abastecer el pozo (completar). Si solamente son necesarios 4 barriles, es porque un barril de petróleo, gas o agua salada entró en el pozo. Eso modifica las condiciones del lodo, contaminándola o hay infiltración de gas subiendo en el pozo durante la maniobra, resultando en "blow out" como puede ser visto en el gráfico (elevación de un barril de gas con expansión). Luego de constatado el pistoneo, la columna debe regresar al fondo, circulando y aumentando, si es el caso, el peso del lodo. Se recomienda la utilización de maniobra corta, o sea, retirada de 5 a 10 secciones, se regresa al fondo y se circula a fin de verificar el corte del lodo por el gas.

2.4. - Reducción de la presión hidrostática por pérdidas de circulación.

Una sustancial pérdida de fluido de perforación puede permitir que formaciones portadoras de fluidos (gas, petróleo o agua) arriba de la zona de pérdida ocupen el pozo ocasionando un "kick". Pérdidas de circulación pueden ocurrir en los siguientes casos:

2.4.1 - Cavernas

2.4.2 - Formaciones muy permeables

2.4.3 - Fracturas, fallas y juntas de rocas

2.4.4 - Arenisca semi-consolidado

2.4.5 - Uso de lodo con peso excesivamente elevado.

El uso del lodo con peso muy elevado es una de las principales causas de pérdida de circulación, además que después de haber sido fracturada la formación por primera vez y la circulación restablecida, tenemos el riesgo de fracturarla nuevamente con presiones mas bajas de la primera fractura. Esto se debe a que las formaciones se vuelven mas sensibles.

2.5. - Perforaciones en zonas de presiones anormales.

Presiones anormales son encontradas en la mayoría de los casos en pozos profundos, sin embargo nunca debemos negligenciar al perforar a pequeñas profundidades. La práctica mundial ha demostrado que no deberá ser causa de sorpresa encontrar altas presiones en pozos de poca profundidad. A cualquier área virgen deberá ser dispensada toda nuestra atención y cuidado.

Presiones anormales - son oriundas de cualquier formación porosa que se encontraba en grandes profundidades.

dades y que posteriormente por un proceso geológico cualquiera, quedarán relativamente próximos a la superficie, manteniendo de este modo la presión original.

En pozos profundos son necesarios altos pesos de lodo a fin de contener las presiones de las formaciones. Pueden esos altos pesos causar el fracturamiento de la formación y la consecuente pérdida de circulación. Revestimiento intermediarios son programados a fin de dar seguridad en el manipuleo del "kick".

Reducción aproximada de presión cuando en maniobra (DP-4 1/2 Rev. 10 3/4" - DC 8" x 2 3/4" - Lodo 74.9 lbs/pie PSI convertido en lbs/pie.						
Prof. (m)	Circulación sin funcionar. lbs/pie <sup>3</sup>	Efecto de pistoneo lbs/pie <sup>3</sup> (1)	RETIRADA DE LA COLUMNA SIN ABASTECER (2)			
			5 secciones DP	10 secciones DP	5 secc. DC	10 secc. DC
540	0.3	0.3	2 lbs/pie <sup>3</sup>	4 lbs/pie <sup>3</sup>	10 lbs/pie <sup>3</sup>	20 lbs/pie <sup>3</sup>
760	0.5	0.5	1 " "	2 " "	5 " "	10 " "
3,000	2.25	2.25	0.3 " "	0.5 " "	1.3 " "	2.5 " "

- (1) Debido al movimiento de la columna.
- (2) Debido a la caída del nivel del lodo.

**CAPACIDADES ANULARES**

POÇO	D. P.	D. C.	M/bbl	bbl/M
6 1/8"	3 1/2"		12,4237	0,0804
		4 3/4"	20,9907	0,0476
8 1/2"	4 1/2" 5"		6,0326	0,1657
			6,102	0,1505
		6 1/4"	9,4527	0,1057
		6 3/4"	11,7529	0,0850
		7"	13,4661	0,0742
8 5/8"	4 1/2" 5"		5,7950	0,1725
			6,3534	0,1573
		6 1/4"	8,8820	0,1125
		6 3/4"	10,8835	0,0918
		7"	12,3369	0,0810
9 5/8"	4 1/2" 5"		4,3332	0,2307
			4,6380	0,2156
		6 1/4"	5,8548	0,1708
		7 3/4"	9,6244	0,1039
		8"	10,9359	0,0914
9 7/8"	4 1/2" 5"		4,0597	0,2463
			4,3261	0,2311
		6 1/4"	5,3664	0,1863
		7 3/4"	8,3719	0,1194
		8"	9,3470	0,1069
12 1/4"	4 1/2" 5"		2,4167	0,4137
			2,5086	0,3986
		6 1/4"	2,8263	0,3538
		7 3/4"	3,4854	0,2869
		8"	3,6436	0,2744
		10"	6,2608	0,1597
17 1/2"	4 1/2" 5"		1,0967	0,9118
			1,1153	0,8966
		6 1/4"	1,1739	0,8518
		6 3/4"	1,2032	0,8311
		7"	1,2191	0,8202
		7 3/4"	1,2740	0,7849
		8"	1,2946	0,7724
		10"	1,5204	0,6577

CAPACIDADES INTERNAS

	g/bbl	bbl/m
D.P. 3 1/2", 13.3 lbs/pé	42,3802	0,0241
D.P. 4 1/2", 16.6 lbs/pé	31,4390	0,0456
D.P. 5", 19.5 lbs/pé	27,1598	0,0582
D.C. 4 3/4" x 2 1/4"	61,0942	0,0161
D.C. 6 1/4" x 2 7/8"	37,9700	0,0262
D.C. 6 3/4" x 2 7/8"	37,9700	0,0262
D.C. 7" x 3"	34,8717	0,0285
D.C. 7 3/4" x 3"	34,8717	0,0285
D.C. 8" x 3"	34,8717	0,0285
D.C. 10" x 3"	34,8717	0,0285

CAPACIDADES DE POZOS

Diámetro	bbl/m	m/bbl
6 1/8"	0,2193	8,3657
8 1/2"	0,2302	4,3438
8 5/8"	0,2371	4,2189
9 5/8"	0,2952	3,3877
9 7/8"	0,3106	3,2184
12 1/4"	0,4782	2,0914
17 1/2"	0,9758	1,0248

DESLOCAMENTO DE LODO DEVIDO A TUBULAÇAO E CONRADOS ( DC )

Especificação	bbl/m	1 seção bbl	5 seções bbl	10 seções bbl
D.P. 3 1/2", 13.3 lbs/pé	0,0149	0,4027	2,0135	4,0270
D.P. 4 1/2", 16.6 lbs/pé	0,0179	0,4833	2,4165	4,8330
D.P. 5", 19.5 lbs/pé	0,0214	0,5794	2,8971	5,7942
D.C. 4 3/4" x 2 1/4"	0,0559	1,5093	7,5465	15,0930
D.C. 6 1/4" x 2 7/8"	0,0983	2,6541	13,2705	26,5410
D.C. 6 3/4" x 2 7/8"	0,1190	3,2130	16,0650	32,1300
D.C. 7" x 3"	0,1275	3,4425	17,2125	34,4250
D.C. 7 3/4" x 3"	0,1629	4,3983	21,9915	43,9830
D.C. 8" x 3"	0,1754	4,7358	23,6790	47,3580
D.C. 10" x 3"	0,2902	7,8327	39,1635	78,3270

### 3.- TABULACION (DP) -- UN MEDIDOR DE PRESION DE FONDO

La columna de lodo contenida en el tubo, más la presión en los tubos de pozo cerrado miden la presión del fondo (BHP) y cuando se usan apropiadamente son de gran utilidad en el proceso de control de "kick". Cuando un "Kick" ocurre, el fluido de la formación fluye para el pozo y la presión de la formación en este momento es reducida, de manera que inmediatamente después de cerrado el pozo la presión verificada en el DP, con el pozo cerrado más la presión hidrostática del lodo, puede no ser igual a la presión de formación. Sin embargo después de un período de tiempo corto la presión de formación crecerá y se estabilizará de tal manera que la presión en el DP mas el peso de la columna de lodo corresponderá a la presión de la formación.

La presión en el casing mas la columna de lodo cortado y del fluido invasor será igual a la presión de la formación.

Si la presión del fondo es estabilizada el aumento en el peso del lodo para mantener la presión de la formación, puede ser calculado por la presión en los tubos con el pozo cerrado.

La presión en el casing puede ser usada también para este fin, pero el cálculo es más complicado desde que el lodo en el anular e s t á contaminado y la hidrostática debe ser calculada por la cantidad aumentada en el tanque y dimensión del anular. Todavía la presión constatada en el casing cerrado es la presión de "Choke" ne

cesaria cuando se inicia la circulación si la presión de la formación es balanceada evitándose el flujo para el pozo.

La presión de la circulación también provoca un exceso de presión en el fondo del pozo, que puede ser considerado como un pequeño factor de seguridad en el proceso de control del pozo.

Cuando es circulado la presión ejercida en el fondo es a aquella de la columna de lodo más cualquier sobre presión que es adicionada. El valor de la sobre presión es controlada por la presión en el estrangulador. Ella es au-mentada cerrándose el "choke" y disminuída abriéndose. Si las condiciones permiten es aconsejable mantener suficien-te sobre presión para que la formación no produzca duran-te el proceso de control, si esto no posible, se debe man-tener la mayor sobre presión que permitan las condicio - nes.

Existen dos procesos básicos para controlar un pozo en las amenazas de "blow out", utilizándose el control de presión en los tubos. El primero es llamado de " método de presión de fondo balanceado ".

El, paraliza el flujo inicial de la formación e impide flujo edicional hasta que el pozo esté limpio de flúidos extraños. Esto requiere que la presión hidrostática de los flúidos en el anular más la presión en el estrangula dor sea igual a presión de lodo en el DP más la sobre carga de presión en el DP y que también ambas sean igua- les a presión de fondo del pozo (BHP).

La presión de "choke" se puede tornar excesiva cuando una columna de casing corto de superficie está en uso o la resistencia a la rotura del casing es insuficiente. Esta condición obliga a un flujo de la formación con una baja presión de "choke" y aumentar el BHP tan rápido cuanto sea posible para la circulación de lodo de peso aumentado. Este es el proceso de baja presión en el "choke" y el segundo proceso básico.

### 3.1 METODO DE LA PRESION DE FONDO BALANCEADO

Si un pozo es cerrado cuando hay "kick" la presión en el pozo sube debido al flujo del fluido, hasta igualar la presión de formación. El fluido en DP no es contaminado y tiene una densidad conocida. La presión hidrostática de esta columna, más la presión en el (DP) es igual a presión de fondo del pozo en la extremidad del DP; es de esta presión de fondo necesaria, de donde se puede calcular el nuevo peso del lodo para matar el pozo. Con una válvula de retención en el DP, la presión necesaria para abrir la válvula con bombeo lento más la hidrostática del lodo en el DP es utilizada para el cálculo del nuevo peso del lodo. Con una formación de buena permeabilidad, 10 a 15 minutos son suficientes para que la presión suba hasta el equilibrio. En formaciones más cerradas se requiere más tiempo. Si un procedimiento correcto para mantener el BHP estabilizado, se está usando, el gas, aceite o agua puede ser circulado para fuera sin flujo adicional de fluido de la formación, ni excesiva presión de fondo (BHP).

Las ventajas son obvias, la columna no se atasca. Un exceso de presión de fondo aumenta la posibilidad de pérdida de circulación. El pozo quedará libre de fluido de la formación en un poco más de una circulación completa en el fondo.

La presión normal de circulación a cualquier flujo puede ser calculado por las cartas de presiones de circulación normal ajustada (anexo). La presión de circulación en las condiciones de perforación deberá ser conocida por las medidas diarias.

Si la presión en el DP disminuye durante el control, la abertura de "choke" debe ser disminuida. Si la presión aumenta la abertura de "choke" debe ser aumentada. Las correcciones deben ser hechas en la presión del DP a medida que el peso de lodo aumenta, pero esto no modifica el método. Alguna descarga de lodo debido a la expansión de gas se procesa en un aumento de presión en el "choke" se hace necesario para contrabalancear la descarga y mantener el BHP equilibrado; pero, esto es seguido automáticamente si la presión de bomba es mantenida con el "choke" anular. La curva presión en el casing x volumen bombeado, muestra el tipo de variación de presión cíclica en el "choke" al tiempo que el gas es circulado para fuera.

### 3.2. METODO DE LA BAJA PRESION DE "CHOKE".

Si durante el cierre del pozo o después del cierre antes de estabilizarse la presión de la formación, la presión se torna excesiva, este método debe ser utilizado.

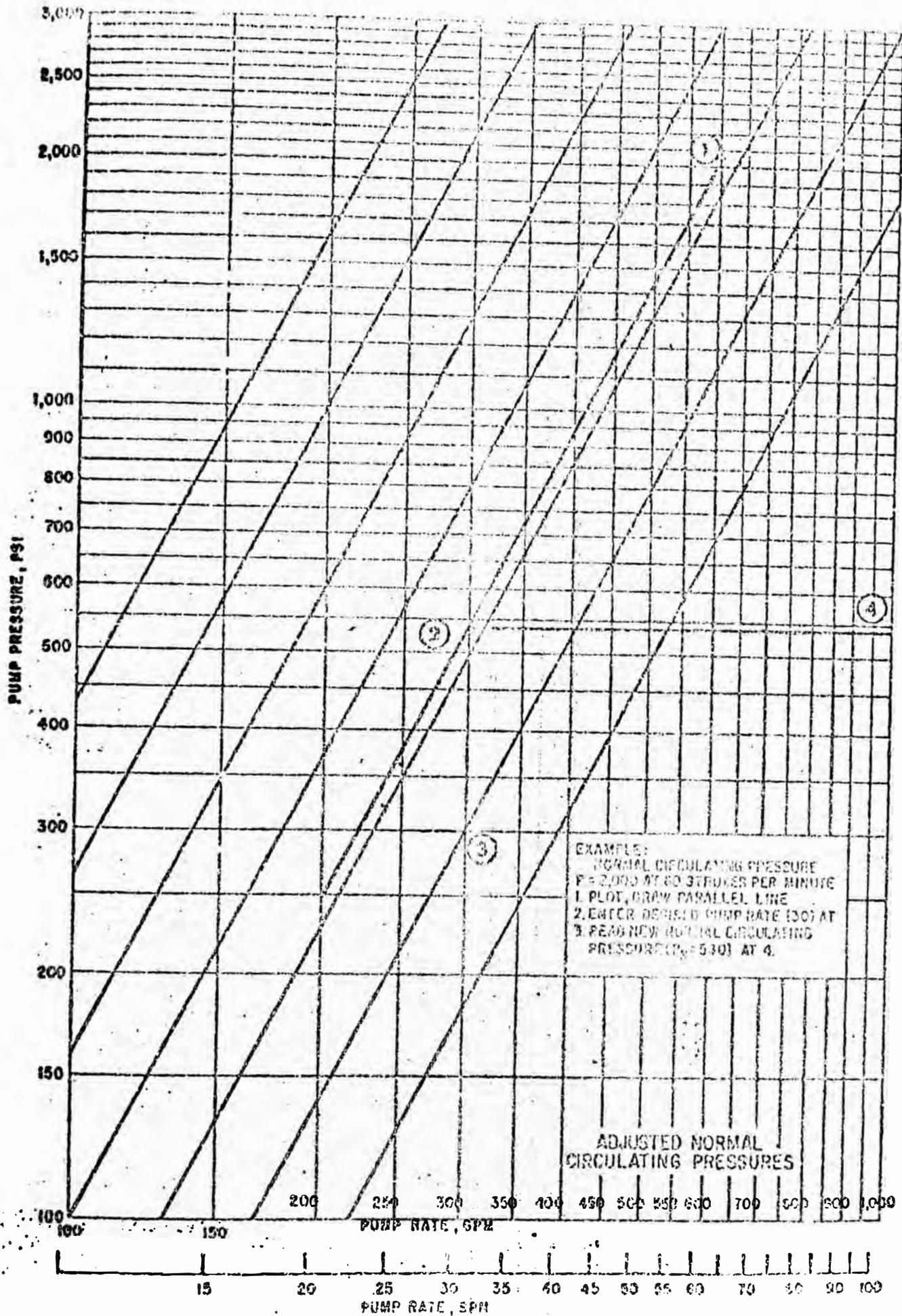
Este método necesita que el bombeo sea hecho a una presión en el "choke" baja, para evitar la rotura interna del casing o la quiebra de la formación abajo de la Sapata.

Cuando la presión de "choke" está siendo mantenida baja, debe ser reconocida que la formación continuará fluyendo, mientras que el lodo está circulando para fuera y, en este tiempo, el peso del lodo está siendo elevado en el anular y el lodo pesado permanece cortado y la baja presión de "choke" equilibran la presión de la formación. La presión normal de circulación deberá ser mitad de la usada durante la perforación, debiendo el perforador registrarla en cada turno. Si esto no es hecho, la presión de circulación normal ajustada puede ser calculada por las cartas de presiones de circulación normal ajustada.

Muchas veces el aumento del peso del lodo necesario puede ser calculado con cierta aproximación basada en la experiencia del área. Deberá ser mantenida toda esta sobre presión cuando inicialmente se controla el "kick", pero si es posible, el pozo deberá ser cerrado para lectura de presión, que naturalmente no debe exceder la presión interna del casing. Entonces alguna cosa a menos que lo deseado debe ser mantenido, hasta que el lodo pesado sea circulado en el anular. Cuando el lodo pesado es circulado hasta la superficie o parte del anular, otra tentativa debe ser efectuada, procurando cerrar el pozo. Si no hay exceso de presión en el casing,

el manómetro en el DP indicará el aumento de peso a ser adicionado al lodo para controlar el pozo y puede ser calculado. Si la presión en el DP es cero después de 10/15 minutos, el peso del lodo es suficiente, excepto en formaciones cerradas, quizás sea necesario descargar la presión en el DP para asegurar que realmente no existe presión. Si continúa fluyendo, posiblemente 0.2 a 0.3 lbs/gal de aumento en el peso del lodo, será necesario, si no hay flujo, todo estará normal.

Otra verificación que puede ser hecha para evitar exceso de presión es parar la bomba y ver si la presión de "choke" puede ser descargada. Esto es tentado cuando se estima que suficiente peso del lodo haya sido circulado en el anular, pero el lodo continúa cortado por el gas. Si el pozo no fluye no se hace necesario aumentar el peso del lodo o la presión en el "choke".



At whatever rate a well is circulated, there is a normal circulating pressure for mud weight used. The driller will usually know this pressure for circulation rates and mud weight used while drilling. But when choke pressure is added, it may not be possible to use this rate without exceeding liner pressure. A normal circulating pressure at a rate usable with high choke pressure can be determined at any pressure-circulating rate combination using the chart, Adjusting Normal Circulating Pressures.

#### 4.- PAUTAS PARA PREVENIR "BLOW OUT"

Las fallas en el control del "blow out" están ligadas directamente a las fallas humanas, como su principal causa, así como la falta de conocimiento del personal de perforación. En la mayor parte de las fallas el personal de mayor capacidad, generalmente no se encuentra en la perforación cuando el problema surge.

Un curso reciente en la Universidad de Texas, sobre los auspicios de la AAODC, recomienda el proceso de control de presión de los tubos (DP) y otras compañías presentan el método como el más usado. Algunos autores tienen propuesto el control de presión del fondo cuando en circulación de "kick", por el uso de las presiones del anular, en lugar de utilizar las presiones de los tubos.

El Proceso de Control de presión en el tubo (DP) es básicamente el mismo en todos los casos, variando solamente el modo de elevar el peso del lodo. Existen cuatro posibilidades:

- 1 - Comenzar aumentando el peso del lodo mientras circula inmediatamente después de cerrar el pozo y abrir el "choke" - Método de presión balanceada".
- 2 - Aumentar el peso del lodo en los tanques antes de circular.
- 3 - Circular y limpiar el pozo de flúidos extraños, cerrar el pozo, aumentar la densidad del lodo en los tanques y así que esté listo el lodo pesado, circular - "Método del Perforador".

4 -- Circular el pozo y retirar los flúidos extraños y, en tonces, aumentar la densidad mientras circula.

El primer proceso resultará en una mínima presión en el estrangulador y en un tiempo mínimo de exposición a las presiones del equipo de la cabeza del pozo. Este es el método más seguro, pero es el más complicado para enseñar, debido a la necesidad de hacer un gráfico relacionando peso de lodo y presión en el tubo.

El segundo proceso no puede ser usado debido a la inversión de presión que se procesará aumentando las presiones en la cabeza del pozo y dejando que los flúidos extraños contaminaren el lodo del pozo, durante el período sin circulación, aumentando la posibilidad de atascar la columna. El tercer procedimiento es relativamente seguro; evitará trazado de gráfico y necesita un mínimo de cálculo. Este fue aprobado por el reciente curso de la AAODC.

El último proceso tiene las complicaciones del primero y requiere tiempo adicional.

Considerando la semejanza entre el curso AAODC y de la Magcobar, se debe adoptar el procedimiento N° 3 como el más aceptable.

El método de la presión de fondo balanceada ("Balanced Pressure Method"), permite el control de pozo en un menor tiempo, pero requiere más conocimiento. Por otro lado, siendo empleado el método del Perforador ("Driller Method") cualquier persona conociendo el proceso de presión balanceada puede iniciar el aumento de peso del lodo y luego llenar la hoja de cálculo. El método del Perforador debe

ser enseñado al personal del Perforador, mientras que el método de presión balanceada a los ingenieros y supervisores. Los métodos discutidos implican el cerrar del pozo y el crecimiento de presión en sentido de saber cual es el peso necesario de lodo para controlar el pozo. Sin tal procedimiento, el proceso de matar es incierto. El pozo puede fluir por un largo período de tiempo, mientras insuficiente contra presión en el "choke" está siendo mantenida, la columna se atascará y la combinación de exceso de presión en el "choke" y la adición de materiales pesado, podrá causar pérdida de circulación. Algunos pozos han necesitado numerosas circulaciones hasta su control, cuando una o a lo máximo dos circulaciones completas serían suficientes. En un gran número de pozos la columna quedó atascada debido al largo tiempo perdido en el control, mientras que en otros pozos cerrados durante la lectura de presión, no hubo presión. Cerrar un pozo puede ser extramadamente peligroso, con columnas de casing cortas, lo que fatalmente resultará en "blow out" al derredor del casing asimismo, suponiendo que la formación soporta una gradiente de presión 1 psi/pie, en el fondo de una columna corta, ésto es discutible. Esta gradiente puede ser excedida si el "kick" viene de grandes profundidades. No se puede considerar como correcto que largas columnas de casing de superficie vengán a solucionar el problema. Existen los riesgos de perforar profundo, solamente con tubo conductor. Cerrar el pozo en estas condiciones, fatalmente traerá serios problemas. También alargar demás las columnas de casing para cortos trechos perforados es anti-econó-

mico. Se tiene perforado largos intervalos con columnas de casing de superficie, relativamente cortas y la experiencia al curso de largos años, tiene probado la ventaja de este método.

Un procedimiento razonable para evitar columnas largas de casing es establecer limitaciones de presión en el casing de superficie y aplicar el mejor método posible para manipular el "kick" bajo tales condiciones. Las limitaciones no son solamente necesarias en la ocasión de cerrar el pozo, sino también cuando se circula el "kick".

En el caso de casing de superficie, las hojas de cálculo presentan una limitación de 50% de la profundidad del casing, convertida en psi. Esto equivale a suponer que la formación no romperá con lodo de 9.6 lbs/gal. o gradiente de 0.5 psi/pie.

Si pesos más altos de lodo son usados, más altos gradientes resultan. Felizmente la mayor parte de los pozos que experimentan "kick" no necesitan presiones que excedan las limitaciones. Las áreas de presiones anormales, la necesidad de alargar el casing es obvio, dando seguridad en el manejo de "kick" procedente de una inesperada zona de alta presión encontrada.

En la práctica una limitación de 50% de la profundidad en los casing de superficie convertida en psi. parece razonable. Se sugiere 80% de límite de ruptura de los intermedios, como una segunda limitación. Cuando las presiones anormales amenazan exceder las limitaciones de los casing no hay ninguna manera para determinar la densidad requerida

de lodo, y las condiciones son tales que la formación seguirá a fluir, hasta que la densidad sea aumentada de tal forma que la columna de lodo, más la presión en el "choke" (limitada) sea igual a la presión de la formación.

Felizmente la mayoría de los "kick" requieren menos de 2 lbs/gal de aumento de densidad para controlarlo, esto permite una estimativa razonable de incremento de peso de lodo requerida, en la ausencia de valores medidos.

Estos factores fueron incorporados en el proceso "Método de baja presión de "Choke" el cual fué designado para cubrir los casos en que las limitaciones de presión en el casing serían excedidas si es utilizado el "Método de presión balanceada".

#### 4.1 EXPANSION DEL GAS

Es importante para todos aquellos que deben controlar amenazas de "blow out", comprender la acción del gas en el pozo. Todas las situaciones no pueden ser previstas y esfuerzos de control bajo circunstancias particulares pueden ser modificadas.

El encargado de control queda subordinado directamente a sus conocimientos de como el gas se expande dentro del pozo. La expansión del gas, según la presión varía, es predecible y esto permite cálculos bajo condiciones ilustrativas de variación de presión del fondo del pozo según el gas sube a través del fluido de la perforación.

La entrada de una burbuja de gas en el pozo es potencialmente peligrosa aún mezclada con el lodo, pues ella puede expandirse bastante, según sube o es bombeada. Próximo a

la superficie, ella deslojará gran cantidad de lodo, reduciendo aun más el BHP (Presión en el fondo del pozo) y permitiendo al mismo entrar en "blow out".

La ilustración: ELEVACION DE UN BARRIL DE GAS CON EXPANSION (Fig.2) ilustra este asunto. Esta situación puede ocurrir fácilmente en un pozo parcialmente pistoneado, mientras que una maniobra de retirada de la columna se inicia. Como el gas es más leve que el lodo, él se elevará con la disminución de la columna de lodo arriba de él, se va expandiendo mientras sube. Esta expansión inicialmente pequeña, súbitamente se vuelve violenta cuando el gas se acerca a la superficie. Si el gas es circulado del fondo del pozo, la misma expansión ocurre, pero ella puede ser aún más rápido, debido a que el lodo eleva al gas a una velocidad mayor. El gas subirá también en un pozo cerrado, porque él es menos denso que el lodo y no podrá expandir en esta circunstancia, conservando su presión mientras se eleva. Según el gas se aproxima a la superficie la presión es adicionada a la columna de lodo resultando en una excesiva presión de fondo (BHP). El gráfico anexo: ELEVACION DE UN BARRIL DE GAS SIN EXPANSION (Fig.3) muestra tal condición. Si no es permitida la expansión del gas, la presión del fondo del gas actuará en la cabeza en el momento en que el gas alcanza la superficie.

#### 4.2. LODO CORTADO POR EL GAS

Si el lodo se presenta severamente cortado en la superficie, indica solamente una pequeña reducción en la presión del fondo. En una columna de lodo cortado por gas la presión

sobre el gas aumenta rápidamente con la profundidad, de manera que el volumen del gas esparcido a través del pozo es muy pequeño y reduce muy poco la columna hidrostática. El gráfico reducción actual en la presión de fondo ilustra este punto (Fig.1).

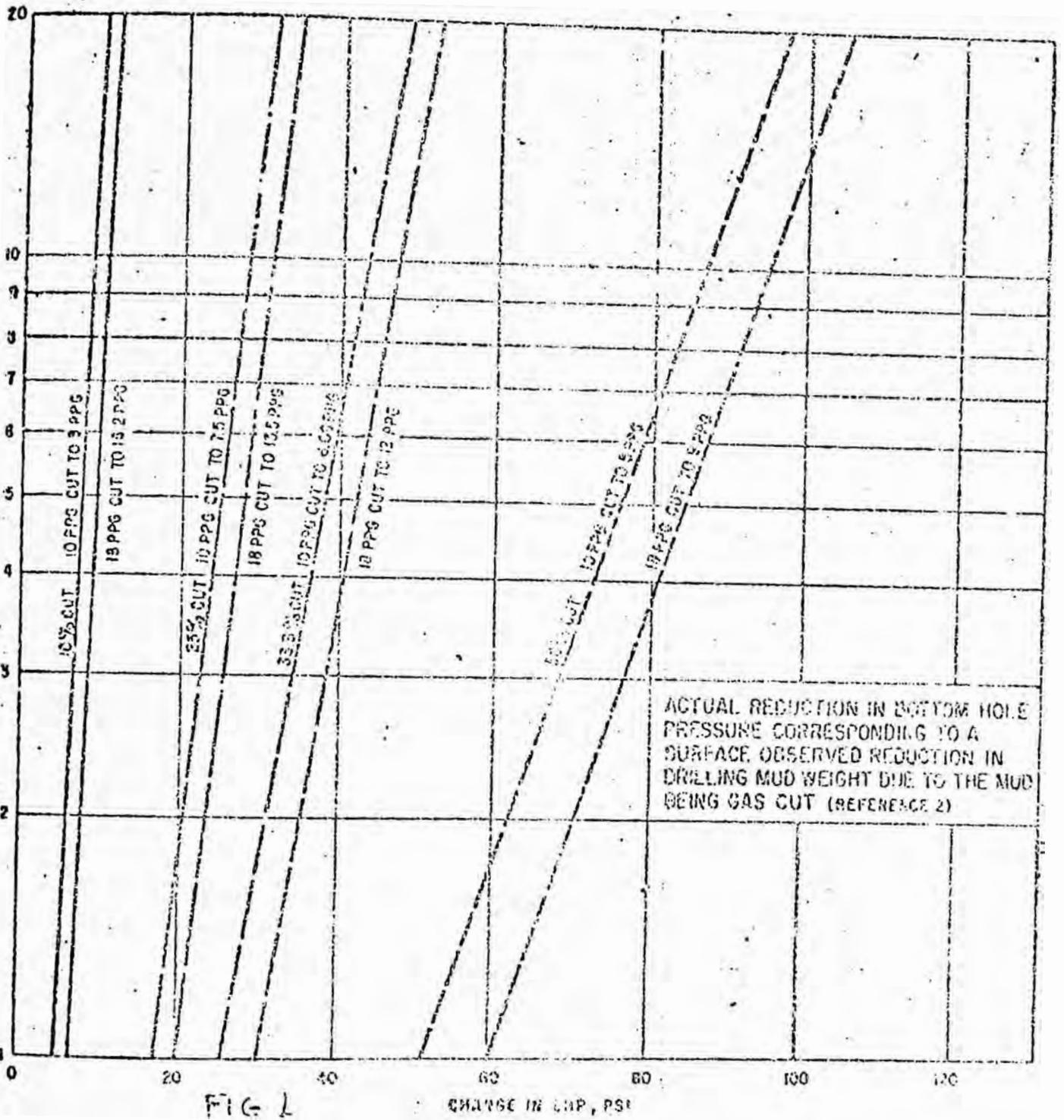


FIG 1

an 18 ppg mud is cut to 9 ppg at the surface and if the gas is evenly distributed from top to bottom of the hole, the reduction in BHP at 10,000 feet is only 90 psi or equivalent to reducing the mud weight by 0.2 ppg. If no flow occurs when the pump is shutdown, hydrostatic pressure and mud weight are sufficient. There could be a slug of gas in the annulus that would later cause trouble and caution is indicated, but gas cutting by itself is not serious. A very small amount of gas at bottom conditions can gas-cut a large amount of mud at surface conditions. Drilling a porous sand, or drilling in a well with trapped gas or circulation after a trip will often produce these results.



## 5.- DETECTACION DE "KICKS"

### 5.1 - DETECTACION DE KICKS DURANTE LA PERFORACION

En todos los casos el kick durante la perforación es indicado por un aumento de nivel de lodo en el tanque.

Toda perforación debe disponer de un indicador de nivel de lodo en el tanque, para indicar aumento o pérdida. En pozos exploratorios o de desarrollo, indicadores automáticos de nivel de tanque, deben ser utilizados con mostradores localizados cerca del perforador para que él mismo sea verificado durante la perforación o maniobra.

Cuando el "kick" ocurre la presión necesaria en la superficie para contenerla depende de la rapidez de cierre, pues así se pierde menos lodo y se lee presiones más bajas. Cuanto mayor es la cantidad de lodo perdido mayor contra presión será necesaria.

Tipos de "kicks" durante la perforación:

#### 1 - Formación muy permeable, desequilibrada por la presión hidrostática del lodo.

Este es el "kick" más peligroso, siendo indicado por un rápido aumento en el nivel de los tanques y un rápido flujo de lodo del pozo. El lodo no se presenta cortado por el gas y considerable volumen de lodo fluir<sup>á</sup> del pozo. El flujo iniciará con la indicación de una quiebra o avance en el ritmo de la perforación(dri

lling break).

2 - Formación de baja permeabilidad desequilibrada por la presión hidrostática.

Perforando talos formaciones solamente un pequeño aumento del nivel de lodo es observado, y frecuentemente lodo cortado por gas se observa cuando el desequilibrio sea pequeño.

El volumen de lodo en el tanque puede permanecer estable o baja presión en el estrangulador y quiebra del ritmo de perforación no se verifican. Es entre tanto, peligroso asumir que tales formaciones cerradas existen sin que se tenga experiencia en el área. La socción de Wolfcamp - Pensilvania, de la formación Delaware es de tal naturaleza y la perforación es hecha con algún desequilibrio, pues si así no es, el progreso de la perforación sería bastante perjudicado.

5.2 - DETECTACION DE "KICKS" DURANTE LA MANIOBRA.

Cuando aparece el "kick" durante la maniobra de retirada del pozo, será indicada, inicialmente, por el hecho de que el pozo no recibe el volumen de lodo correspondiente a las secciones de tubos retirados. Cuando desciende en el pozo, el nivel del tanque crecerá más que lo de las secciones bajadas. El perforador y "pusher" deberán conocer el volumen de lodo de 10 secciones retiradas o bajadas y verificar el aumento o pérdida del nivel, en intervalos, para certificar de que el nivel no está su-

biendo o bajando demasiado durante la bajada o retirada de la columna, respectivamente.

1 - Cuando la columna está en el pozo y el flujo es observado, una válvula de seguridad interna de tubo debe ser conectada inmediatamente y el pozo cerrado, observando las restricciones de presión.

2 - Cuando los DC están en el BOP y el flujo es observado, una válvula común o válvula de seguridad interna de tubo debe ser conectada y el pozo debe ser cerrado, utilizando el equipo anular (Hydrill), observando las restricciones de presión. Para evitar que los DC sean lanzados fuera del pozo, el dispositivo del tubo debe ser cerrado contra la parte cónica del cuello, si solamente una sección de DC esté en el pozo. Del mismo modo los DC deben ser amarrados en el cuello de seguridad o en la subestructura de la torre.

En el caso de un flujo inesperado y violento, los DC deben ser colocados en el pozo y el dispositivo de BOP cerrado.

El pozo puede ser controlado con el peso del lodo usado durante la perforación, antes de la maniobra, si los tubos pueden ser bajados a través de Hydrill cerrado (operación stripper) hasta el fondo, caso no sea posible el peso del lodo deberá ser aumentada de un valor corres-

pendiente a la altura de la columna que no fué posible bajar.

5.3 - DETECCION DE "KICKS" CUANDO LA HERRAMIENTA ESTA FUERA DEL POZO.

Antes que el lodo suficiente fluya para mostrar elevación en el indicador de nivel, pequeño flujo será observado en la línea de descarga. Si se constata esto, las medidas serán efectuadas antes que la situación se complique.

Las líneas de flujo deben ser lo más rígido posible y dispuestas de manera que puedan ser observadas de la plataforma del perforador.

Si la detección se verifica después de una mayor razón de crecimiento, el peligro para el pozo y equipo es mayor y el control es difícil.

Cuando el flujo es detectado el cajón ciego debe ser cerrado inmediatamente, es observando las restricciones de presión.

El lodo puede ser bombeado, comprimido el gas y bajando la presión, mientras se aumenta el peso de lodo para matar el pozo de arriba. Si la presión amenaza aumentar excesivamente durante el cierre, la circulación debe ser restablecida por la línea de matar y líneas de "choke" abajo del cajón ciego, utilizando máxima presión de "choke" permitida.

6.- MEDIDAS QUE DEBEN SER TOMADAS PARA COMBATIR LAS AMENAZAS DE "BLOW OUT".

Sabemos que las medidas que deben ser tomadas varían de pozo para pozo, y que lo que sigue aquí sugerido es apenas para servir de guía.

- 1 - Fijar el volumen de circulación para matar el pozo, que debe ser la mitad de aquella usada para la perforación. Esta bajo flujo es usada para reducir al mínimo las pérdidas de carga anular, así como dar tiempo al personal de perforación para aumentar el peso del lodo. Se debe recordar que la presión hidrostática total durante la operación de matar es la suma de: (1) contra presión en el anular, (2) hidrostática del lodo leve y del lodo pesado en el anular, (3) hidrostática del gas, o aceite, o agua salada en el anular, (4) pérdida de carga en el anular.
- 2 - Se usa normalmente el Hydrill para cerrar el pozo. Cuando el pozo es cerrado, la columna debe ser reciprocada, despacio hasta el "tool joint" o protector de casing. Se debe trabajar con la columna durante todo el tiempo en que el pozo esté cerrado. Esto debe ser hecho despacio a fin de obtener una buena lectura de presión, así como para evitar "pistonear" el pozo. Este movimiento de tubos es extremadamente importante, a fin de prevenir contra presión causada por presión diferencial, fricción en las paredes y aumento de costra.
- 3 - Después de efectuada la lectura de presión en la columna de perforación se debe decir al personal del

nuevo peso del lodo necesario para contra restar la presión de fondo. Así, la elevación del peso de lodo puede ser iniciado en un mínimo espacio de tiempo posible. Se recomienda que después de cerrado el pozo, el bombeo sea iniciado dentro de, a lo máximo, aproximadamente 30 minutos.

- 4 - La operación de matar el pozo puede ser dividida en 2 partes: La primera parte consiste en desplazar la nueva porción de lodo de un volumen correspondiente al de la columna de perforación. Durante esta operación, se debe mantener constante presión en el casing. Mientras se está bombeando el lodo de nuevo peso (lodo de matar) la presión en el DP deberá caer proporcionalmente. Por ejemplo, cuando se tenga en el DP una presión de 1,000 psi (pozo cerrado) y la capacidad en el DP sea de 2,000 "strokes", después de bombearse la mitad de la capacidad del DP, o sea 1,000 "strokes", la presión de circulación deberá caer de 500 psi. Si la presión de circulación seleccionada es 1,500 psi., la presión para iniciar el bombeo será de 2,500 psi (1,500 + 1,000). Después de haber sido bombeado mitad del volumen del DP, la presión de circulación deberá ser 2,000 psi. Después de desplazar todo el volumen del DP con el lodo de nuevo peso, la presión en el DP será cero (caso sea parado la bomba) y la presión de circulación aproximadamente 1,500 psi.

La presión de circulación exacta sería:

$$1,500 \times \frac{\text{Peso de lodo nuevo}}{\text{Peso de lodo inicial}}$$

Si el peso de lodo inicial fuera 14 lbs/gal y el peso del nuevo lodo 15 lbs/gal, la nueva presión de circulación sería:

$$1,500 \times \frac{15}{14} = 1,607 \text{ psi.}$$

Esta nueva presión de circulación (1,607 psi) será de aquí para delante el nuevo punto de Control. La segunda parte de la operación de matar consiste en mantener constante la presión en la columna de perforación, lo que es conseguido variando la contra presión en el casing. Es muy importante no variar la velocidad del bombeo durante la operación de matar. Así, manteniendo la presión en el DP, constante, variando la apertura del "choke", conseguimos una sobre presión en el fondo del pozo, de 25 a 50 psi. Si la presión en el casing no es suficiente para contrarros - tar la presión de la formación, la presión en el DP caerá en virtud de la hidrostática anular disminuir, debemos aumentar la contra presión en el casing hasta que la presión en el DP regrese al valor pre-de - terminado (1,607 psi en el ejemplo anterior). Si la contra presión es excesiva, la presión en el DP aumentará (por ejemplo 1,700 psi) y la presión en el casing deberá ser reducida hasta que la lectura en el DP regrese a aquella pre-determinada (1,607 psi).

Regulando la presión de esta manera, la presión en el fondo estará siendo balanceada. Cuidado especial debe ser tomado al variar la contra presión, pues el efecto de esta variación solamente será notada en el DP de 45 a 60 segundos.

- 5 - La razón para utilizarse peso de lodo suficiente solamente para contrarrestar exactamente la presión de fondo, es para que tengamos mayores oportunidades de matar el pozo sin pérdida de circulación o presión de herramienta. Es bueno recordar que, en la circulación, además de la hidrostática en el anular, existe una presión adicional que no fué llevada en consideración: la pérdida de carga en el anular, que actúa en el sentido de contrarrestar la presión en el fondo, mientras se está matando el pozo.
- 6 - Normalmente una circulación es suficiente para matar el pozo. Pero, después de abrir el equipo de seguridad, normalmente es necesario circular para limpiar el pozo. Por otro lado si el pozo fué muerto con lodo de peso suficiente, solamente para contrarrestar la presión de la formación, es necesario que el peso sea aumentado para ser hecha la maniobra. El pistoneo aparece durante la maniobra debido a la columna de perforación, está moviéndose a través del fluido de perforación, ocasionando de esta forma pérdidas de carga en el espacio anu-

lar iguales a las que aparecen durante la perforación, sin embargo mientras perforamos poseemos la bomba de lodo para vencer las pérdidas de carga, en las maniobras, debido a la ausencia de la bomba, las pérdidas de carga resultarán en la reducción de presión en el fondo del pozo.

MARGEN DE SEGURIDAD: PERDIDA DE CARGA EN EL ANULAR X 2

$$P = \frac{L \times Y \times P}{225 (D_h - D_p)} + \frac{L \times PV \times V}{1,500 (D_h - D_p)^2}$$

7 - Se puede asumir que la mayoría de los pozos tienen diámetro uniforme en su parte inferior, por lo tanto, un cálculo bastante preciso de la altura de fluido infiltrando puede ser hecho si el aumento de volumen es conocido.

La ecuación siguiente puede ser usada en la determinación del fluido infiltrado.

$$Y = \text{peso del lodo} - \frac{SICP - SIDPP}{L \times 0.052}$$

donde:

L = altura del fluido infiltrado, en pies.

SICP = Presión del casing cerrado, en psi.

SIDPP = Presión de la columna de perforación, en psi.

Y = peso del fluido infiltrado en lbs/gal.

si:

Y = 9 - 10 lbs/gal, el fluido es agua salada.

Y = 1 - 3 lbs/gal, el fluido es gas.

- 8 - Si durante la operación de matar un pozo, se observa gradual pérdida de retorno de fluido, se debe reducir la contra presión en el casing de una cantidad igual a la pérdida de carga en el anular. Esto debe ser hecho por etapas de 50 en 50 psi. Hay casos en que, reduciendo la presión del casing de tan pequeño valor, habrá posibilidades de matar el pozo sin pérdida de circulación adicional. Se debe notar que esta reducción de presión en el casing no podrá exceder del valor de la pérdida de carga en el anular, bajo la pena de entrar más gas en fondo del pozo.
- 9 - Si por acaso no se tenga medios de aumentar el peso del lodo, después de verificar el "kick", alguna providencia debe ser efectuada para evitar el aumento de presión del casing. Lo que se debe hacer es comenzar la circulación y variar la contra presión en el casing a fin de mantener constante la presión en el "drill pipe", durante toda la circulación. Así se puede contrarrestar la presión de fondo y circulado hasta la superficie todo el fluido producido sin nuevas entradas de fluido en el pozo. Después de esta circulación, el pozo puede ser cerrado, continuando el trabajo con la columna. Con los dos lados cerrados, el pozo no producirá, y deberemos tener presiones idénticas en el casing y en la columna de perforación. Después de aumentado el peso del lodo, el pozo puede ser muerto de la manera más usual.

P R O B L E M A

Se perfora un pozo de 12  $\frac{1}{4}$ ", con columna de 5" y lodo de 14,5 ppg., cuando a 13,500 pies se encuentra una formación que necesita lodo de 15 ppg., habiendo una disponibilidad de 30 bbls.

- - - - -

INFORMAÇÕES PARA CONTROLE DE "KICKS"

POÇO \_\_\_\_\_ DIAMETRO 12 1/4 " PROF. 4100 m 13500 pés. DATA 1 1

B.O.P. 12 " PRESSÃO TRABALHO 5000 psi. TESTADO COM \_\_\_\_\_ psi. EM \_\_\_\_\_

HYDRILL 12 " PRESSÃO TRABALHO 5000 psi. TESTADO COM \_\_\_\_\_ psi. EM \_\_\_\_\_

CHOKE MAN. 2 " PRESSÃO TRABALHO 5000 psi. TESTADO COM \_\_\_\_\_ psi. EM \_\_\_\_\_

REVESTIMENTO CONECTADO AO B.O.P. 13 3/8 " PESO/PÉ 72. GRAU N-80 PRES. INTERNA 4900 psi.

PROF. SAPATA ULTIMO REVESTIMENTO 3060 m. PROF. BROCA \_\_\_\_\_ m. = \_\_\_\_\_ pés.

FORMAÇÃO ABAIXO SAPATA TESTADA COM 16 lb/gal.

PESO LAMA ORIGINAL 14.5 lb/gal. PV 35 cps. YP 10 lb/100 pés<sup>2</sup>.

A. TUBOS PERF.: D.E. 5 " D.I. 4.276 PESO/PÉ 195 GRAU 2-95 RESIST. TRAÇÃO \_\_\_\_\_ lbs.  
 D.E. \_\_\_\_\_ " D.I. \_\_\_\_\_ PESO/PÉ \_\_\_\_\_ GRAU \_\_\_\_\_ RESIST. TRAÇÃO \_\_\_\_\_ lbs.

CAPACIDADE : 0.0582 bbls/m. TOTAL METROS 4100 CAPACIDADE TOTAL 240 bbls (1)  
 \_\_\_\_\_ bbls/m. TOTAL METROS \_\_\_\_\_ CAPACIDADE TOTAL \_\_\_\_\_ bbls (2)

B. COMANDOS : D.E. 0 " D.I. \_\_\_\_\_ " D.E. \_\_\_\_\_ " D.I. \_\_\_\_\_ "  
 CAPACIDADE : \_\_\_\_\_ bbls/m. TOTAL METROS \_\_\_\_\_ CAPACIDADE TOTAL \_\_\_\_\_ bbls (3)  
 \_\_\_\_\_ bbls/m. TOTAL METROS \_\_\_\_\_ CAPACIDADE TOTAL \_\_\_\_\_ bbls (4)

C. CAPACIDADE INTERNA TOTAL [(A - 1) + (A - 2) + (B - 3) + (E - 4)] \_\_\_\_\_ bbls (5)

D. BOMBA Nº 1 : TIPO 818-P CAMISA 6 "x 18 " PRESSÃO TRABALHO 2750 psi.  
 (6) BBLs/CURSO 0.179 A 30 CPM: 512 psi 225 gal/min 5.4 bbls/min. (7)

BOMBA Nº 2 : TIPO \_\_\_\_\_ CAMISA \_\_\_\_\_ "x \_\_\_\_\_ " PRESSÃO TRABALHO \_\_\_\_\_ psi.  
 (8) BBLs/CURSO \_\_\_\_\_ A 30 CPM: \_\_\_\_\_ psi \_\_\_\_\_ gal/min \_\_\_\_\_ bbls/min. (9)

E. NUMERO DE CURSOS E TEMPO PARA A LAMA NOVA CHEGAR A BROCA

PARA A BOMBA Nº 1  
 (C-5) 240 bbls / 0.179 (D-6) BBLs/CURSO = 1340 cursos (1)  
 (E-1) 1340 cursos / 30 CPM = 44.5 min.

PARA A BOMBA Nº 2  
 (C-5) \_\_\_\_\_ bbls / \_\_\_\_\_ (D-6) BBLs/CURSO = \_\_\_\_\_ cursos (2)  
 (E-2) \_\_\_\_\_ cursos / 30 CPM = \_\_\_\_\_ min.

F. VOLUME ANULAR ENTRE O POÇO E :  
 COMANDOS \_\_\_\_\_ bbls/m x \_\_\_\_\_ m. = \_\_\_\_\_ bbls (1)  
 COMANDOS \_\_\_\_\_ bbls/m x \_\_\_\_\_ m. = \_\_\_\_\_ bbls (2)  
 TUBOS PERF. \_\_\_\_\_ (3) bbls/m x \_\_\_\_\_ m. = \_\_\_\_\_ bbls (4)  
 TUBOS PERF. \_\_\_\_\_ bbls/m x \_\_\_\_\_ m. = \_\_\_\_\_ bbls (5)  
 CAPACIDADE ANULAR TOTAL [(F-1) + (F-2) + (F-4) + (F-5)] 1639 bbls (6)

TEMPO E NÚMERO DE CURSOS PARA A LAMA NOVA IR DA BROCA A SUPERFÍCIE :

PARA A BOMBA Nº 1  
 (F-6) 1639 bbls / 5.4 (D-7) bbls/min = 303 min. (7)  
 \_\_\_\_\_ 30 CPM x 303 (F-7) min. = 9090 cursos

PARA A BOMBA Nº 2  
 (F-6) \_\_\_\_\_ bbls / \_\_\_\_\_ (D-9) bbls/min = \_\_\_\_\_ min. (8)  
 \_\_\_\_\_ 30 CPM x \_\_\_\_\_ (F-8) min = \_\_\_\_\_ cursos

FOLHA DE CÁLCULO PARA CONTROLE DE "KICKS"

POÇO \_\_\_\_\_ DIÂMETRO \_\_\_\_\_ " PROFUNDIDADE \_\_\_\_\_ m. = \_\_\_\_\_ pés. DATA  / /

I. QUANDO FOR OBSERVADO O "KICK" :

- PARE A BOMBA
- ABRA O ESTRANGULADOR
- FECHE O B.O.P.
- FECHE O ESTRANGULADOR

II. APÓS 10 - 15 MINUTOS, LERIA :

- A - PRESSÃO NO TUBO
- B - PRESSÃO NO REVESTIMENTO
- C - VOLUME GANHO NO TANQUE

351 psi.  
507 psi.  
30 bbls.

III. PESO DA LAMA NOVA PARA CONTROLAR O "KICK" :

- A - PESO DA LAMA ORIGINAL
- B - ACRÉSCIMO DE PESO (Fig. 1) ou

$$\frac{II A}{0,1705 \times \text{Prof. (m)}}$$

- C - PESO DA LAMA NOVA PARA CONTROLAR O "KICK"

10.5 lb/gal.  
0.5 lb/gal.  
15.0 lb/gal.

IV. FLUIDO INVASOR :

- A - ALTURA DE FLUIDO INVASOR NO ANULAR

$$H = \frac{II C}{ADC} \text{ ou}$$

$$H = \frac{(II C - ADC \times L)}{AV} + L \quad (\text{se a altura de fluido invasor for maior que o comprimento dos comandos}).$$

H = altura, m; ADC = anular DC x poço, bbl/m;  
L = compr. DC, m; AV = anular DP x poço, bbl/m.

H = 75.2 m.

- B - PRESSÃO DO RESERVATÓRIO

Fig. 2 ou II A + Prof. (m) x 0,1705 x peso lama original

10530 psi

- C - HIDROSTÁTICA DA LAMA NO ANULAR

(Prof. (m) - IV A) x 0,1705 x peso lama original

9943 psi.

- D - HIDROSTÁTICA DO FLUIDO INVASOR NO ANULAR

IV B - (IV C + II B)

30 psi.

- E - PESO ESPECÍFICO DO FLUIDO INVASOR

IV D / 0,1705 x IV A

1 - 3 lb/gal = gás (Fig. 3)

2.35 lb/gal.

V. PRESSÃO CONSTANTE NO ANULAR :

(a ser mantida enquanto a lama nova é deslocada da superfície até a broca)

$$II B + 100 \text{ psi}$$

607 psi.

e a pressão inicial de circulação lida no DP será :

$$II A + \text{perdas de carga a 30 CPM}$$

863 psi.

VI. PRESSÃO DE CIRCULAÇÃO (CONSTANTE), APÓS A LAMA NOVA CHEGAR À BROCA :

$$\text{Perda de carga a 30 CPM} \times \frac{\text{Peso da lama nova}}{\text{Peso da lama original}}$$

530 psi.

**VII. MÁXIMA PRESSÃO NO REVESTIMENTO, GERALMENTE QUANDO O GÁS CHEGA À SUPERFÍCIE :**

- A -  $P_c$  (Fig. 3)
- B - Correção de  $P_c$  (Fig. 4)
- C -  $P_c \text{ máx.} = (VII A + VII B)$

1040 psi.  
22 psi.  
1062 psi.

**VIII. MÁXIMA PRESSÃO NA SAPATA DO REVESTIMENTO DURANTE A CIRCULAÇÃO DO "KICK" :**

MARQUE NA FIG. 6:

- $P_c \text{ máx.}$  (VII C), a zero metros de profundidade
- PRESSÃO DO RESERVATÓRIO (IV B), à profundidade do "kick". Uns os dois pontos e, em função da profundidade da sapata do revestimento, determine a pressão

8100 psi.

- PESO DE LAMA EQUIVALENTE

$$\frac{\text{Pressão (psi)}}{0,1705 \times \text{Prof. (m)}}$$

15.6 lb/psi.

Compare este valor com a pressão de teste da formação, abaixo da sapata do revestimento.

**IX. VOLUME GANHO DURANTE A CIRCULAÇÃO DO "KICK" :**

- A - VOLUME DE GÁS NA SUPERFÍCIE (Fig. 5)
- B - VOLUME GANHO INICIALMENTE NO TANQUE (II C)
- C - VOLUME GANHO DURANTE A CIRCULAÇÃO DO "KICK" (IX A - IX B)

159 m³  
30 m³  
129 m³

**X. VOLUME DE LAMA NOVA A SER BOMBADO PARA QUE O GÁS CHEGUE À SUPERFÍCIE :**

- VOLUME ANULAR (F - C) = VOLUME DE GÁS (IX C)

1480 m³

**XI. PRESSÃO NO REVESTIMENTO QUANDO O GÁS SAÍ DO POÇO :**

(Quando for bombeado em volume a taxa nova igual ao volume anular)

- (C - 5)
- (F - 3)

\_\_\_\_\_ psi.  
 \_\_\_\_\_ psi.  
 \_\_\_\_\_ psi.  
 \_\_\_\_\_ psi.

$$A = \frac{(C - 5)}{(F - 3)}$$

$$= III B \times XI A \times 0,1705$$

**XII. DIAGRAMAS DE PRESSÕES :**

(Fig. 7)

**XIII. MARGEM DE SEGURANÇA PARA ATERRO E ZERAMENTO :**

PERDAS DE CARGA NO ANULAR  $\times 2$

$$P = \frac{L \times \overline{VP}}{225 (D_h - D_p)} + \frac{1 \times \overline{VP} \times V}{1000 (D_h - D_p)^2}$$

L = Prof., pés  $\overline{VP} = 15/100 \text{ m}^2$   $\overline{VP} = \text{gas}$  V = velocidade fluido, pés/min.

Dh = Diâmetro poço, pol. Dp = diâmetro anular, pol.

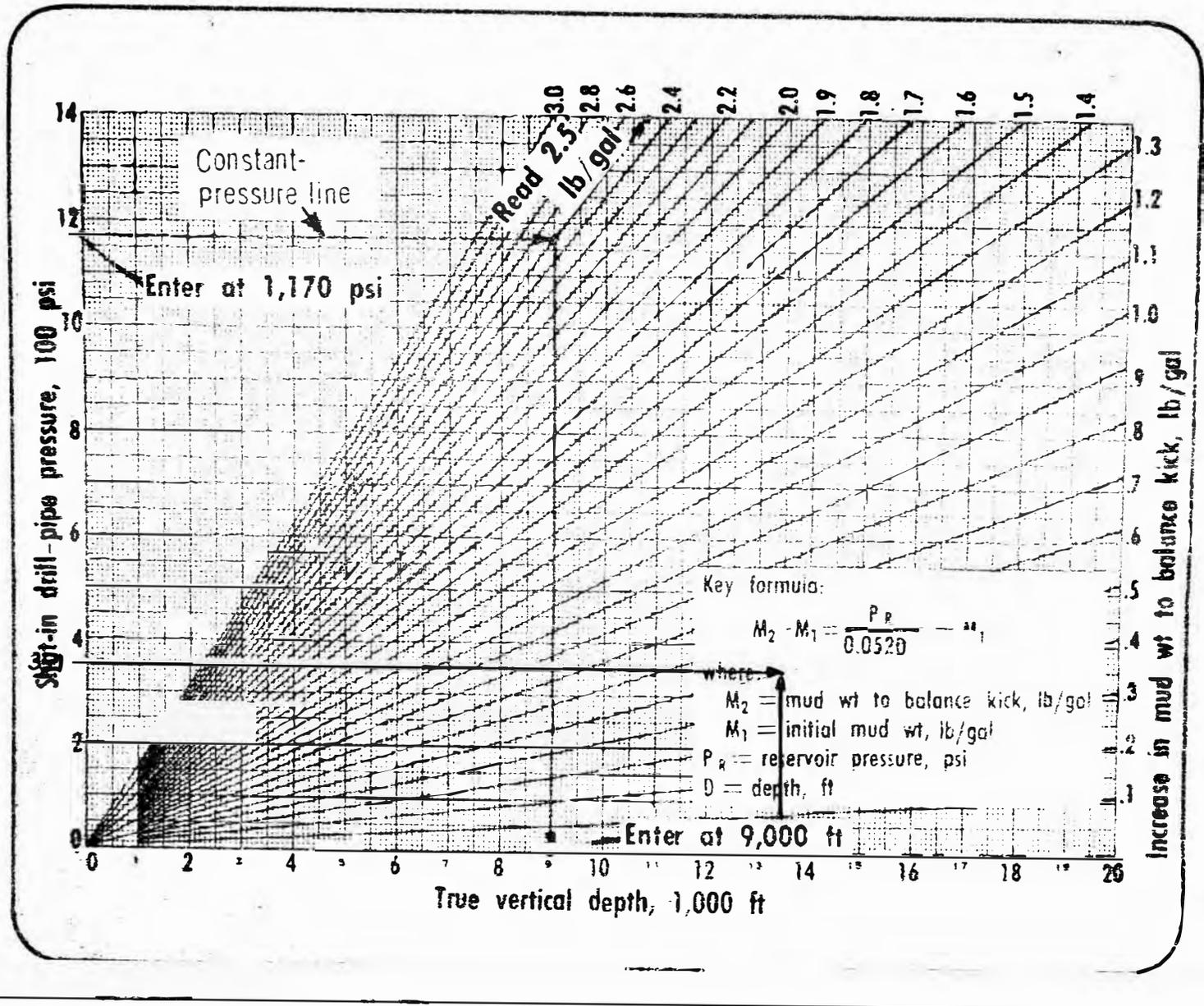
$$P \times 2 =$$

MARGEM DE SEGURANÇA :

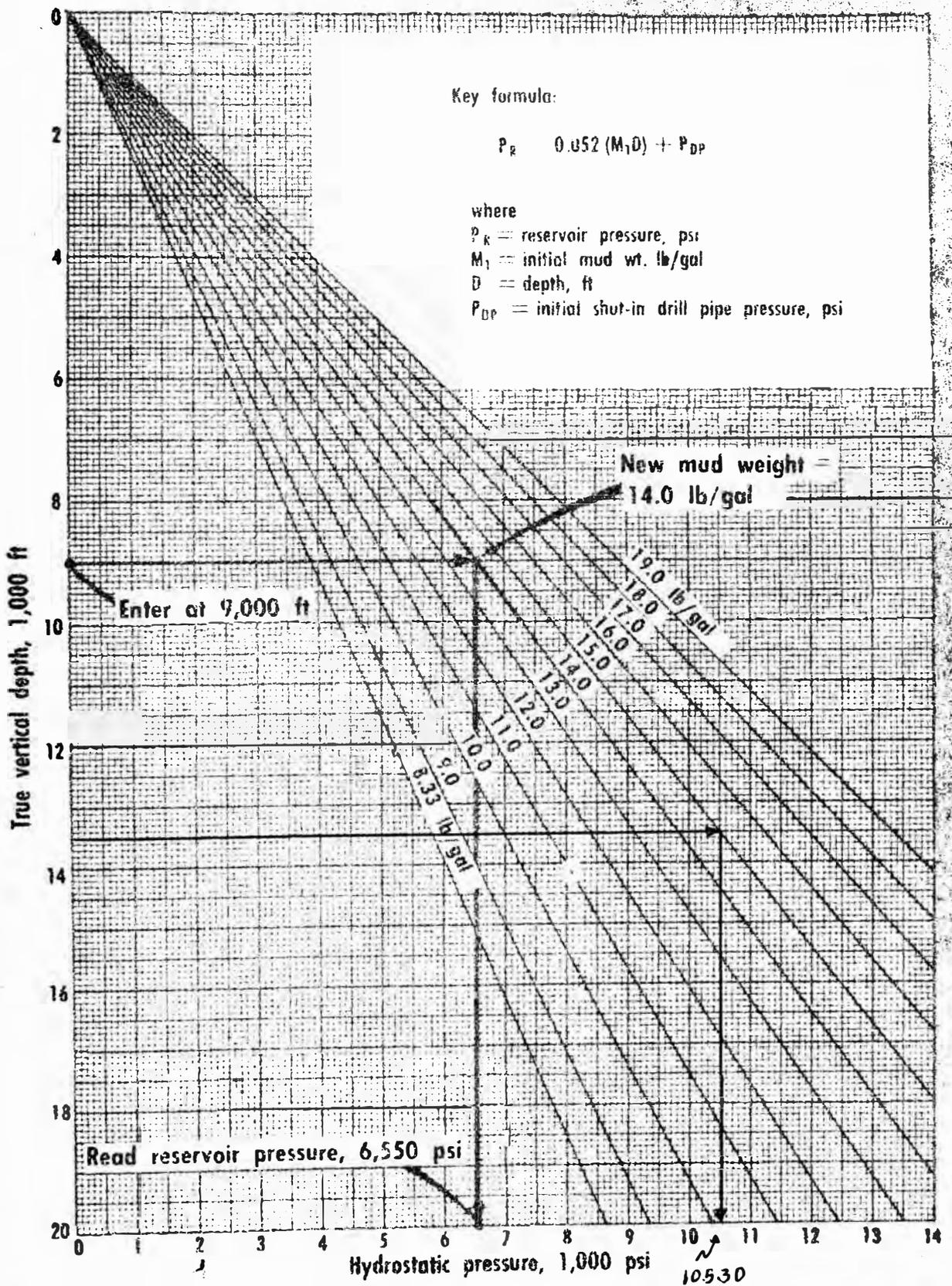
$$\frac{P \times 2}{0,1705 \times \text{Prof. (m)}}$$

\_\_\_\_\_ psi.

# Increase in mud weight needed

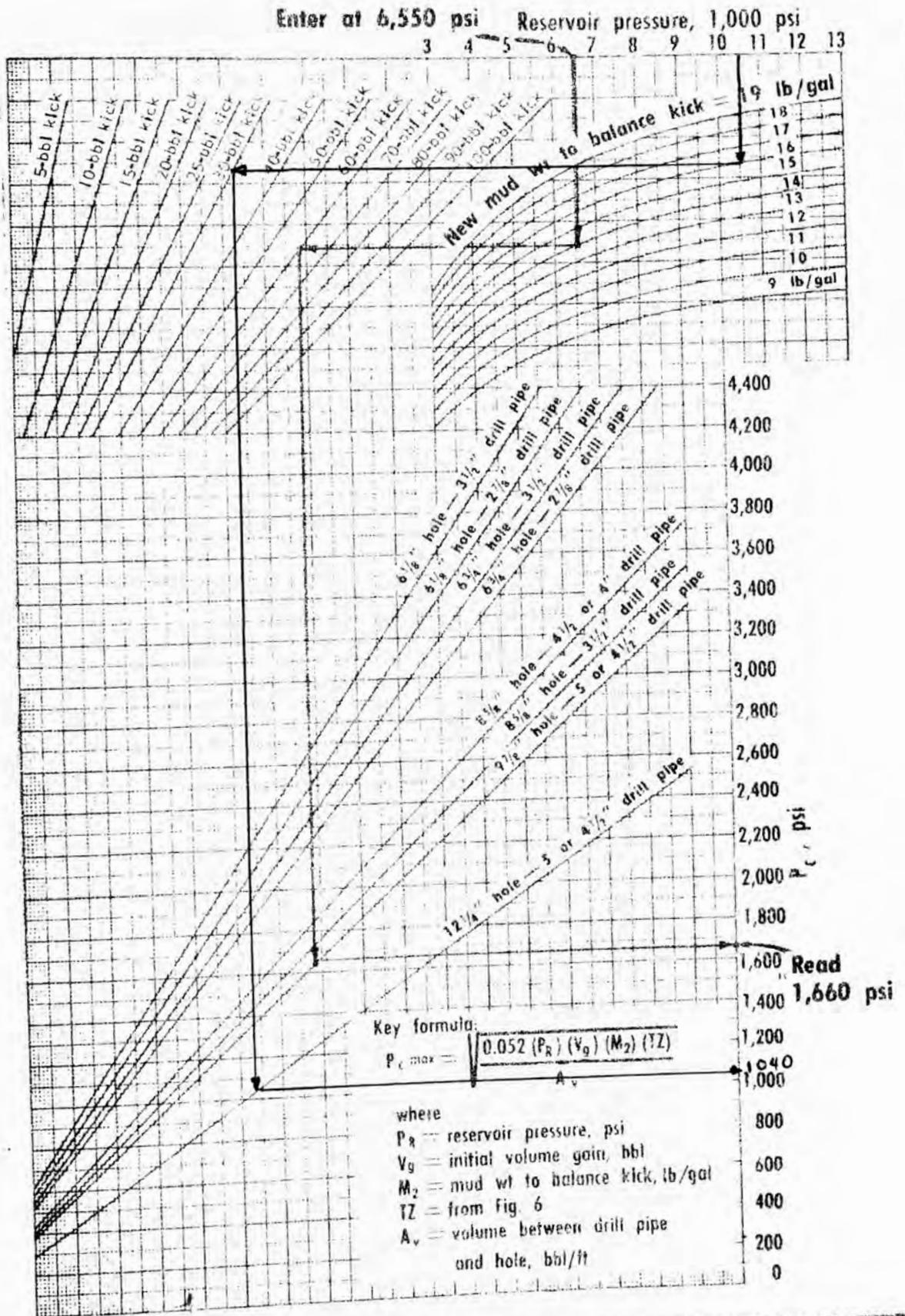


**FIG. 2**  
**Finding reservoir pressure**



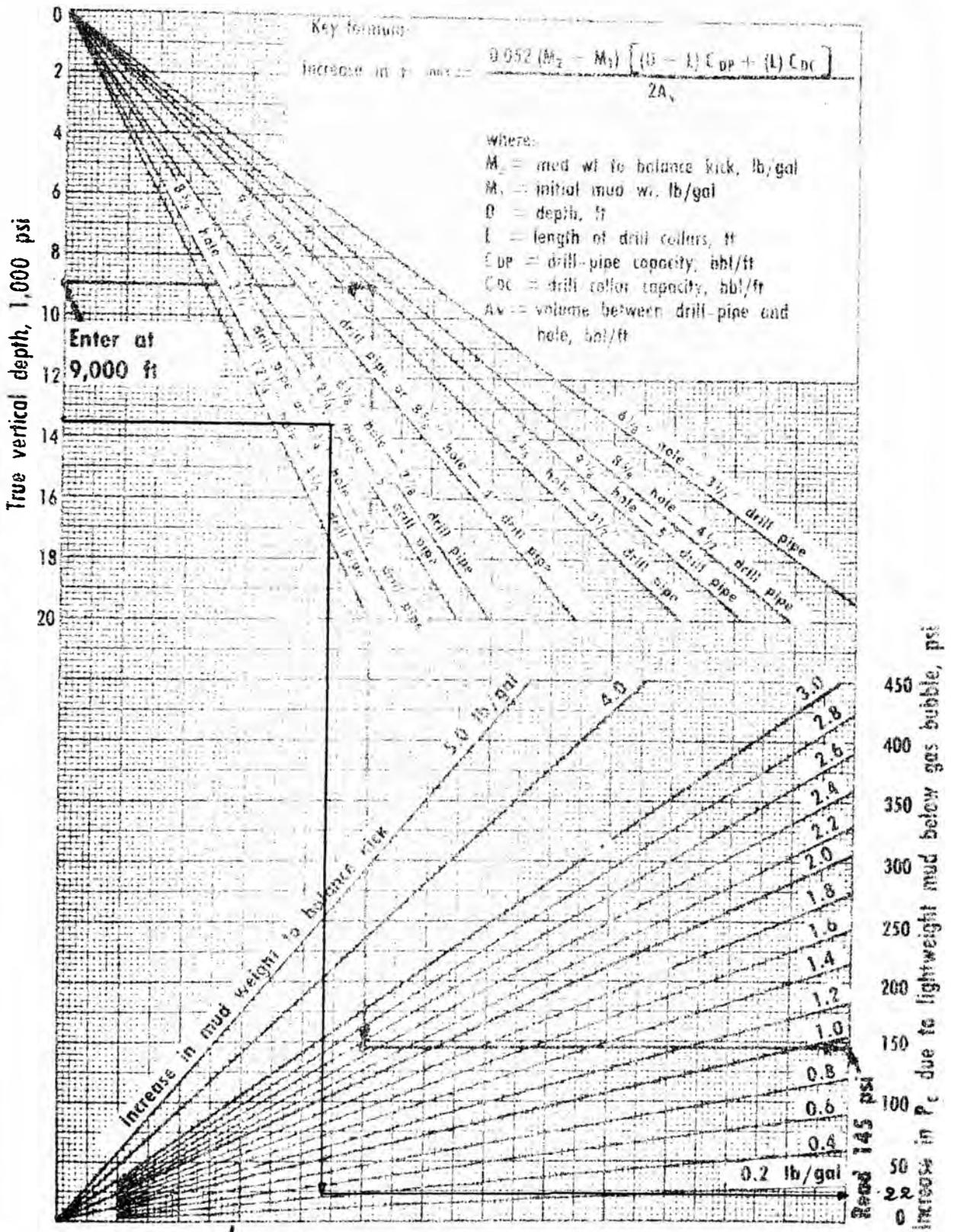
**FIG. 3**

To find maximum surface casing pressure



**FIG. 4**

The increase in  $P_c$



**FIG. 5**

To find the volume gain

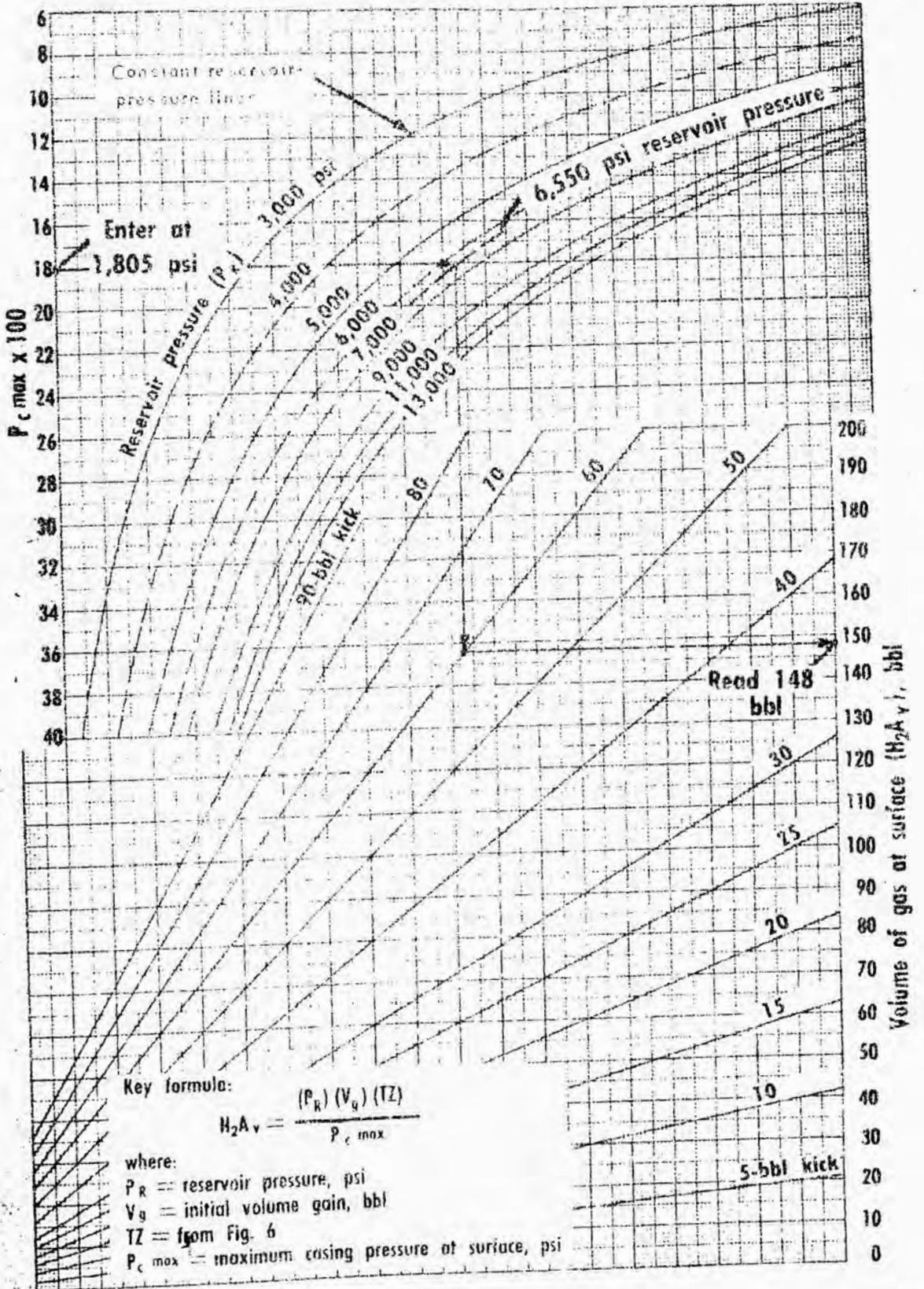
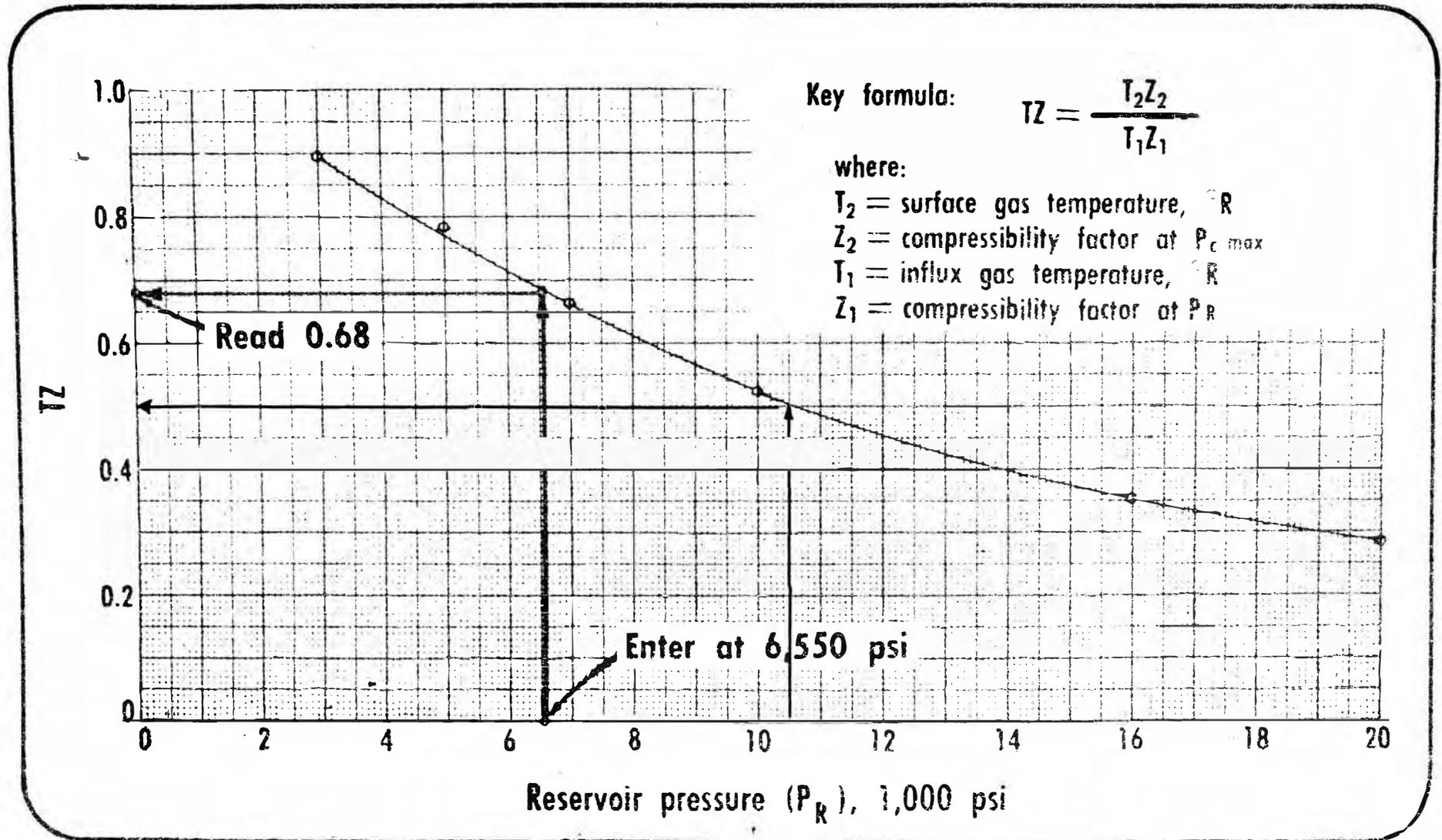


FIG. 5-A

# Here's how to find TZ values



MAXIMA PRESSÃO NA SAPATA DO  
REVESTIMENTO DURANTE A CIRCULAÇÃO  
DO "KICK"

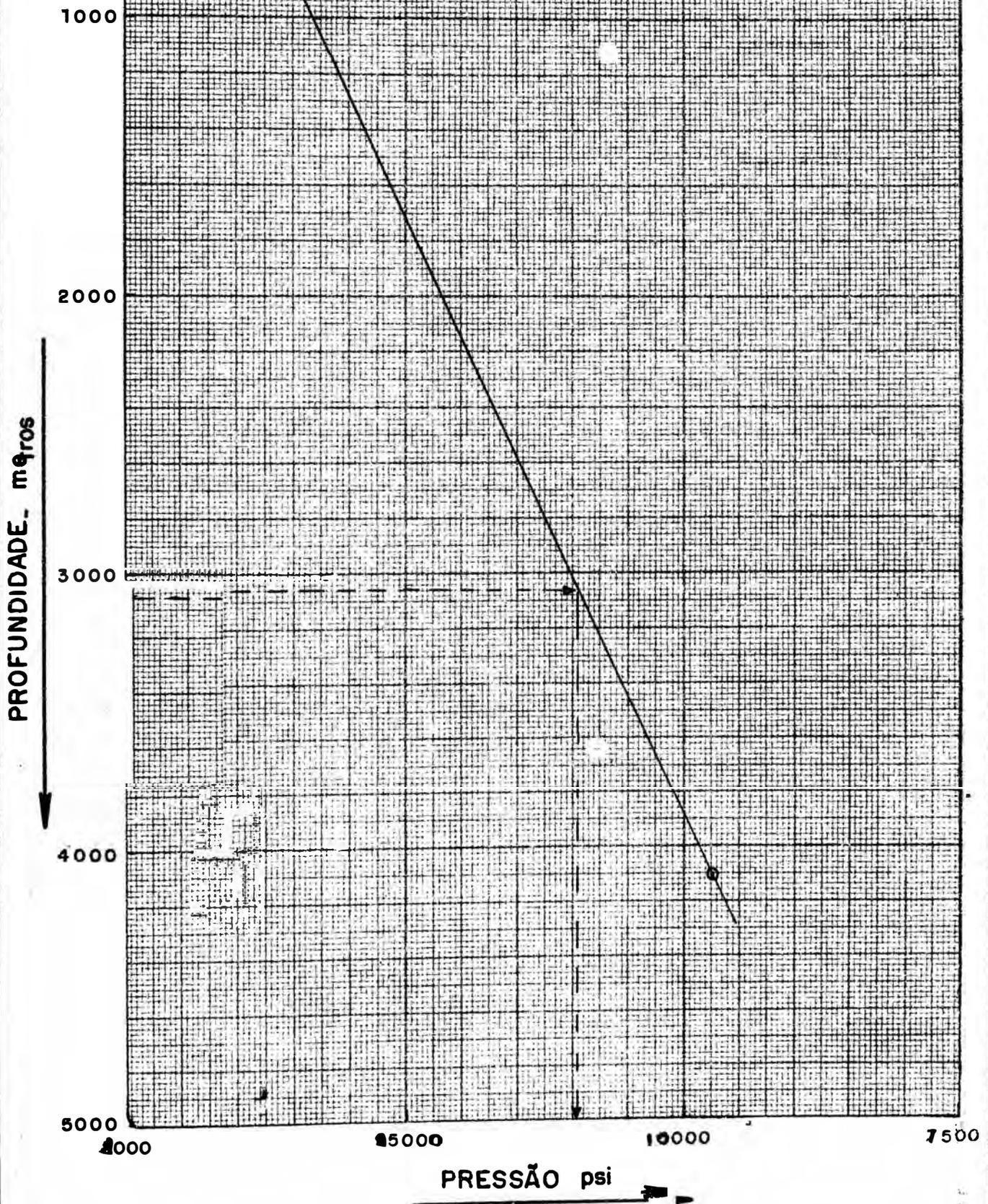


FIG. 6

EXPANSION DE EL GAS - RPL

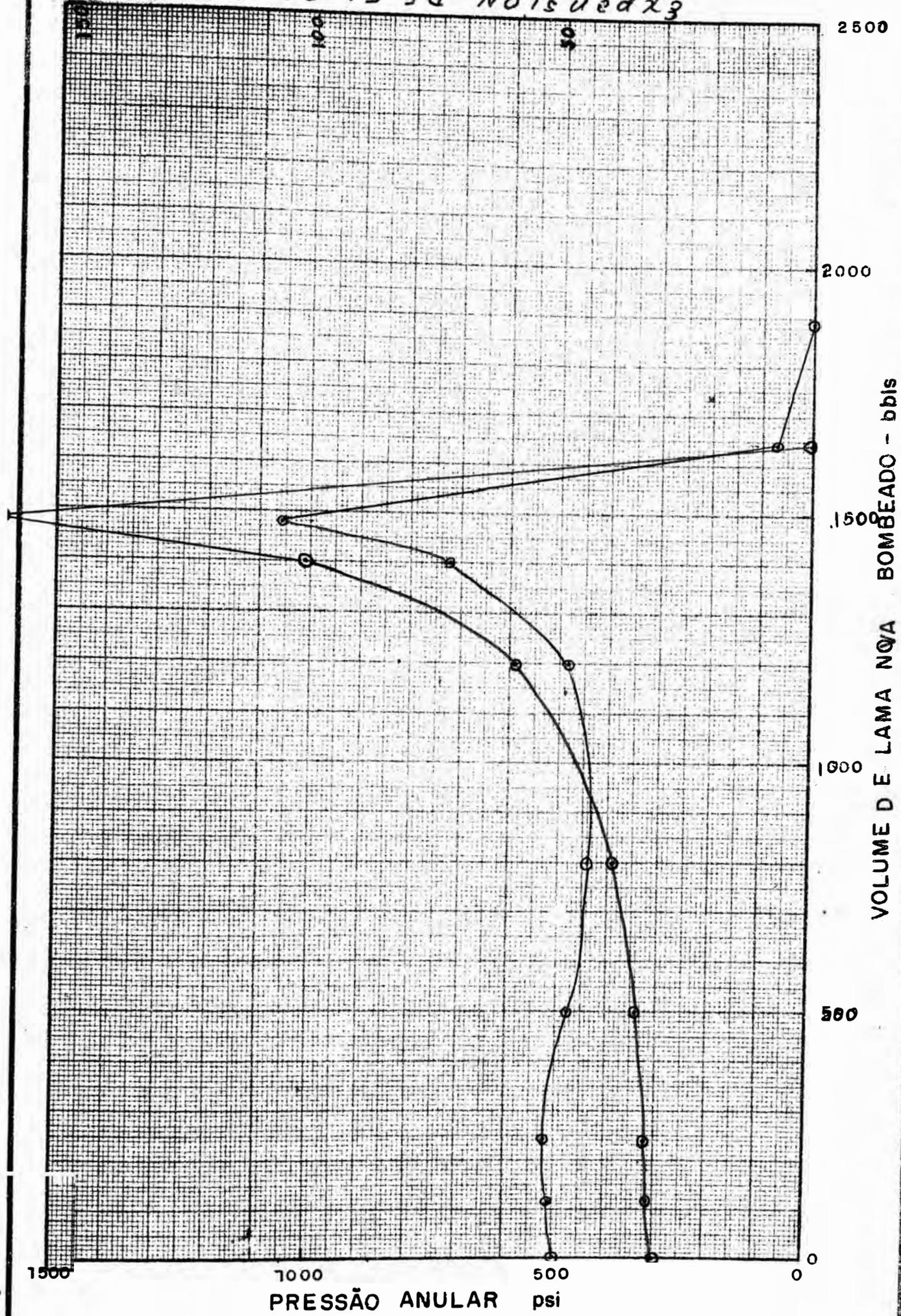


DIAGRAMA DE PRESSOES

FIG. 7



# B A X I R O U L A Ç Ã O D O " R I C K "

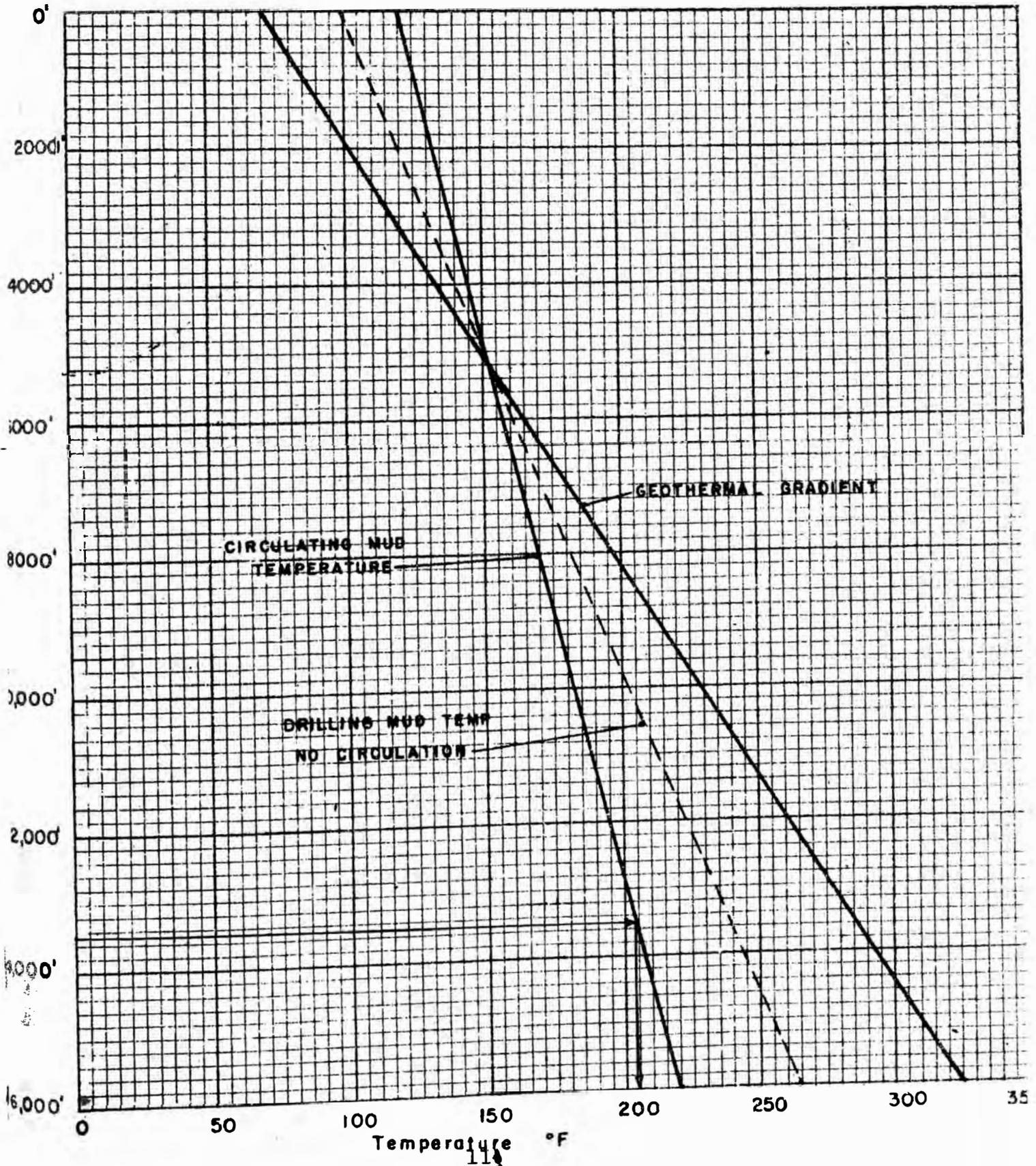
La B	(13)	(14)	(15)		(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
	Altura do co- luna do gás Pés	Altura do co- luna do gás Pés	Nºs Prof.-(8)-(14)	Pressão Psi (15) x Grad.	Lama original $\sqrt{4}$ lb/gal acima do gás	Pressão total do gás + Lama Psi (9)+(10)+(15)	Pressão no choke necessária para equilibrar PP Psi PP - (17)	Ganho de gás Bbls (14) x Cap.anular	Observa
0,00	207	207	13253	9993		10023	507	29,8	
1,39	252	252	12260	9244		10019	511	30,6	
2,33	260	260	11263	8492		10022	518	31,6	
2,120	283	283	9100	6860		10050	480	34,4	
2,103	323	323	6540	4970		10090	440	39,2	
2,853	405	405	3738	2366		10046	484	58,8	
2,85	857	857	1116	842		9812	718	100,4	
2,892	1310	1310				9170	1080	159	
2,4						10460	70		
2,4									

Determinar as pressões

- deslocado volume 1
- o gás chega à supe
- todo o gás sai do
- a lama nova chega

# FIGURE I

## DRILLING MUD TEMPERATURES



GAS PROPERTIES IN MUD

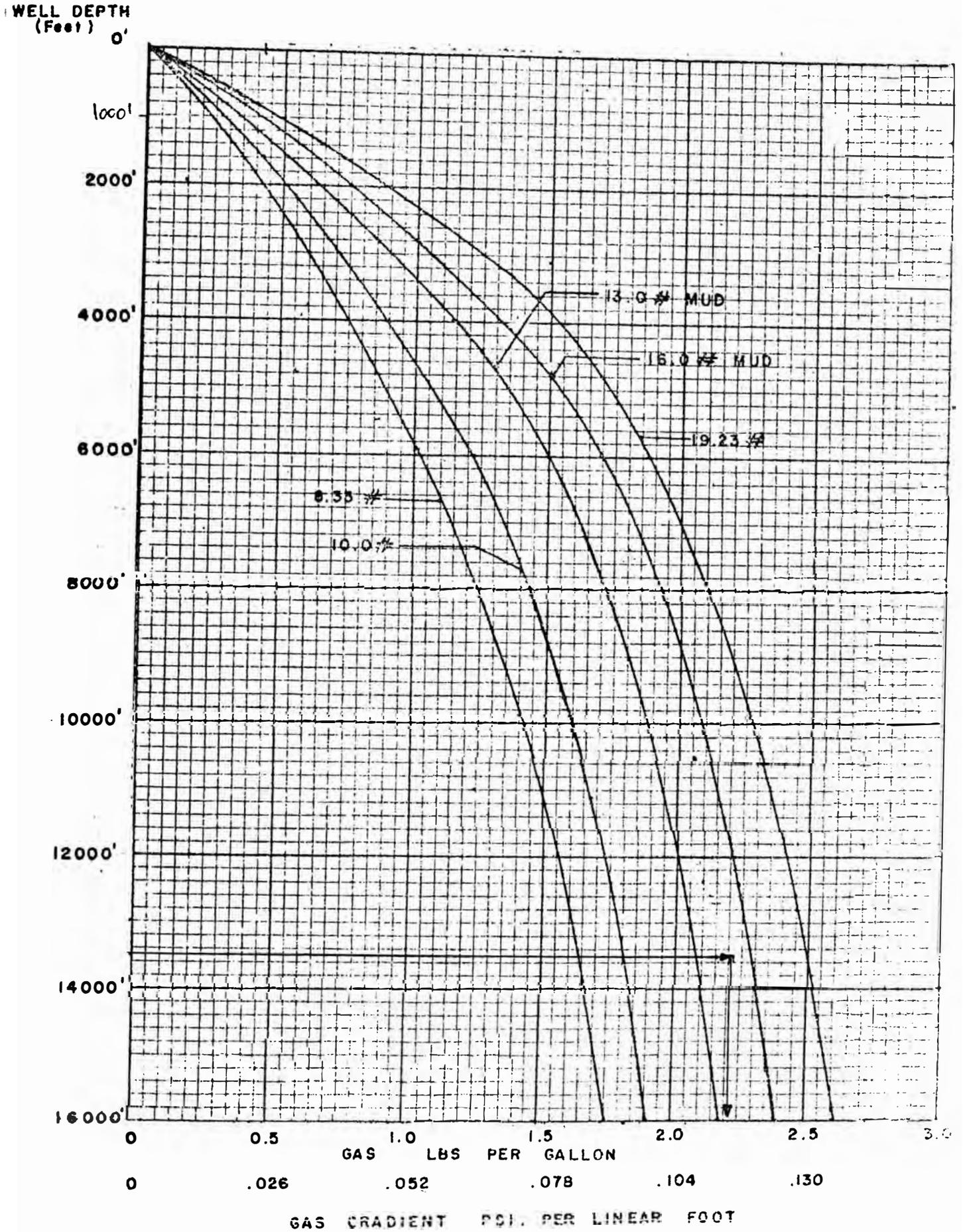
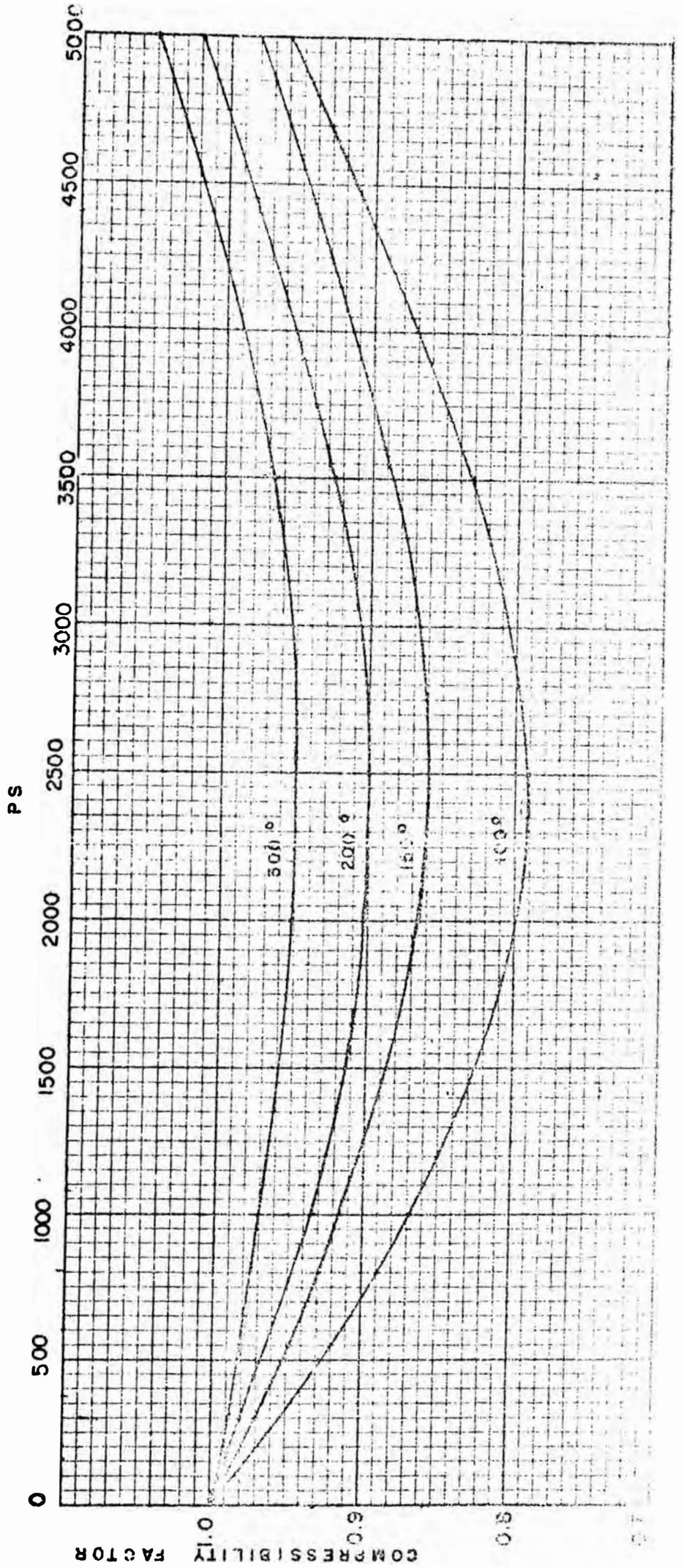


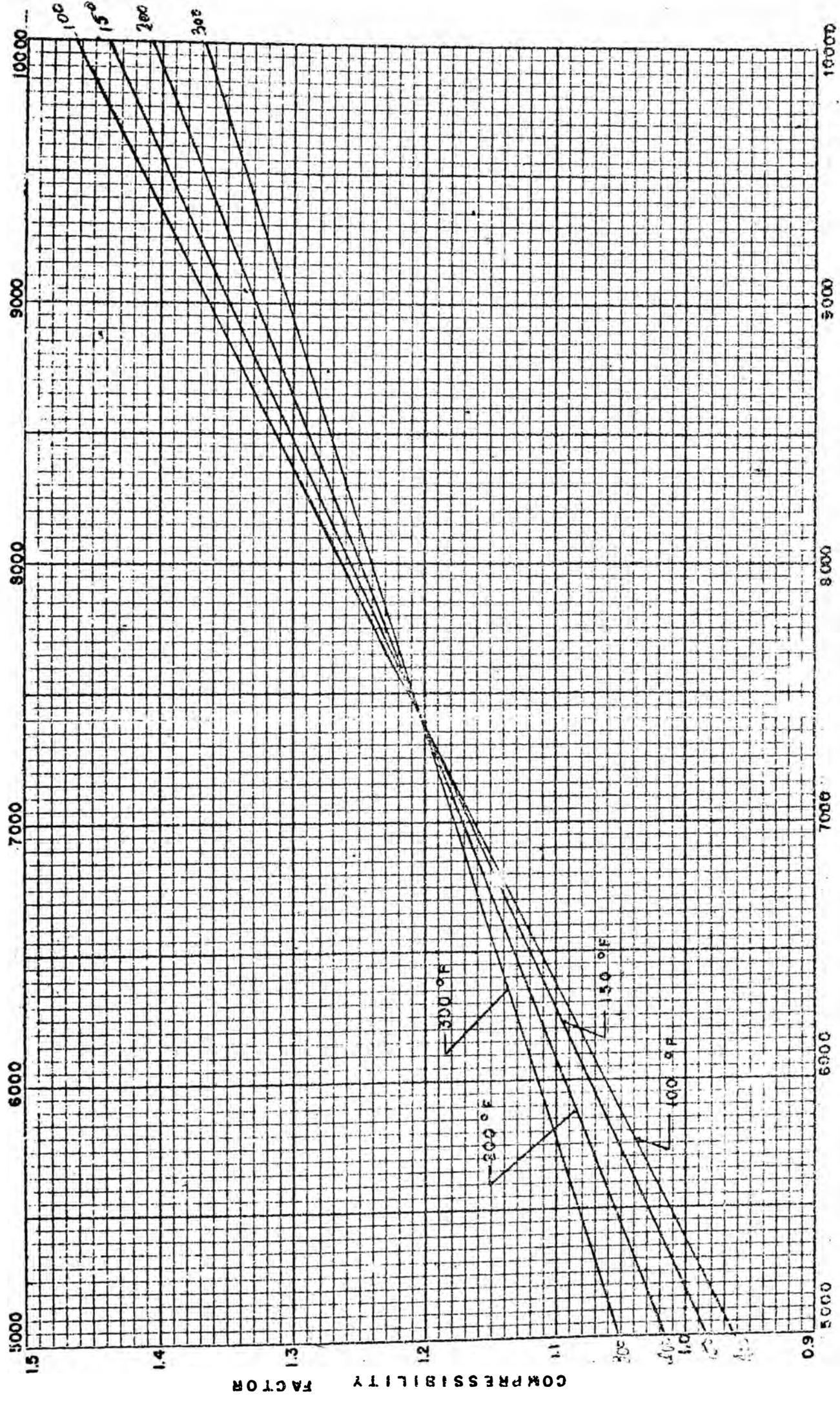
FIGURE III

SUPERCOMPRESSIBILITY FACTOR  
0.60 GRAVITY NATURAL GAS

0 5000 ps



**FIGURE IV**  
**SUPERCOMPRESSIBILITY FACTOR**  
**0.60 GRAVITY - NATURAL GAS**  
 5000 - 10,000 ps



UPERCOMPRESSIBILITY FACTOR  
0.60 GRAVITY NATURAL GAS

10,000 5000 ps

