

HER  
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA, GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS

PERFORACION DE POZOS PROFUNDOS

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE :

INGENIERO DE PETROLEO

PRESENTADA POR :

CARLOS HEREDIA VACA

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.983



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

# AGRADECIMIENTO

AL ING. RICARDO GALLEGOS  
DIRECTOR DE TESIS, POR SU  
AYUDA Y COLABORACION PARA  
LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO.



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

D E D I C A T O R I A

- A MIS PADRES
- A MI ESPOSA
- A MIS HIJOS
- A MIS HERMANOS



BIBLIOTECA FIC:  
ESPOL

*Ricardo Gallegos*

---

ING. RICARDO GALLEGOS  
DIRECTOR DE TESIS



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

## DECLARACION EXPRESA

"LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTOS EN ESTA TESIS, ME CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE; Y, EL PATRIMONIO INTELECTUAL DE LA MISMA, A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESPOL).



CARLOS HEREDIA



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## RESUMEN

Uno de los principales objetivos de este trabajo es el análisis de los parámetros que intervienen en la perforación, los mismos que al no trabajar a una eficiencia normal, presentarán problemas durante la operación dando como resultado un incremento en los costos.

*además*  
Igualmente, se detallan los equipos utilizados haciendo énfasis en la instalación, funcionamiento, así como en las ventajas que se obtienen, mediante un buen control y mantenimiento de los mismos.

Posteriormente, se discuten los fundamentos básicos para los diseños y cálculos que intervienen en el programa de perforación de un pozo.

Además se realiza un análisis de los factores que causan problemas durante la perforación, entre los cuales podemos mencionar los siguientes: humanos, operacionales y naturales.

Se ha comprobado que con personal altamente experimentado,



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

una buena planificación operativa y un amplio conocimiento del área donde se va a perforar, dan como resultado una disminución de los costos de perforación.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## INDICE GENERAL

	<u>PAGS</u>
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	VIII
INDICE DE FIGURAS -----	XI
NOMENCLATURA -----	XIII
INTRODUCCION -----	16
<b>CAPITULO I</b>	
REVISION GENERAL -----	18
<b>CAPITULO II</b>	
CONSIDERACIONES TEORICAS -----	27
2.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA TASA DE PENETRA CION -----	27
2.2. PROPIEDADES BASICAS DE FLUJO -----	44
2.3. ESTABILIDAD DEL HOYO -----	
2.4. CONTROL DE SOLIDOS -----	
2.5. CONTROL DE PRESIONES -----	
2.6. FILTRACION -----	
2.7. OPTIMIZACION DEL FLUJO EN EL SISTEMA ----	
2.8. CONTROL DEL LODO DURANTE LA PERFORACION--	82
<b>CAPITULO III</b>	
EQUIPOS -----	93



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**  
79



3.1. TALADROS DE PERFORACION -----	93
3.2. CIRCUITO DEL LODO DE PERFORACION -----	97
3.2.1. Tanques -----	100
3.2.2. Zaranda vibradora -----	100
3.2.3. Desarenadores -----	100
3.2.4. Desmolizadores -----	101
3.2.5. Desgasificadores -----	101
3.2.6. Centrífuga -----	101
3.3. EQUIPO DE PESCA -----	102
3.4. EQUIPO PARA DESVIAR UN POZO -----	103
3.5. EQUIPO PARA CONTROL COMPUTARIZADO DE UN POZO -----	104
3.5.1. Unidad A.D.T. (Applied Drilling Technology) -----	104

## CAPITULO IV

DISEÑO - CALCULOS Y PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN  
EN LA PERFORACION -----

111

## 4.1. DISEÑO - CALCULOS -----

112

## 4.1.1. Análisis Económico -----

112

## 4.1.2. Programas de perforación -----

113

        4.1.2.1. Información disponible del  
                    área -----

113

## 4.1.2.2. Programa de lodo -----

122

## 4.1.2.3. Diseño Hidráulico -----

125

        4.1.2.4. Diseños de tuberías de re  
                    vestimiento -----

140

BIBLIOTECA  
ESPOL

4.1.2.5. Diseño de cabezote -----	150
4.1.2.6. Programa de Cementación --	153
4.1.2.7. Diseños de instalación in ferior de perforación y de brocas -----	165
4.2. PROBLEMAS EN LA PERFORACION -----	172
4.2.1. Pegamiento de la tubería -----	172
4.2.2. Pérdida de circulación -----	177
4.2.3. Hinchamiento de arcilla -----	184
4.2.4. Cortes por gas -----	187
4.2.5. Contaminación del fluido de perfo- ración -----	189
4.2.6. Desviación del pozo -----	195
4.2.7. Operaciones de pesca -----	198
 CAPITULO V	
PROBLEMA PRACTICO DE APLICACION -----	203
 CAPITULO VI	
DISCUSION DE RESULTADOS -----	216
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	218
APENDICES -----	220
BIBLIOGRAFIA -----	



## INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>PAGS.</u>
1	TASA DE PENETRACION Vs. PESOS SOBRE LA BROCA <sup>(19)</sup> -----	31
2	TASA DE PENETRACION Vs. VELOCIDAD ROTATORIA <sup>(19)</sup> -----	32
3	VIDA DE LA BROCA Vs. PESO SOBRE LA BROCA <sup>(19)</sup> -----	36
4	TASA DE PENETRACION Vs. PRESION HIDROSTATICA <sup>(19)</sup> -----	40
5	TASA DE PENETRACION Vs. CONTRAPRESION <sup>(19)</sup>	41
6	CURVA DE VISCOSIDAD PARA SUSPENSIONES DE BENTONITA <sup>(5)</sup> -----	45
7	LIMITES SUGERIDOS DE VISCOSIDAD PLASTICA <sup>(5)</sup> -----	46
8	CORRECCION DE LA VISCOSIDAD PLASTICA CON LA TEMPERATURA <sup>(5)</sup> -----	48
9	LIMITES SUGERIDOS DE PUNTO CEDENTE-----	49
10	MODELO PLASTICO DE BINGHAM <sup>(21)</sup> -----	51
11	PRESIONES SURGENTES ASOCIADOS CON LA VELOCIDAD DE CORRIDA <sup>(20)</sup> -----	58
12	METODO DE DILUCION <sup>(21)</sup> -----	66
13	CURVAS API PROMEDIOS PARA LODOS DE ALTA Y BAJA PERDIDA DE FILTRADO <sup>(24)</sup> -----	73



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

<u>Nº</u>		<u>PAGS</u>
14	PRESION Vs. FILTRADO <sup>(24)</sup> -----	77
15	PRESION Vs. CURVA DE LA TASA DE FLUJO - PARA DETERMINAR LA PENDIENTE "U" <sup>(25)</sup> ---	81
16	REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE BENTONITA SECA EN FLUIDOS DE VARIAS SALINIDADES <sup>(21)</sup>	87
17	FATIGA EN LA TUBERIA DE PERFORACION <sup>(8)</sup> -	95
18	COMPONENTES DEL SISTEMA DEL FLUIDO DE CIRCULACION <sup>(23)</sup> -----	99
19	REGISTRO ADT - POZO "POLIGAS" -----	108
20	FACTOR DE FRICCIÓN DE FANNIG Vs. NUMERO DE REYNOLDS <sup>(20)</sup> -----	138
21	FUERZAS QUE SE PRESENTAN DURANTE EL DES- PLAZAMIENTO (8)-----	156
22	EFEECTO DE LA PRESION Y LA TEMPERATURA - SOBRE EL TIEMPO DE ESPESAMIENTO <sup>(20)</sup> ----	159



BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL

## NOMENCLATURA

SIMBOLO		UNIDADES
F	PRESION HIDROSTATICA	Lppc
$\rho_f$	DENSIDAD DEL FLUIDO	Lb/gal
H	PROFUNDIDAD	pies
$\rho_o$	DENSIDAD DEL PETROLEO	lb/gal.
$\rho_b$	DENSIDAD DEL LODO	lb/gal
P <sub>s</sub>	PRESION DE SUPERFICIE	Lppc
$\Delta P$	DIFERENCIAL DE PRESION	Lppc
P <sub>e</sub>	PRESION DE ESTALLIDO	Lppc
GI	GRADIENTE INTERNO	Lppc/pie
GE	GRADIENTE EXTERNO	Lppc/pie
P <sub>c</sub>	PRESION AL COLAPSO	Lppc
$\rho_g$	DENSIDAD DEL GAS	lb/gal
P <sub>n</sub>	PLANO NEUTRAL	pies
FF	FACTOR DE FLOTACION	Adimensional
L	LONGITUD DE LA TUBERIA	Pies'
W <sub>a</sub>	PESO DE LA TUBERIA EN EL AIRE	lbs
d <sub>l</sub>	DENSIDAD LINEAL DE LA TUBERIA	lbs/pie
T <sub>c</sub>	TASA DE CORTE	1/seg
D <sub>h</sub>	DIAMETRO DEL HOYO	pulg.



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

## SIMBOLO

## UNIDADES

Dp	DIAMETRO DE LA TUBERIA	pulg.
E	ESFUERZO CORTANTE	lbs/100 pie <sup>2</sup>
$\bar{v}$	VELOCIDAD PROMEDIO	pie/seg
V <sub>c</sub>	VELOCIDAD CRITICA	pie/seg
Q	TASA DE CIRCULACION	Gal/min
n	INDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO	Adimensional
K	INDICE DE CONSISTENCIA DEL FLUIDO	Adimensional
Pr	PERDIDA TOTAL DE PRESION EN EL ESPACIA MIENTO	Lppc
DEC	DENSIDAD EQUIVALENTE DE CIRCULACION	lbs/gal
SG	GRAVEDAD ESPECIFICA DEL MATERIAL	Adimensional
$\rho_m$	DENSIDAD DE LA MEZCLA DE CEMENTO	lbs/gal
R	RENDIMIENTO DE LA MEZCLA	pie <sup>3</sup> /SX
V	VOLUMEN TOTAL DE LA MEZCLA DE CEMENTO	gal/SX
D	DIAMETRO EQUIVALENTE	pulg.
Re	NUMERO DE REYNOLDS	Adimensional
$\mu$	VISCOSIDAD DEL FLUIDO	cp
PC	PUNTO CEDENTE	lb/100 pie <sup>2</sup>
VP	VISCOSIDAD PLASTICA	cp
f	FACTOR DE FRICCION DE FANNING	Adimensional
Qt	PERDIDA DE DILTRADO	Cm <sup>3</sup>
VF	VISCOSIDAD FUNNEL	Seg
Pf	ALCALINIDAD DEL FILTRADO	Cm <sup>3</sup>



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

SIMBOLO

UNIDADES

Mf

ALCALINIDAD TOTAL

 $\text{Cm}^3$ 

MBT

PRUEBA DEL AZUL DE METILENO

ml

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

En la actualidad se ha intensificado la búsqueda de fuen  
tes energéticas especialmente en el área de los hidrocar-  
buros, debido a la gran demanda de sus derivados, los mis  
mos que constituyen el soporte del desarrollo industrial y  
por ende en la economía del país.

Esto ha conllevado a la perforación de pozos cada vez  
más profundos, los mismos que inicialmente no eran atrac-  
tivos por su baja rentabilidad.

Para el desarrollo de esta tesis, se han tomado datos -  
reales y los cálculos aquí realizados, son el fiel testi-  
monio de la práctica y experiencia adquirida en los cam  
pos petrolíferos de la Compañía Lagoven S.A., División Orien  
te (Subsidiaria de PDVSA). Venezuela.



BIBLIOTECA FIC:  
ESPOL

El objetivo de este trabajo, es optimizar los parámetros  
que intervienen en la perforación, mediante un análisis -  
comparativo entre el programa diseñado originalmente y los  
resultados obtenidos durante la perforación del pozo "POLI  
GAS".



Aquí se discuten las diferentes técnicas utilizadas en cada una de las facetas del diseño de los programas de perforación, entre los cuales tenemos: lodos, hidráulico, cementación, tuberías de revestimiento, instalación inferior de perforación, cabezal del pozo y análisis económico. Para optimizar el diseño hidráulico se usó el Método del impacto hidráulico, tanto para el caso de la presión de superficie limitada e ilimitada, mediante un programa de computación denominado Carlos I, el mismo que determina el diámetro de las boquillas de la broca a partir de diferentes valores de peso del lodo (DL), presión de superficie (PS) y caudal (Q). En base de estos resultados se elabora un juego de figuras que permiten calcular directamente el diámetro de las boquillas (Apéndice A).

Además se explican los equipos utilizados, mediante una revisión general del funcionamiento, instalación y ventajas que se alcanzan con cada uno de ellos, en especial cuando hay un control y mantenimiento bien organizado.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones que se deducen de este trabajo, señalando la importancia que tiene el establecer una buena planificación de las técnicas operativas, las mismas que inciden directamente en una reducción de los costos de perforación.



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

## CAPITULO I

### REVISION GENERAL

Es importante establecer un apropiado plan de las operaciones que comienzan con la decisión de perforar un pozo y terminarlo cuando está completado y el taladro listo para ser trasladado a otra localización. La exactitud con que las técnicas son preparadas, contribuirá para reducir los costos y disminuir los problemas de perforación<sup>(1)</sup>.

El diseño de pozos profundos es fácil y más exacto cuando se emplean computadoras para analizar datos de pozos vecinos en el área seleccionada, lo cual permite elaborar programas hidráulicos óptimos y obtener costos bajos por pie perforado<sup>(2)</sup>.



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

Pruebas de laboratorio han establecido que existen relaciones consistentes y simples entre la tasa de penetración y estas variables. Así se ha determinado que la tasa de penetración incrementa al aumentar la velocidad rotatoria,

pero una velocidad muy alta originará pequeños incrementos. En la turboperforación, la tasa de penetración tiende a variar directamente con el peso sobre la broca y para bajas velocidades se ha determinado que varía aproximadamente con el peso sobre la broca elevado al cuadrado.

Cuando el peso sobre la broca es reducido, la tasa de penetración es aproximadamente proporcional al cuadrado del mismo, en cambio para pesos mayores la relación tiende a ser lineal<sup>(3)</sup>.

A grandes profundidades la roca está expuesta a esfuerzos y presiones elevadas. Numerosas pruebas triaxiales de laboratorio han demostrado que al incrementar la presión de confinamiento el esfuerzo de la roca incrementa, presentando deformación debido al comportamiento de frágil a dúctil. La presión de poro tiene un efecto complicado sobre el comportamiento de la roca y si ésta aumenta, la presión de confinamiento se mantendrá constante. Al perforar, los dientes de la broca causan un alto esfuerzo compresivo sobre la roca, equivalente a una alta presión de confinamiento. Del análisis de las propiedades mecánicas y físicas de las rocas para determinar la máxima resistencia a los esfuerzos aplicados; se observó que muchas rocas son resistentes, pero presentan fracturas al quitar la carga.



La presión del lodo en la boca del pozo y la presión de poro son factores críticos en la perforación de las rocas. (4)

La perforación de pozos en formaciones que pueden o no ser consolidadas, presentan problemas los mismos que pueden ser minimizados con un buen conocimiento del área. Algunos de los problemas que se presentan durante la perforación son combatidos por el lodo, por lo cual se requieren ajustes en su composición y en sus propiedades (5).

La necesidad de controlar los sólidos en lodos pesados, ha sido ampliamente discutido en la literatura y ha tenido aceptación en las operaciones de perforación. Algunas de las mayores ventajas obtenidas al reducir el contenido de sólidos son las siguientes: baja viscosidad plástica, filtrado de costra apropiado, larga vida de los rulimanes de la broca y de la bomba, apropiada tasa de penetración.

Un incremento en el contenido de los sólidos, generalmente lleva a tasas de filtración altas y aumento en el espesor de la costra. Un gran espesor de la costra - origina un atascamiento por presión diferencial, incrementa



BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL

La presión del lodo en la boca del pozo y la presión de poro son factores críticos en la perforación de las rocas. (4)

La perforación de pozos en formaciones que pueden o no ser consolidadas, presentan problemas los mismos que pueden ser minimizados con un buen conocimiento del área. Algunos de los problemas que se presentan durante la perforación son combatidos por el lodo, por lo cual se requieren ajustes en su composición y en sus propiedades (5)

La necesidad de controlar los sólidos en lodos pesados, ha sido ampliamente discutido en la literatura y ha tenido aceptación en las operaciones de perforación. Algunas de las mayores ventajas obtenidas al reducir el contenido de sólidos son las siguientes: baja viscosidad plástica, filtrado de costra apropiado, larga vida de los rulimanes de la broca y de la bomba, apropiada tasa de penetración.

Un incremento en el contenido de los sólidos, generalmente lleva a tasas de filtración altas y aumento en el espesor de la costra. Un gran espesor de la costra - origina un atascamiento por presión diferencial, incrementa



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

tando el torque y la tensión por arrastre de la tubería de perforación. Un control efectivo del contenido de sólidos disminuye problemas asociados con la cementación, ahorra gran cantidad de barita, etc. Se recomienda procesos para limpiar el lodo antes de ser bombeado al pozo y después que llega a la superficie, para prevenir la deposición de sólidos.<sup>(6)</sup>

La remoción de los sólidos en los tanques constituye un método ineficiente y muy costoso, por lo cual es recomendable que la corriente del lodo sea aprovechada para eliminarlos, considerando el tamaño de las partículas; así las más grandes son eliminadas por tamizado, las partículas en el rango medio a intermedio son removidas por medios mecánicos y las más finas son separadas por asentamiento. Además existen métodos para determinar la distribución del tamaño de las partículas en un fluido de perforación y la estimación de la cantidad de sólidos que es introducida en el fluido de circulación. Los resultados son usados para evaluar la eficiencia de los equipos de remoción de sólidos.<sup>(7)</sup>



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

A profundidades mayores los riesgos se incrementan, lo cual obliga a tomar en consideración factores que pueden llevar a la pérdida del pozo, especialmente cuando hay arremetidas de flujos provenientes de la formación hacia el pozo,

lo que se convierte en un reventón. (8)

La inestabilidad del hoyo puede ser superada, controlando el peso, reología, filtrado y algunas características del fluido de perforación que han sido comprobados a través de estudios experimentales de laboratorio. (9)

Los fluidos de perforación tienen que ser controlados por temperatura para evitar problemas que se presentan a  $\pm 500^{\circ}$  F., como es la deteorerización de sus componentes, dando un mayor porcentaje de sólidos los cuales afectan la filtración y originan cambios en las propiedades reológicas. A temperaturas entre 400 y 500°F, se encontró que las propiedades reológicas del lodo a base agua son más afectadas por la contaminación de sólidos que las del lodo a base de aceite. Además estos sólidos afectan con más intensidad las propiedades de flujo y esfuerzo de corte que las pérdidas de filtrado. (10)

Un exceso del contenido de sólidos crean pérdidas de retorno, debido a que el peso del fluido es incrementado en el fondo del pozo provocando fracturas en la formación. Por lo cual es recomendable determinar la presión de fractura de la formación, a través de una prueba de integridad de presión o calculando la densidad de equivalente de circulación, la misma que indica cual debe ser



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

el peso del lodo para no fracturar la formación y para controlar las presiones de las rocas. (11)

Estudios realizados sobre hidráulica de perforación, han demostrado que una óptima limpieza del fondo del hoyo depende de las propiedades del lodo y de la velocidad de desplazamiento de los ripios, encontrándose que para tamaños normales esta velocidad es de 100 a 110 pie/min., en lodos de densidad y viscosidad bajas, en tanto que para lodos pesados la velocidad de los ripios va disminuyendo. Se recomienda utilizar el máximo peso del lodo para controlar las presiones de formación, cuando sea necesario, ya que la limpieza del hoyo es deficiente para estas condiciones.

Si la velocidad del lodo en el espacio anular es de 20 a 30 pies/min., en exceso a la velocidad máxima de desplazamiento de los ripios, origina una baja limpieza del hoyo, principalmente cuando se está perforando rocas duras. (12)

Investigaciones de laboratorio efectuadas con una broca - tricónica cuando se utilizan uno, dos o tres chorros, demuestran que la limpieza del hoyo y la tasa de penetración incrementan como el número de chorros es disminuído,



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



al igual que cuando la longitud de los chorros es incrementada. También se ha determinado que la presión máxima sobre el fondo del hoyo y la presión en el centro del mismo, están relacionadas con velocidad y diámetro de la boquilla, así como también la distancia con el fondo del hoyo. (13)

En el laboratorio se han ensayado métodos buscando la máxima potencia hidráulica utilizable, concluyendo que las disponibilidades y condiciones de trabajo serán los únicos factores que señalen el método a emplearse ya que el comportamiento de los resultados son similares. (14)

Otros factores son la presencia de altas presiones y temperaturas de ambientes donde existe  $H_2S$ ,  $CO_2$  y fluidos corrosivos; siendo estas variables condiciones críticas cuando se diseñan los tubulares, los cuales necesitan tratamiento metalúrgicos de los materiales seleccionados y que cumplan con las normas A.P.I., establecidas. Esta consideración también incluye a los equipos de superficie, cuando se terminan las operaciones de completación (15).

La cementación de las tuberías se efectúan de acuerdo a las condiciones que se tienen en el pozo. En el ca



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

so de pozos profundos, se debe efectuar un análisis completo del tiempo de espesamiento, pérdida de fluido, resistencia a la compresión y permeabilidad. A estas profundidades, temperaturas y presiones elevadas afectan el tiempo de espesamiento, por una acelerada hidratación de los componentes del cemento, disminuyendo el tiempo de bombeabilidad. Se ha comprobado que el tiempo de espesamiento, para mezcla que contiene silica fluor a diferentes concentraciones es mucho mayor que para mezcla de cemento puro. Concentraciones de igual cantidad por peso de silica fluor y cemento, tienen excelente esfuerzo compresivo, porque la silica fluor reacciona con los productos de la hidratación del cemento a temperaturas mayores de 320°F. (16)

Es importante que la tubería de perforación sea continuamente probada por fatiga porque su continuo movimiento de rotación y pandeo produce una gran concentración de esfuerzos y sumados a un ambiente corrosivo ocasionan fractura de la tubería originando operaciones de pesca. La situación es más grave a mayores profundidades; debido al incremento de las cargas por tensión y compresión, por la presencia de formaciones duras. (17)

Finalmente se requiere que el cabezal del pozo que so-



portará las cargas de los revestimientos instalados en el pozo, reuna las presiones de trabajo y la presión anticipada máxima que pueda ocurrir, lo cual nos permite controlarlo o estimularlo en el futuro. Estos cabezales requieren diseños mecánicos y metalúrgicos especiales, dependiendo de las temperaturas y presiones altas y presencia de  $H_2S$ .<sup>(18)</sup>



BIBLIOTECA FICT'  
ESPOL

## CAPITULO II

### CONSIDERACIONES TEORICAS

#### 2.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA TASA DE PENETRACION

Las variables que afectan a la tasa de penetración son las siguientes:

- a. Características de la formación
- b. Selección de la broca
- c. Peso sobre la broca y velocidad de rotación
- d. Limpieza en el fondo del hoyo
- e. Propiedades del lodo

- a. Características de la Formación: (4,19)

Las propiedades de las rocas que gobiernan la tasa de penetración no están bien definidas, por lo que es necesario establecer una correlación entre esfuerzo y propiedades elásticas, tanto de las me



BIBLIOTECA FICT.  
ESPOL

didias de laboratorio como las obtenidas durante la perforación.

Se debe considerar también las propiedades relativas de dureza y abrasividad, debido a su efecto sobre la vida de la broca. Se ha determinado que las propiedades elásticas en las formaciones, están altamente influenciadas por el estado de esfuerzos en el que se encuentran sometidas, ya que la tasa de penetración varía inversamente con el esfuerzo - compresivo de la roca.

Además el cambio de la tasa de penetración es mínima cuando hay una gran variación de la presión de confinamiento subsiguiente. El efecto de presión de confinamiento en la tasa de penetración es grande para altos pesos sobre la broca, también la tendencia de la broca al embolonamiento en una formación depende de su composición mineralógica.



Las arcillas hidratables en general y la bentonita en particular, forman una pasta que llega a saturarse entre los dientes y los conos de la broca ocasionando una gran reducción de la tasa de penetración.

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Así mismo, la permeabilidad influye en la perforación de las rocas, debido a un efecto de alivio de la presión impuesta, porque las rocas permeables permiten igualar la presión adelante de la broca y no muestran un cambio apreciable en la perforación. Una roca completamente saturada con un fluido incompresible, puede ser menos sensitiva a efectos de presión en la boca del pozo que otra conteniendo un gas, la mayor parte de este efecto es debido al bajo esfuerzo compresivo de las zonas porosas. Además la roca fallada se vuelve más plástica a medida que la temperatura aumenta.

El tamaño del hoyo, el tipo de broca, la selección del fluido de perforación y los procedimientos generales de operación, dependen de la naturaleza de la roca.

b. Selección de la broca: (19)

Esta selección se basa en los registros de brocas anteriores, predicciones geológicas, registros de pozos vecinos y en costos de perforación por pie.

Los costos están siendo sustancialmente reducidos



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

por mejores procedimientos en la selección de la broca, debido a un ahorro en los tiempos de viaje.

c. Peso sobre la broca y velocidad rotatoria: (3-19)

La tasa de penetración incrementa conforme aumenta la velocidad rotatoria y el peso sobre la broca pero también acelera su desgaste, como se presenta en la figura N° 1 y N° 2, que son resultados de pruebas de campo.

En formaciones duras, la tasa de penetración disminuye para un aumento de la velocidad rotatoria al usar brocas normales; pero al cambiarlas por las de diamante, la penetración incrementará en una proporción cercana a la velocidad de rotación obteniéndose una buena limpieza del fondo del hoyo. Este criterio conduce al uso de brocas de diamante para altas revoluciones por minuto, especialmente cuando se perforan pozos profundos, en donde el hoyo final es de diámetro reducido y se requiere uniformidad para asentar el revestimiento de producción de fondo (camisa) minimizando problemas en la cementación.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

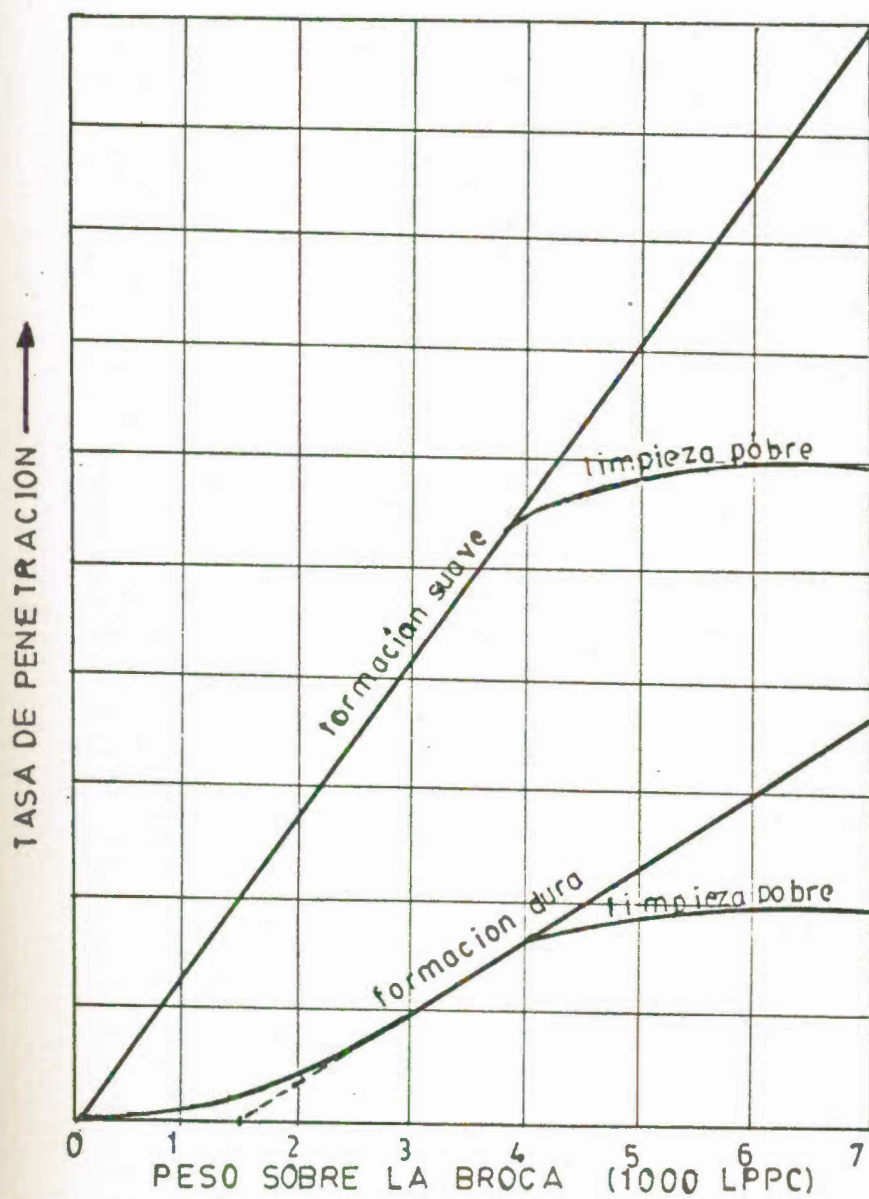


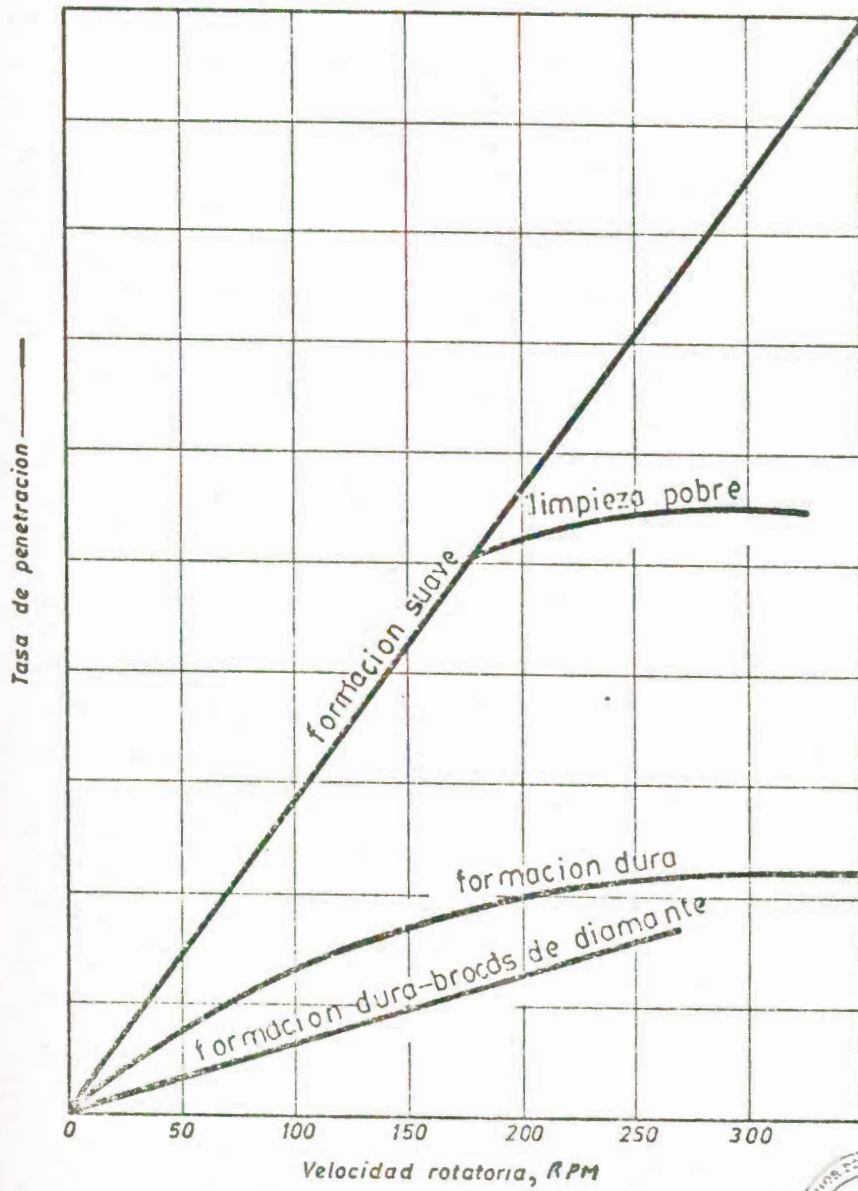
Fig. N°1

TASA DE PENETRACION  
Vs. PESO SOBRE LA BROCA (19)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



Fig. N<sup>o</sup> 2.

TASA DE PENETRACION vs.  
VELOCIDAD ROTATORIA <sup>(19)</sup>



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Se deben seleccionar los pesos sobre la broca y velocidades rotatorias para obtener un costo mínimo por pie perforado, ya que el no controlar estos factores ocasionan disminución de la vida útil de la broca, siendo necesario por decir sus límites operacionales.

La siguiente ecuación relaciona la tasa de penetración respecto al peso de la broca y velocidad de rotación:

$$R = KWN^a \quad (1)$$

Siendo R la tasa de penetración instantánea, la misma que puede ser usada como una tasa de penetración promedia para una corrida completa de la broca.

Tomando en cuenta el desgaste, la ecuación (1) puede ser expresada en la siguiente forma:

$$R = \frac{KWN^a}{1+K'(D)} \quad (2)$$

Donde:



**BIBLIOTECA FIC  
ESPOL**

R = tasa de penetración	pie/hora
K = Constante de perforación (depende del tipo de formación).	adimensional
W = peso sobre la mecha	lb/pulg.
N = velocidad de rotación	RPM
a = exponente de perforación para velocidad de rotación	adimensional
K' = constante de perforación relacionada con el desgaste.	adimensional
D = desgaste normalizado de los dientes de la broca.	adimensional

Las constantes K, K', D, a son determinadas en las operaciones de campo.

La vida de la broca, está definida por la siguiente ecuación.

$$L = \frac{K''}{NW^b} \quad \text{ó} \quad \frac{K''}{N} = L W^b$$

Donde:

L = vida de la mecha	hrs
K'' = constante	adimensional
b = exponente	adimensional



(3)  
BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

La constante  $K''$  y el exponente  $b$  dependen principalmente del tipo y características abrasivas del fluido de perforación usado,  $b$  puede variar entre 1.0 y 3.0.

La mejor manera para determinar la constante  $b$  es manteniendo un registro de la vida de la broca respecto al peso de la misma y al graficar estas variables en papel Log-log se obtiene una recta cuya pendiente es  $b$ , la cual está representada en la figura N° 3. Esta recta depende de los criterios usados para extraer y seleccionar las brocas que se consideren no han sufrido mayor desgaste.

Los criterios para determinar cuando se deben extraer las brocas son los siguientes:

1. Una baja tasa de penetración, comparada con tasas normales esperadas.
2. Un súbito incremento del torque en la rotación.
3. Resultado negativo del análisis económico, basado en los cálculos de costos por pie perforado.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

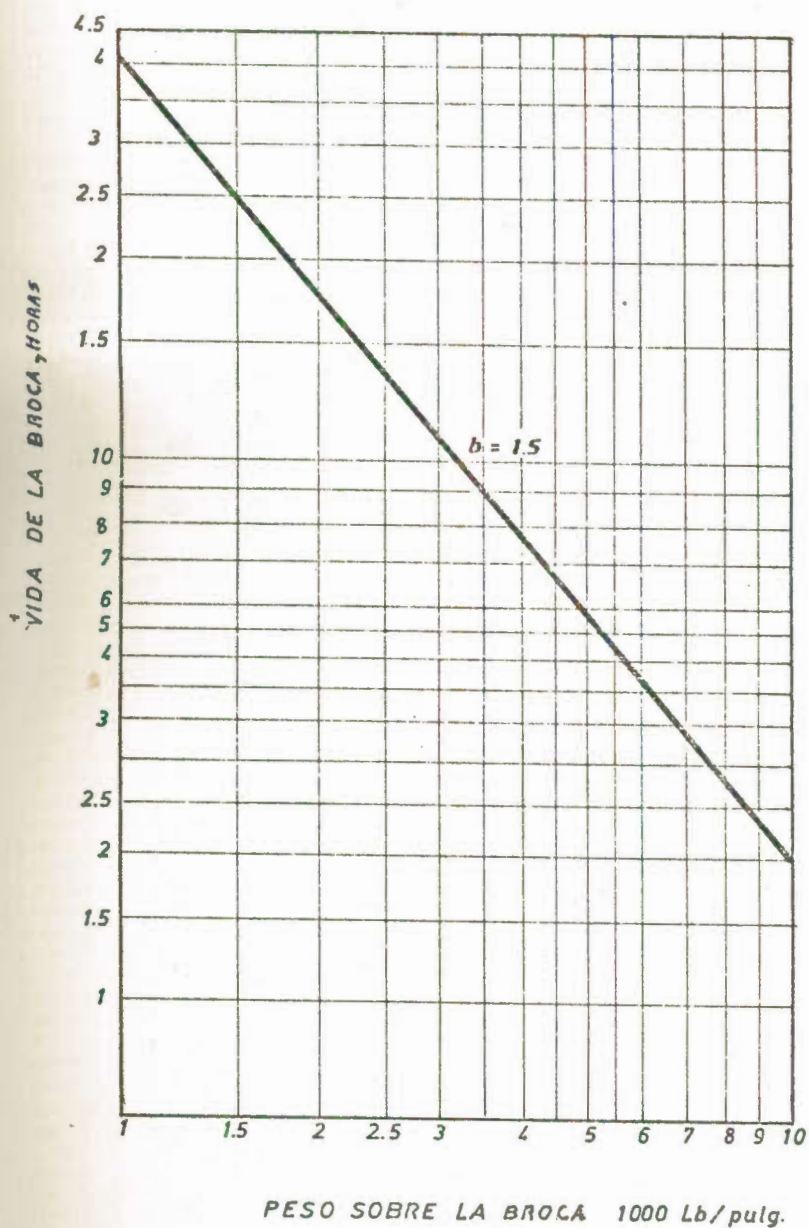


Fig. No 3

VIDA DE LA BROCA vs PESO SOBRE LA BROCA<sup>(19)</sup>



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Otro procedimiento empleado para determinar cuando se deben extraer las brocas es combinando la tasa de penetración y tiempo de perforación, este método no es muy preciso. El torque de perforación es el método más usado en el campo.

Se deben considerar las siguientes limitaciones - en las selecciones de la broca: la potencia hidráulica disponible para la rotación, uso y peligro de romperse la tubería de perforación y enfriamiento apropiado de la broca.

La ecuación que permita calcular el costo mínimo por pie perforado es la siguiente:

$$C_t = \frac{B + C_r(t + T)}{F} \quad (4)$$

De manera similar el peso óptimo sobre la broca puede ser determinado por la siguiente ecuación:

$$W_{opt} = \left[ \frac{C_r K''}{(b-1) N(B + C_r T)} \right]^{1/b} \quad (5)$$



**BIBLIOTECA FICT**  
**ESPOL**

Donde:

$C_t$	= costos de perforación	\$/pie
B	= costos de broca	\$/broca
$C_r$	= costo de operación del taladro	\$/hora
t	= tiempo	horas
T	= tiempo de viaje completo	horas
F	= pies avanzados por la broca	pies
$W_{opt}$	= peso óptimo sobre la broca	lbs.

d. Limpieza en el fondo del hoyo: (19)

Ha sido una tendencia en años recientes el ignorar la limpieza del fondo del hoyo en pozos profundos con presiones de poro anormales, y en algunos casos se alcanza un pequeño balance entre la arremetida y la perdida de circulación. Pero al incrementar las condiciones de limpieza del fondo del hoyo, reduce el tiempo de perforación y aumenta las posibilidades de alcanzar el objetivo deseado.

e. Propiedades del lodo: (19)

Las propiedades del lodo, que afectan a la tasa

de penetración son las siguientes:

1. Peso del lodo
2. Contenido de sólidos y tipo de sólidos
3. Viscosidad plástica del lodo
4. Tasa de filtración y pérdida inicial de filtrado
5. Fase líquida: agua o aceite

1. Peso del Lodo:

Es conocido que incrementos en el peso del lodo pueden disminuir la tasa de penetración, pero una relación cuantitativa de estas dos variables no ha sido bien definida.

En los registros que dan un estimado de la presión de poro, se observa que la tasa de penetración es inversamente proporcional al peso del lodo, siendo esto razonable y se lo comprueba por medio de la figura N° 4 y N° 5. Cabe señalar en la figura N° 5, que un aumento de 250 psi, representa un incremento en el peso del lodo de 2 lb/gal.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

2. Contenido de sólidos y tipos de sólidos: Es difícil separar los efectos de contenido de sólidos, y de peso



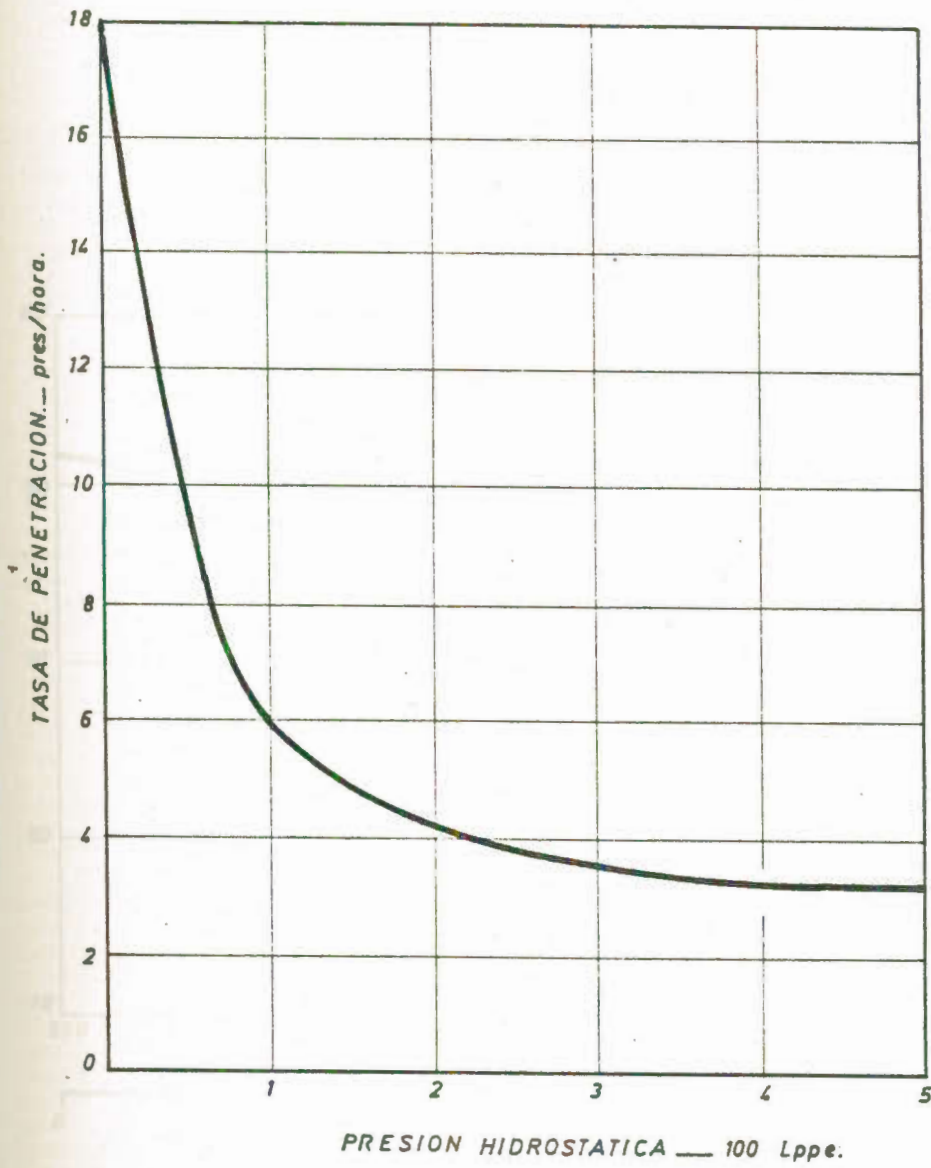


Fig. Nº 4

TASA DE PENETRACION vs.  
PRESION HIDROSTATICA. <sup>(19)</sup>



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

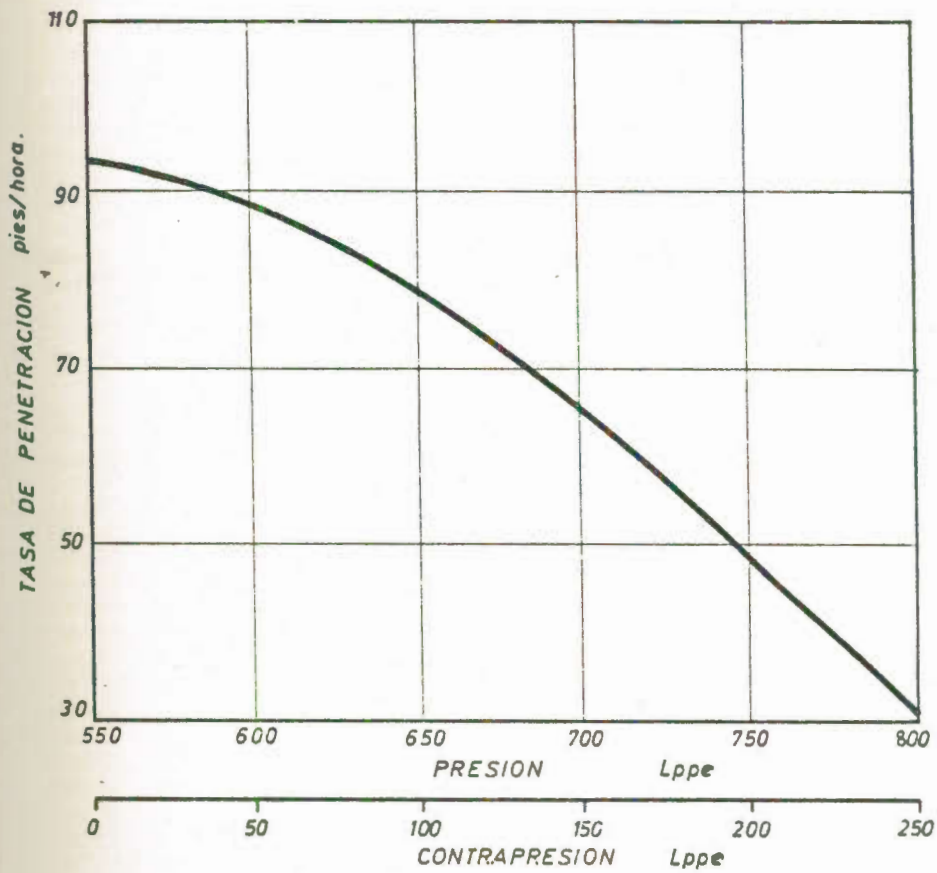


Fig. N°5. TASA DE PENETRACION vs  
(19)  
CONTRAPRESION.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

del lodo, ya que aumentan simultáneamente. Sin em bargo es conocido que las tasas de penetración - con lodos saturados de agua salada serán más al tas que con lodos en base agua dulce.

### 3. Viscosidad del Lodo:

Los efectos viscosos en el flujo laminar afectaran a la tasa de penetración solamente si una pérdida de presión de circulación adicional es im puesta en el espacio anular con un lodo espeso. Esta presión adicional incrementará la pérdida de presión hidrostática en el espacio anular y afec tará a la tasa de penetración, como se indica - al hablar del peso del lodo.

Se ha determinado que un lodo liviano a altas tasas de corte, resultará en tasas de penetración más grandes que con lodo pesado si no ocurre - ningún cambio en las propiedades del lodo.



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

### 4. Tasa de filtración y pérdida inicial de filtrado:

En la práctica se ha encontrado una variación directa entre las tasas de penetración y de fil tración, ya que disminuyendo ésta última, también

disminuye la tasa de penetración, lo cual se debe a la acción de los materiales agregados para reducir la filtración. Con lodos de bajo contenido de sólidos es común tener una tasa de filtración de 10 cc y una alta pérdida inicial de filtrado, lo cual es necesario para formar la costra de lodo. Siendo la tasa de penetración en estas condiciones, mayor que para lodos de alto contenido de sólidos y tasa de filtración de 20 cc.

#### 5. Fase líquida: agua y aceite:

El efecto de la fase fluída sobre la tasa de penetración puede ser sustancial. Para igual peso de lodo, la tasa de penetración con fase líquida continua de petróleo generalmente será alrededor de 20 a 30 % menos, que al usar como fase líquida el agua, debido a que el aceite no origina tasas de corte como los lodos a base de agua.

Además cuando la fase líquida es aceite existe un notable incremento de peso sobre la broca.

## 2.2. PROPIEDADES BASICAS DE FLUJO (33)

Durante las operaciones de perforación es de vital importancia controlar las propiedades físicas del lodo, para que su comportamiento sea óptimo.

### a. Propiedades Reológicas: (21)

Las propiedades reológicas de un lodo son las siguientes: viscosidad, punto cedente y resistencia gel.

#### 1. Viscosidad:

A la viscosidad de un fluido se lo identifica como su resistencia interna a fluir y resulta de la relación entre el esfuerzo cortante y la tasa de corte.

En un sistema de circulación el principal objetivo es la reacción del flujo del lodo en la broca, donde las tasas de corte son extremadamente altas, en comparación con el espacio anular donde son más bajas (figura N° 6). La figura muestra la viscosidad plástica de lodos a base de agua a diferentes valores de peso del lodo,



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

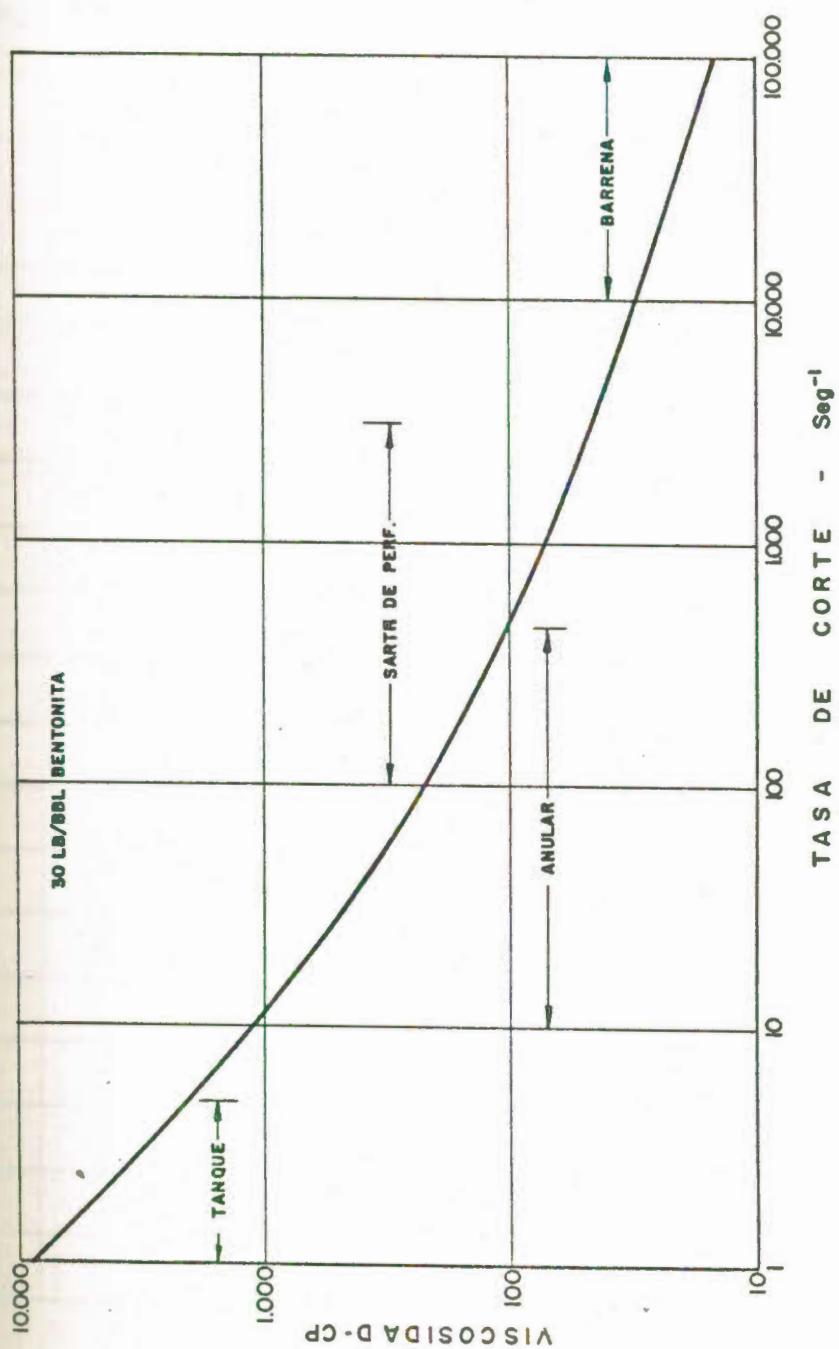


Fig. Nº 6 CURVA DE VISCOSIDAD PARA SUSPENSIONES DE BENTONITA (5)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

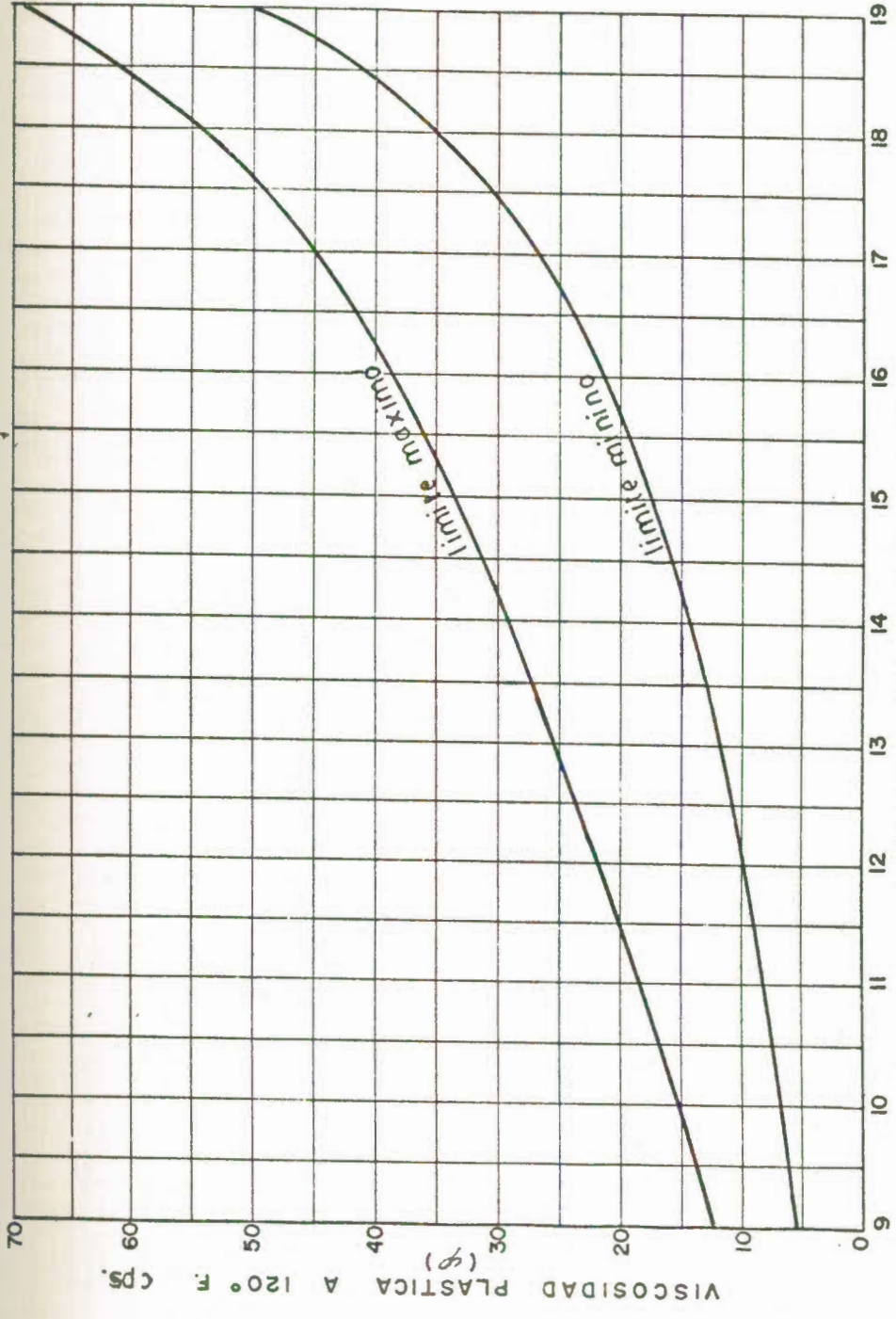


Fig. No 7 LIMITE SUGERIDOS DE VISCOSIDAD PLASTICA (5)



BIBLIOTECA FICT SPOL

observándose que bajas viscosidades plásticas corresponden a una mejor calidad del lodo. Mediante la figura N° 8, se corrige la viscosidad plástica respecto a la temperatura.

## 2. Punto Cedente:

Cualquier perturbación que varíe la reacción de un lodo a una baja tasa de corte, se refleja en el punto cedente. A bajas tasas de corte las partículas, se pegan unas a otras y elevan la resistencia al flujo, a altas tasas de corte el contacto disminuye y el flujo se hace más acuoso. Estos dos esfuerzos en combinación son los que determinan el punto cedente del lodo. La figura N° 9 muestra los límites sugeridos del punto cedente.

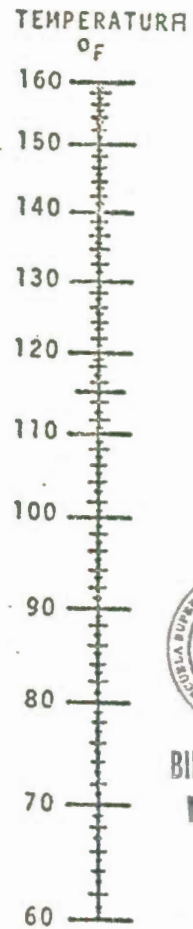
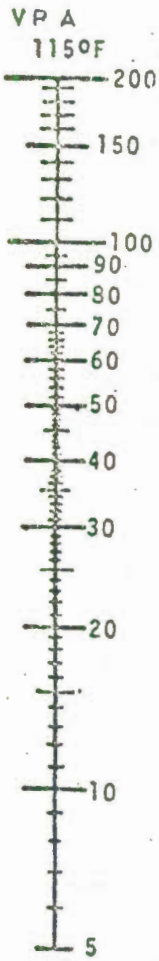
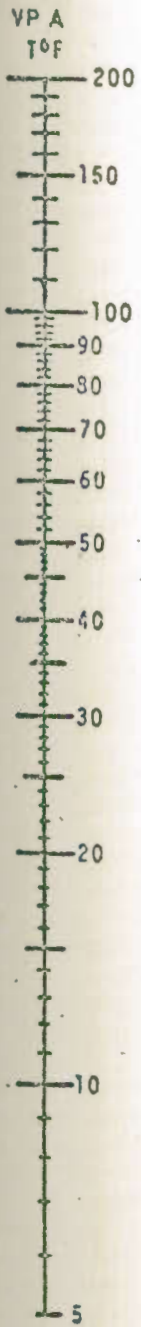
## 3. Resistencia gel:

La medida del esfuerzo cortante necesario para iniciar el flujo de un fluido que ha estado inmóvil durante algún tiempo. Esta resistencia es causada por cargas eléctricas entre las partículas que se pegan unas a otras. Es necesario en un lodo de alta densidad que la resis



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL





BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

FIG N:8 CORRECCION DE LA VISCOSIDAD  
PLASTICA CON LA TEMPERATURA (5)

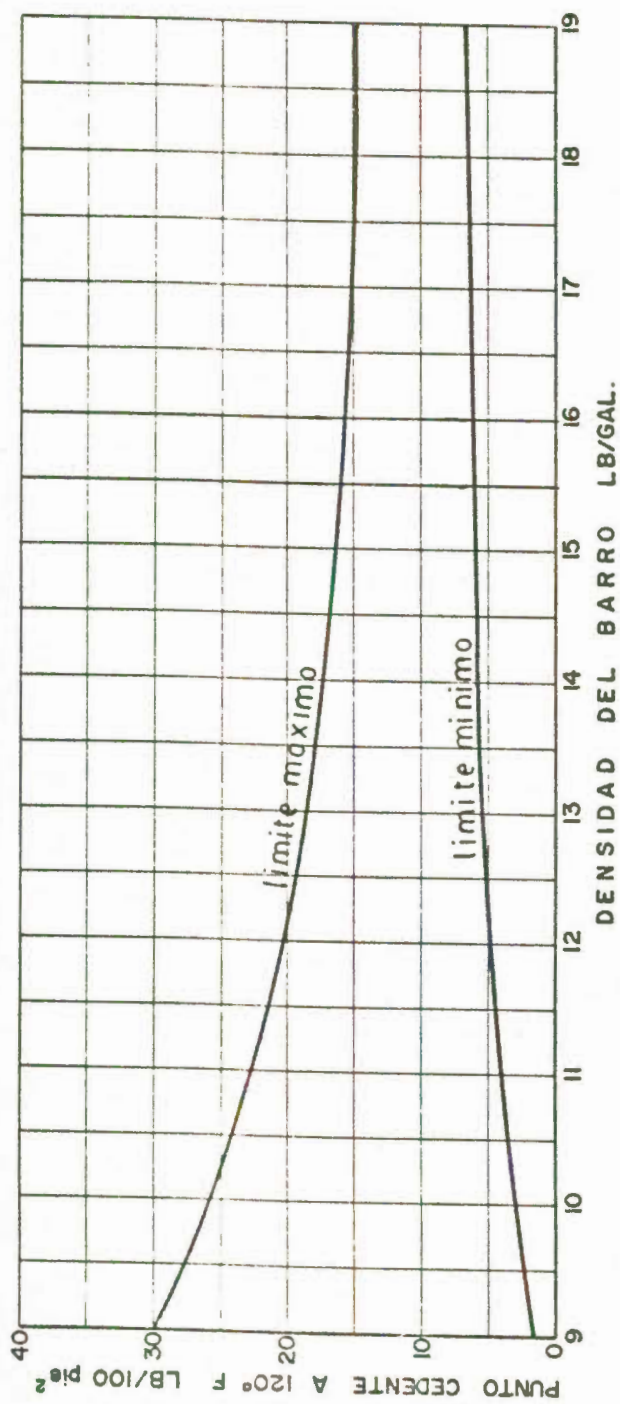


Fig. N° 9. LIMITES SUGERIDOS DEL PUNTO CEDENTE (5)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

tencia gel sea entre 2 y 4 lb/100 pies<sup>2</sup> para suspender la barita y en caso contrario se tendrá un asentamiento de la misma.

Un lodo base agua debe tener suficiente bentonita y por ende poder de suspensión de la barita y en caso contrario se debe agregar bentonita prehidratada.

b. Comportamiento de flujo del lodo de perforación:

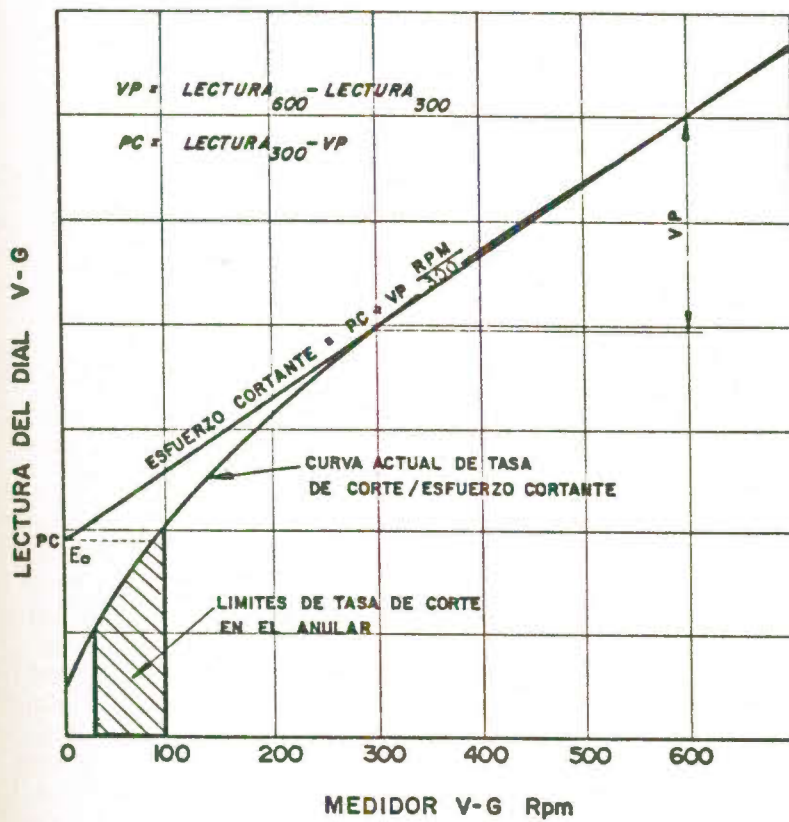
Se han desarrollado varios modelos para explicar el comportamiento de flujo de estos fluidos, en este capítulo se tratará de los siguientes: modelo plástico de Bingham y el modelo de la ley exponencial.

1. Modelo plástico de Bingham<sup>(19 y 21)</sup> (Figura N°10):

Describe a un fluido que requiere una fuerza finita para iniciar el flujo y por lo tanto exhibe una tasa constante del incremento del esfuerzo de corte con el incremento de la tasa de corte, matematicamente expresado por la siguiente ecuación:



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Fig. Nº10 MODELO PLASTICO DE BINGHAM (21)

$$E = E_0 + VP \cdot T_c \quad (6)$$

Donde:

$E$  = esfuerzo cortante

$E_0$  = esfuerzo cortante a la tasa de corte cero (PC)

$T_c$  = tasa de corte

$VP$  = viscosidad plástica

## 2. Modelo de la Ley exponencial<sup>(19,20)</sup>:

Este modelo es de aprovechamiento más versátil - para describir las propiedades de flujo de un fluido no Newtoniano como es el lodo de perforación. Describe un fluido en el cual el esfuerzo de corte incrementa como una función de la tasa de corte elevada a alguna potencia  $n$  y se expresa por la siguiente ecuación:

$$E = kT_c^n \quad (7)$$

Donde:

$n$  = índice de comportamiento de flujo      adimensional

$k$  = índice de consistencia del fluido      adimensional

El valor de  $n$  y  $k$  se obtienen por las relaciones siguientes:

$$n = 3.32 \log \left( \frac{\varnothing 600}{\varnothing 300} \right) \quad (8)$$

$$k = \frac{\varnothing 600}{(600)^n} \quad (9)$$

$\varnothing 600$  y  $\varnothing 300$  son las lecturas que se obtienen en el Rehometro a una tasa de corte de 600 y 300 RPM. Pero por definición se pueden expresar estas lecturas en función de PC y VP, por medio de las ecuaciones siguientes:

$$\varnothing 600 = PC + 2 VP$$

$$\varnothing 300 = PC + VP$$

Determinación de la tasa de corte:

La tasa de corte se expresa en términos de las RPM (revoluciones por minuto) obtenidas del viscosímetro y se calcula por medio de la siguiente



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

ecuación:

$$T_c = \frac{1.409 \times \bar{V}}{D_h - D_p} \quad (10)$$

Donde la velocidad promedio ( $\bar{V}$ ) en el espacio anular está calculada en función de la tasa de circulación (Q).

$$\bar{V} = \frac{24.5 \times Q}{(D_h^2 - D_p^2)} \quad (11)$$

Donde:

Q = tasa de flujo	gpm
D <sub>h</sub> = diámetro del hoyo	pulg
D <sub>p</sub> = diámetro de la tubería	pulg
$\bar{V}$ = velocidad promedio	pie/min

Las unidades para la tasa de corte, el esfuerzo cortante y la viscosidad, se obtienen de la siguiente forma:

Tasa de corte (T)

Si tenemos las RPM, se multiplican por 1.7 para

obtener 1/seg.

### Esfuerzo cortante (E)

Si tenemos unidades  $F_{ANN}$ , se debe multiplicar la lectura del indicador por 1.067 para obtener  $- lb/100 ft^2$ .

### Viscosidad

Conociendo la relación de viscosidad

$$\mu = \frac{E}{T_e}$$

$$\mu = \text{DINAS. seg/cm}^2$$

$$\mu = \text{Poise}$$

### Densidad equivalente de circulación (5,11,20)

A mayores profundidades se encuentran altas temperaturas, las que ocasionan cambios en las propiedades reológicas del lodo. Si al continuar la perforación la presión en superficie incrementa - sin haber tenido cambios en la tasa de flujo, significa que la viscosidad en el espacio anular está aumentando debido a la floculación del lodo



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



por excesiva cantidad de sólidos. La densidad - equivalente de circulación de un lodo indica el límite máximo de presión que resiste la formación antes de ser fracturada, por esta razón es importante conocer las pérdidas de presión, durante la perforación y circulación del lodo. Las pérdidas de presión que ocurren en el espacio anular son causadas en gran porcentaje por el esfuerzo de perforación contra las paredes - del hoyo, y éstas convertidas a unidad de densidad y sumando el peso del lodo a esa profundidad, constituyen la densidad equivalente de circulación:

$$DEC = \rho b + \frac{P_r}{0.052 \times H} \quad (12)$$

Donde:

Las pérdidas de presión en el espacio anular - se calculan por la siguiente ecuación:

$$P_{r1} = \frac{3.75 \times E(\text{RPM})}{D_h - D_p} \quad (13)$$

Donde:

DEC	= densidad equivalente de circulación	lbs/gal.
$P_r$	= pérdida total de presión en el espacio anular	Lppc
$P_{R1}$	= pérdida de presión en el espacio anular	Lppc/1000 pies
$D_h$	= diámetro del hoyo	pulg.
$D_p$	= diámetro de la tubería	pulg
$\rho_b$	= densidad del lodo	lbs/gal.
H	= profundidad	pies
$T_c$	= tasa de corte	RPM
$E(RPM)$	=esfuerzo cortante para RPM seleccionadas.	

### Presiones de surgencia (5,19)

Son gradientes de presión inducidos por movimientos de la tubería en el espacio anular, difieren de los gradientes de presión producidos por circulación solamente en que el flujo del lodo es producido por el movimiento de la tubería más que por la bomba. Los cálculos de presiones de surgencia solo sirven como una guía, ya que ellos apuntan fuera de las situaciones críticas donde se debe tener cuidado que las velocidades de corrida de las tuberías sean bajas. La figura N° 11 es un gráfico de las presiones surgentes asociadas con



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

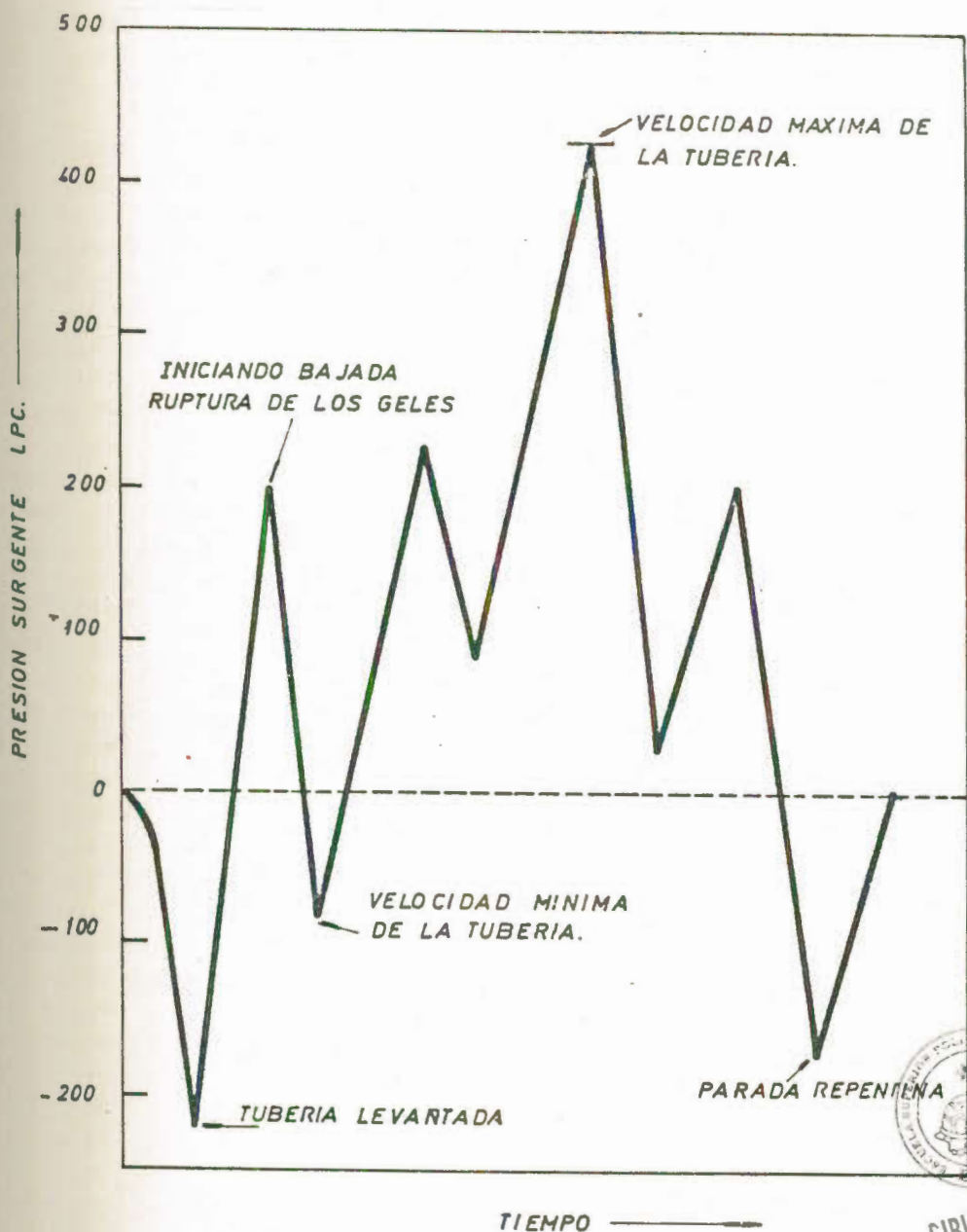


Fig. N° 11

PRESIONES SURGENTES  
ASOCIADAS CON LA (20)  
VELOCIDAD DE CORRIDA.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

la velocidad de la corrida.

### Cálculo de la presión de surgencia

El cálculo de las presiones de surgencias requeridas para romper los esfuerzos de gel, es estimado por la ecuación (13). Se ha encontrado que la presión de surgencia necesaria para romper los esfuerzos de gel es generalmente menor que la experimentalada cuando se está bajando la tubería a la máxima velocidad.

A continuación se analizan los casos de presión de surgencia en el caso de tubería cerrada o abierta.

#### 1. Tubería cerrada:

El desplazamiento del fluido es fácilmente determinado, pero deben ser consideradas las pérdidas - por fricción por el movimiento del fluido sobre las paredes de la tubería y por el movimiento de la tubería dentro del hoyo.

a. Velocidad anular: Para este caso se calcula por la siguiente ecuación:



$$V = \left[ K + \frac{D_p^2}{D_h^2 - D_p^2} \right] V_p \quad (14)$$

Donde:

$V$	= velocidad anular	pies/min
$V_p$	= velocidad de la tubería	pies/min
$D_p$	= diámetro externo de la tubería	pulg.
$D_h$	= diámetro del hoyo	pulg
$K$	= 0,45(constante de Burkhardt)	adimensional

#### b. Velocidad máxima del fluido ( $V_m$ )

La velocidad máxima del fluido será:

$$V_m = 1.5 V.$$

#### 2. Tubería abierta:

Para este caso las presiones de surgencia son más difíciles de definir. El flujo relativo en el espacio anular y dentro de las instalaciones de tuberías será dependiente de la presión relativa y del área de la sección transversal. Esta presión relativa dependerá de las propiedades del lodo.



a. Considerando flujo laminar:

1. Conociendo los valores de VP y PC

$$P_S = \frac{(VP) V_m H}{60000 (D_h - D_p)^2} + \frac{(PC) H}{200 (D_h - D_p)} \quad (15)$$

2. Para cualquier condición:

$$P_S = \left[ \frac{(2.4 V_m)}{D_h - D_p} \left( \frac{2n+1}{3n} \right) \right]^n \frac{KH}{300 (D_h - D_p)} \quad (16)$$

El valor de (n) se obtiene por ecuación (8).



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

b. Considerando flujo turbulento:

$$P_S = \frac{7.7(10^{-5}) \rho_b^{0.8} Q^{1.8} (VP)^{0.2} H}{(D_h - D_p)^3 (D_h + D_p)^{1.8}} \quad (17)$$

Donde:

$P_S$  = presión de surgencia

$L_{ppc}$

H = profundidad de tubería

pies

$n$	= índice de comportamiento del flujo	adimensional
$Q$	- tasa de circulación	gpm
$V_m$	- velocidad máxima del fluido	pies/min.

### 2.3. ESTABILIDAD DEL HOYO (9)

La principal causa que produce la inestabilidad del hoyo es la acción de las lutitas y su propiedad de ser altamente hidratables.

La estabilidad del hoyo se la debe analizar en términos de densidad, reología, filtrado y otras características importantes del fluido de perforación.

a. Relación entre la estabilidad del hoyo y el peso del lodo :

La estabilidad del hoyo es afectada por el peso del lodo necesario para balancear la presión de la formación, también depende del esfuerzo del lodo sobre la roca matriz y de su efecto sobre la broca.

Además al analizar el comportamiento de los lodos en base de agua fresca, los no dispersados producen más estabilidad que los dispersados, aún si el grado de



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

desbalanceo es grande.

Registros de sensibilidad y conductividad también se usan para determinar la presión de poro y a la vez explicar la severidad en la inestabilidad del pozo.

b. Reología:

El efecto de la reología del lodo sobre la estabilidad del hoyo es propiamente descrita en términos del patrón de flujo del lodo en el espacio anular.

En general la inestabilidad por efecto de corrosión es mayor cuando el movimiento del lodo por las paredes del hueco es máximo (flujoturbulento) y pequeño cuando el movimiento es mínimo (flujo laminar).

Es lógico suponer que con un pequeño movimiento del lodo cerca de las paredes cuando se está penetrando arenas pobremente consolidadas, la depositación de la costra ocurrirá más rápidamente.

c. Filtración de lodo y estabilidad del hoyo:

Se han efectuado pruebas de laboratorio para dar



información relativa a la invasión del filtrado en zonas permeables, así como la depositación de las costra en la paredes. Se ha concluido que una baja pérdida de agua ayudará a crear inestabilidad en el hoyo.

#### 2.4. CONTROL DE SOLIDOS (6,7,21)

Es la función más importante del tratamiento del lodo, ya que el aumento de los sólidos elevan los costos de perforación. Si estos sólidos no son adecuadamente controlados, se pueden presentar serios problemas tales como pérdida de circulación, atascamiento - por presión diferencial, etc.

Basicamente hay tres métodos para reducir al contenido o el porcentaje de sólidos en el lodo de perforación y estos son :dilución, coladura y asentamiento.

El tipo de formación sirve para determinar el método de control de sólidos. El objetivo básico de control de sólidos es reducir el porcentaje de sólidos perforados al límite más favorable, obteniendo buena marcha de la perforación. Lo que quiere de



cir que hay que tener especial cuidado para controlar las partículas pequeñas, menores de 2 micrones, porque estas son predominantes al determinar las propiedades del lodo.

#### A. Método de Dilución:

Este método consiste en agregar agua y químicos al lodo de perforación para elevar el volumen total del sistema y reducir la concentración de sólidos.

Para una operación de dilución apropiada y económica, se deben considerar los siguientes factores.

1. Mantener el sistema en el menor volumen
2. Diluir el lodo de perforación en un solo paso y no por etapas.

Se considera utilizar la dilución cuando es necesario reducir el contenido de sólidos al 50 %, Mediante la figura N° 12, se observa las diferentes formas de reemplazamiento volumétrico en el proceso de dilución.

#### B. Método de Coladura:

En este caso la separación de los sólidos se lo

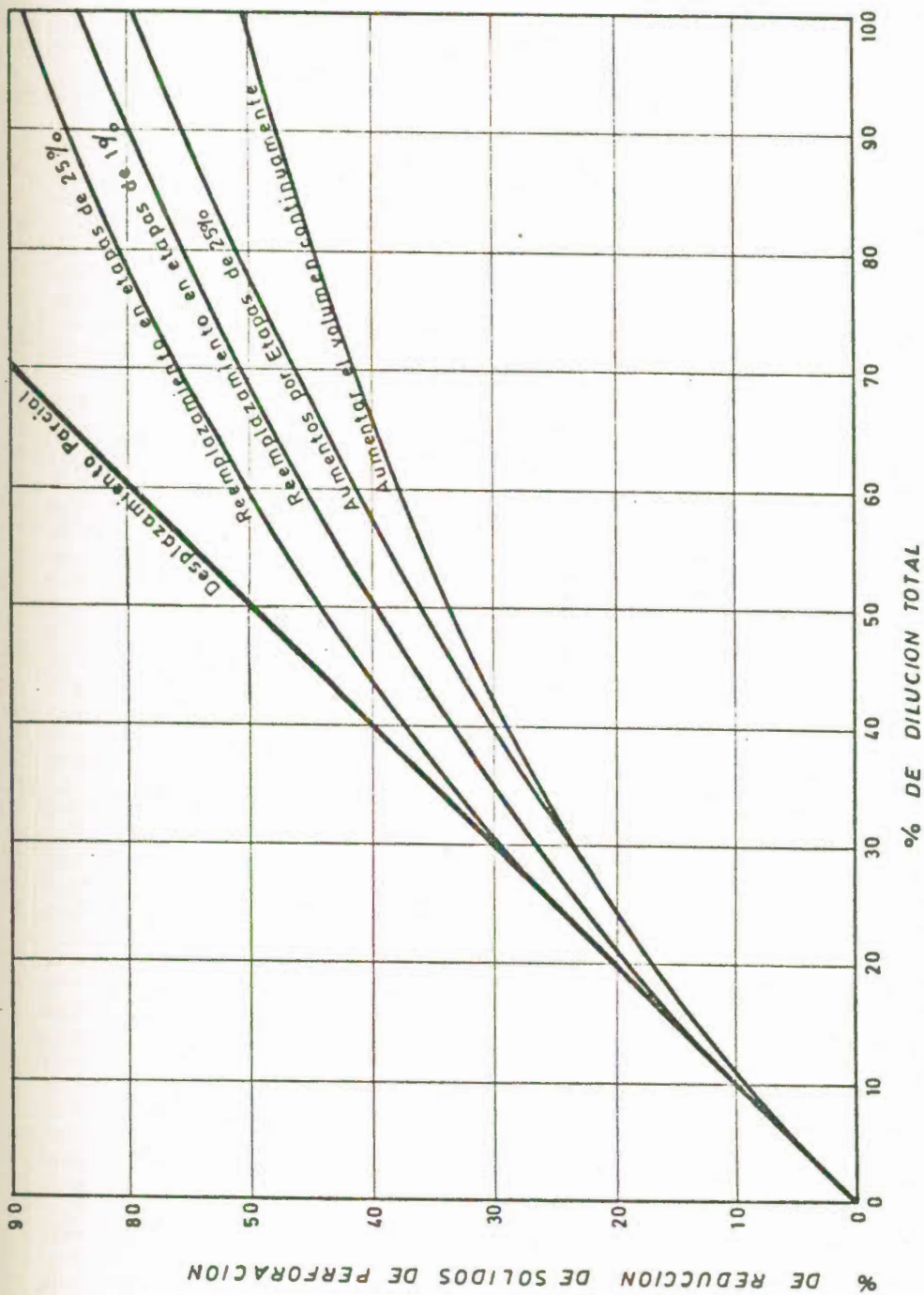


Fig 12 : METODO DE DILUCION (21)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

hace por medio de coladores, el cual es un método de bajo costo y no se desperdicia una gran cantidad de barita o de químicos. Principalmente los gastos son del alquiler del equipo y el reemplazo de los coladores. Se debe tratar de pasar el ciento por ciento del lodo a través del colador y por un colador muy fino que no deseche gran cantidad de barita, ya que las recomendaciones del API dicen que la máxima cantidad de barita que se debe retener en un colador de malla 200 (74 micrones) es 3% y en el caso de que todavía hayan sólidos de mayor tamaño que la barita, estos se los separan por centrifugación, siendo esta una operación muy cara y desecha una pequeña cantidad de sólidos en comparación con los que se puede desechar con el colador .

Por eso es importante eliminar los sólidos de perforación tan pronto entran al sistema.

### C. Método de Asentamiento:

Este método se basa en la separación de las partículas al aprovechar su naturaleza o sea del asentamiento debido a su peso. Existen -

equipos que elevan las fuerzas de gravedad de las partículas y así aumenta la tasa de asentamiento. Un dispositivo que sirve para asentar partículas es el hidrociclón, el cual incluye al desarenador y el deslimador.

## 2.5. CONTROL DE PRESIONES<sup>(22,30)</sup>

El control de presiones actualmente ha recibido mayor atención que cualquier otra fase de perforación y una razón de ello ha sido el incremento de problemas durante la perforación de pozos profundos, en donde los costos han sido extremadamente altos, asociados con la presencia de presiones de formación anormales. Los fluidos de perforación que crean estas presiones y pueden ser agua, gas, aceite o combinación de ellos.

Las presiones de formación se clasifican en subnormales, normales y anormales. Generalmente si los gradientes de presión son inferiores a 0,40 Lppc/pie la presión es subnormal, mayor que 0,52 Lppc/pie. La presión es anormal y entre los dos extremos la presión es normal. Presiones anormales se encuentran comunmente a grandes profundidades.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Se controla la presión de la formación mediante la presión ejercida por el lodo de perforación y ésta debe ser mayor para evitar un reventón del pozo. En caso de un peligro de reventón, se debe inmediatamente cerrar la válvula impide reventones y efectuar las maniobras adecuadas para controlar el pozo. Las señales de un posible reventón son las siguientes:

- A. Reducción en la presión de la bomba
- B. Variación del nivel de la cantina del lodo.
- C. Reducción súbdita en el peso de la tubería.
- D. Contaminación del fluido de perforación por gas, -sal o agua.

La primera advertencia para reconocer un peligro de reventón o arremetida es un cambio en la tasa de flujo y un aumento de nivel del tanque de lodo. La presión sobre la tubería durante una arremetida no solamente depende de la presión de formación, depende también del volumen de la arremetida y de la geometría del pozo.

Las arremetidas que se pueden presentar en el pozo que se está perforando son las siguientes:

- A. Mientras se está circulando.
- B. Cuando se está sacando tubería
- C. Cuando se está bajando tubería
- D. Por expansión de gas.

## 2.6. FILTRACION<sup>(24)</sup>

La filtración ocurre debido a la entrada del lodo en las formaciones permeables, ocasionando dos problemas diferentes: uno a causa de la invasión del filtrado y el otro debido al revoque que se forma en las paredes del hoyo.

Tipos de Filtración:

Debido a las características del fluido el cual está en movimiento o inmóvil, existe la filtración dinámica y estática. La filtración estática es la principal causante de la formación de la costra de lodo y la filtración dinámica ocasionando la invasión del filtrado.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## A. Filtración Estática:

a. Pruebas de filtración estática: Normalmente se hacen dos pruebas de filtración estática utilizando el filtro - prensa. La una prueba se la efectúa a baja temperatura o temperatura ambiental, con  $100 \text{ Lb/pulg}^2$  de presión de filtración y la otra a  $300^\circ\text{F}$  y  $500 \text{ Lb/pulg}^2$ . En general la prueba a baja temperatura se la efectúa para detectar cambios de la filtración del lodo y la prueba a alta temperatura se la hace para evaluar la filtración bajo las condiciones que se esperan en el fondo del hoyo. Normalmente, la pérdida del fluido en el análisis a  $300^\circ\text{F}$  y  $500 \text{ Lb/pulg}^2$  debe ser de dos a cuatro veces mayor que el resultado del análisis a baja temperatura y a  $100 \text{ Lb/pulg}^2$  y si el factor es mayor que 4 entonces se espera que haya floculación del lodo a las temperaturas más altas.

b. Mediciones de la filtración estática: Las mediciones que describen la pérdida de fluido a través de un papel filtro colocado en la celda de un filtro prensa son las siguientes:



1. La ecuación fundamental
2. Ecuación por efecto del tiempo
3. Mediciones por efecto de la temperatura
4. Ecuación por efecto de la presión

1. La ecuación fundamental

$$Q_w = \frac{k_p^{0.5} R^{0.5} t^{0.5}}{\mu^{0.5}} \quad (18)$$

2. Ecuación por efecto del tiempo

$$Q = K \sqrt{t} + e \quad (19)$$

Las curvas de la figura N° 13 están relacionadas a la tasa de filtración, siendo mayor la curva de lodo de alta pérdida de fluido debido a la pérdida inicial de trado (e).



fil  
BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

3. Mediciones por efecto de la temperatura

La ecuación fundamental anterior expone que

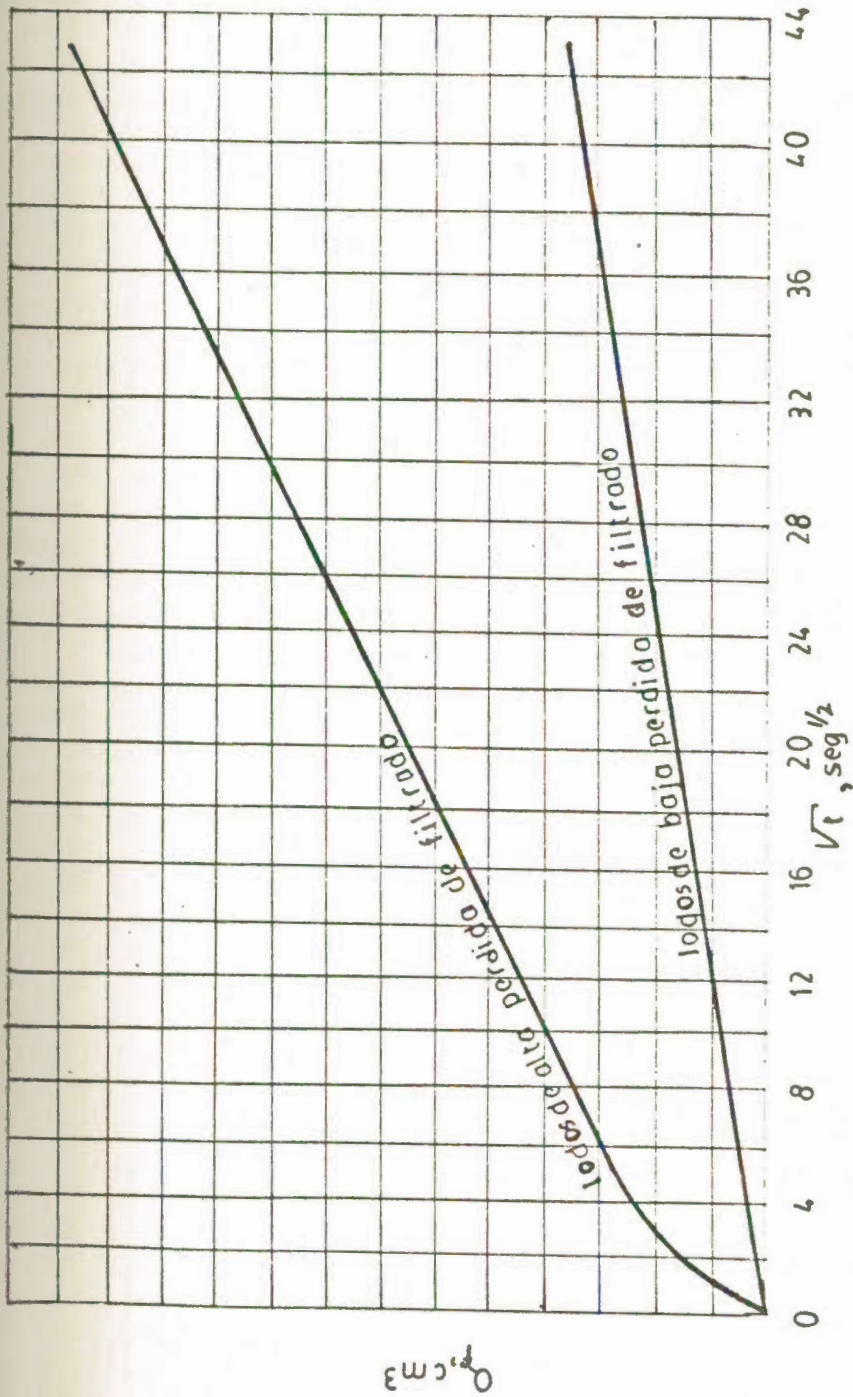


Fig. N° 13 CURVAS API PROMEDIAS PARA LODOS DE ALTA Y BAJA PERDIDA DE FILTRADO (24)



BIBLIOTECA FIC  
ESPOI

la pérdida de agua es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la viscosidad del filtrado y estableciendo relaciones se llega a la siguiente conclusión: conociendo la pérdida de agua a cierta temperatura, se la puede calcular a una temperatura.

Los diferentes valores de viscosidad del agua a distintas temperaturas están expuestas en la siguiente tabla:

VISCOSIDAD DEL AGUA Vs. TEMPERATURA			
°C	°F	$\mu$ CENTIPOISES	$\sqrt{\mu}$
0	32	1.792	1.339
10	50	1.308	1.144
20	68	1.005	1.002
40	86	0.801	0.895
30	104	0.656	0.810
60	140	0.469	0.685
80	176	0.3565	0.597
100	212	0.2838	0.533



BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL

A manera de ejemplo ilustrativo encontremos la relación entre las pérdidas de agua de un lodo, cuya temperatura cambia de 100°C a 20°C y en la tabla anterior hallamos sus correspondientes viscosidades.

Haciendo relación a ambas temperaturas y por medio de la ecuación fundamental:

$$\frac{(1.005)^{0.5}}{(0.2838)^{0.5}} = 1.88$$

O sea que la relación de las pérdidas de agua del lodo es 1.88 veces mayor a 100°C que a 20°C.

En la práctica un cálculo de esta naturaleza puede conducir a un serio error, por las siguientes causas:

- A. Un filtrado de lodo es característico para ese lodo, y es casi siempre diferente del agua.
- B. Los sólidos en el lodo de perforación cambian con la temperatura, y los sólidos en

diversos lodos varian en forma diferente.

#### 4. Ecuación por efectos de la presión

$$Q_t = K P^{0.5} \quad (20)$$

Aplicando logaritmos a ambos miembros:

$$\text{Log } Q_t = \text{log } K + 0.5 \text{ log } P \quad (21)$$

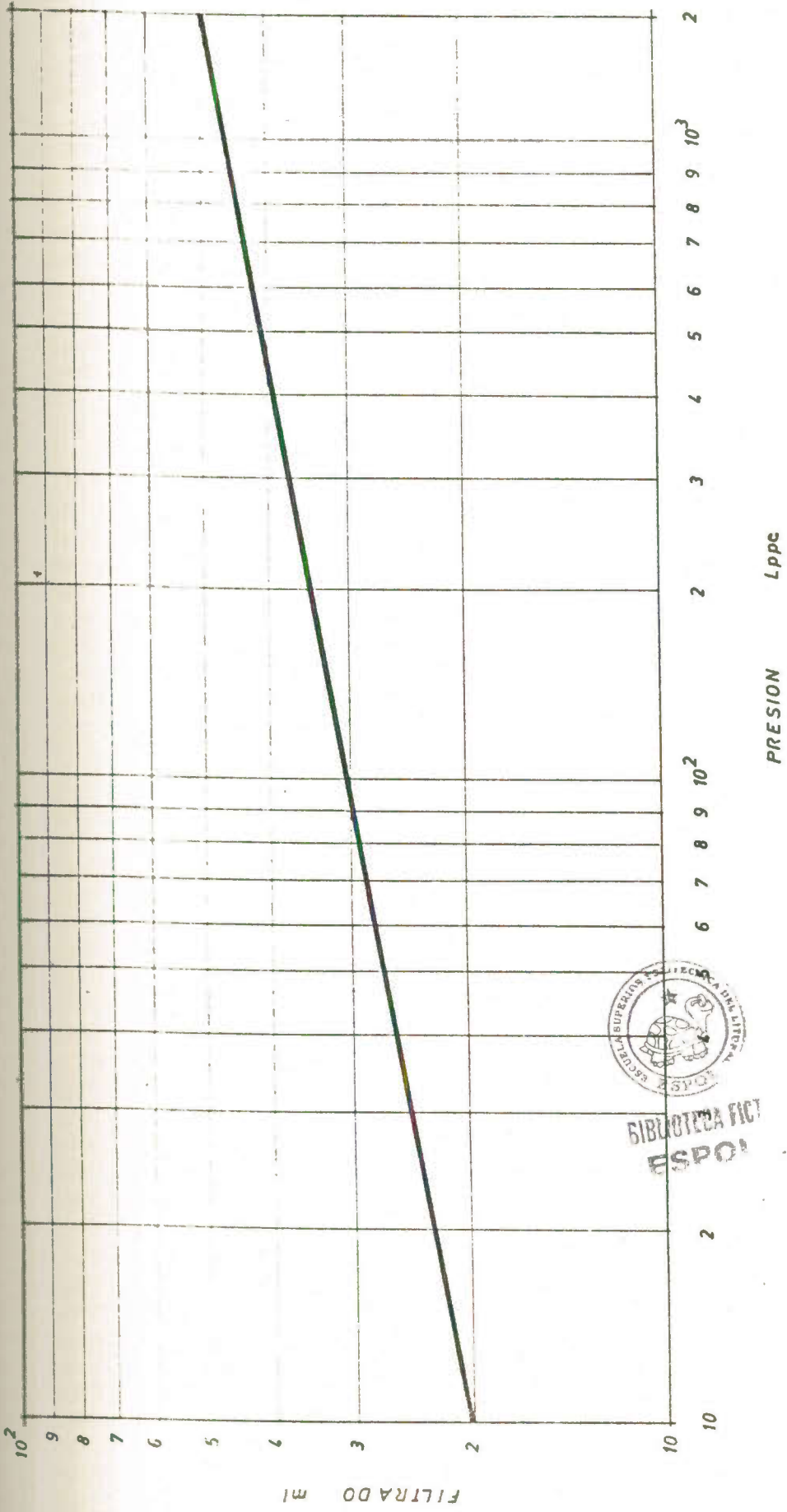
La ecuación es graficada en papel log - log, resultando una línea recta con pendiente K (Ver - figura N° 14).

Igual o menor tasa de filtración a alta presión, puede ser obtenida en lodos de agua fresca que contienen una alta concentración de bentonita y esto es debido a la combinación de las partículas de la bentonita con el agua de hidratación, que producen una costra ajustable y originan una baja permeabilidad cuando comprimidas.

Donde:



BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Fig. N°14 PRESION VS FILTRADO. (24)

$Q_w$	= volumen de agua	$\text{cm}^3$
$K$	= constante característica del lodo	Adimensional
$Q_s$	= volumen de sólidos	$\text{cm}^3$
$P$	= presión	Lppc
$R$	= razón $Q_w$ y $Q_s$	adimensional
$\mu$	= viscosidad del filtrado	cps
$Q_t$	= volumen del filtrado	$\text{cm}^3$
$c$	= pérdida inicial de filtrado	$\text{cm}^3$
$t$	= tiempo	seg

### B. Filtración Dinámica:

El proceso de filtración cuando el barro está en circulación, es diferente al proceso de filtración estática debido a las diferentes maneras de depositación.

Los factores que intervienen en este proceso son los siguientes:

A. Composición de la costra del lodo, que determinada por los sólidos que se encuentran en la corriente del lodo.

B. el espesor de la costra del lodo que es determinado por la diferencia entre la tasa de



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

depositación y la tasa de erosión.

C. La tasa de erosión depende de la velocidad, del lodo, el tipo del flujo y las características de la costra del lodo.

## 2.7. OPTIMIZACION DEL FLUJO EN EL SISTEMA<sup>(25)</sup>

La optimización del flujo en el sistema se puede lograr cuando se usan programas hidráulicos óptimos, es decir que las tasas de penetración pueden ser mantenidas a los valores máximos posibles.

En igual forma se trata de obtener el máximo impacto hidráulico disponible del fluido de perforación haciendo que la fuerza de impacto sea llevada al máximo. Durante la perforación habrá una limitación de la presión superficial, a medida que se profundiza un pozo y se originarán los tres casos siguientes:

### 1. Ninguna limitación de presión superficial

$$\text{Presión óptima sobre la broca} = \left( \frac{u + 1}{u + 2} \right) \times \text{Presión Superficial óptima}$$

(22)



Si la fracción  $\left(\frac{u+1}{u+2}\right)$  de la presión superficial es aplicada a través de las boquillas, el im pacto hidráulico será el máximo. El valor ( $\psi$ ) es la pendiente del gráfico presión de circulación - tasa de flujo en un pozo dado, graficado en la figura N° 15.

2. Transición entre el caso 1 y el caso 3
3. Presión superficial limitada

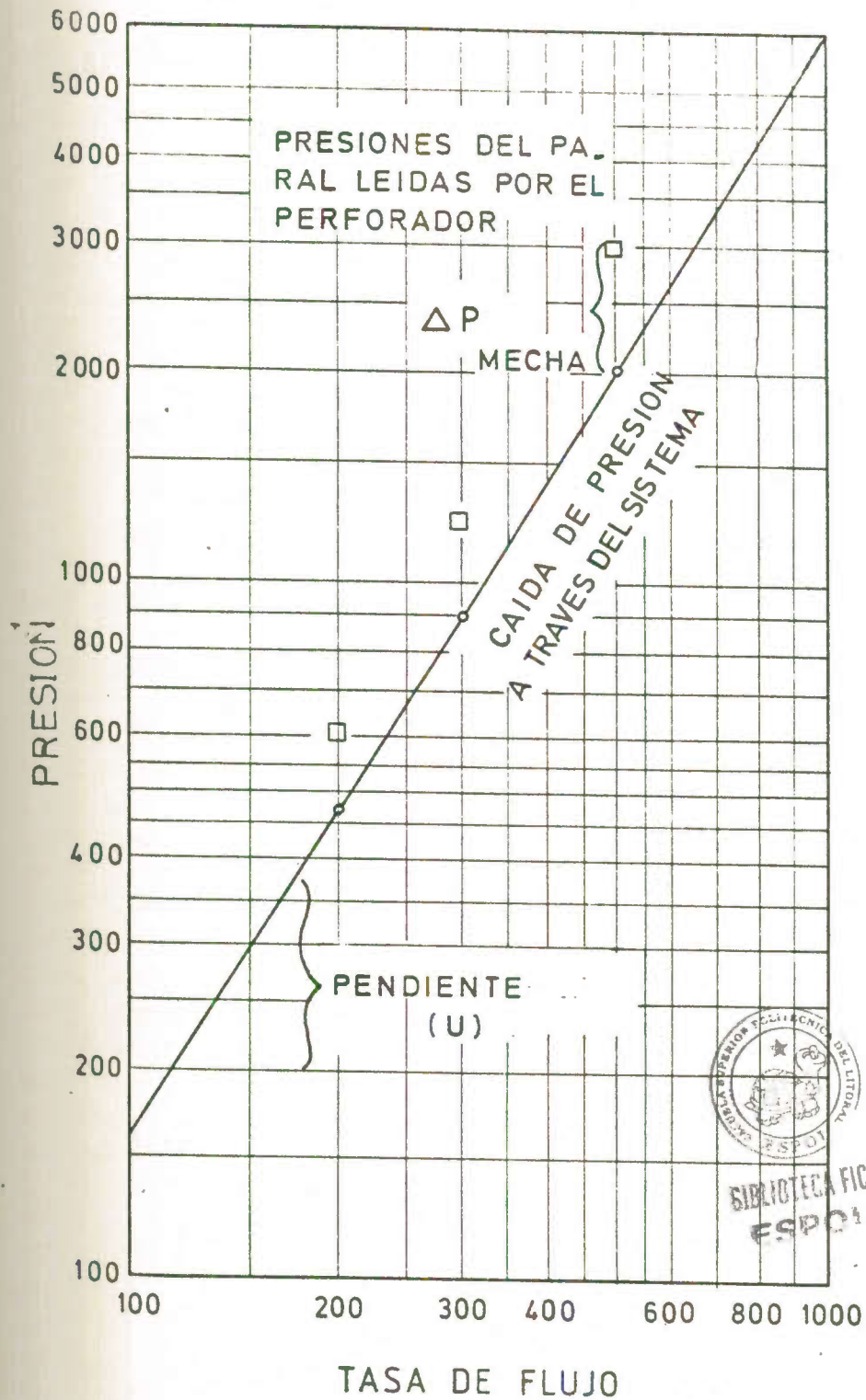
Al hacer más profundo el pozo, ya no será posible aumentar la presión superficial al valor requerido para usar toda la potencia hidráulica y la presión superficial se convierte en la condición límite.

$$P_{broca} = \left(\frac{u}{u+2}\right) P. \text{ sup(máx)}. \quad (23)$$

Las boquillas deben estar ajustadas para que produzcan una fracción de la presión máxima superficial igual a  $\left(\frac{u}{u+2}\right)$



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL



FigN:15 PRESION VS. CURVA DE LA TASA DE FLUJO PARA DETERMINAR LA PENDIENTE "U" (25)

## 2.8. CONTROL DEL LODO DURANTE LA PERFORACION<sup>(21)</sup>

Las propiedades del lodo son afectadas por los cambios en su composición y por lo regular es necesario que algunas de estas propiedades se encuentren dentro de límites determinados sin alterar otras. Para lograr los fines anteriormente expuestos, es necesario entender las relaciones entre la composición del lodo y sus propiedades. El contenido de fluidos y sólidos en el lodo constituyen la base que determinarán la eficiencia del lodo. Se puede pensar en los tratamientos químicos como una manera de hacer cambios pequeños en las propiedades del lodo, pero no como el método principal para controlar sus componentes.

### COMPONENTES DEL LODO Y SUS EFECTOS

#### A. Sólidos

Para obtener una mínima tasa de filtración y buenas características reológicas del fluido de perforación, es necesario el control de la cantidad y tipo de sólidos que contiene el lodo en su composición. Los sólidos no deseables elevan los

costos de perforación y por lo regular causan reducción en la tasa de penetración, problemas de pérdida de circulación, atascamiento por presión diferencial y altos costos por la operación necesaria para mantener las propiedades del lodo. Al mantener un buen control de los sólidos del lodo se obtienen los siguientes resultados:

1. Disminución de la viscosidad plástica, originando un aumento en la tasa de penetración.
2. Suficiente puntocedente para mantener adecuada viscosidad en el espacio anular.
3. Limpiar el pozo sin producir altas presiones de circulación.
4. Suficiente resistencia gel para suspender la barita y los ripios.

Para obtener todos estos resultados se tienen que ajustar las propiedades del flujo del lodo y para controlar cada una de las situaciones que se pueden presentar.

En todos los casos , los únicos sólidos que se necesitan en el lodo de perforación para darle las propiedades requeridas de viscosidad, densidad y control de la pérdida de fluido, son la barita y la bentonita.

Por consiguiente los sólidos que entran en el sistema, durante la operación de perforación de un pozo, no añaden ninguna propiedad y su control debe ser de primera importancia.

#### Clases de Sólidos:

Los sólidos que se encuentran en el lodo de perforación pueden clasificarse en dos categorías: inertes y activos.

Sólidos inertes: Son aquellos que tienen poca tendencia a reaccionar unos con otros o por los cambios en el ambiente del lodo y por lo regular consiste de materiales como arena, cieno, despato y barita. Como estos sólidos no son tratados originan que la costra de lodo sea gruesa, dura, seca y con un alto coeficiente de fricción. Estas muchas cualidades del revo-



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

que pueden causar atascamiento por presión diferencial y cuando el lodo se llena de estos sólidos, la viscosidad plástica se eleva rápidamente. La diferencia de la viscosidad plástica entre lodos que no contienen sólidos de perforación y lodos con el 10 % de sólidos, se muestra en la figura N<sup>o</sup> 7.

**Sólidos activos:** Son aquellos que tienen cargas eléctricas en sus paredes y al reaccionar unos con otros forman estructuras gelatinosas con el fluido de perforación, también se puede añadir - que tienen gran facilidad de hidratación.

En la mayoría de los lodos de perforación hay dos fuentes principales de sólidos activos: bentonita que se agrega intencionalmente y las arcillas naturales que entran en el sistema por la dispersión de los sólidos de perforación.

La arcilla es el material que mayor cantidad de sólidos activos contiene en un lodo de perforación. Además sus características son preponderantes para determinar la reología y las propiedades de filtración del lodo, por esta razón es muy necesario conocer la química básica de la

arcilla con el fin de controlar apropiadamente los lodos a base agua.

El efecto de la salinidad en el lodo:

El contenido iónico del agua afecta la hidratación, dispersión y floculación del lodo. Cuando la salinidad aumenta, la hidratación disminuye, esto hace que la cantidad de agua que está absorbida en el lodo, se adelgace y como resultado de esto, la viscosidad plástica se reduce y la pérdida de filtrado aumenta. Como la cantidad de agua se ha adelgazado alrededor de la partícula, las láminas de la arcilla se acercan unas a otras y tienen una tendencia a flocularse.

La adición de bentonita es necesaria para ayudar a elevar o a mejorar los efectos causados por el aumento de la salinidad. La cantidad aproximada de bentonita seca que se tiene que agregar a las aguas de salinidad de hasta 20.000 ppm. de cloro, está ilustrada en la figura N° 16. La pérdida de filtrado y el grosor del revoque aumentan cuando el grado de



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

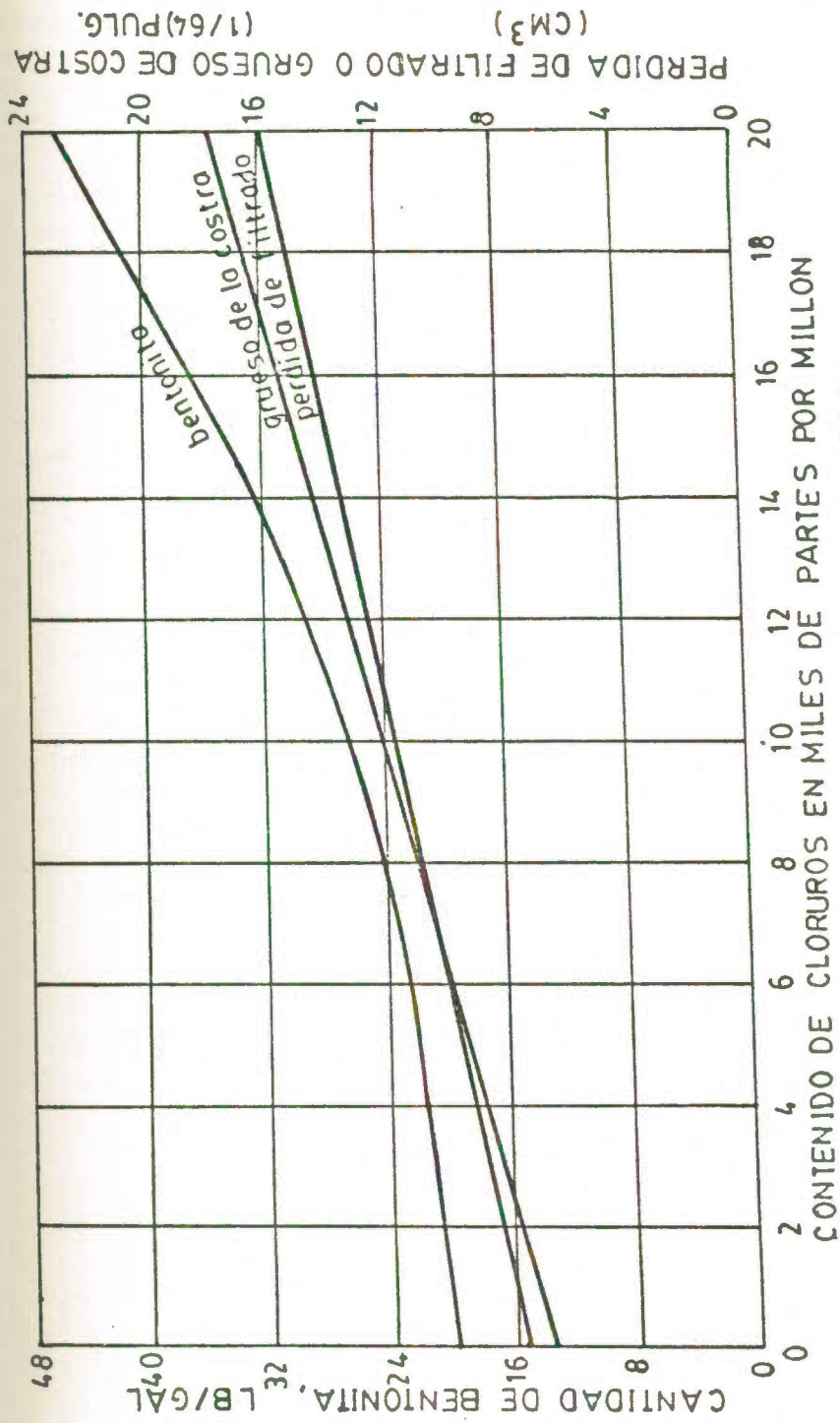


FIG. N:16 REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE BENTONITA SECA EN FLUIDOS DE VARIAS SALINIDADES (21)

PERDIDA DE FILTRADO O GRESO DE COSTRA (CM³) (1/64)PULG.



concentración de cloro aumenta.

Una cantidad más grande de bentonita puede reducir la pérdida de filtrado, pero a la vez engrosará más la costra. Estas curvas deberán usarse únicamente a manera de apreciación. La cantidad exacta de bentonita a usarse depende de las propiedades requeridas de flujo y los requisitos de filtración. Estos datos demuestran claramente que la bentonita seca agregada a lodos con concentraciones de cloro con más de 10.000 ppm., deberán ser hidratados suficientemente para el control de filtración, y que en lodos como éstos - deberá usarse la bentonita prehidratada únicamente.

Prehidratación de la bentonita:

La bentonita prehidratada deberá ser preparada con agua dulce porque cualquier sal, calcio, sustancia cáustica o agente químico, reduce sus propiedades de hidratación y dispersión. La hidratación de la bentonita se eleva con el tiempo, temperatura y agitación, de modo que si es posible, deberán transcurrir de 6 a 8 horas para asegurar una buena hidratación. Un alto corte también mejora -



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

la hidratación y la dispersión.

Después de un tiempo de hidratación, la mezcla deberá ser tratada con una cantidad de 2 a 8 lb/bbl de lignosulfonato y el pH deberá ser elevado cuando menos a 10 con la adición de soda caústica, esto hace que la bentonita mantenga un alto grado de hidratación después de haber estado expuesta a un ambiente de mucho cloruro. De esta manera se puede obtener un buen control de pérdida de fluido, aunque la salinidad del agua sea alta.

#### B. Agentes de tratamiento:

Después que el contenido de sólidos en un lodo ha sido correctamente proporcionado en cuanto al tipo y la cantidad, viene entonces la graduación selectiva de las propiedades del lodo, por medio de agentes de tratamiento especial. Estos aditivos por lo regular están incluídos en tres categorías:

1. Defloculantes

2. Agentes para control de pérdida de fluido.

3. Viscosificantes

## 1. Defloculantes o adelgazantes:

Se usa el adelgazante para neutralizar las cargas positivas de las láminas de la arcilla y evitar que las láminas se peguen unas con otras, resultando una reducción de la resistencia al flujo con una suspensión. Se usan adelgazantes para reducir el punto cedente, la resistencia de gel y la viscosidad a bajas tasas de corte. No se usan adelgazantes para reducir la viscosidad plástica, porque esta es una función del volumen total de los sólidos en una suspensión.

Los principales adelgazantes usados en el lodo son: fosfato, quebracho, lignosulfonato de cromo, y lignito.

El mejor adelgazante que se dispone es el lignosulfonato de cromo, y tiene una mayor afinidad para la sal y el calcio que cualquier otro y deflocula el lodo hasta temperaturas mayores de 350°F.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## 2. Agentes para control de pérdida de filtrado:

Existen diversos materiales para el control de la pérdida de filtrado en un lodo de base - agua, su aplicación varía de acuerdo al tipo de lodo usado y el ambiente químico en que - se encuentra, el principal agente es la arcilla presente en el fluido de perforación.

El punto de partida para un buen control de la filtración es un fluido que tenga una correcta distribución de los tamaños de las partículas sólidas, puede ser un lodo con un extenso rango de tamaños de artículos de un micrón o menos. En efecto ésta distribución de diámetro de las partículas produce una costra de lodo, teniendo baja porosidad y baja permeabilidad. Esto se lo ha comprobado en el laboratorio al obtener una máxima densidad de la costra de lodo, el procedimiento consiste en graduar el tamaño de las partículas, es decir que las partículas pequeñas tapan las aberturas existentes entre las grandes partículas.

## 3. Viscosificantes:

Se usan los viscosificantes para tener control

y bajar los valores altos de viscosidad que pueden producir las siguientes alteraciones:

- a. Ocasionarían un mayor trabajo permisible de las bombas de circulación del lodo.
- b. El gas de la formación puede quedar atrapado en el lodo y ésto origina un reventón del pozo.
- c. La arena y material abrasivo traído a la superficie por el lodo no puede ser retirado de los tanques, ocasionando desgaste al equipo de perforación



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

## CAPITULO III

### EQUIPOS

#### 3.1. TALADRO DE PERFORACION (26)

Para alcanzar profundidades mayores el taladro debe tener una gran resistencia y suficiente capacidad para soportar grandes cargas durante las operaciones de perforación.

El taladro cumple las 2 operaciones siguientes:

A. Operación Principal

B. Operación Auxiliar

A. Operación Principal

Comprende aspectos relacionados con las condiciones mecánicas y de flujo, siendo las siguientes:

1. Rotación de la instalación de perforación
2. Elevación de la instalación de perforación
3. Circulación de los fluidos.

## 1. Rotación de la instalación de perforación:

Para cumplir con esta operación se requiere:

- a. Unión giratoria
- b. Cuadrante
- c. Tubería de perforación
- d. Portamecha

A medida que aumenta la profundidad de un pozo incrementa el número de tuberías de perforación, como también la tensión en la parte superior de la instalación. Para soportar este gran peso y tensiones debido a efectos de torque, la tubería debe tener suficiente resistencia. Además la fatiga en la tubería de perforación depende del medio ambiente, esto es del fluido que circula interna como externamente. Por consiguiente mientras mayor sea el esfuerzo, menor será el número de ciclos para ocasionar la falla. La resistencia del material de la tubería se reducirá en un ambiente ácido, como se presenta en la figura N° 17.



**BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL**

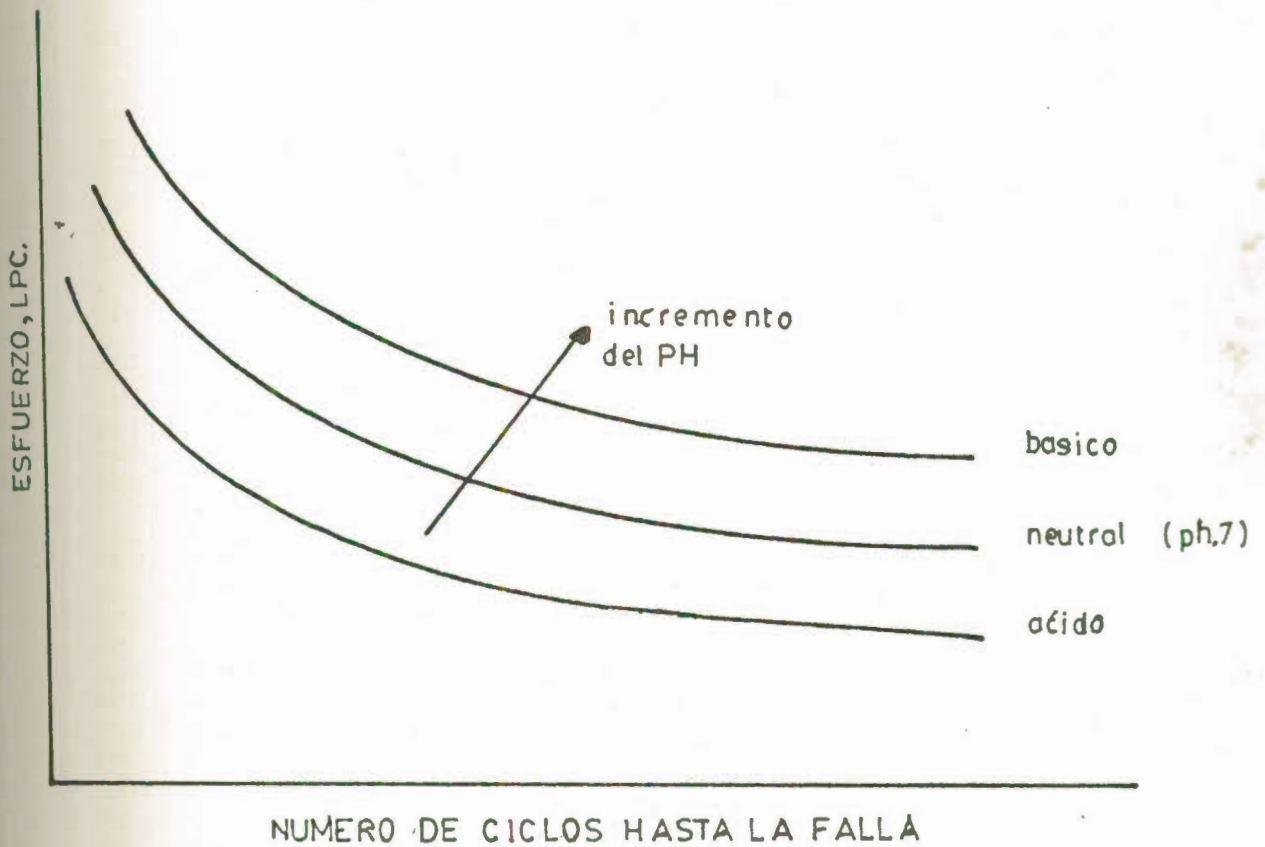


FIG. N°17 FATIGA EN LA TUBERIA DE PERFORACION



BIBLIOTECA

F

(8)



## 2. Elevación de la instalación de perforación:

Esta operación corresponde al sacar y bajar la tubería y herramientas necesarias para trabajar en el pozo tan rápido como económicamente sea posible.

Los principales componentes del sistema de elevación son los siguientes:

- A. Sistema de aparejo de poleas
- B. Torre de perforación
- C. Malacate
- D. Herramientas de elevación miscelaneos: ganchos, elevadores e indicadores de peso.

## 3. Circulación de los fluidos:

Esta diseñada para conducir el fluido de perforación desde la superficie hasta el fondo del pozo y luego retornar a través del espacio anular en un sistema cerrado la circulación del fluido es continua cuando se está perforando, ya que la función del lodo es suministrar enfriamiento, lubricación de la broca, limpieza del fondo del pozo



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

zo y la conducción de los ripios a la superficie.

### 3. Operación Auxiliar:

Además de las tres operaciones fundamentales en perforación: circulación, rotación y elevación; muchas funciones secundarias se ejecutan y se debe prestar cuidadosa atención a la colocación de este equipo auxiliar en la distribución de energía.

Los componentes de ese equipo son los siguientes:

1. Planta de luz
2. Ventiladores
3. Sopladores
4. Centrífuga de lodo
5. Compresores de aire, etc.

### 3.2. CIRCUITO DEL LODO DE PERFORACION<sup>(23,7)</sup>

En el proceso de circulación del lodo es donde se



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

utiliza la máxima potencia que en cualquier otra operación.

Los equipos que construyen el sistema de circulación - son los siguientes:

- A. Bombas de lodo
- B. Tubería vertical, manguera de lodo, unión giratoria, cuadrante.
- C. Instalación de Perforación.
- D. Línea de retorno del lodo.

La figura N<sup>o</sup> 18 corresponde a los componentes de un sistema de circulación del lodo.

A medida que se alcanza mayores profundidades se utilizará mayor potencia para el bombeo del lodo. Esto se consigue aumentando la tasa de bombeo de bombas en paralelo, las que son de doble acción y de camisas - intercambiables. En cambio una alta presión de bombeo se obtiene colocando una camisa y pistón de diámetro mínimo, disminuyendo la tasa de circulación.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Los equipos auxiliares para la circulación del lodo - son los siguientes:

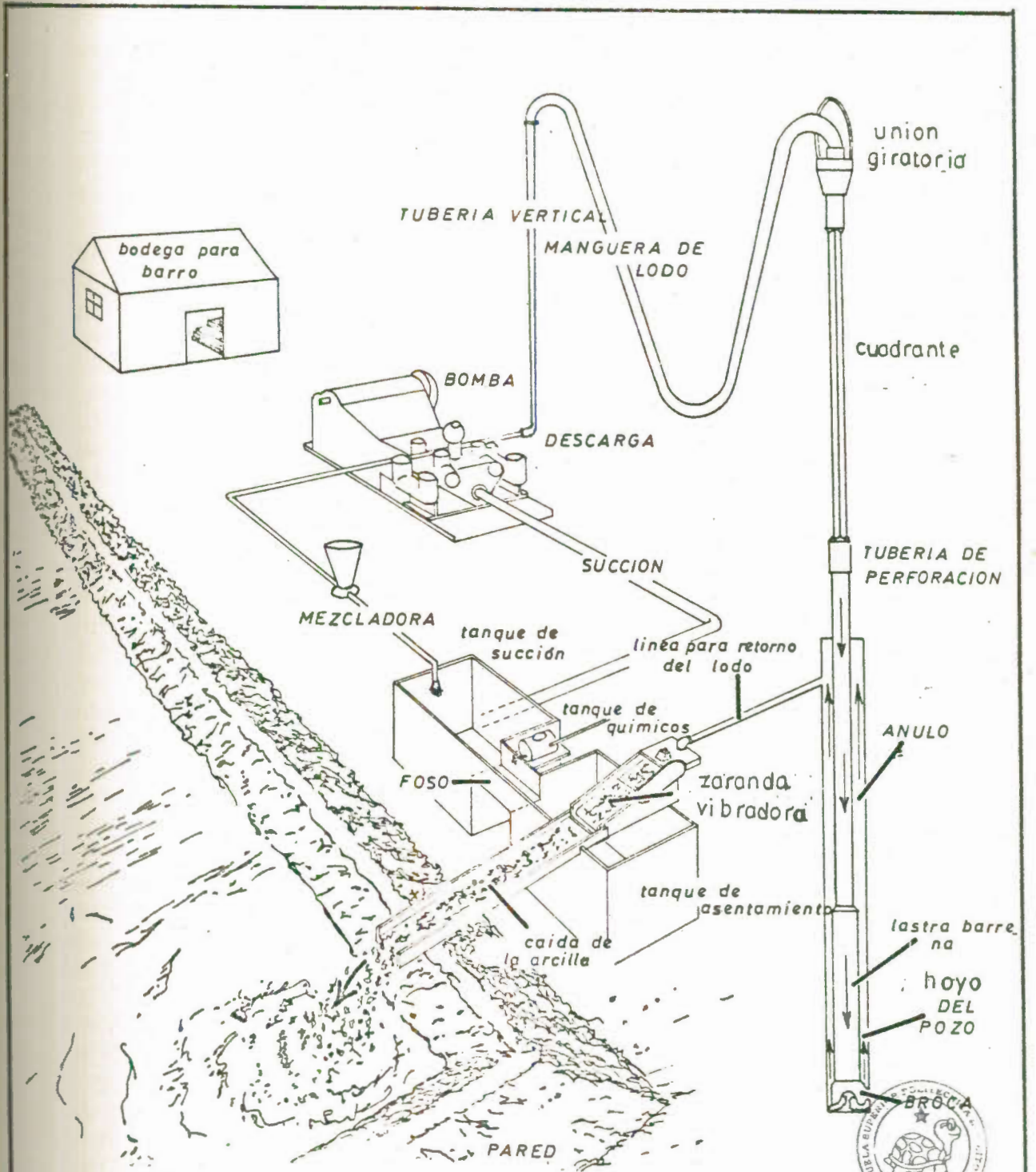


Fig. Nº18 COMPONENTES DEL SIST. DEL FLUIDO DE CIRCULACION.(23)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

### 3.2.1. Tanques

Son los depósitos en donde se concentran los fluidos de perforación y son de 3 clases:

- A. Tanque de succión
- B. Tanque de tratamiento químico
- C. Tanque de asentamiento

### 3.2.2. Zaranda Vibradora

Esta instalada a la salida de la línea de retorno del lodo y sirve para la remoción de los sólidos, la misma que dependerá del tamaño de las mallas que se utilizan.

La zaranda vibradora separa las partículas de mayor diámetro, comprendiendo entre 210-180 micrones, con una malla de 60-80 mesh (60-80 aberturas por pulgada). También se pueden colocar mallas en paralelo o en serie para hacer una remoción selectiva y óptima.



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

### 3.2.3. Desarenador

Se utiliza para remover partículas mayores de 74-

105 micrones como elimina partículas grandes se lo coloca antes del deslimador. Es de utilidad en lodos pesados, pues recupera un alto porcentaje de barita.

#### 3.2.4. Deslimador

Elimina partículas entre 5-74 micrones y puede ser considerado útil para prevenir el aumento del lodo por el contenido de sólidos. Se usa un colador con aberturas más grandes que las partículas de la barita, para que únicamente los sólidos de perforación sean retenidos y el fluido con barita vuelva al sistema del lodo.

#### 3.2.5. Desgasificador

Sirve para eliminar el gas del lodo de perforación y se recomienda instalarlo antes del desarenador y el deslimador, asegurando una minimación óptima de los gases de formación contiene el lodo, ya sea como gas libre o en solución.



#### 3.2.6. Centrífuga

Es utilizada principalmente para lodos pesados pa

ra recabar materiales y disminuir los costos del lodo. Cuando el lodo está siendo procesado para remover y recuperar la barita, este es diluido en agua para reducir la viscosidad y permitir una eficiente separación de los sólidos. La decantación centrífuga es más eficiente para recuperar barita y por experimentos de laboratorio se ha obtenido un 97 - 99 %, para tamaños de sólidos de 2-3 micrones.

### 3.3. EQUIPO DE PESCA<sup>(27)</sup>

Durante el desarrollo de las operaciones en los pozos petroleros debe haber un especial cuidado del progreso de la tubería en el hueco, para evitar el atascamiento de la misma.

En el caso que exista un pescado y los métodos iniciales de liberación (Bombeo de píldora de gas oil y un surfactante) no funcionen, se procede a la recuperación del pescado por medio de las herramientas pesca.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

A. Herramientas de pesca más usadas:

1. Pescante interno recuperable o arpón.

2. Pescante externo recuperable
3. Pescante de tarraja macho o rabo de rata
4. Pescante de tarraja hembra
5. Pescante magnético o imán de pesca
6. Pescante para cable tipo arpón
  - a. De una pierna
  - b. De dos piernas
  - c. De tres piernas
7. Pescante mano de gato

#### 3.4. EQUIPO PARA DESVIAR UN POZO<sup>(28)</sup>

En los inicios de la industria petrolera no se consi  
dera en la desviación de los pozos y se creía que si  
 el cuadrante se mantenía recto, el resto del pozo de  
 bía ser vertical, y finalmente cuando la intersección  
 de dos pozos diferentes originó numerosos trabajos de  
 pesca, se hizo patente la existencia de pozos torcidos  
 y desde entonces se convirtió en un problema importan  
 te en el desarrollo de la perforación de pozos petro  
 leros, ocasionando el desarrollo de la industria de  
 equipos para controlar la desviación.



**BIBLIOTECA FICT  
 ESPOL**

Entre las herramientas que se utilizan en la desvia  
 ción de pozos se pueden mencionar las siguientes:



- A. Tubos portamechas no magnéticos
- B. Turbinas
- C. Motor de lodo de desplazamiento positivo.
- D. Herramientas rebelde
- E. Guiasondas común y de circulación
- F. Guiasondas para tubería de revestimiento
- G. Fresadora para guiasondas de revestimiento.
- H. Ensanchador de los cortadores de cambio rápido.
- I. Dyna-Drill.

### 3.5. EQUIPO COMPUTARIZADO PARA CONTROL DE UN POZO<sup>(29)</sup>

Este equipo es llamado Unidad A.D.T. y es de gran ayuda en las operaciones de perforación de pozos.

#### 3.5.1. Unidad A.D.T. (Applied Drilling Technology)

Por medio de su utilización, se obtiene la siguiente información:

- A. Planificación de la perforación
- B. Registro de datos
- C. Interpretación y explicación de los datos.



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

Esto significa que un buen conocimiento de los

diferentes parámetros involucrados en la perforación darán una eficiencia óptima, en la minimización de los problemas y una reducción de los costos.

#### A. Planificación:

Esta primera fase de la utilización de la unidad A.D.T. sirve para diseñar el programa de perforación en un área ya experimentada, - siendo sus principales objetivos:

1. Programa de perforación y revestimiento
2. Programa de lodo para cada intervalo de perforación.
3. Hidráulica del lodo y densidad equivalente de circulación mínima para cada intervalo.
4. Detección y control de presiones de formación.
5. Evitar problemas de perforación (pegamento de tubería, pérdida de circulación y problemas en el pozo.
6. Control de sólidos de perforación y economía del mantenimiento del lodo.
7. Estabilidad del pozo y protección a la formación.



## 8. Control de la corrosión.

### B. Registro de datos:

Esta segunda etapa consiste en el trabajo con la unidad A.D.T. a cargo de ingenieros experimentados, para obtener la información real durante la perforación.

Los factores que se obtienen son los siguientes:

1. Tasa de penetración y profundidad
2. Peso sobre la broca y revoluciones sobre la mesa rotatoria.
3. Volumen y carreras de la bomba
4. Tasa normalizada de penetración(exponente "dc")
5. Nivel del lodo en la cantina individual y el cambio total de volumen en las cantinas.
6. Llenado del lodo de la tubería durante los viajes.
- 7a. Presión de la bomba cuando se está perforando.
- 7b. Presión de cierre en la tubería vertical, cuando el pozo está cerrado.



BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL

- 8a. Presión del revestimiento cuando está cerrado el pozo.
- 8b. Contrapresión en el choque
9. Peso y viscosidad del lodo
10. Litología
11. Densidad de la arcilla
12. Factor de arcilla ( Para "normalizar" la densidad de arcilla por variación de la composición mineral).
13. Detección de gas automático y continuo
14. Graficación de la conexión de gas.
15. Análisis cuantitativo del gas y el lodo en P.P.M.
16. Comunicación con la actividad del taladro.

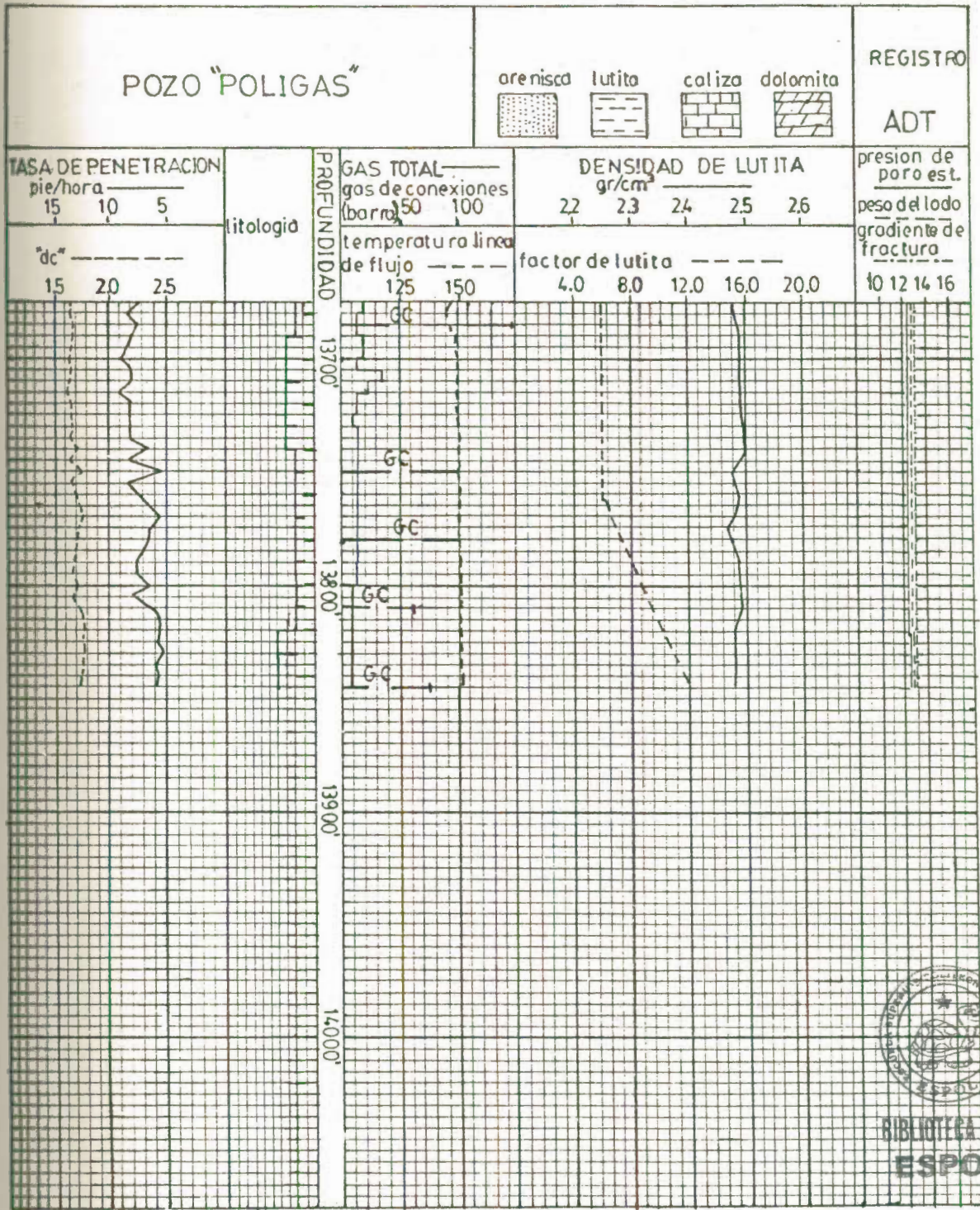
Todos estos parámetros arriba mencionados es la información que se obtiene directamente del registro graficado en la unidad A.D.T.(Figura N° 19):

### C. Interpretación de los Datos:

Esta tercera etapa del programa corresponde a la interpretación de los datos tomados en la segunda etapa y permite optimizar la perforación,



BIBLIOTECA FIC1  
ESPOL



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

FIG. N°19 REGISTRO ADT. DEL POZO "POLIGAS"

por medio de estos parámetros se obtienen las siguientes ventajas:


1. Normal mantenimiento del control de sólidos en el lodo.
2. Cálculo de la presión de formación y gradiente de fractura.
3. Determinación del cabezal hidrostático necesario durante cada viaje.
4. Determinación de la densidad equivalente de circulación durante la perforación.
5. Advertir sobre procedimientos para minimizar y controlar con seguridad arremetidas de la formación.
6. Ayudar a seleccionar o recomendar los puntos para asentar el revestimiento.
7. Corregir instantáneamente al operador cuando se producen desviaciones del programa de perforación planificado.



BIBLIOTECA  
ESPOL

Este reciente desarrollo de la ingeniería de perforación ha sido incorporado como una nueva técnica que ayuda a una perforación segura y económica, especialmente en pozos profundos que presentan problemas durante la perforación.

La perforación computarizada utilizando la unidad A.D.T., permite la optimización de la perforación a través del uso de computadoras digitales que dan datos de rápida adquisición y análisis factibles.

Una de las razones más importantes para su empleo, es que el costo por pie es minimizado debido a que los parámetros de la operación son optimizados a la vez que se alcanzan profundidades mayores, porque se corrige cualquier defecto o anomalía. Un ejem-plo de la utilidad de la unidad A.D.T.  es en hidráulica de perforación, porque permite optimizar continuamente las variables siguientes: la velocidad de los rípios, velocidad crítica, densidad equivalente de circulación, pérdidas de presión por fricción, velocidad en las boquillas y la potencia hidráulica.

## CAPITULO IV

### DISEÑO - CALCULOS Y PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN LA PERFORACION<sup>(1)</sup>

El éxito de la perforación de un pozo depende directamente de una buena planificación inicial. La importancia de un apropiado plan comienza con la decisión de perforar, termina cuando el pozo está completado y el taladro listo para mudarse a otra localización. La exactitud en la preparación de este plan contribuirá a una reducción de los costos y una disminución de los problemas potenciales durante la perforación. Al mismo tiempo, un control diario de la operación ayudará para hacer correctivos a medida que se perfora el pozo. Uno de los puntos básicos es anticipar lo inesperado, ya que muchos de los problemas ocurren en pozos de desarrollo y durante la ejecución de tareas rutinarias.

Un buen programa de perforación, es el resultado final de un planteamiento previo y debe incluir todos los programas y recomendaciones necesarias para el buen funcionamiento de la perforación del pozo. Su objetivo es presentar y análisis



zar los factores que deben ser considerados durante las etapas de planificación y también un control diario de la operación.

#### 4.1. DISEÑO - CALCULOS

La información necesaria para preparar un buen programa de perforación, normalmente proviene de dos fuentes: información disponible del área (Geología - Yacimientos) y datos de los pozos vecinos, que pueden presentarse en forma de resúmenes esquemáticos.

Además en el diseño de perforación de un pozo también se incluye el análisis económico cuyo objetivo es determinar los costos tangibles e intangibles. En base del programa de perforación diseñado se puede determinar el costo global del pozo y con estos valores se estudia si el proyecto es o no realizable bajo los intereses de la empresa, esto quiere decir análisis de riesgo y rentabilidad cuando el pozo entre en su etapa de productibilidad.

##### 4.1.1. Análisis económico

El principal objetivo en las operaciones de -

perforación es minimizar los costos totales y se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

1. La velocidad óptima de la perforación
2. Costos mínimos de perforación
3. Programas especiales que ayudan a controlar la operación en el pozo, en base de datos recopilados de los pozos vecinos donde se va a perforar.

Además se deben considerar los siguientes criterios:

1. La planificación, como el principal requisito para cualquier tipo de programa de control de costos en la perforación.
2. La operación debe ser cuidadosamente controlada y el operador debe llevar un control diario del avance de la perforación.

#### 4.1.2. Programas de perforación (1-2)

Con la información disponible del área y de los



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

pozos vecinos el ingeniero debe preparar el programa de perforación; el cual debe contener la siguiente información:

- A. Nombre de la localización, profundidad total, muestras, registros.
- B. Información geológica-formaciones.
- C. Programas de perforación que deben elaborarse:
  - 1. Programa de lodo
  - 2. Diseño hidráulico
  - 3. Diseño de tuberías de revestimiento y producción.
  - 4. Diseño del cabezal del pozo.
  - 5. Programa de cementación
  - 6. Diseño de la instalación inferior de perforación y de brocas.
- D. Factores adicionales que se deben considerar - con fines económicos.
  - 1. Equipos especiales
  - 2. Curva: profundidad Vs. Días
  - 3. Curva: costo total Vs. profundidad
  - 4. Curva: costo del barro Vs. profundidad
  - 5. Instrucciones y recomendaciones durante la perforación.

6. Resúmenes esquemáticos, mapa de localización y resúmenes de brocas en pozos vecinos.

4.1.2.1. Información disponible del Área:

Dentro de los programas de perforación la información disponible del área es uno de los parámetros de mayor importancia en la planificación, diseño y control del pozo durante la perforación, con el propósito de anticipar problemas que se pueden presentar sea que se traten de pozos exploratorios, de avanzada, o de desarrollo.

Si el área donde se quiere perforar es desconocida la elaboración de los programas de perforación se basa en de la geología disponible y de los registros de las líneas sísmicas corridas. Es ésta la razón por la cual un pozo exploratorio contiene un alto porcentaje del factor riesgo, el mismo que se reducirá con una buena planificación y anticipación de los problemas que se presenten durante la perforación. Además de



be sumarse el factor experiencia tanto de los técnicos dedicados al diseño del pozo, como de los encargados de efectuar la operación del mismo.

Para el segundo caso en donde el área es conocida, es requisito fundamental - elaborar el programa de perforación con siderando los datos de los pozos veci nos, información geológica y la expe riencia de trabajos ejecutados.

#### A. Información geológica

Esta información es suministrada por el geólogo o ingeniero de exploración y debe incluir los datos de presión de las formaciones, mapa de localización, mapas estructurales, presiones - anormales anticipadas, correlación de pozos vecinos y algunas veces una sec ción geológica esquematizada del área donde se va a perforar. La presión - de las formaciones servirán de base y guía para la preparación del progra

ma de lodo.

Deben de reconocerse posibles zonas de pérdida de circulación y atascamiento, cualquier arena cargada con alta presión será identificada y considerada en la preparación del programa de perforación. Los pozos inyectoros vecinos a la localización son tomados en cuenta y en muchos casos son cerrados al comenzar la perforación. Deben considerarse las formaciones superficiales con alta presión, debido a fugas en los revestimientos de pozos vecinos. También hay que verificar si el área presenta problemas potenciales de desviación o es susceptible a daños por algún fluido de perforación.



En los pozos vecinos usados para correlación hay que determinar las secciones duras o apretadas, las secciones lavadas, información de presión y zonas de transición de presiones anormales. Debe discutirse el programa de registros, pruebas, muestras, programa de núcleos

BIBLIOTECA FICTICIA  
de  
ESPOL

y los problemas encontrados en los pozos vecinos, anticipando algunos de - ellos y haciendo el mismo tiempo los correctivos necesarios.

Además se deben considerar las posibles fallas del área donde se encuentra la localización y como podrían afectar las operaciones de perforación. Finalmente - hay que especificar la presión en las formaciones y las profundidades de asentamiento para los diferentes revestimientos.

#### B. Información de los pozos vecinos.

La mejor forma de presentar la información de los pozos vecinos es mediante la preparación de los resúmenes esquemáticos. Para el desarrollo de los programas de perforación se deben incluir los pozos vecinos que reúnan las características siguientes:

1. Pozos nuevos que hubieran tenido sacudidas o reventones, que se haya cortado núcleos y cuyo objetivo sea el

mismo de nuestra localización o uno superior.

2. Pozos de correlación
3. Pozos perforados a profundidades mayores que el propuesto.
4. Pozos con problemas conocidos: fugas en revestimientos, problemas de cementación, hinchamiento de arcillas, pérdida de circulación, cortes por gas, problemas de pesca, etc.

La información que debe ser incluida en estos resúmenes esquemáticos es la siguiente:

1. Nombre de la localización, distancia y dirección de la nueva localización
2. Fecha de perforación y tipo de pozo.
3. Tamaño de los revestimientos y profundidades de asentamiento,
4. Peso del lodo y problemas encontrados



BIBLIOTECA FIL  
ESPOL



durante la perforación.

5. Información de las presiones en las formaciones.
6. Presión de fondo, cortes por gas, sa cudidas, aumentos de los cloruros, etc.
7. Problemas del hoyo: zonas de hoyo apre tado, secciones repasadas, relleno, ex cesiva cantidad de lutitas, suabeo.
8. Problemas de desviación, incluyendo el tipo de instalación inferior que se ha utilizado.
9. Zonas de pérdida de circulación, causas y acciones correctivas.
10. Tubería pegada, y formas como se la despegó.
11. Información sobre la tubería de perfo ración y portamechas utilizadas.
12. Fallas y fugas en los revestimientos en caso de haberse presentado.

13. Información completa sobre reventones.
14. Intervalos penetrados hasta la profundidad total.
15. Información general del comportamiento de estos pozos durante su perforación.
16. Evaluación del equipo de control de sólidos.

Antes de empezar con el diseño propiamente del pozo es necesario efectuar un estudio de los pozos vecinos nuevos que se han perforado, con el fin de analizar los diferentes problemas ocurridos en ellos, tratando de optimizar el programa de perforación y a la vez encontrar las mejores soluciones en caso de presentarse los factores negativos.

Además, deducidos de este estudio el peso posible del tipo de perforación, grados de las tuberías de revestimiento, número y tipo de juntas, clase de cemento con



BIBLIOTECA FIL  
ESPOL

sus respectivos aditivos necesarios para alcanzar una buena cementación primaria, selección del cabezote en función de las presiones que se esperan tener en la superficie y el tipo de pozo que se va a completar y finalmente todos los equipos que se requieren en su perficie para tener un mejor control del fluido de perforación.

#### 4.1.2.2. Programa de Lodo: (30)

El tipo de lodo de perforación es seleccionado en base de las presiones que se esperan en los yacimientos petrolíferos, de tal manera que la columna hidrostática pueda controlar las presiones del yacimiento. Además, el tipo de fluído de perforación puede ser un polímero o un lignosulfonato. Generalmente se utiliza un polímero en zonas de baja presión (gradiente de presión menor de 0.4 Lppc/pie) y un lignosulfonato de peso alto para zonas presurizadas donde encontramos presiones anormales (gradiente

de presión mayor de 0.52 Lppc/pie).

Otro factor importante es conocer la li tología de las diferentes formaciones - que serán perforadas, esto significa que en caso de tener problemas con pérdida de circulación, se debe usar un lodo - de peso bajo o al atravesar lutitas - hinchables hay que disminuir la pérdida de agua y evitar problemas de atasca- miento de la tubería de perforación. Par ticularmente cuando el problema es muy severo por el hinchamiento es necesario cambiar a un tipo de lodo invertido, és to significa un lodo en base de aceite.

En realidad son muchos los problemas que se presentan durante la perforación de un pozo y solamente un buen conoc miento de las principales propiedades del lodo: viscosidad plástica, punto de dente, esfuerzo de geles, pH, Cl, Ca<sup>++</sup>, etc. ayudarán en parte a tomar una resolución para combatir el problema. Por ejemplo, cuando tenemos un lodo floculado es una indicación de una contaminación con iones



BIBLIOTECA FIC:  
ESPOL

cloruro o iones calcio y para recuperar sus buenas propiedades es necesario agregar agua o un adelgazante (lignosulfonato: XP - 20, Q - Broxin, Unical).

El cálculo del peso del lodo se obtiene a partir de la definición de presión hidrostática, la misma que está representada por la siguiente relación matemática:

$$P = \rho \times g \times H \quad (24)$$

Donde:

P = Presión hidrostática	Lppc
$\rho \times g$ = $\rho_b$ = peso del lodo	Lbs/gal.
H = profundidad	pies

Introduciendo un factor de conversión para obtener la presión en Lb/pulg<sup>2</sup>., tenemos lo siguiente:

$$p = \frac{\text{Lbs}}{\text{gal}} \times \frac{1 \text{ Gal}}{231 \text{ pulg}^3} \times 1 \text{ Pie} \times \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}}$$

$$P = \left( \frac{12}{231} \right) \frac{\text{Lbs}}{\text{pulg}^2}$$

Por tanto:

$$P = 0.052 \times \rho_b \times H \quad (25)$$

En consecuencia la ecuación del peso del lodo, será la siguiente:

$$\rho_b = \frac{P}{0.052 \times H} \quad (26)$$

#### 4.1.2.3. Diseño hidráulico: (14,12,19)

El uso de la potencia hidráulica está asociada con la utilización de las boquillas de las brocas, es importante decir que de acuerdo a la experiencia y trabajos realizados sobre hidráulica se demostró la importancia que tiene la adecuada limpieza del fondo del hoyo.

Basicamente hay dos etapas en el diseño



de un programa hidráulico:

1. La determinación de cuanta limpieza - del fondo del hoyo es necesaria para maximizar la tasa de penetración.
2. La máxima limpieza del fondo del hoyo basada en la presión hidráulica de superficie disponible.

El diseño del programa hidráulico está basado en la máxima limpieza del fondo del hoyo. Los métodos existentes para el diseño son los siguientes:

- A. Impacto hidráulico
- B. Potencia hidráulica sobre broca
- C. Velocidad de las boquillas.
- D. Combinaciones de estos métodos.

Indiferente del método usado para el diseño, la primera etapa del programa hidráulico consiste en determinar la potencia hidráulica disponible en superficie.

La potencia hidráulica está definida mate

maticamente por la siguiente ecuación:

$$H_p = \frac{P \times Q}{1714} \quad (27)$$

Donde:

P = presión de superficie máxima permisi  
ble Lppc

Q = tasa de flujo máxima gpm.

La presión de superficie máxima disponible es conocida de acuerdo al tipo de bomba utilizada en el taladro de perforación, al igual que el caudal de acuerdo a las emboladas por minuto que se selecciona para la perforación.

Selección y criterios para el diseño  
dráulico: (19)



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

La próxima etapa del diseño consiste en seleccionar cualquiera de los métodos antes mencionados. Consideremos el impacto hidráulico y la potencia hidráulica sobre la broca, ambos utilizan cartas empíricas



o tablas para calcular las pérdidas de presión a tasas de circulación dadas, y el diseño se basa en los 3 criterios siguientes:

- A. Donde no haya límite en la presión de superficie.
- B. Donde la presión de superficie está limitada y reducciones hidráulicas de superficie son necesarias para maximizar la limpieza del fondo del hoyo, esto ocurre al profundizar el pozo.
- C. Cuando la presión de superficie cae entre el criterio A y B.

En estos métodos se asume que la presión está relacionada a la tasa de circulación y matemáticamente se expresan - por las siguientes ecuaciones:

$$P_c = K \times Q^{1.80} \quad (28)$$

$$P_c = \frac{K' \times Q^2}{(A_n)^2} \quad (29)$$

Donde:

Pc = caída de presión en el sistema de circulación, excluyendo la broca.	Lppc
Pb = Caída de presión en la broca	Lppc
Q = tasa de circulación	gpm
A <sub>n</sub> = área de las boquillas	pulg <sup>2</sup>
K = constante de proporcionalidad	Adim.
K' = constante de proporcionalidad	Adim.

El valor de K se determina por medio de un gráfico de Pc Vs. Q en papel logaritmico ya que se trata de la ecuación de una recta, donde el intercepto es el valor de K;

$$\log Pc = \log K + 1.80 \log Q$$

La distribución de la potencia hidráulica de superficie será dada por la siguiente ecuación:

$$Hps = Hpc + Hpb \quad (30)$$

Donde:



Hps = potencia hidráulica de superficie	HP
Hpc = potencia hidráulica en el sistema de circulación	HP
Hpb = potencia hidráulica en la broca	HP

Como el objetivo principal es maximizar la limpieza del fondo del hoyo, dependerá - por tanto del método utilizado y la manera como es realizado.

#### A. Impacto hidráulico:

Este método establece la siguiente ecuación:

$$IF = \frac{\rho_b \times Q \times V_n}{1932} \quad (31)$$

Donde:

IF = impacto hidráulico	Lbsf
$\rho_b$ = peso del lodo	lbs/gal
$V_n$ = velocidad en la boquilla	pie/seg

B. Potencia hidráulica sobre la broca:

Esta definida matemáticamente por la siguiente ecuación:

$$H_{pb} = \frac{P_b \times Q}{1714} \quad (32)$$

Primer criterio: Presión de superficie no limitada

Tanto el impacto hidráulico o la potencia hidráulica sobre la broca pueden ser optimizados basados en el uso de un cierto porcentaje de la potencia de superficie en la broca. Estos porcentajes son determinados a través de definiciones matemáticas.

A. Para impacto hidráulico

En este caso el impacto hidráulico aprovechado por la broca está dado por la ecuación siguiente:

$$H_{pb} = 0.74 H_{ps} \quad (33)$$



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Esta ecuación establece simplemente que la fuerza de máximo impacto se obtendrá considerando el 74 % de la presión de superficie.

B. Para potencia hidráulica sobre la broca

La máxima potencia hidráulica sobre la broca se obtiene por la siguiente ecuación:

$$H_{pb} = H_{ps} \quad (34)$$

Reemplazando la ecuación (30), resulta lo siguiente:

$$H_{pc} = 0 \quad (35)$$

Segundo criterio: Presión de superficie limitada

Para el segundo caso de presión de superficie limitada, las ecuaciones son las siguientes:

A. Para impacto hidráulico:

El impacto hidráulico será expresado de la manera siguiente:

$$H_{pb} = 0.48 H_{ps} \quad (36)$$

B. Para potencia hidráulica sobre la broca:

En cambio para el método de potencia hidráulica sobre la broca, la ecuación será la siguiente:

$$H_{pb} = 0.65 H_{ps}. \quad (37)$$

Cálculo de las pérdidas de presión en el sistema de circulación<sup>(31)</sup>



La apropiada utilización de la potencia hidráulica de la bomba es importante en las operaciones de perforación y se debe aprovechar la máxima energía disponible, la misma que se determina mediante un análisis hidráulico. Conociendo que el comportamiento de los fluidos de perforación es plástico o no newtoniano, se

debe calcular estas pérdidas de presión en el sistema total de circulación.

a. Presión de descarga de la bomba

La presión total de descarga de la bomba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta P_t = \Delta P_s + \Delta P_p + \Delta P_c + \Delta P_b + \Delta P_{ac} + \Delta P_{ap} \quad (38)$$

Donde:

$\Delta P_t$	= Presión de descarga de la bomba	Lppc
$\Delta P_s$	= Presión de presión en superficie	Lppc
$\Delta P_p$	= Pérdida de presión en la tubería de perf.	Lppc
$\Delta P_c$	= Pérdida de presión en los portamechas	Lppc
$\Delta P_b$	= Pérdida de presión en la broca	Lppc
$\Delta P_{ac}$	= Pérdida de presión en el anular hoyo-portamechas	Lppc
$\Delta P_{ap}$	= Pérdida de presión en el anular hoyo-tubería de perforación	Lppc

b. Pérdida de presión en superficie ( $\Delta P_s$ )

El equipo de superficie comprende: tubo vertical, unión giratoria, cuadrante, manguera y la tubería entre la bomba y la tubería vertical. Existe un cuadro preseleccionado indicando los cuatro casos que se pueden presentar, y conociendo la tasa de flujo se determina  $\Delta P_s$ .

c. Pérdida de presión en la tubería ( $\Delta P_p$ )  
y portamechas ( $\Delta P_c$ )

La pérdida de presión para este caso se calcula mediante el siguiente - procedimiento:

1. Determinar si el flujo es laminar o tubulento.

Flujo laminar, cuando:

$$\bar{v} < v_c$$

Flujo turbulento, cuando

$$\bar{v} > v_c$$



Donde:

$\bar{v}$  = Velocidad promedio      pie/seg

$v_c$  = Velocidad crítica      pie/seg

2. Cálculo de las velocidades:

a. Velocidad promedio ( $\bar{v}$ )

$$\bar{v} = \frac{Q}{2.45D^2} \quad (39)$$

b. Velocidad crítica ( $v_c$ )

$$v_c = \frac{1.08VP + 1.08 \sqrt{(VP)^2 + 9.28 \rho_b \times D^2 \times PC}}{\rho_b \times D} \quad (40)$$



3. Cálculo de las pérdidas de presión en la tubería de perforación y en los portamechas:

a. Para flujo laminar:

$$\Delta P = \frac{L}{300 D} \left( PC + \frac{VP \times \bar{v}}{5D} \right) \quad (41)$$

b. Para flujo turbulento

$$\Delta P = \frac{f \times \rho b \times L \times \bar{v}^2}{25.8D} \quad (42)$$

Donde el valor del factor de fricción de Fanning, se calcula por medio de la figura N° 20, conociendo el tipo de conexiones de superficie y el número de Reynolds que se encuentra por la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{928 \rho b \times \bar{v} \times D}{\mu} \quad (43)$$

Donde la viscosidad del fluido se calcula por:

$$\mu = \frac{5D \times PC}{\bar{v}} + VP \quad (44)$$

D. Pérdida de presión en espacio anular:

El procedimiento es igual al anterior con la diferencia que el diámetro es el diámetro equivalente hidráulico y se calcula por: la siguiente ecuación:

$$D = D_h - D_t$$



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

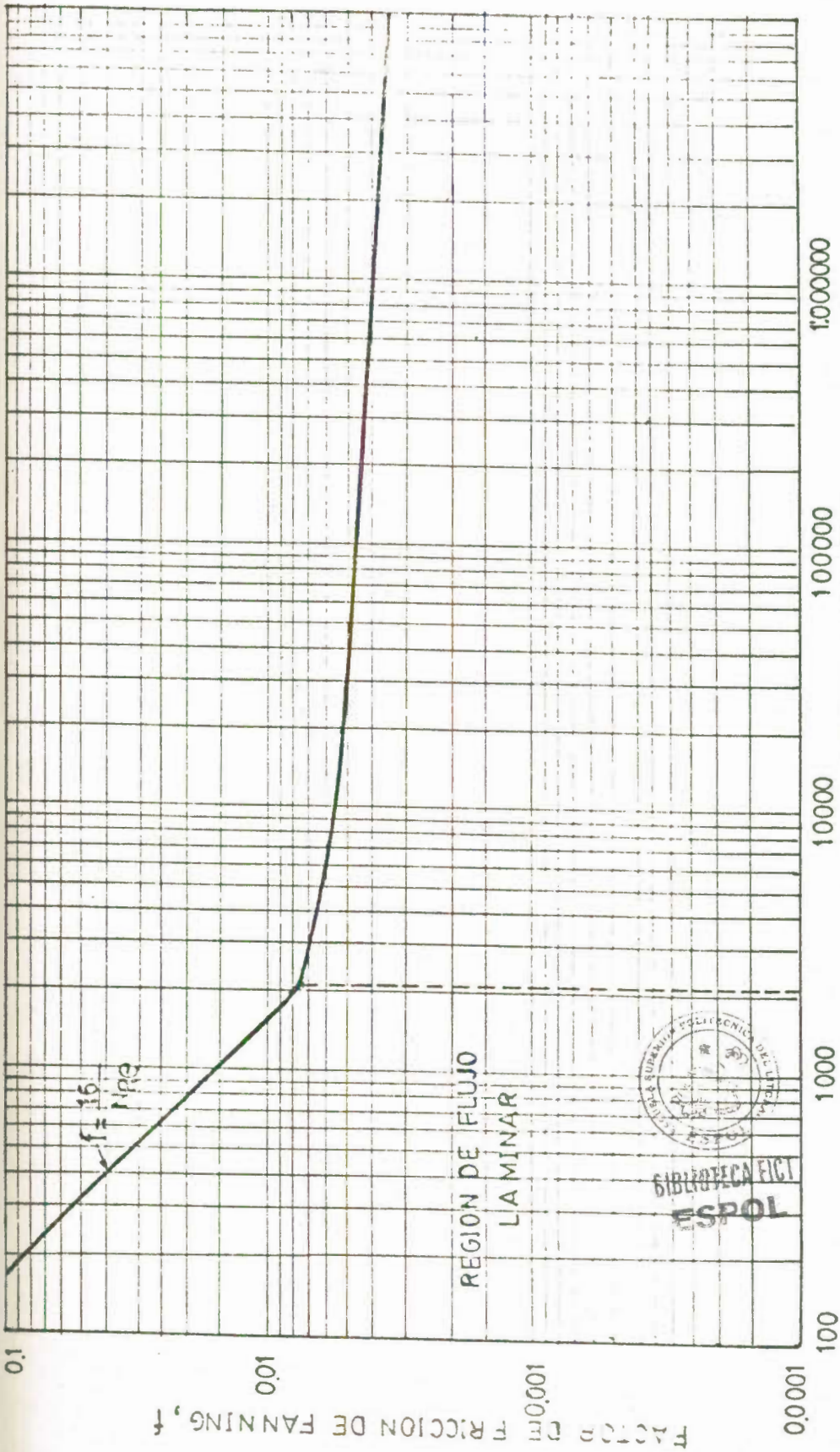


Fig.N-20 FACTOR DE FRICCIÓN DE FANNING VS. NUMERO DE REYNOLDS (20)

En donde:

D = diámetro equivalente hidráulico      pulg

Dh = diámetro del hoyo      pulg

Dt = diámetro de la tubería      pulg

E. Pérdida de presión en la broca:

$$\Delta P_b = \frac{Q^2 \times \rho_b}{7430 \times C^2 \times d^4} \quad (45)$$

Donde el valor de C es igual a 0.95 por resultados de campo.

En la mayor parte de los cálculos  $P_b$  se obtiene partiendo de la presión de la bomba que es conocida y la pérdida de presión en el espacio anular, la fórmula es la siguiente:

$$\Delta P_b = \Delta P_t - (\Delta P_s + \Delta P_p + \Delta P_c + \Delta P_{ac} + \Delta P_{ap}) \quad (46)$$

Con el valor de  $\Delta P_b$  se calcula el diámetro equivalente de las boquillas.

Donde:



Q = tasa de circulación	gal/min
D = diámetro interno de la tubería	pulg.
VP= viscosidad plástica	cp
$\rho_b$ = densidad del lodo	lb/gal
PC= punto cedente	lb/pie <sup>2</sup>
L = longitud de la tubería	pies
f = factor de fricción de Fanning	Adimensional
d = diámetro de las boquillas de la broca	pulg.
$\mu$ = viscosidad absoluta (fluido Newtoniano)	cp

#### 4.1.2.4. Diseño de tubería de revestimiento: (15,20)

El desarrollo y evolución del diseño de tubulares requieren altos esfuerzos para conseguir una resistencia óptima a las presiones por colapso, estallido y a la tensión. Además deben considerarse factores como la resistencia a la fractura por efecto del ácido sulfídrico, altas presiones y temperaturas a las cuales están expuestas, condiciones del

medio ambiente, etc. La mayoría de los pozos profundos son empezados con revestimientos de superficie de diámetros - de hasta 20" y son completados con revestimientos de producción o de fondo (camisas), con diámetros que oscilan entre 4-1/2" a 7". Esto significa que el diseño de los tubulares comprende para el caso de pozos profundos: revestimiento superficial, producción, intermedio y camisas lisas.

#### A. Factores de diseño:

En el diseño se deben considerar condiciones bajo las cuales se trabajará durante la perforación del pozo y durante la vida futura de producción.



Las presiones a las que están sometidas las tuberías de revestimiento en el pozo, son las siguientes:

##### 1. Presión al colapso

Es la máxima carga que será impuesta en -

la parte más inferior de la tubería por efecto del desequilibrio entre la presión externa y la interna. La presión externa - corresponde a la ejercida por los fluidos de la formación o por el lodo de terminación del pozo. En cambio la presión interna será la condición más crítica, es decir lleno de gas. La expresión matemática es la siguiente:

$$P_c = H (GE - GI) \quad (47)$$

$P_c$  = presión al colapso

$L_{ppc}$

$H$  = profundidad

pies

$GE$  = gradiente externo (lodo o fluido)

$L_{ppc}/pie$

$GI$  = gradiente interno (gas)

$L_{ppc}/pie$



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

## 2. Presión al estallido

Es la presión que soporta la tubería, en su mayor parte en la superficie; es decir, la tubería debe ser diseñada tal que resista el diferencial de presión re

sultante entre la presión interna y la presión externa de la tubería. La presión interna es la presión hidrostática del petróleo más la presión de superficie al momento de realizar trabajos de estimulación, la presión externa lo constituye el lodo de terminación del pozo. Matemáticamente se expresa por la siguiente ecuación:

$$Pe = Ps + H (GI - GE) \quad (48)$$

Donde:

Pe = presión al estallido	Lppc
Ps = presión en superficie	Lppc
H = profundidad	pies
GI = gradiente interno(petróleo)	Lppc/pie
GE = gradiente externo(lodo)	Lppc/pie

### 3. Tensión

En este factor se considera la carga debido al peso de la tubería debajo de la unión, la misma que debe tener la suficiente tensión de resistencia. Aquí se



toma en cuenta el efecto de flotación, es decir la pérdida del peso que experimenta la tubería cuando está en el lodo.

Matemáticamente la tensión, se calcula por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{W_a \times FF}{0.853} \quad (49)$$

Donde:

T = tensión	Lbs
W <sub>a</sub> = peso de la tubería en el aire	Lbs
FF = factor de fletación	adim.

#### B. Cálculos adicionales de diseño:



Métodos para diseñar tuberías existen en la actualidad bajo diferentes criterios pero en la práctica el método más utilizado es el gráfico, el mismo que nos permite seleccionar el tipo y el grado de la tubería, bajo ciertas limitaciones.

##### 1. Plano neutral

Indica la profundidad a la cual tanto -

las cargas por tensión y compresión están en equilibrio. Del plano neutral hacia la profundidad total el diseño considera las cargas por compresión, o sea por colapso; en cambio arriba del plano neutral hasta la superficie el diseño de la tubería toma en cuenta los cargos por tensión o estallido. El cálculo del plano neutral se expresa por la siguiente ecuación:

$$P_n = FF \times H \quad (50)$$

Donde:

$P_n$	= plano neutral	pies
$H$	= profundidad	pies
$FF$	= factor de flotación	adim.

## 2. Factor de flotación

Se refiere a la pérdida de peso que experimenta la tubería en el pozo que contiene el lodo, produciéndose el efecto llamado empuje. Se calcula por la relación siguiente:

$$FF = 1 - \frac{\rho_b}{65} \quad (51)$$

Donde:

FF = factor de flotación                      Adim.  
 $\rho_b$  = peso de lodo                              lbs/gal

### 3. Peso de la tubería

El peso de la tubería está relacionada con su tipo y grado, a la misma que le corresponde una densidad lineal por peso. Para una determinada profundidad el peso se calcula por la siguiente relación:

$$W_a = d_l \times H$$

Donde:

W<sub>a</sub> = peso de la tubería  
 d<sub>l</sub> = densidad lineal                              lbs/pie  
 H = profundidad                                      pie.



BIBLIOTECA FICT  
 ESPOL

### 4. Gradiente de temperatura

Es un parámetro de gran importancia para sa

ber a que profundidad por efectos de temperatura las propiedades de la tubería - sufren modificaciones en su estructura - metálica, especialmente donde las temperaturas superan a los 200°F. Las temperaturas que se obtienen por diferentes - mecanismos deben ser corregidas como función de la profundidad a partir de la tabla I (Apendice E), lo cual constituye la temperatura estática. El gradiente - de temperatura se calcula por la siguiente ecuación:

$$Gt = \left( \frac{T_s - 80}{H} \right) \times 100 \quad (53)$$

Donde:

Gt = gradiente de temperatura      °F/100pies

Ts = temperatura estática      °F

H = profundidad      pies



BIBLIOTECA FIC1  
ESPOL

### C. Procedimiento Gráfico:

Este método consiste en relacionar la profundidad con respecto a la presión.

## 1. Curva del Colapso

Esta recta se grafica calculando la presión correspondiente para la superficie que será siempre cero y a la profundidad del pozo, con estos dos puntos se une la recta.

## 2. Curvas al Estallido

El procedimiento es igual al anterior con la diferencia de que la presión de superficie se considera en base de trabajos realizados de estimulación, por lo general es una presión aproximada de 10000 Lbs., por pulgada cuadrada, que constituye la presión de descarga de la bomba, o se considera la presión a la que ocurrió pérdida de circulación. Muchas de las veces es recomendable efectuar pruebas de integridad de presión<sup>(8)</sup> para conocer el gradiente de fractura de la formación.

### 3. Diseño por tensión

El diseño por tensión se calcula en base a las dos curvas antes indicadas, que constituyen los límites a los cuales no se deben superar, debiendo estar siempre a la derecha de la sección limitada por las dos curvas interceptadas y considerando también la disponibilidad de las tuberías. Se obtiene seleccionando los diferentes tramos hasta alcanzar la superficie, controlando siempre que la tensión en la unión satisfaga el peso de las tuberías que está soportando.

#### D. Factores de seguridad:

En el diseño de las tuberías de revestimiento para las presiones ya mencionadas al igual que para la tensión, se deben considerar factores de seguridad (FS) con los cuales se alcanza una mejor flexibilidad, mayor seguridad y son los siguientes:



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

<u>Presión</u>	<u>F.S.</u>
Estallido	1.312
Colapso	1.125
Tensión	1.8

#### 4.1.2.5. Diseño del Cabezote (18)

Evidentemente dentro de todos los equipos es el más útil y necesario, el cabezote es el punto final donde las hileras concéntricas de revestidores y tubería de producción llegan a la superficie. Esa colección de válvulas, colgadores y elementos empacadores es conocido como el cabezal o cabezote - del pozo.

Las principales funciones que debe cumplir son las siguientes:

- a. Controlar y dirigir la entrada y salida de fluídos y gases bajo las condiciones de presión de las varias sartas de tubería, principalmente con el uso de válvulas.
- b. Suspender la tubería de producción y

los revestidores de superficie y producción.

- c. Sellar espacios anulares entre tuberías.
- d. Servir como base para instalación de válvulas de seguridad con fines especiales y para permitir el cierre de cualquier presión, mientras se está trabajando en el pozo.

Todas las uniones de las partes constitutivas de un cabezal de un pozo son por medio de bridas planas colocadas una contra la otra. El tamaño del cabezote es determinado por las tuberías de producción y revestimiento que se van a conectar en él. Las bridas deben tener el mismo diámetro interno del revestidor, de manera que permitan fácil paso de tuberías, herramientas, etc. El cabezote se identifica por el tamaño y serie de las bridas que lo integran. Estos tamaños y series son especificados por el API (Instituto Americano del Petróleo). El equipo de cabezote está actualmente disponible para presiones



BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL



de trabajo desde 1000 hasta 20000 Lppc.

### Selección y pedido del Equipo:

La selección del equipo para cabezotes y árboles de navidad debe incluir la posibilidad de un servicio anticipado de presión máxima. Es importante considerar la presión superficial reflejada desde la formación para operaciones de control y estimulación de pozos, además hay que tomar en cuenta la futura adaptación de preventores. El uso indebido de equipos con bajas presiones de trabajo, por ser de menor costo, puede ser una mala economía a causa de los adaptadores requeridos para futuras operaciones de terminación y reacondicionamiento de pozos. El medio ambiente afecta al material del equipo, y se pueden presentar las siguientes condiciones: producción de gas de alta presión (presión de flujo de más de 1500 Lppc), existencia de una presión de trabajo mayor de 15000 Lppc., y presencia de H<sub>2</sub>S, condiciones de temperaturas bajas (-20°F) y altas(250°F), presencia de

un ambiente marino. En resumen este equipo debe ser fabricado para las condiciones del medio donde se va a utilizar.

El pedido del equipo del cabezote se debe hacer solicitando los usados comunmente. Este método permite el uso del exceso y mejora el envío del equipo correcto.

Para pozos profundos con gran contenido, de  $H_2S$ , el equipo requiere un diseño metalúrgico y mecánico avanzado para minimizar el quebramiento de materiales ferrosos duros que reducen los puntos de esfuerzo del metal, debido a los efectos del  $H_2S$ . El material de acero inoxidable de primera con una dureza estrictamente controlada, se usa para el diseño del equipo con una presión de trabajo de 25000 Lppc.



#### 4.1.2.6. Programa de Cementación: (16,20)

El diseño de una mezcla de cemento en

pozos profundos es una de las etapas más difíciles y críticas dentro de la elaboración de los programas de perforación, puesto que las características del comportamiento de la lechada son diferentes comparadas a la de los pozos superficiales.

Para este tipo de trabajos es recomendable hacer las pruebas piloto en el laboratorio simulando las condiciones de presión y temperatura que se van a encontrar en el pozo. Para el caso de cementación de camisas, que constituyen el revestimiento de producción de fondo, las condiciones de la mezcla de cemento deberán ser comprobadas experimentalmente antes de ser bombeadas al pozo. Una buena práctica de este tipo de operaciones es la planificación completa antes, durante la corrida del revestimiento y - después de la cementación con el fin de minimizar los problemas que se pueden presentar, los cuales pueden ocasionar la pérdida del pozo. También es im

portante conocer las fuerzas que se presentan durante el desplazamiento del cemento, como se indica en la figura N° 21.

a. Propiedades de la mezcla

Los parámetros principales que se deben considerar en la cementación son medidos en el laboratorio y son los siguientes:

1. Tiempo de bombeabilidad o espesamiento.
2. Pérdida de filtrado
3. Temperatura estática y de circulación
4. Resistencia a la compresión
5. Tiempo para realizar la cementación.

1. Tiempo de bombeabilidad o espesamiento

Es la propiedad que determina el tiempo suficiente para que la mezcla de ESPOLmento permanezca en estado líquido hasta tener una viscosidad de 100 cp. Esta propiedad se mide en un consistómetro, en donde se simulan las condiciones de presión y de temperatura del pozo y esta



FUERZAS DE RESISTENCIA

FUERZAS DE EMPUJE

TUBERIA CERCA A LA PARED DEL HOYO.

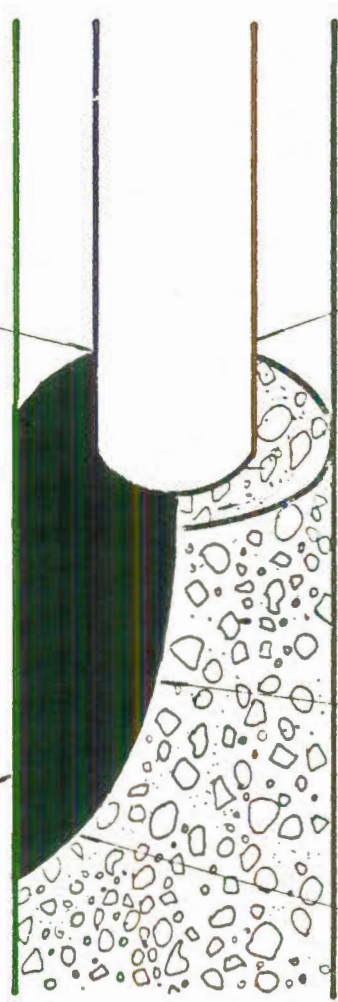
ARRASTRE CUANDO LA TUBERIA SE MUEVE.

PRESION QUE DESPLAZA EL CEMENTO ACTUA SOBRE EL BARRO.

EFEECTO DE LA VISCOSIDAD Y GELES DEL BARRO.

ARRASTRE SI EL CEMENTO SE MUEVE MAS RAPIDO QUE EL BARRO.

EFEECTO DE FLOTACION PORQUE EL CEMENTO PESA MAS QUE EL BARRO.



BIBLIOTECA FIC ESPOL

Fig. Nº 21

FUERZAS QUE SE PRESENTAN DURANTE EL DESPLAZAMIENTO (8)

graficada en la figura N<sup>o</sup> 22.

## 2. Pérdida de filtrado:

El control del filtrado en la mezcla, es un factor importante que vigila el comportamiento del tiempo de espesamiento. La pérdida de filtrado es el volumen liberado a través de un material permeable, debido a los procesos de filtración.

## 3. Temperatura estática y de circulación:

La temperatura estática se obtiene a partir de los registros eléctricos y es corregida por efectos de la profundidad por medio de la Tabla I (Apéndice E), después se calcula el gradiente térmico del pozo (ecuación 53) y utilizando tablas específicas (Apéndice D) que relacionan la presión de superficie, presión de fondo y el tiempo para alcanzar el fondo del pozo, se determina la temperatura de circulación de la mezcla hasta la profundidad total del pozo.



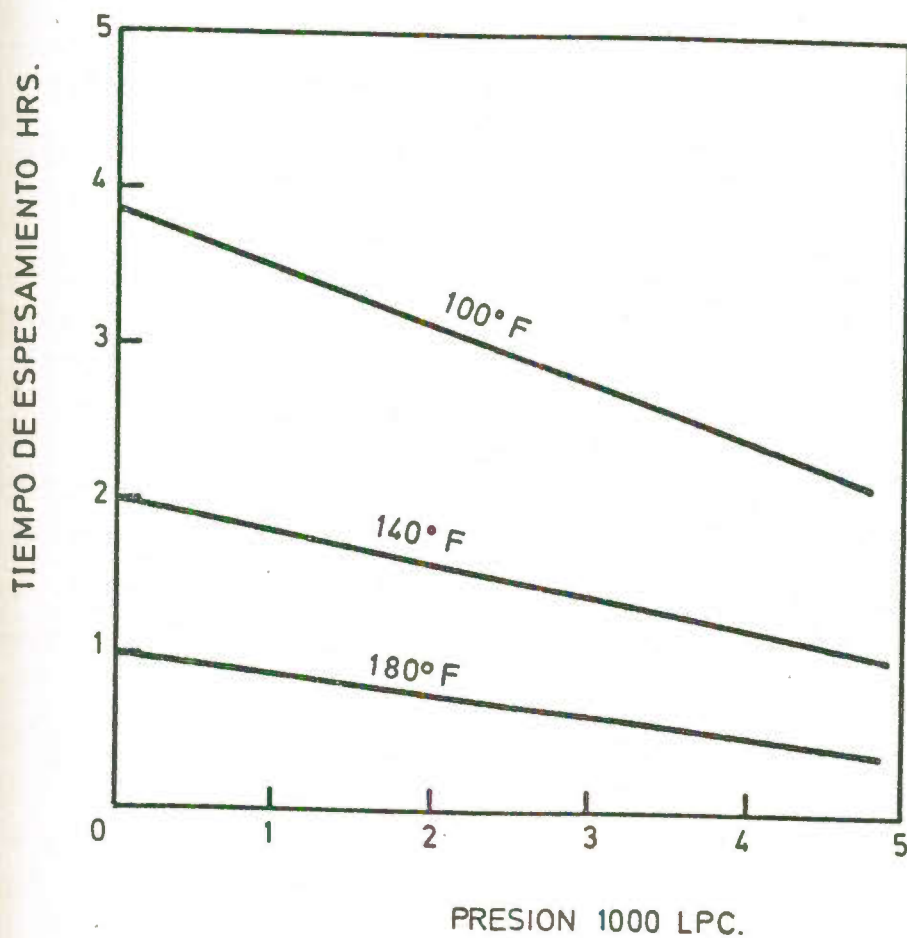
#### 4. Resistencia a la compresión:

Esta propiedad física que presenta la mezcla de cemento para un tiempo de fraguado dado, no es más que la presión a la cual el cemento fraguado cede ante un esfuerzo compresivo. Se la mide en el laboratorio con la prensa hidráulica que posee una fuerza compresiva de - 30000 Kg. La resistencia a la compresión hace variar el tiempo de espera - del fraguado, antes de iniciar la completación del pozo.

#### 5. Tiempo para realizar la cementación:

El trabajo de cementación requiere encontrar un estimado del tiempo que se necesite durante la operación, la misma que comprende:

- A. Mezclado del cemento en la superficie
- B. Limpieza y prueba de las líneas en superficie.
- C. Desplazamiento de la mezcla.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Fig. 22 EFECTO DE LA PRESION Y LA TEMPERATURA SOBRE EL TIEMPO DE ESPESAMIENTO <sup>(20)</sup>



D. Desconexión y levantamiento de la tubería de perforación, una longitud aproximada desde el fondo del hueco hasta el tope del cemento detrás de la tubería cementadora.

B. Peso, rendimiento de la mezcla y sacos de cemento:

El peso de la mezcla de cemento generalmente debe ser mayor en 2 o 3 unidades al todo de perforación para alcanzar un buen desplazamiento y evitar problemas futuros de canalización. En base de las condiciones del pozo se selecciona el tipo de mezcla que será usado, en la práctica es recomendable tabular las diferentes mezclas de cemento que son comunmente usadas. Tabla IV.(Apéndice E).

Es importante indicar que el saco de cemento se considera igual a 94 libras.El procedimiento de cálculo es el siguiente:

a. Cálculo del peso y requerimientos de agua de cada componente:

Conociendo los componentes que intervie

nen con sus porcentajes de peso, respecto a un saco de cemento, se calcula las libras por saco de la siguiente manera:

$$W_i = 94 \text{ lbs/SX} \times \% i \quad (54)$$

Donde:

$W_i$  = peso de cada componente      lbs/SX

$\%i$  = porcentaje de cada componente Adim.

En cambio el requerimiento de agua se obtiene para cada componente utilizando tablas de cementación disponibles (Halliburto Cementing Tables. Sección 230 Pag. 12 y 13).

$$R_w = \sum R_{wi}$$

Donde:

$R_w$  = requerimiento de agua      gal/SX

$R_{wi}$  = requerimiento de agua de  
cada componente      gal/SX



Por lo tanto el peso del agua total  
requerida será:

$$W_{at} = R_w \times 8.33 \quad (56)$$

Donde:

$$W_{at} = \text{peso total de agua} \quad \text{lbs/SX.}$$

b. Cálculo del volumen absoluto ( $V_{abs}$ ):

El volumen absoluto se define como el  
recíproco del peso de la mezcla.

$$V_{abs} = \frac{1}{\rho_m}$$

Conociendo que:

$$\rho_m = SG \times 8.33$$

$$V_{abs} = \frac{1}{8.33 \times S.G.} \quad (57)$$

Donde:

$$V_{abs} = \text{volumen absoluto} \quad \text{gal/lbs.}$$

SG = gravedad específica. Adim.  
 pm = peso de la mezcla lbs/gal

c. Cálculo del volumen real:

Se obtiene conociendo el peso y volu  
 men de cada componente

$$V_r = \sum (W_i \times V_{absi}) \quad (58)$$

Donde:

$V_r$  = volumen real gal/SX  
 $V_{absi}$  = volumen absoluto de cada  
 componente gal/lbs.

d. Cálculo del peso real:

Es el peso total correspondiente al peso del cemento, aditivos y agua

$$P_r = \sum W_i + W_{at} + 94 \quad (59)$$

Donde:

$P_r$  = peso real lbs/SX  
 $W_{at}$  = peso total de agua lbs/SX



BIBLIOTECA FIC  
**ESPOL**

Finalmente, el peso de la mezcla, por definición será igual:

$$\rho_m = \frac{P_r}{V_r} \quad (60)$$

Donde:

$$\rho_m = \text{peso de la mezcla} \quad \text{lbs/gal}$$

## 2. Rendimiento de la mezcla:

Es el volumen de mezcla obtenido por ca da saco de cemento, generalmente se lo expresa en pies cúbico por saco.

$$R = \frac{V_r}{7.48} \quad (61)$$

Donde:

$$R = \text{rendimiento de la mezcla} \quad \text{pie}^3/\text{SX}$$

## 3. Cálculo de los sacos de cemento:

El número de sacos de cemento necesarios para las condiciones requeridas en el po zo se determina a partir del volumen de

cemento calculado, cuya composición de la mezcla ha sido conocida previamente por la prueba de laboratorio, y el rendimiento de la mezcla:

$$N = \frac{V}{R} \quad (62)$$

Donde:

N = números de sacos necesarios SXS.

V = volumen total de mezcla en el pozo pie<sup>3</sup>

#### 4.1.2.7. Diseño de la instalación inferior y de brocas<sup>(32)</sup>

##### 1. Diseño de la instalación inferior (portamechas):

Una apropiada selección de una instalación de tubos portamechas es el requisito primario para perforar a un mini costo y se consiguen las siguientes ventajas: pozos libres de contratiempos, proporciona el peso requerido sobre la broca, ayuda a obtener y mantener la dirección deseada del hoyo y asegura tanto la larga duración como el rendimien



to de la tubería de perforación.

El diámetro de los pozos y el programa de brocas determinan el tamaño de tubos portamechas, pero los que se seleccionan generalmente deben tener el máximo diámetro externo, y el máximo grosor de pared permisibles para introducirlos sin riesgos en el pozo.

Varios son los beneficios que se derivan de esta regla general:

- A. Para lograr el peso deseado se necesitan menos portamechas.
- B. Se requieren menos conexiones de los portamechas.
- C. Se necesitan menos tiempo para conectar y desconectar portamechas, durante los viajes redondos de la sarta.
- D. Los factores que gobiernan buen rendimiento de la broca favorecen el uso de

miembros rígidos, con un mínimo espacio entre uno y otro.

E. El daño por fatiga es menor cuando se usan portamechas de máximo tamaño permisible en el hueco.

El peso de los portamechas en el lodo debe ser por lo menos 15 % más alto que el peso máximo previsto sobre la broca. El punto neutral entre la tensión y la compresión debe mantenerse siempre dentro de la instalación de portamechas.

Algunas son las excepciones a las recomendaciones de escoger portamechas de máximo tamaño permisible en el hueco, frecuencia se usan portamechas de dos más tamaños en pozos de diámetro de y en pozos direccionales muy desviados, con sartas convencionales de portamechas con torsiones y arrastres demasiado excesivos. En tales casos puede usarse dos o tres portamechas con estabilizadores en los puntos indicados di



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL



rectamente encima de la broca.

El diámetro interior de los portamechas que es una consideración hidráulica primordial, se determina estableciendo cual es el tamaño mínimo necesario para manejar el regimen de circulación sin una excesiva caída de presión.

2. Diseño de brocas: (13,33)

Con el fin de lograr buenas tasas de penetración perforando el mayor número de pies en el menor tiempo posible y considerando una reducción de los costos, es indispensable utilizar una broca diseñada para un determinado tipo de formación. Los dos tipos corrientes de brocas para perforar las diferentes formaciones son de dientes de carburo de tungsteno y la convencional de dientes de acero.

A. Brocas con dientes de carburo de tungsteno:

Originalmente se la creó para perforo

rar pedernales y cuarcitas extremadamente duras y abrasivas, cuya perforación había resultado siempre muy costosa a causa de la duración relativamente corta de las brocas con dientes de acero en tales formaciones. En estas brocas se combinan - las incrustaciones de carburo de tungsteno con las aleaciones de acero forjado, para obtener una estructura cortante con gran resistencia - al desgaste por la abrasión y una alta resistencia a las cargas por compresión.

Existen tipos de brocas de carburo de tungsteno para usar en formaciones suaves a medianas, en medianas a duras y para utilizarse en formaciones duras y extremadamente duras.

#### B. Brocas con dientes de acero:

Estas brocas se usan al comienzo de la perforación y en formaciones - blandas donde se emplean altas velo

cidas de rotación, así como pa  
ra formaciones que por su espesor  
harían a las de carburo de tungste  
no antieconómicas.

De la misma forma hay brocas con  
dientes de acero para formaciones  
blandas, medianas a medianamente du  
ras y duras.

La siguiente tabla es un selector  
de brocas, de acuerdo al tipo de  
formación presente.

A. MECHAS DE CARBURO

B L A N D A S

Formaciones normalmente perforadas  
lutitas, arcillas rojas, sal, arenas, caliza blanda.

Tipo de mecha:

J22, J23, HH33

M E D I A N A S

Formaciones normalmente perforadas  
calizas, arenas, dolomitas y lutitas duras.

Tipo de mecha:

J44, J55R, J55, HH44, HH55

D U R A S

Formaciones normalmente perforadas: calizas, dolomitas, esquistos, lutitas arenosas.

Tipo de mecha:

J77, J99, HH77, HH99

B. MECHAS CON DIENTES DE ACERO

B L A N D A S

Formaciones normalmente perforadas  
lutitas blandas, arcillas, arenas no consolidadas, arena roja, sal.

Tipo de broca:

1. Cojinetes comunes

OSC-3AJ, OSC-3J, OSC-IGJ

2. Cojinetes sellados

X3A, X3, XIG, XDG

3. Cojinetes

J2, J3, JD3

M E D I A N A S

Formaciones normalmente perforadas  
lutitas duras areniscas, calizas

Tipo de mecha:

1. Cojinetes comunes

OWV-J, OW4-J, WO

2. Cojinetes sellados

XV, XDV

3. Cojinetes

J4

D U R A S

Formaciones normalmente perforadas: arenas duras, calizas - esquistosas, granito, pedernal.

Tipo de mecha:

1. Cojinetes comunes

W7R-2J

2. Cojinetes

J7, J3, JD8



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

#### 4.2. PROBLEMAS EN LA PERFORACION<sup>(19)</sup>

La perforación de formaciones que pueden o no estar consolidadas introduce la posibilidad de algún tipo de problema. El conocimiento de un área o los estudios geológicos usados en la planificación del pozo, muestran el peligro de sufrir estas dificultades.

Por años, la perforación de pozos en el área no presentan problemas, pero a veces ocurren algunos sin razón - aparente, porque las formaciones no son homogéneas. Estos problemas se presentan también en pozos bien planificados incrementando los costos de perforación y por lo tanto debe ser minimizados.

##### 4.2.1. Pegamiento de la tubería (31)

El pegamiento de la tubería se debe a la acumulación de ripios alrededor de la tubería de perforación o embolamiento sobre la broca; este - efecto es llamado "llavetero".

Una recomendación hecha para prevenir este problema es de mantener el hueco derecho y si ocurre - el pegamiento , la circulación del lodo debe ser

mantenida para que continúe su acción de lavado.

En este caso, los métodos usados para liberar la tubería atascada son los siguientes:

1. Lavado de la tubería con agua limpia
2. Lubricación de la tubería para reducir la fricción.
3. Rotación de la tubería, si es posible.

Otra causa de pegamiento es la formación de cavernas que son llenadas por los ripsos que se acumulan en esas cavidades. En este caso la circulación del fluido es interrumpida o la presión de circulación es incrementada.

Para liberar la tubería se deben usar los siguientes métodos:



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

1. Si no es posible la circulación del fluido, se para la bomba y se libera la presión. Se debe trabajar lentamente, para tratar de despegar la tubería.
2. Si la circulación del fluido es posible pero limitada, hay que circular agua limpia para ayudar a remover los ripsos de los contornos de

la tubería.

3. Si el paso 2 es insuficiente, es necesario lubricar la tubería para reducir la fricción.

#### PRESION DIFERENCIAL DE PEGAMIENTO

Este tipo de pegamiento de la tubería con la costra de lodo, es el resultado de una presión del fluido de perforación mayor que la presión de poro de la formación. Puede ocurrir en áreas de mucha actividad de perforación y con más frecuencia en pozos profundos donde se utilizan lodos pesados y en este caso el fluido de perforación debe ser especialmente tratado, manteniendo un rígido control de la filtración y agregando surfactantes a los lodos de base agua.

Además movimientos frecuentes de la tubería son normales cuando se perfora con lodo pesado, ya que reducen el área de contacto entre los portamechas y costra de lodo. Esta área de contacto es mayor cuando el espesor de la costra es más grueso, por esta razón se debe controlar la tasa de filtración.

La fuerza de pegamiento, es descrita por la siguiente ecuación:

$$F_s = \Delta P \times A \times f \quad (63)$$

$F_s$  = fuerza de pegamiento o fuerza necesaria para liberar la tubería. Lbs.

$\Delta P$  = diferencial de presión Lppc

$A$  = área de contacto entre tubería y la costra de lodo pulg<sup>2</sup>

$f$  = coeficiente de fricción entre tubería y la costra de lodo. Adim.

Cuando brocas de diamantes son usadas en perforación de pozos profundos es práctica común el mover la broca dentro de la última instalación de casing cada 24 horas (o viaje corto), con objeto de remover un excesivo filtrado de lodo y mantener el pozo abierto.



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

Si hay un severo, pata de perro (desviación grande del hoyo), la tubería de perforación puede producir una zanja en la pared que es profundizada con el tiempo. Este efecto puede ocasionar un gran problema de "llavetero" tanto que el portamechas y la broca no podrán ser removidos del pozo y es



te tipo de atascamiento es reconocido en el campo por el gran incremento de fuerza para mover la tubería.

La estabilización de los portamechas por medio de centralizadores minimiza los problemas de pozos torcidos, también disminuye el área de contacto con la pared del pozo y reduce la tendencia de la tubería a pegarse.

La manera más común de liberar la tubería pegada es lubricándola con aceite o con un lodo a base de aceite.

Otros aditivos especiales son los siguientes:

1. Asfalto
2. Grafito
3. Detergentes
4. Cáscaras de nuez
5. Lubricantes especiales, generalmente un tipo de ácido grasoso.

#### 4.2.2. Pérdida de circulación<sup>(34)</sup>

Consiste en la entrada de los fluidos (lodo, cemento, etc.) hacia la formación ocasionando gastos de materiales, mayor tiempo de taladro e inclusive la pérdida del pozo. Puede ocurrir en cualquier parte del hoyo abierto comunmente debajo de la zapata del último revestimiento, porque el peso del lodo tiene que ser aumentado para controlar presiones altas encontradas a mayores profundidades. Es uno de los problemas frecuentes en la perforación de los pozos profundos, por el uso de un lodo pesado.

#### CAUSAS DE LA PERDIDA DE CIRCULACION

Las causas que originan las pérdidas de circulación son las siguientes:

- A. Fracturamiento inducido a las formaciones.
- B. Formaciones muy porosas y permeables
- A. Fracturamiento inducido a las formaciones:

Se debe a pobres técnicas de perforación causadas por excesiva presión hidrostática o también por presiones surgentes. Al usar un lodo pesado -



BIBLIOTECA FICTICIA  
**ESPOL**

en la perforación, las pérdidas de circulación ocurren como resultado de fracturas inducidas - causadas por la presión hidrostática impuesta - por el fluido de perforación y actividades asociadas como circulación del fluido y movimiento de la tubería. En el caso de pozos profundos cuando la instalación de perforación es bajada rápidamente, al hacer un viaje, se crean presiones surgentes que ocasionan fracturas en la formación.

#### B. Formaciones muy porosas y permeables:

1. En las formaciones inconsolidadas donde - ocurren pérdidas de circulación, el espacio poroso debe tener más o menos 3 veces - el diámetro de la máxima partícula encontrada en el lodo. Muchos de los sólidos en un lodo de perforación pueden ser perdidos en una formación con una permeabilidad mayor a 300 Darcys, por lo tanto este tipo de pérdida está prácticamente confinado a gravas cerca de la superficie. El método más común de manejar pérdida de circulación en formaciones superficiales es darle viscosidad al lodo, esto puede ha

cerse en lodo a base de agua añadiendo agentes flocculantes tales como: cal ó cemento. En áreas donde unicamente se utiliza agua puede conseguirse mayor viscosidad usando polímeros, también puede utilizarse material de pérdida de circulación los cuales son económicos y sirven como un medio de taponamiento de la formación. Ejemplos de éstos son: cáscaras de arroz, semillas de algodón, costras de nueces, micas, etc.

Ademas, altas tasas de penetración en formaciones suaves pueden originar grandes pesos - del lodo en el espacio anular, lo cual trae como consecuencia la limitación de la tasa de penetración para controlar el peso del lodo.

2. Fisuras naturales o fracturas existentes en las formaciones (como calizas, y dolomitas) son altamente peligrosas, ya que permiten el escape completo del lodo y pueden ser causa de posibles reventones o sacudidas.

## MEDIDAS PREVENTIVAS

La vía más económica para evitar las pérdidas de circulación es tratar de prevenirlas, mediante las siguientes prácticas en la perforación:

1. El peso del lodo debe ser diseñado con el sobrebalance mínimo respecto a las presiones de las formaciones, hay que tener presente que la acumulación de rípios en el espacio anular aumenta la densidad efectiva del lodo. Pérdidas de circulación en los hoyos de grandes diámetros se deben principalmente a técnicas de penetración. Nunca se debe perforar un hoyo de 17-1/2" o más grande con una sola bomba, hay que usar bombas en paralelo a velocidad completa y equipada con camisas grandes (7") y las velocidades en el espacio anular serán tales que el hoyo estará completamente limpio todo el tiempo.



2. Los valores de viscosidad y geles del lodo deben mantenerse tan bajo como sea posible. Si el punto cedente es demasiado alto, puede inducir fracturas en las formaciones más débiles al romperse la circulación. Siempre se

debe comenzar a circular suavemente y aumentar la velocidad de la bomba solamente después - que se obtenga algún retorno de lodo. Rotar la mesa rotatoria ayuda a romper la gelatinidad del lodo y si la viscosidad y gel del lodo son altos, lo más recomendable es romper circulación a diferentes intervalos mientras se baja la tubería.

3. El manejo de la tubería debe ser óptimo para evitar presiones surgentes. Bajar la tubería de masiado rápido puede aumentar la densidad efectiva del lodo.
4. Un barro en buenas condiciones ofrece la posibilidad de obtener un hoyo calibrado. Esto evitará la creación de puentes por derrumbes - de lutitas y el atascamiento de la tubería - por el hinchamiento de las mismas.
5. Si zonas de pérdida de circulación son esperadas el lodo debe ser pretratado con material de pérdida de circulación: mica, granos, semillas, cáscaras, etc.
6. Los revestimientos deben colocarse adecuadamente

para proteger las formaciones con presiones - normales, las cuales se fracturan cuando el peso del lodo tiene que aumentarse para controlar formaciones cargadas anormalmente. La determinación de la zona de transición (entre la presión normal y la anormal) mediante registros, tasas de penetración, unidades de gas, etc. es requerida para encontrar la zona donde fijar el revestimiento.

#### LOCALIZACION DE LA ZONA DE PERDIDA

Si hay pérdidas de retorno mientras se perfora, es lógico pensar que estas ocurren en el fondo. Cuando se presentan mientras se hacen viajes o al aumentar el peso del lodo es probable que las pérdidas no sean en el fondo, sino cerca de la zapata del último revestimiento o en una zona de pérdida conocida. Esta región puede detectarse por varios métodos como registros radioactivos, de temperatura y otros.

#### SEVERIDAD DE LAS PERDIDAS

Pérdidas parciales son conocidas como un porcentaje de volúmen de lodo que circula por el po

zo. Si las pérdidas son tan severas que el nivel del lodo baja, el espacio anular debe llenarse inmediatamente con una cantidad medida de agua, entonces la pérdida pueden determinarse calculando el nivel de separación agua-lodo. Hay que tener presente que puede haber cualquier zona de pérdida y al disminuir la presión hidrostática del fluido en el espacio anular, puede dar lugar que el pozo fluya produciendo una sacudida o un reventón.

#### SOLUCION A LAS PERDIDAS DE CIRCULACION

Los procedimientos y materiales usados para resolver los problemas de pérdida de circulación, varían grandemente y su uso depende de la severidad de la pérdida.

Los materiales para pérdida de circulación den clasificarse como:

- a. Materiales granulares: cáscaras de nueces, arroz, etc.
- b. Materiales fibrosos: fibra-sellante, aserrín, etc.
- c. Materiales laminares: mica, celofán, etc.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



- d. Combinaciones de dos o más de los materiales mencionados.
- e. Minerales que se expanden con calor, como perlits.
- f. Mezclas especiales: diesel-oil-bentonita, tapón de barita, etc.

#### 4.2.3. Hinchamiento de arcilla<sup>(30)</sup>

El fenómeno de hidratación también incluye la dispersión o la llamada desintegración de las arcillas y para combatirla los operarios han usado fluídos tratados con calcio y lodos livianos de bajo pH. Los lodos tratados con calcio se usaron para convertir formaciones de arcillas hinchables tipo bentonita a arcillas no hinchables. Los resultados fueron halagadores y por muchos años se usaron varios lodos tratados con calcio, de los cuales el más reciente fue el yeso. Los lodos de lignosulfonato con yeso fueron populares - porque su pH se podía mantener bajo (9.5 ó infe-rior). Sin embargo, el calcio es un contaminante en lodos de agua dulce, lo que hace necesario un tratamiento adicional. Por esta razón, los perfo



se dispersan en lodos con pH alto.

En algunas secciones, particularmente en las zonas de la costa del Golfo de México, los fluidos de alta presión pueden ser la razón principal del ensanchamiento de los pozos, la presión del fluido de la formación puede exceder la presión hidrostática del lodo y debido a que no hay permeabilidad los fluidos de la formación fuerzan a la lutita hacia el pozo. Hay dos soluciones: perforar lo más rápidamente posible antes de que se produzcan los ensanchamientos en el pozo o incrementar el peso del lodo para contrarrestar la presión de formación.

La erosión de las paredes es la causa más común de los ensanchamientos de los pozos, la cual es originada al forzar a presión al lodo dentro de la formación y subditamente reducir la presión del pozo. Esto permite que el lodo fluya rápidamente dentro del pozo, erosionando la formación. Además los problemas se agudizan cuando aumenta la viscosidad del fluido y el tamaño del hoyo.

#### 4.2.4. Cortes por gas<sup>(8)</sup>

La contaminación del lodo por el gas ocurre frecuentemente durante las tareas de perforación y esto puede ser considerado como una señal anticipada de una arremetida del pozo. Es importante analizar las causas de la contaminación del lodo por el gas, lo cual ocurre como resultado de una o más de las siguientes situaciones dentro del hoyo:

- A. Penetración de formaciones gasíferas, con un lodo de peso normal.
- B. Achique mientras se hacen conexiones en la instalación de perforación o durante los viajes de la misma.
- C. Descarga de gas de formaciones cuya presión mayor que la presión hidrostática ejercida por el lodo.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Debido a la perforación a mayores profundidades - en búsqueda de reservas de hidrocarburos, los problemas se han ido incrementando considerablemente y

de fondo, debido a que la gran expansión del gas y la reducción del peso del lodo afectado - se producen en la parte superior del hoyo y to avía existe lodo de peso adecuado en la mayor parte de éste.

#### B. Detección de gas durante viajes/conexiones:

Luego de circular el lodo desde el fondo des pués de un viaje o conexión puede retornar mez clado con gas ocasionando una reducción de la - densidad del lodo o un aumento de la cantidad de gas. Si el pozo no fluyó cuando se pararon las bombas durante el viaje o la conexión, pue de suponerse que el gas fue succionado hacia el hoyo por el movimiento de la tubería ocasionando un aumento de presión en la formación.

#### 4.2.5. Contaminación del fluido de perforación (10-35)

La contaminación es un problema que se encuentra usualmente cuando un lodo bien disperso presenta los siguientes síntomas: punto cedente alto, resis tencias de geles altas, viscosidad excesiva y alta pérdida de filtrado. Las propiedades del lodo au mentan y de pronto se observa que un elemento



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

contaminante ha penetrado en cantidades suficientes para reaccionar con la arcilla y/o con los agentes adelgazantes alterando las propiedades del lodo. A continuación se tratará de éstos agentes contaminantes y el tratamiento a seguir.

#### A. Agentes Contaminantes:

1. La contaminación puede ser de cualquier elemento:

Los contaminantes pueden ser diversas sustancias capaces de penetrar al sistema de lodo y ocasionar un comportamiento diferente al original. Algunos de los peores contaminantes son los adelgazantes y otros aditivos "inofensivos" como agua, bentonita y barita añadida descuidadamente. Por ejemplo la bentonita seca añadida a un lodo muy tratado tomará un tiempo indefinido en disolver; después las propiedades del lodo aumentan como al perforar una lutita altamente dispersa, esto ocurre por un déficit de adelgazantes o temperaturas muy altas. Los sólidos de perforación dejados en el lodo para que dispersen las lutitas, especialmente en un lodo -

pesado, son en realidad los peores contaminantes y la remoción de estas partículas puede requerir dilución y cambios en el volúmen.

## 2. Contaminantes químicamente tratables:

Son aquellos cuyo tratamiento se basa en procesos químicos o producen un efecto químico sobre la arcilla en el agua. A continuación se mencionan cuatro categorías generales de -contaminantes químicos:

### 1) Contaminantes del Ion Calcio (divalente)

- a. Yeso y anhidrita
- b. Cemento y cal
- c. Agua para mezcla salada y el agua del mar

### 2) Contaminantes del cloruro de sodio (Iones novalentes)

- a. Lechos de sal
- b. Flujos de agua salada
- c. Agua de mar después de la reducción de los -iones divalentes.



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

- 3) Contaminantes que alteran la alcalinidad
  - a. Carbonatos solubles
  - b. Bicarbonatos solubles
  - c. Sulfuros solubles
  - d. Hidrosulfuros solubles
  
- 4) Contaminantes peligrosos (para humanos y herramientas metálicas)
  - a. Sulfuros solubles
  - b. Hidrosulfuros solubles
  - c. Gas de Hidrógeno sulfurado

Este tipo de contaminantes pueden tener efectos serios en la arcilla y en su habilidad de ser fácilmente bombeable y en construir un revoque liso con buenas cualidades de impermeabilidad.

Los tratamientos para remover algunos de estos contaminantes son posibles, pero otros son impracticables.

3. Factores ambientales que afectan la magnitud de la contaminación:

A menudo varios factores se combinan para ha



cer que el lodo se comporte como si estuviera en estado de contaminación, el medio ambiente es un factor importante en éste efecto. La temperatura y las transiciones de la tasa de corte de alto a bajo valor complican el análisis de cualquier contaminación.

#### B. Tratamiento contra la contaminación:

Para que un lodo contaminado recobre sus buenas propiedades es necesario tratarlo. Las interacciones entre arcilla-ion - agua producidas por el contaminante causa los síntomas del problema y al atacarlo en sus bases, desaparecerá. No es malo atacar al síntoma para tratar de mejorar las propiedades del lodo, pero esto no debe en ningún momento tomarse como una curación total. Como un ejemplo se menciona al calcio presente en grandes proporciones en el lodo, originando floculación en la arcilla y más tarde aglomeración. Un aumento de la tasa de corte puede ayudar y una cantidad extra de desfloculante puede mantener las propiedades del lodo en el tanque, pero a tem



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

peraturas hoyo abajo el calcio de nuevo ejercerá su efecto en la baja tasa de corte del espacio anular y el síntoma reaparecerá cuando regresa a la superficie esa parte del lodo. El problema consiste que el ion divalente positivo del calcio está alterando la carga eléctrica de la arcilla en la superficie y debe de alguna forma reemplazárselo por un ión monovalente (sodio) en la arcilla. El calcio puede también estar eliminando agentes adelgazantes muy necesarios.

La solución para este caso, es añadir suficientes iones de sodio para que reaccionen con todos los iones de calcio en estado libre y que eventualmente toda la arcilla de la superficie pueda convertirse a una de tipo sódica. La solución total es mejor efectuarla en dosis subsecuentes ya que el tratamiento no controlado hace mayor al problema.

Después de analizar el tipo de contaminación del lodo, el tratamiento a seguir será escoger el mejor entre varios productos químicos similares. La mejor selección vendrá después de una

serie de consideraciones con respecto al costo, la profundidad del objetivo, temperatura del pozo, pH, facilidad de aplicación del tratamiento, rapidez de solución, efectos laterales que puede afectar otros iones presentes o recién formados.

#### 4.2.6. Desviación del pozo <sup>(32)</sup>

Inicialmente se utilizaban en la perforación pocos portamechas, pero su cantidad fue aumentando rápidamente al mejorar su diseño para alcanzar profundidades mayores. Así cuando se empleaban de seis a nueve portamechas en la instalación inferior, ocurrían pocos problemas. Pero las fallas en las conexiones fueron aumentando al añadirse más de nueve portamechas, porque estos se pandean debido al peso adicional y ocasiona desviación de los pozos.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

#### CAUSAS EN LA DESVIACION DE LOS POZOS

Para explicar las causas del fenómeno en la desviación de los pozos, existen las siguientes teorias:

## A. Henry Woods y Arthur Lubinski

Ellos establecen que el tamaño de los portamechas de fondo del pozo es el factor limitante del movimiento lateral y que el diámetro mínimo efectivo del pozo (DMEP) puede calcularse mediante la ecuación siguiente:

$$DMEP = \frac{\text{Tamaño de la broca} + 0.D \text{ de portamechas}}{2} \quad (64)$$

## B. Robert S. Hoch

Manifiesta que cuando se perfora con una broca no estabilizada (sin suficiente peso), el ángulo del pozo puede cambiar abruptamente al presentarse formaciones duras. Hoch indicó además que un pateperro de esa naturaleza puede ocasionar disminución del diámetro del pozo, lo que haría difícil la introducción de la tubería de revestimiento. Expreso también que para minimizar la posibilidad de atascamiento de los revestimientos en pozos que se perforan con mechas no estabilizadas, se sugiere que el diámetro exterior mínimo permisible del

conjunto de portamechas de fondo del pozo sea siempre mayor que el doble del diámetro exterior del acople del revestimiento que se ha de instalar, menos el tamaño de la broca.

$$\emptyset \text{ EPM} > 2\emptyset \text{ tub.REV.} - \emptyset \text{ broca} \quad (65)$$

### C. H.E Treichler

Expresa por medio de su teoría que el movimiento lateral de la broca no estabiliza en la perforación formaciones carentes de buzamiento - tiende a formar pozos en espiral, principalmente en formaciones blandas. Esto es debido a una tasa de penetración alta, dando un pozo de diámetro efectivo menor.

### D. H.M. Rollins,

Expresa que las formaciones que se perforan son sedimentarias de estructura laminar y si buzanan a medida que la broca pasa a travez de cada laminación, puede alcanzar un valor de carga tal que ocasione fracturas al pasar a la laminación siguiente.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

#### 4.2.7. Operaciones de pesca<sup>(27)</sup>

Las diferentes operaciones en los pozos petroleros se ven interrumpidas porque una herramienta ó equipo ha quedado atrapado en el hueco encontrándose en la necesidad de liberarla para poder continuar con normalidad la perforación. El pescado puede estar tapado con arena en el centro del hueco, perdido en una cavidad o cubierto debido a un derrumbe. Bajo tales circunstancias el operador de herramienta de pesca tendrá que confiar ocasionalmente en su propia intuición y tener cuidado al efectuar los trabajos de pesca. Todas las herramientas y tuberías metidas en el hueco deben medirse y calibrarse. Se deben anotar sus dimensiones para estar seguros de la localización exacta del tope del pescado, porque de otra manera no podrá conocer su posición y se perderá un tiempo valioso. Esto fácilmente puede suceder cuando se pesca en formaciones blandas donde el tope del pescado puede haber quedado enterrado en la pared del hueco.

## PROCEDIMIENTO OPERACIONAL DURANTE LA PESCA

Para liberar una tubería atascada hay que seguir los siguientes pasos:

1. Localización del punto libre
2. Desenrosque de la tubería libre
3. Corte de la tubería libre
4. Recobro de la tubería atascada

1. Localización del punto libre:

El primer paso para liberar una tubería mediante la pesca es localizar el punto donde está atascada, utilizando un aparato conocido como - "detector del punto libre". Cuando la parte libre de la tubería por encima del punto atascado se somete a tensión, se estirará y este alargamiento es apreciado por el detector e indicará el punto donde no habrá más alargamiento. Si la tubería no puede ser sacada es posible desenrosarla en el primer cuello por encima del punto libre, a fin de recuperar la parte no atascada de la tubería o también podría cortársela.

METODO DE ELONGACION PARA CALCULAR EL PUNTO  
LIBRE<sup>(34)</sup>

El procedimiento seguido en éste método es el siguiente:

Se anota la tensión leída en el indicador de peso al momento de pescarse la tubería y se hace una marca en ella al nivel de la mesa rotatoria. A continuación se tensiona la tubería con  $\pm 50.000$  Lbs. adicionales y se observa la altura a la cual subió la marca sobre la mesa rotatoria y se aplica la siguiente fórmula:

$$L = \frac{E \times e \times W}{40.8P} = \frac{735294 \times e \times W}{P} \quad (66)$$

Donde:

L = longitud de tubería libre (pies)

E = módulo de elasticidad ( $30 \times 10^6$  para el acero)

e = elongación leída en la tubería (Pulg.).

W = peso de la tubería (Lbs/pie)

P = tensión adicional (lbs).



## 2. Desenrosque de la tubería libre:

Para desenroscar la tubería en el primer cuello inmediatamente al punto de atascamiento se usa un aparato conocido como "ensamblaje" de la cuerda explosiva", el cual sirve para aflojar la conexión. Esta herramienta se baja - por dentro de la tubería hasta la profundidad donde se sabe que está atascada y se la sube unos pies hasta el localizador indique el primer cuello encima del punto de atascamiento. La cuerda explosiva se dispara por medio de un impulso eléctrico desde la superficie, mientras se ejerce una tensión hacia la izquierda sobre la tubería. La combinación de fuerza de torsión y explosión hace que la conexión se afloje, entonces se puede desenroscar la tubería y se procede a sacarla.



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

## 3. Corte de la tubería libre:

Esta operación se lleva a cabo por medio de una herramienta llamada cortatubos interno, la cual se baja dentro de la tubería atascada. Si las condiciones presentes requieren un cor

te por fuera, se usa un cortatubos externo bajándolo con la tubería de lavado que es de mayor diámetro.

#### 4. Recobro de la tubería atascada:

Después que la porción superior de la tubería ha sido desenroscada o cortada y luego sacada, se introduce un tipo de pescante adecuado para recuperar la parte atascada o el pescado. La selección de esta herramienta depende del análisis de los factores siguientes: tamaño, localización y condición del pescado. Para mayor seguridad, antes de esta operación se baja un bloque de impresión o camarita con superficie blanda de plomo, para obtener información de la condición o posición del tope de la tubería atascada.

## CAPITULO V

### PROBLEMA PRACTICO DE APLICACION (36)

En capítulos anteriores se han discutido los diferentes tópicos que encierra la perforación de pozos profundos y corresponde a esta sección aplicar estos principios teóricos. Al desarrollo del programa de perforación. En el presente análisis han sido tomados en cuenta los diferentes parámetros tanto dependientes como independientes y los problemas que con frecuencia se presentan en la operación. También ha sido consideradas las experiencias adquiridas en el campo y la toma de decisiones, los cuales constituyen la clave principal para lograr los objetivos fijados.

A continuación se presenta el programa de perforación para el pozo "Poligas" desarrollado en el orden siguiente:

- A. Resumen Geológico
- B. Programa de lodos
- C. Diseño hidráulico
- D. Diseño de tuberías de revestimiento
- E. Diseño del cabezote del pozo
- F. Programa de cementación

- G. Diseño de la sarta inferior de perforación y de brocas.
- H. Estimado de costos.

Además han sido incluidos los siguientes gráficos:

- A. Diagrama de la instalación de las diversas tuberías de revestimiento.
- B. Curva del estimado del tiempo.

Es necesario aclarar que los cálculos de este programa están desarrollados en los Apéndices A y B.

## A. RESUMEN GEOLOGICO

PROFUNDIDADES A LAS QUE SE ESPERA ENCONTRAR LOS TOPES DE LAS FORMACIONES

FORMACION	YACIMIENTO	PROFUNDIDAD (PIES)	PRESION(*) (Lppc )
Esmeraldas	Ecuador	2410	700
Manabí	Ecuador	4030	---
Loja	Ecuador	4030	700 - 1.400
Ambato	Ecuador	6747	---
Azogues	Ecuador	6822	4000 - 4300
Azuay	Ecuador	7050	3900
Cuenca	Ecuador	8040	---
Cañar	Ecuador	8830	4800
Riobamba	Ecuador	9230	---
Daule	Ecuador	13750	---
Pascuales	Ecuador	15500	---



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

(\*) Las presiones han sido estimadas

## B. PROGRAMA DE LODO

INTERVALO	0' a 700'	A 4200'	A7000'	A13300'	A15500'
Hoyo	26"	17-1/2"	12-1/4"	8-1/2"	5-5/8"
Tipo de lodo	agua+gel	agua+gel	ligno - sulfona to.	ligno-sulfona to.	ligno-sulfona to.
Peso (lb/gal)		8.9	12.0	12.0	12.0
VF (seg)		15-20	35-45	35-45	35-45
VP a 120°F (cps)		20-40	8-15	8-14	18-20
PC 120°F(lb/100 pie <sup>2</sup> )		55-60	12-14	12-14	8-12
Sólidos (%)		5-6	8-12	8-12	12-18
Filtrado API(cc)		4-5	8-10	7-9	7-9
Geles (lb/100 pie <sup>2</sup> )		25-30	2-8	2-8	2-8
PH(adimensional)		10-0	10-0	10-0	10-0
Pf (cm <sup>3</sup> )		0.4	0.5	0.5	0.5
Mf (cm <sup>3</sup> )		1.2-1.5	1.5-2.0	1.5-2.0	1.5-2.0
MBT (ml)		24	27		25
Aceite (%)		30-32			



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

## C. DISEÑO HIDRAULICO

Bomba 1(D-850)6"x18"Tub.Perf, 5" OD, 3-1/2" ID.

Portamechas: 10", 8", 7", 6-1/4", 4-3/4"

Máxima presión de la bomba: 2.500 Lppc.Máximas emboladas 60 EPM.

Bomba 2(D-1350) 6-1/2" x 5-1/2" x 18"

Máxima presión de la bomba 2.500 Lppc. Máximas emboladas 60 EPM.

PROFUNDIDAD (pies)	HOYO pulg.	LODO lb/gal.	GPM	EPM	VELOCIDAD EN BOQUI- LLAS. pie/seg.	PRESION Lppc	BOQUILLAS 1/32 pulg.
0- 700	26	agua+gel	910	120	783	2500	-
700 -2000	17 1/2	9.0	910	120	783	2500	16-16-18
2000- 3000	17-1/2	9.0	910	120	783	2500	16-16-18
3000- 4200	17-1/2	9.0	910	120	783	2500	16-16-18
4200- 5000	12-1/4	12.0	530	60	484	2500	12-13-13
5000- 6000	12-1/4	12.0	530	60	484	2500	12-13-13
6000- 7000	12-1/4	12.0	530	60	484	2500	12-13-13
7000- 8000	8-1/2	11.0	460	56	506	2500	11-12-12
8000- 9000	8-1/2	11.0	435	53	506	2500	11-11-12
9000-10000	8-1/2	11.0	420	51	506	2500	11-11-11
10000-11000	8-1/2	11.0	400	49	506	2500	10-11-11
11000-12000	8-1/2	11.0	382	45	506	2500	10-11-11
12000-13300	8-1/2	11.0	370	45	506	2500	10-10-11
13300-14000	5-5/8	13.0	140	25	404	1800	8- 8- 8
14000-15000	5-5/8	13.0	120	22	404	1800	8- 8- 8
15000-15500	5-5/8	13.0	120	22	404	1800	8- 8- 8



BIBLIOTECA ESPOL  
10-10-11

## D. DISEÑO DE TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

DIAMETRO (pulg)	PESO lb/p.	GRADO API	ROSCA	COLAPSO FS=1.12	ESTALLIDO FS=1.312	TENSION FS=1.8	TORQUE lb/pie	INTERVALO (pies)
20	94.0	H-40	STC	460	1190	323	8800	0-700
13 3/8	72.0	N-80	STC	2500	4240	578	8700	0-4200
9 5/8	47.0	P-110	BUTT	5440	7500	833	12500	0-7000
7	35.0	P-110	BUTT	10997	11080	609	11500	0-9300
7	29.0	P-110	BUTT	7740	8990	531	4800	9300-10398
7	Cuello flotador							10396-10400
7	35.0	P-110	X-LINE	10940	11080	621	4800	10400-12998
7	Zapata diferencial							12998-13000
5	18.0	P-110	X-LINE	11190	11290	303	4300	12700-15500
3 1/2	12.95	C-75	PH-6-CB	12980	10700	208	5500	0-12500



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



## E. DISEÑO DEL CABEZOTE

Sección "A": 13-3/8" 8 rd. x 13-5/8", 5000 Lppc, API, con colgador para revestidor de 9-5/8.

Adaptador: 13-5/8", 5000 psi x 11", 10000 Lppc, con sellado -  
doble.

Sección "B": 11" x 10000 Lppc, API x 11" x 10000 Lppc API con -  
colgador para revestidor de 8".

Sección "C": 11" x 10000 Lppc PI x API x 7-1/16", 15000 Lppc con  
brida para colgar tubing de 3 1/2".

Sección "D": Arbol de navidad de 3-1/2" x 15000 Lppc con 7-1/16",  
15000 Lppc (Sección superior).

Máxima presión anticipada en la superficie  
4000 Lppc.

## F. PROGRAMA DE CEMENTACION

## 1. Revestimiento de superficie:

1300 sacos de cemento

12 % de bentonita

13.14 lb/gal. (peso de la mezcla)

10.40 gal/SX (requerimiento de agua)

1.91 pie<sup>3</sup>/SX (rendimiento)

442 bls de agua

332 bls de agua

Seguidos por:

250 sacos de cemento

2 % CaCl<sub>2</sub>

15,6 Lb/gal (peso de ma mezcla)

gal/SX (requerimiento de agua)

1.19 pies<sup>3</sup>/SX (rendimiento)

53 bls de mezcla

31 bls de agua

20 % de exceso

## 2. Revestimiento intermedio:

1300 sacos de cemento

35 % SF

1.5 % CFP - 2



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

0.8 % HR-12  
 15.5 lb/gal. (peso de la mezcla)  
 6.7 gal/SX (agua)  
 1.58 pie<sup>3</sup>/SX . (rendimiento)  
 365 bls de mezcla  
 207 bls de agua  
 10 % de exceso.

### 3. Revestimiento de producción:

1000 sacos de arena  
 35 % SF  
 1.58 CFR-2  
 0.75 HR-12  
 15.5 Lb/gal. (peso de la mezcla)  
 6.7 gal/SX (Agua)  
 1.58 pie<sup>3</sup>/SX . (rendimiento)  
 281 bls de mezcla  
 160 bls de agua  
 10 % de exceso

### 4. Camisa:

200 sacos de cemento  
 35 % SF (silica fluor)  
 1.5 % CFR-2



**BIBLIOTECA FICT  
 ESPOL**

0.5 % LWL

1.0 % HR-12

15.5 lb/gal (peso de la mezcla)

6.7 gal /SX (requerimiento de agua)

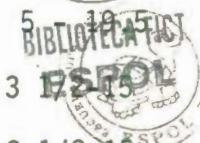
1.58 pie<sup>3</sup>/SX (rendimiento)

56 bls de mezcla

32 bls de agua

## DISEÑO DE SARTA INFERIOR DE PERFORACION Y DE BROCAS

MAÑO L HOYO ulg)	INTERVALO (PIES)	Nº DE PORTA MECHAS-DIAM. Nº pulg.	TIPO DE BROCA	PESO SOBRE LA BROCA (M lbs)	RPM	TUBERIA DE PERFORACION pulg-lb/pie
6	0- 700	2-10y12-8	OSC-3A	5-10	150	5 - 19.5
7 1/2	700- 2400	12-8	OSC-3A	30-40	150	5 - 19.5
7 1/2	2400- 3400	12-8	OSC-3A	30-40	150	5 - 19.5
7 1/2	3400- 4200	15-8	OSC-3A	30-40	150	5 - 19.5
12 1/4	4200- 4600	15-8	X-3A	25-30	150	5 - 19.5
12 1/4	4600- 5000	15-8	X-3A	25-30	150	5 - 19.5
12 1/4	5000- 5400	15-8	X-3A	25-30	150	5 - 19.5
12 1/4	5400- 5700	15-8	X-3	25-30	150	5 - 19.5
12 1/4	5700- 6300	15-8	X-3	25-30	150	5 - 19.5
12 1/4	6300- 6700	15-8	X-1G	25-30	150	5 - 19.5
12 1/4	6700- 7000	15-8	X-1G	25-30	150	5 - 19.5
8 1/2	7000- 7800	19-7y2-8	3-F2	30-35	50-60	5 - 19.5
8 1/2	7800- 9000	2-10y13-8	6-F3	30-35	50-60	5 - 19.5
8 1/2	9000-11900	2-10y13-8	11-F4	30-35	50-60	5 - 19.5
8 1/2	11900-13300	2-10y13-8	4-OWC	30-35	100	5 - 19.5
5 5/8	13300-14000	21-4 3/4	4-OWC	20-25	100	3 - 19.5
5 5/8	14000-15500	2-7y26-6 1/4	2-MD	20-25	100	3 1/2-15



BIBLIOTECA FIL  
ESPOL

## H. ESTIMADO DE COSTOS

DOLARES

1. Perforación	
Operaciones del taladro(9.346 \$/díax180 días)	1'682.280
2. Costos Tangibles	
A.Tubulares	
A.1. Revestimiento superficial(11,68\$/piex4200pies)	49.056
A.2. Revestimiento intermedio (21,50\$/piex7000pies)	150.500
A.3. Revestimiento de produc. (16,36\$/piex13000pies)	212.680
A.3. Camisas------(1.17\$/piex2800 pies)	3.276
B.Tubería de Producción------(22.20\$/piex12500pies)	277.500
C.Arbol de navidad y conexiones de superficie -----	300.000
D.Otros equipos -----	38.336
3. Costos Intangibles	
A. Mudanza del taladro -----	70.093
B. Localización y carreteras -----	70.093
C. Materiales y servicios -----	116.822
D. Cemento - Perfilaje - ADT -----	280.374
E. Materiales de lodo y servicios -----	350.467
F. Brocas -----	373.832
G. Transportes y otros -----	93.458

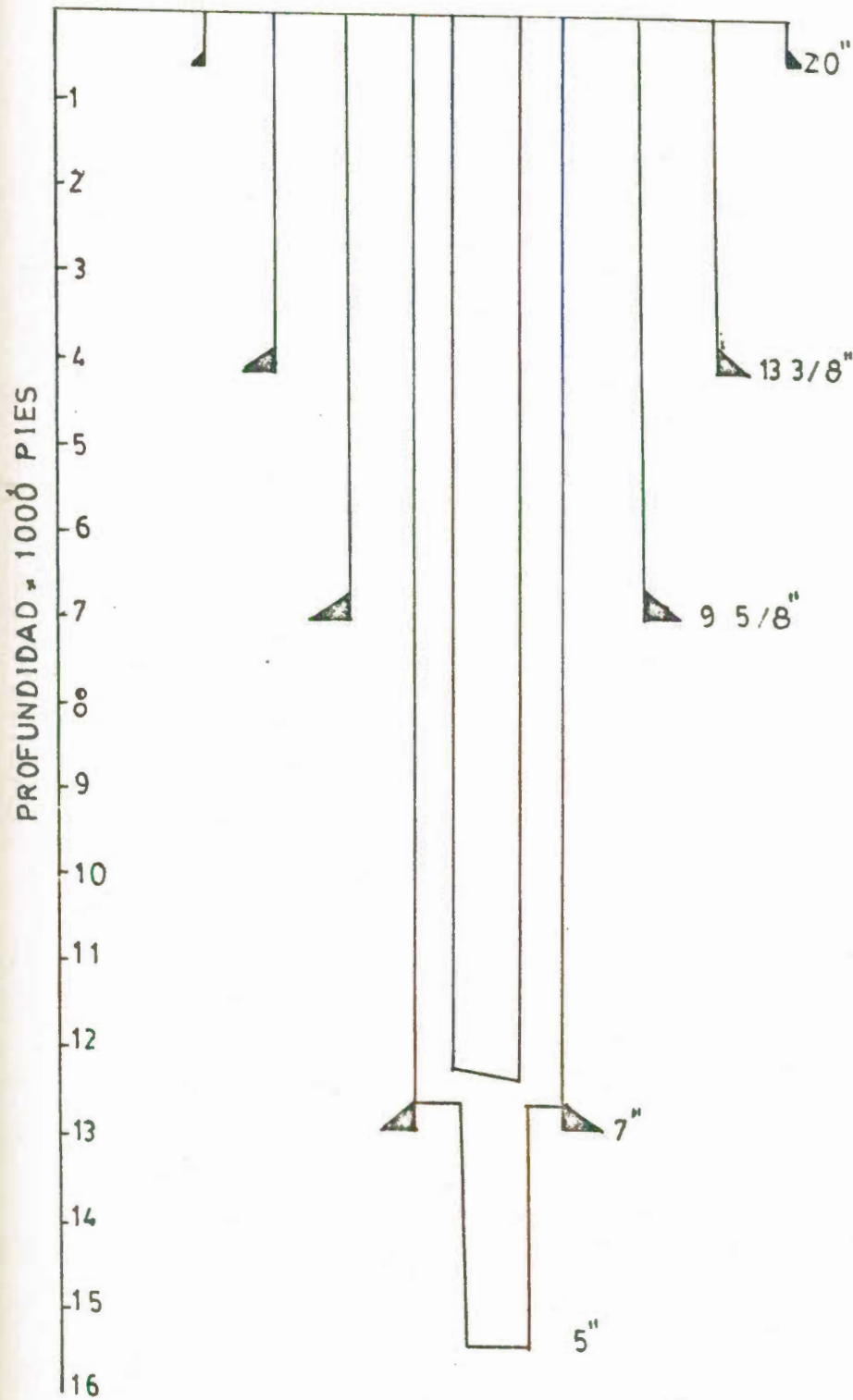
TOTAL:

\$ 4'068.767

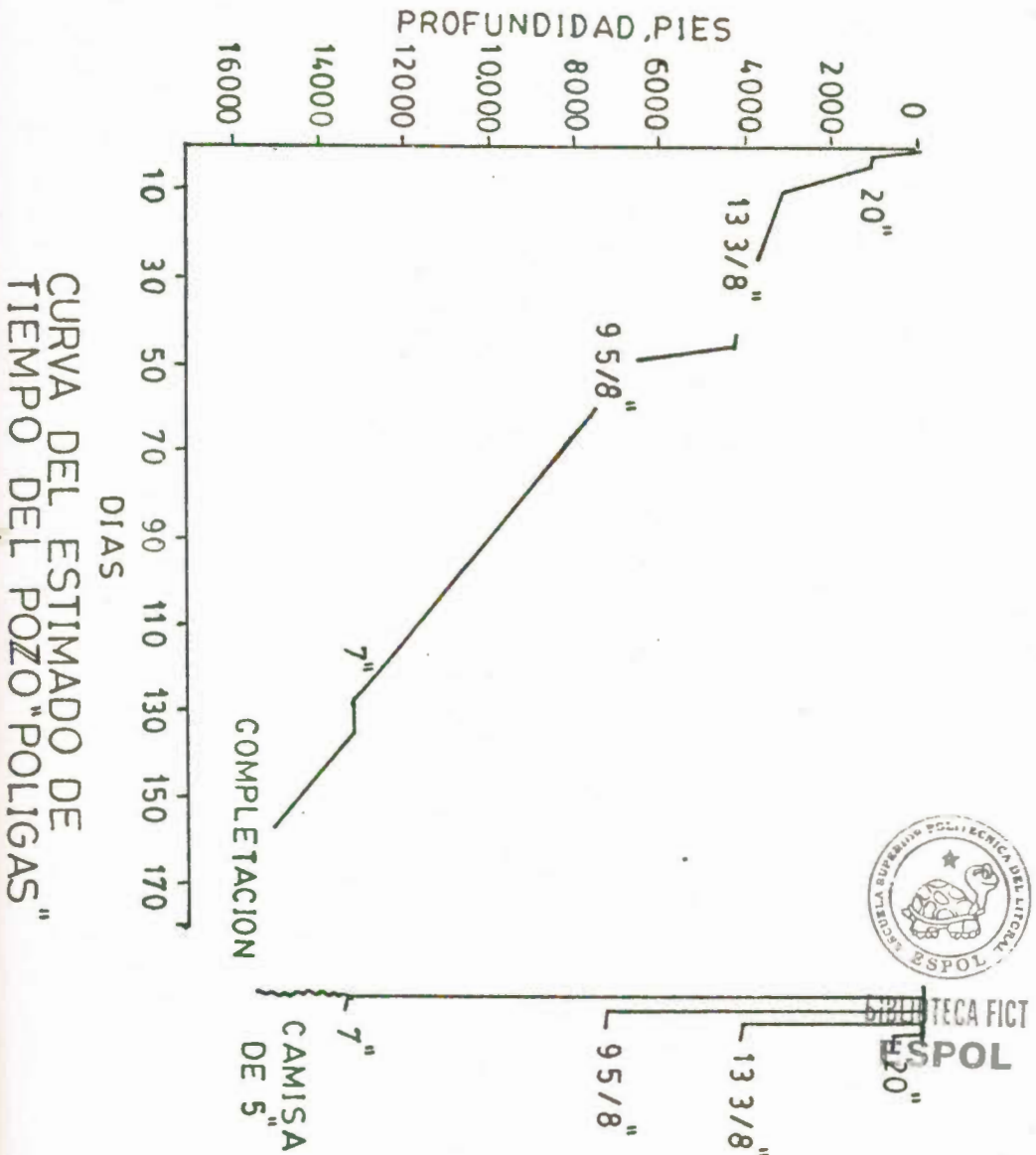


=====  
 SUBBIBLIOTECA FICT  
 ESPOL  
 =====

# DIAGRAMA DE INSTALACION DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO-POZO "POLIGAS"



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



TECA FICT  
ESPOL



## CAPITULO VI

### DISCUSION DE RESULTADOS

A continuación se presenta un análisis de los resultados obtenidos durante la perforación del pozo "POLIGAS".

Inicialmente el fluido de perforación usado fue a base de agua, pero al presentarse continuos problemas de pesca se decidió cambiarlo a lodo a base de aceite, resultando en disminución de la fuerza de arrastre de la tubería.

La profundidad alcanzada fue de 15500' con un hoyo de 5-5/8" y completado con una camisa lisa cementada de 5" con el fin de minimizar los costos por efecto de mantenimiento del pozo.

Este tipo de completación presenta las siguientes ventajas

- A. Una producción selectiva de las zonas de interes.
- B. Elimina la producción de agua o gas.
- C. Permite futuros trabajo de estimulación de pozos.
- D. Una producción de petróleo más limpio.



BIBLIOTECA FIL  
ESPOL

Durante la perforación se presentaron problemas debido a efectos combinados de alta desviación y zonas duras, originando continuas operaciones de pesca. A medida que se profundizó se encontró rocas de baja presión dando como resultado una alta pérdida de circulación, siendo la razón para bajar el revestimiento de 13-3/8" y a la vez aislar zonas de arcilla hidratables que ocasionan reducción del diámetro del hoyo.

El revestimiento de 7" fue cementado para soportar los efectos del ácido sulfídrico y cubrir la zona de gas, detectado por los continuos cortes de gas en el lodo. con el uso de brocas de diamantes excéntricos se obtuvo una reducción de los problemas de pegamiento y también disminución de los costos operacionales de perforación por el tiempo mayor de vida útil de la broca. A causa de la cantidad de problemas se decidió efectuar desviaciones - arrastres y los altos torques presentes, fueron controlados con éxito mediante el uso de lodo de emulsión invertida.



Por la dureza de la formación hubo un constante control de peso sobre la broca y con esta técnica se logró un hoyo fijo y uniforme.

**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El atascamiento y rotura de la tubería al igual que las pérdidas de circulación, son los principales problemas - que incrementan los costos de perforación.
2. La perforación de formaciones sumamente duras incide en la vida de la broca y origina baja tasa de penetración.
3. La pérdida de circulación se manifiesta por una filtración del lodo, debido a las presiones de surgencia y las fracturas inducidas en la formación.
4. El utilizar un lodo a base de aceite por otro de lignosulfonato disminuye los problemas de arrastre, torque e hinchamiento de las arcillas. Pero este cambio ocasiona una limitación en la evaluación geológica de las formaciones, por efecto de la contaminación por petróleo.
5. Perforar un hoyo pequeño con brocas excentricas da buenos resultados, pues se obtiene uniformidad y estabilidad del pozo.

6. Utilizar tuberías de revestimiento del tipo X-Line produce efectos positivos durante la cementación, especialmente donde el espacio anular es reducido.
  
7. El éxito de la cementación de los revestidores de fondo se debe en gran parte a las pruebas de laboratorio, donde se obtienen las mejores condiciones del cemento.
  
8. Es recomendable utilizar tubería de perforación de grado S-135 en las zonas de alto índice de atascamiento, debido a su resistencia a la compresión y corrosión.
  
9. Se debe acondicionar el lodo a sus valores mínimos de punto cedente y viscosidad plástica antes de la cementación, para evitar problemas de canalización.
  
10. Hay que utilizar optimamente los equipos de control de sólidos, para eliminarlos adecuadamente y recuperar la barita. De esta manera se reducen los costos de perforación.

A P E N D I C E S

APENDICE A

PROGRAMA DE HIDRAULICA DE PERFORACION PARA  
DETERMINAR EL DIAMETRO OPTIMO DE LAS BO  
QUILLAS DE LA BROCA.

EJEMPLO PRACTICO.



**BIBLIOTECA FICTI  
ESPOL**

PROGRAMA COMPUTARIZADO DE HIDRAULICA DE PERFORACION PARA  
DETERMINAR EL DIAMETRO DE LAS BOQUILLAS DE LA BROCA

1. OBJETIVO

Este programa está diseñado para obtener el diámetro óptimo de las boquillas de la broca.

Se utiliza el método del impacto hidráulico y se aplica para los casos de presión en superficie limitada e ilimitada.

2. DESARROLLO DEL PROGRAMA

a. Diagrama de flujo (Figura N° A-1)

b. Programa de Computación

Los datos son DL, PS, Q y estan expuestos en la siguiente tabla:

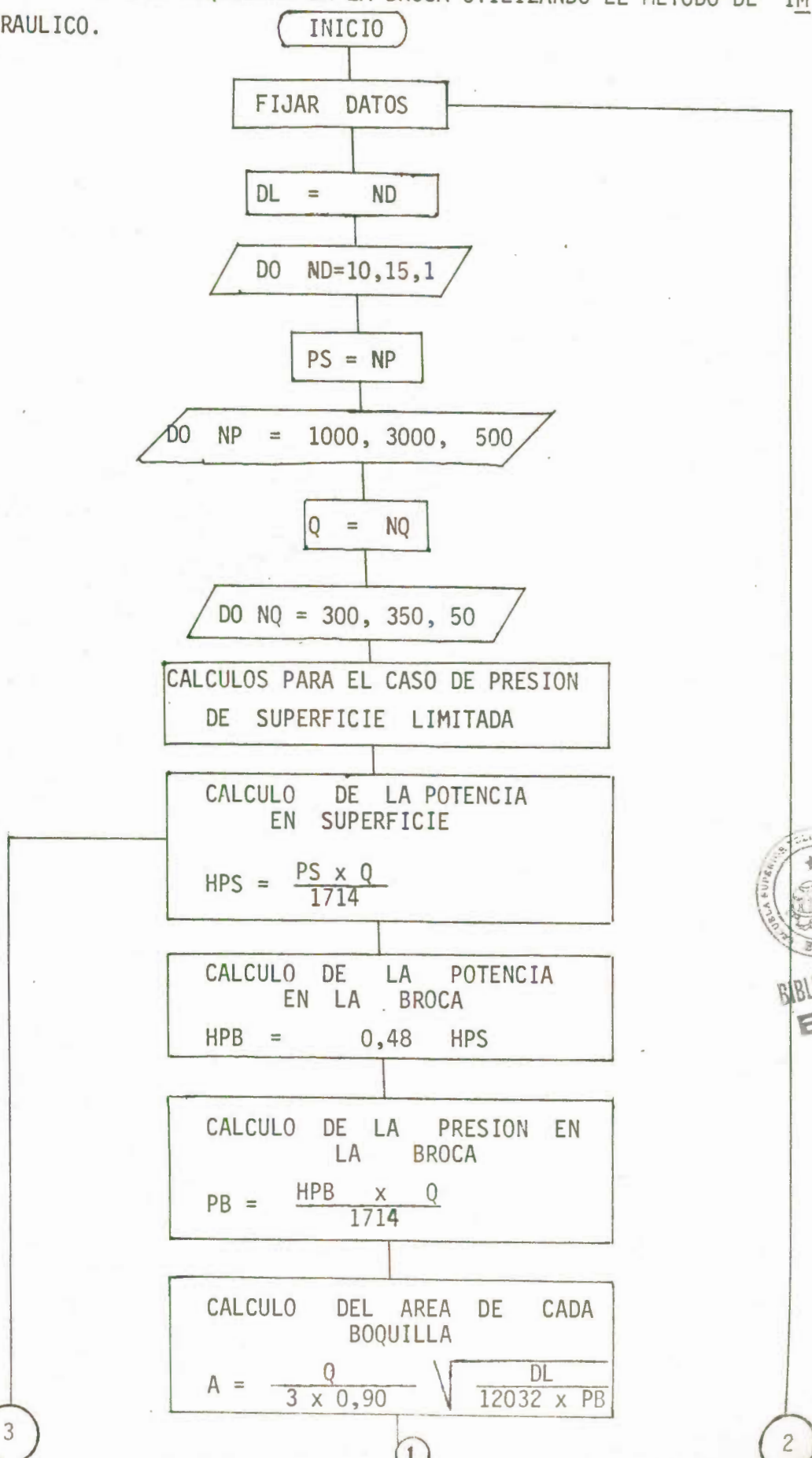
	Lim.inf.	Lim.Sup.	Intervalo
Densidad (DL,Lb/Gal)	10	15	1
Presión en superficie (PS,Lpca)	1000	3000	500
Caudal de la bomba (Q,gal/min)	300	350	50



BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL

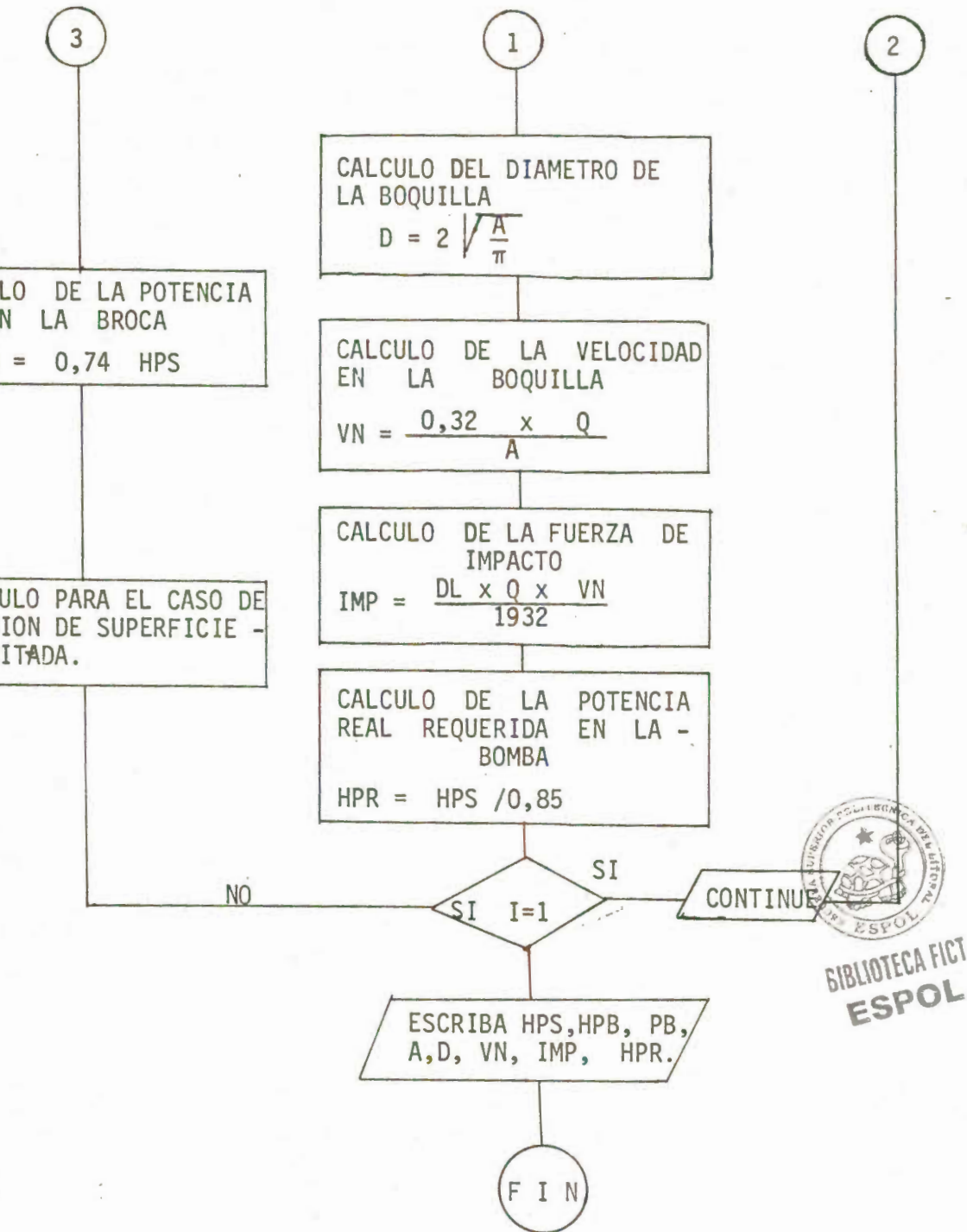
FIGURA A-1

GRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE HIDRAULICA DE PERFORACION PARA DETERMI  
 EL DIAMETRO DE LAS BOQUILLAS EN LA BROCA UTILIZANDO EL METODO DE IM  
 O HIDRAULICO.



BIBLIOTECA FICT  
 ESPOL







CONTINUE  
CONTINUE  
STOP  
END

PROGRAMA DE HIDRAULICA DE PERFORACION  
PARA DETERMINAR EL DIAMETRO DE LAS BOQUILLAS EN LA BROCA  
\*\*\*\*\* CESERCOMP-ESPOL

PREPARADO POR  
CARLOS ALFONSO HEREDIA VACA  
EGRESADO DE ING. DE PETROLEOS

\*\*\*\*\*  
SE UTILIZA EL METODO DEL IMPACTO HIDRAULICO CONSIDERANDO  
LA PRESION EN SUPERFICIE LIMITADA Y PRESION ILIMITADA  
\*\*\*\*\*

NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA

SIMBOLO	NOMINACION	UNIDADES
PS	PRESION SUPERFICIE	LPCA
PB	PRESION EN LA BROCA	LPCA
DL	DENSIDAD DEL LODO	LB/GAL
Q	CAUDAL DE LA BOMBA	GAL/MIN
HPS	POTENCIA EN LA BOMBA	HP
HPB	POTENCIA EN LA BROCA	HP
HPR	POTENCIA REAL BOMBA	HP
VN	VELOCIDAD EN LAS BO- QUILLAS	PIE/SEG
A	AREA EN LA BOQUILLA	PULG2
D	DIAMETRO DE LA BOQ.	PULG
CD	COEF. DESCARGA	ADM.
IMP	FUERZA DE IMPACTO	LBS.

\*\*\*\*\*  
REAL IMP  
DO 15 ND=10,15,1  
DL=FLOAT(ND)  
DO 20 NP=1000,3000,500  
PS=FLOAT(NP)  
DO 30 NQ=350,550,50  
Q=FLOAT(NQ)  
I=0  
WRITE(3,7)DL,PS,Q  
FORMAT(6X,'DL=',F9.2,4X,'PS =',F9.2,4X,'Q=',F9.2//)  
WRITE(3,9)  
FORMAT(10X,' METODO PARA PRESION DE SUPERFICIE LIMITADA '///)  
CALCULO DE LA POTENCIA EN LA SUPERFICIE ( HPS )  
HPS=PS\*Q/1714.0  
CALCULO DE LA POTENCIA EN LA BROCA ( HPB )  
HPB=0.48\*HPS  
CALCULO DE LA PRESION EN LA BROCA ( PB )  
PB=1714\*HPR/Q  
CALCULO DEL AREA ( A ) DE CADA BOQUILLA  
CD=0.90  
A=(Q/3\*CD)\*SQRT(DL/(12032\*PB))  
CALCULO DEL DIAMETRO DE LA BOQUILLA ( D )  
Z=A/3.141592654  
D=2\*SQRT(Z)  
CALCULO DE LA VELOCIDAD EN LAS BOQUILLAS ( VN )  
VN=0.32\*Q/(A\*3)  
CALCULO DE LA FUERZA DE IMPACTO (IMP)  
IMP=(DL\*Q\*VN)/1932  
CALCULO DE LA POTENCIA REAL REQUERIDA EN LA BOMBA  
CONSIDRANDO UNA EFICIENCIA DEL 85( ( EFF=0.85 )  
EFF=0.85  
HPR=HPS/EFF  
WRITE (3,3)D,A,VN,HPB,HPS,HPR,IMP,PB  
FORMAT(1X,'DIAMETRO',2X,'AREA',4X,'VEL BOQ',4X,'POT BROCA',1X,2X,  
\* 'POT BOMB',4X,'POT REAL',4X,'FUER-IMP',3X,'PRE BRO',/3X,'PULG',5X,  
\* 'PULG2',6X,'P/S',9X,'HP',10X,'HP',10X,'HP',8X,'LBSF',7X,'LPCA',/1X  
\* ,F6.2,2X,F6.2,4X,F7.2,4X,F7.2,4X,F8.2,6X,F7.2,5X,F7.2,4X,F7.2//)  
IF(1.EQ.1)GOTO 30  
HPR=0.74\*HPS  
I=1  
WRITE(3,10)  
FORMAT(10X,' METODO PARA PRESION DE SUPERFICIE ILIMITADA '///)  
GOTO 2)  
CONTINUE  
CONTINUE  
CONTINUE  
STOP  
END



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Después de correr el programa de computación se obtienen los siguientes valores:

- A. Diámetro de la boquilla de la broca
- B. Area de la boquilla
- C. Velocidad en la boquilla
- D. Potencia en la broca
- E. Potencia en la bomba
- F. Potencia real en la bomba
- G. Fuerza de impacto
- H. Presión en la broca

### 3. GRAFICOS

Utilizando los valores obtenidos, para los casos de presión de superficie limitada e ilimitada, se grafican las curvas siguientes:

- A.  $Q$  Vs.  $\bar{D}$  a diferentes PS (dos casos). Fig. A-2
- B. HPB Vs  $\bar{D}$  a diferentes PS (dos casos). Fig. A-3
- C. IMP Vs.  $D$  a diferentes DL y PS (dos casos). Fig. A-4, A-5, A-6, A-7, A-8, A-9.
- D. PB Vs  $\bar{D}$  a diferentes  $Q$  (dos casos). Fig. A-10
- E. HPR Vs  $\bar{D}$  a diferentes PS (dos casos). Fig. A-11
- F.  $Q$  Vs  $VN$  a diferentes PS (dos casos) Fig. A-12, A-13, A-14, A-15, A-16, A-17.

$\bar{D}$  es diámetro promedio para los diferentes DL, y es obtenido para cada PS y Q. Los valores de  $\bar{D}$  se presentan en la siguiente tabla. (Ver página siguiente).



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

TABLA

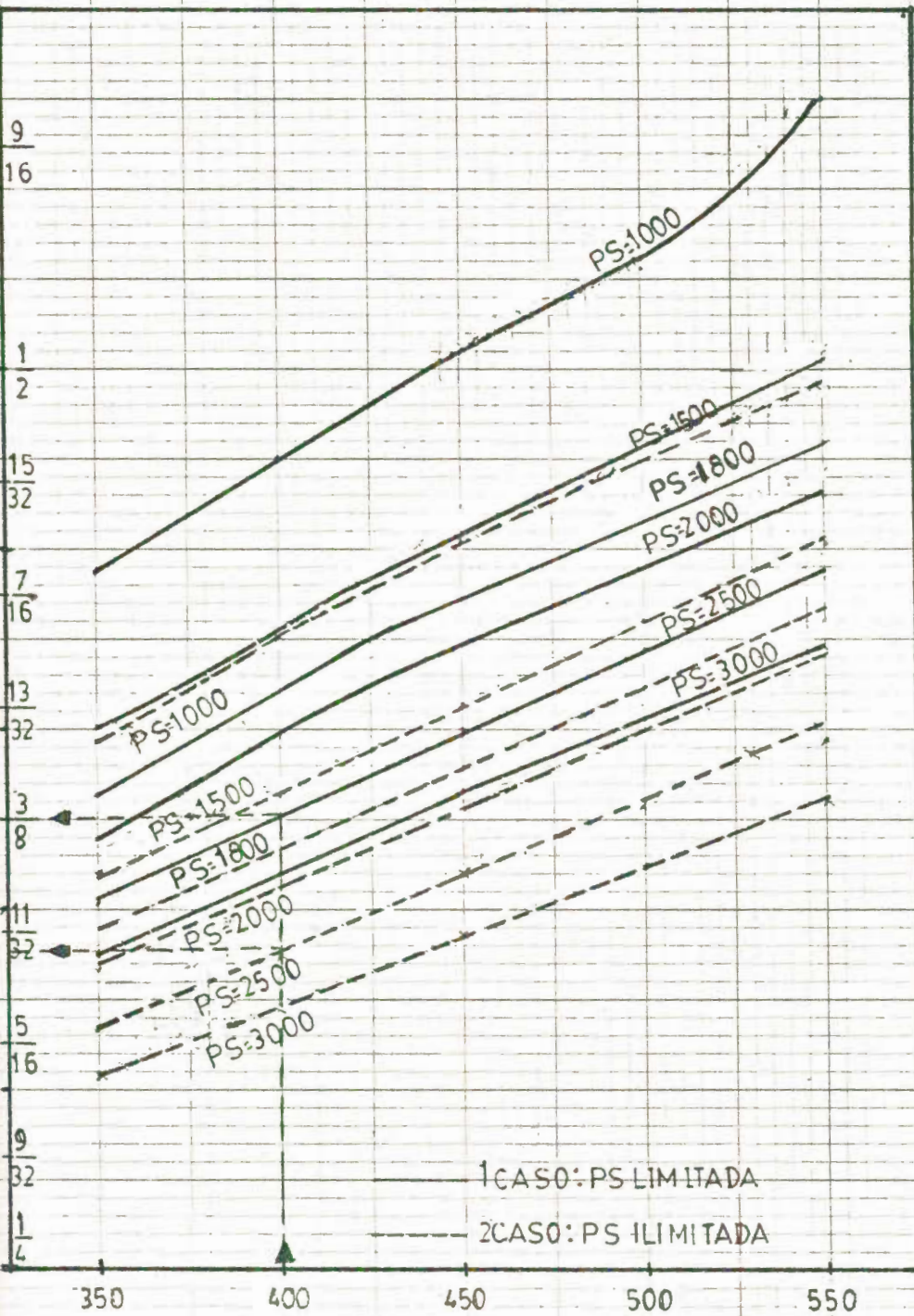
P S	Q	D	
		CASO I*	CASO II*
1000	350	0.4433	0.3967
1000	400	0.4750	0.4250
1000	450	0.5050	0.4517
1000	500	0.5283	0.4750
1000	550	0.5550	0.4950
1500	350	0.4000	0.3600
1500	400	0.4267	0.3833
1500	450	0.4633	0.4067
1500	500	0.4750	0.4300
1500	550	0.5050	0.4517
2000	350	0.3667	0.3333
2000	400	0.3983	0.3575
2000	450	0.4233	0.3800
2000	500	0.4450	0.4000
2000	550	0.4650	0.4200
2500	350	0.3517	0.3167
2500	400	0.3767	0.3367
2500	450	0.4000	0.3600
2500	500	0.4217	0.3783
2500	550	0.4417	0.3967
3000	350	0.3367	0.3033
3000	400	0.3600	0.3233
3000	450	0.3817	0.3417
3000	500	0.4017	0.3617
3000	550	0.4220	0.3800



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

\*Caso I: Presión de superficie limitada

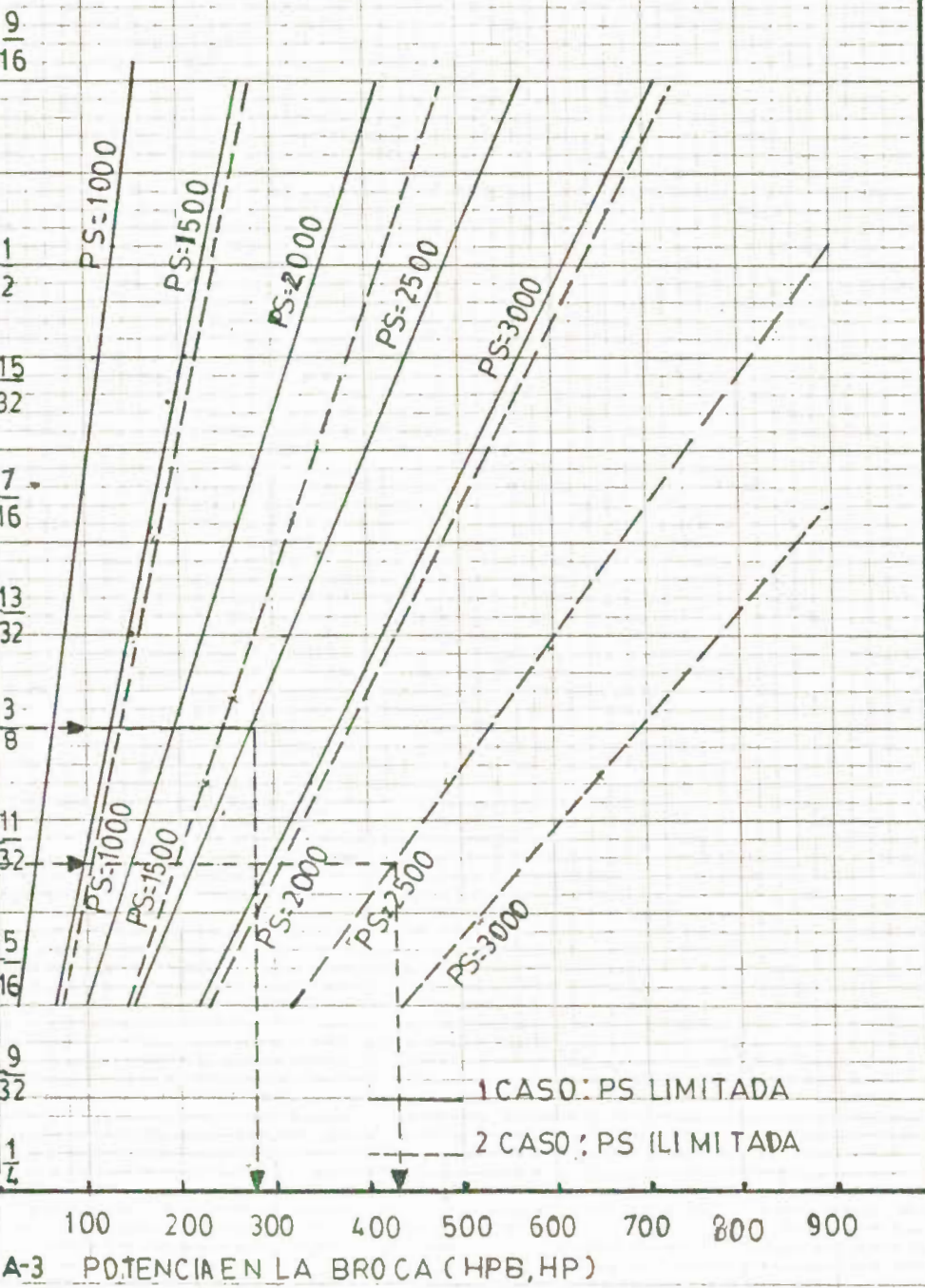
\*Caso II: Presión de superficie ilimitada.

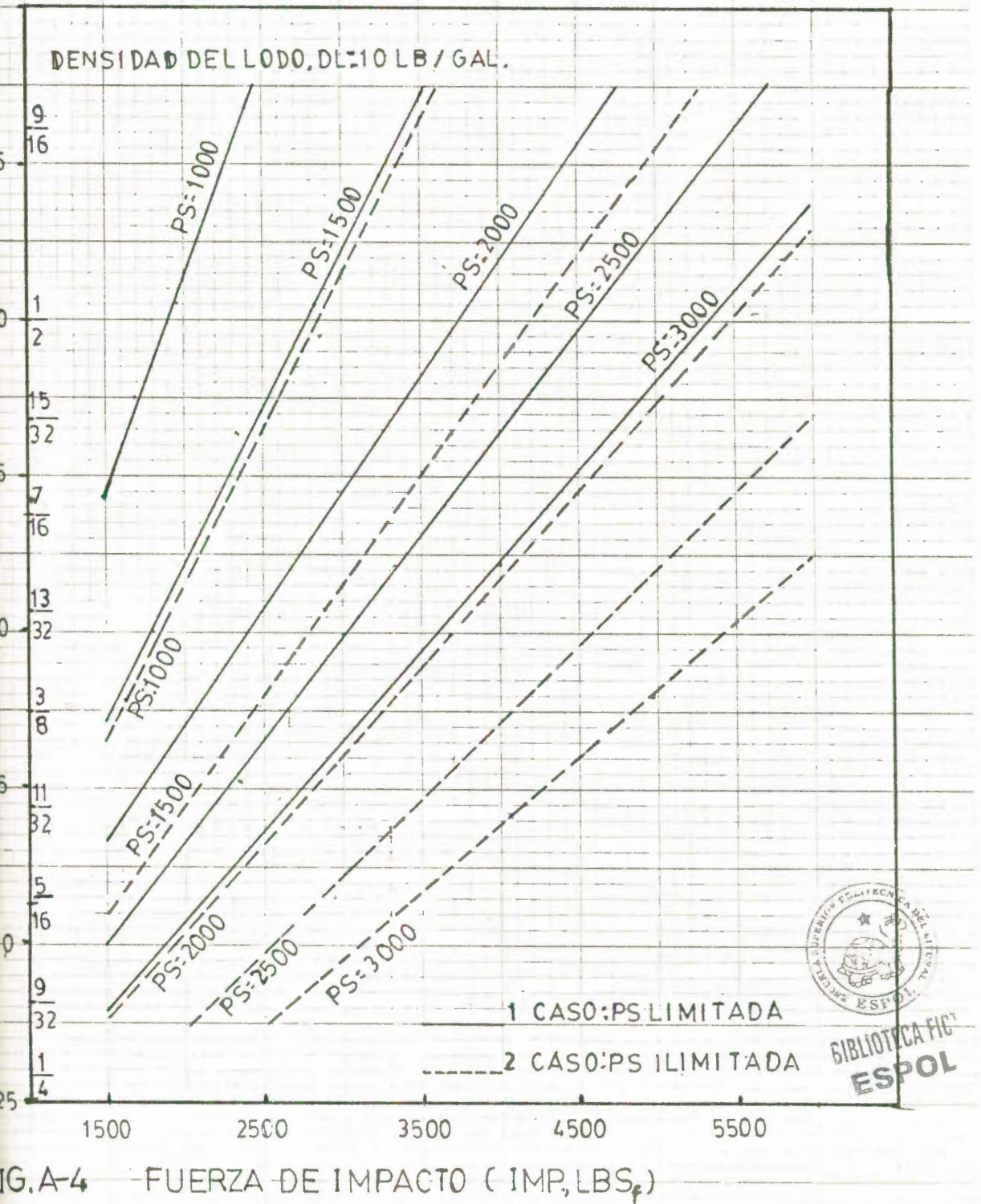


A-2 CAUDAL DE LA BOMBA (Q, GAL/MIN)



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL







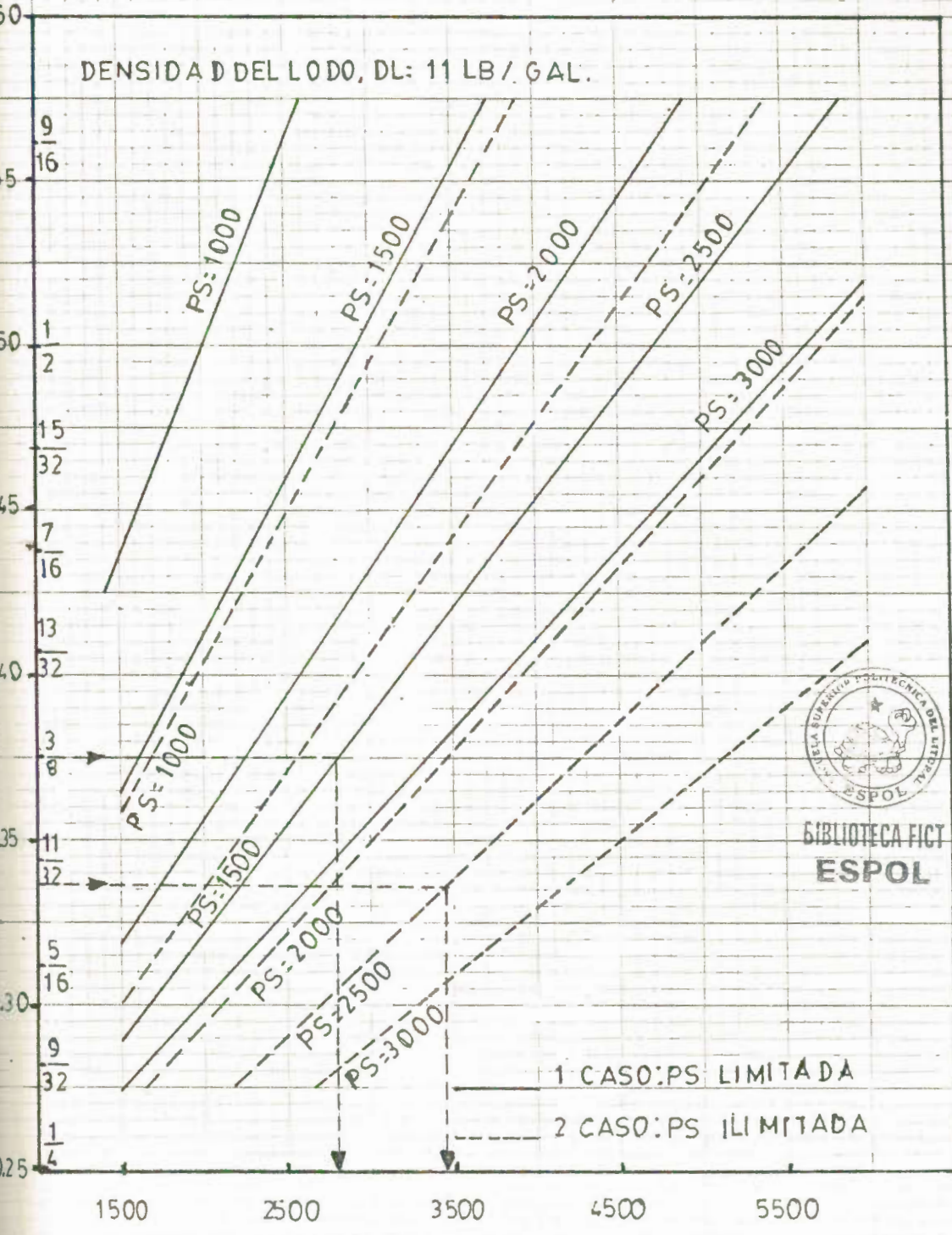
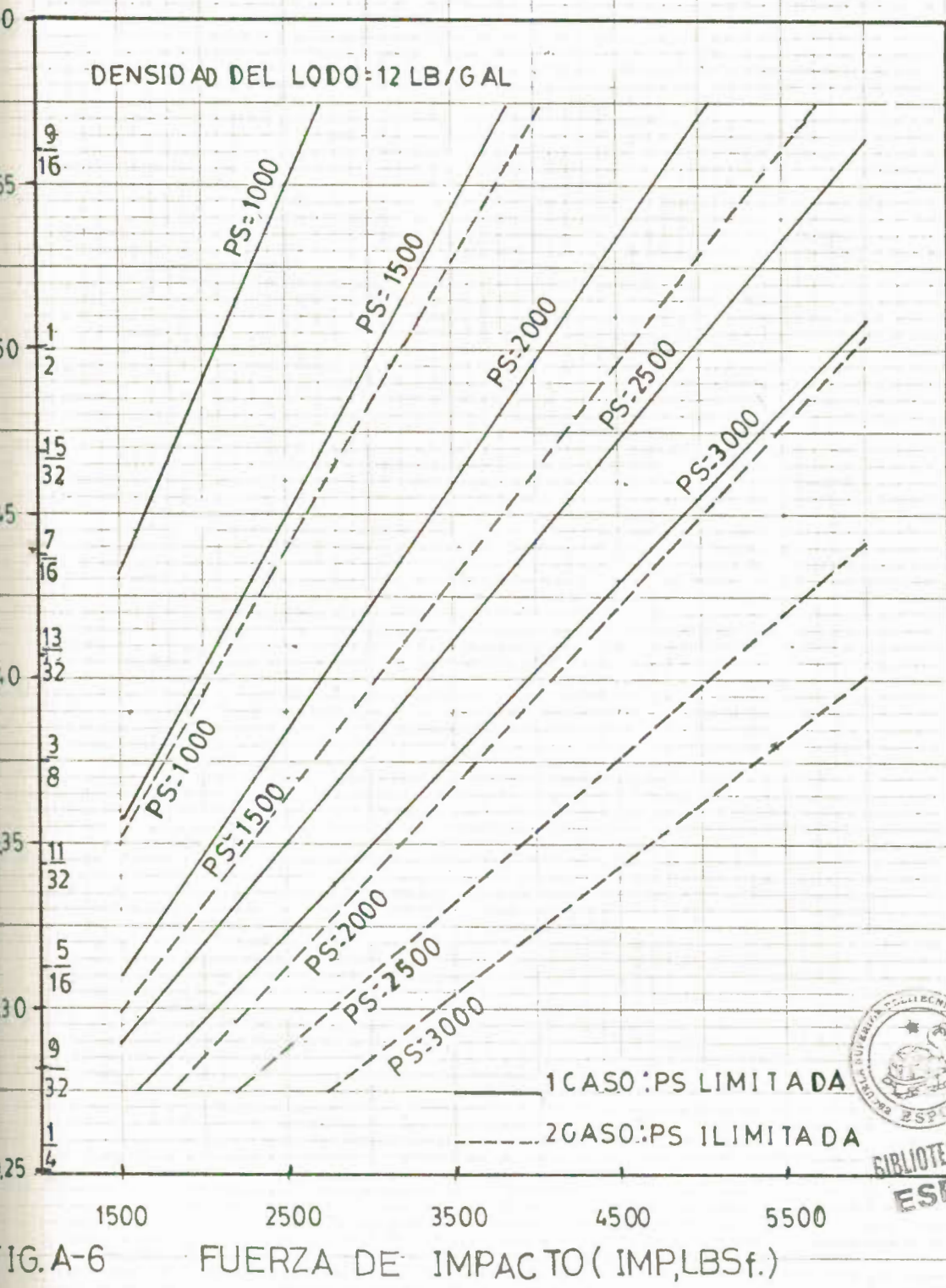
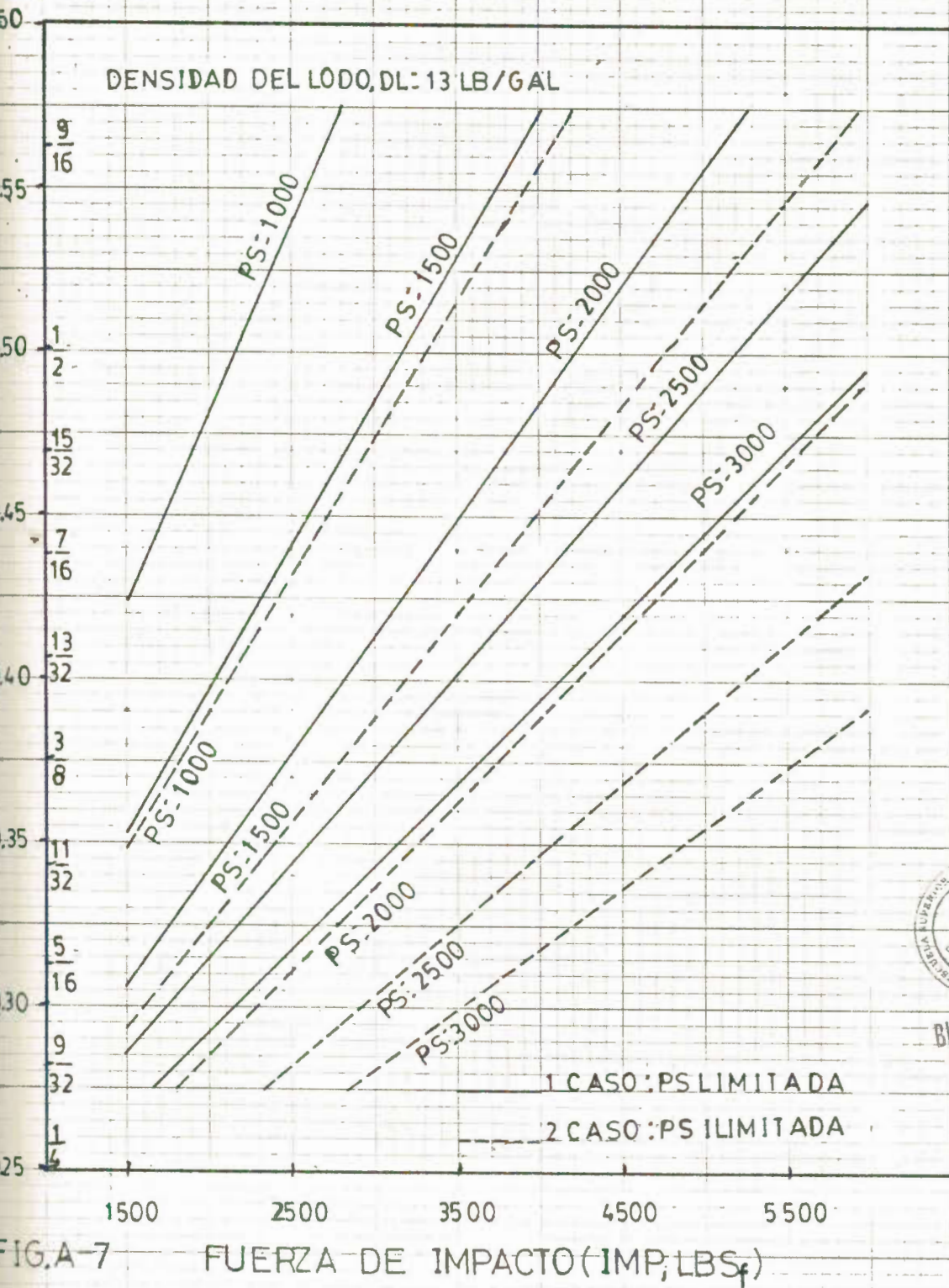


FIG. A-5 FUERZA DE IMPACTO (IMP, LBS.)





BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

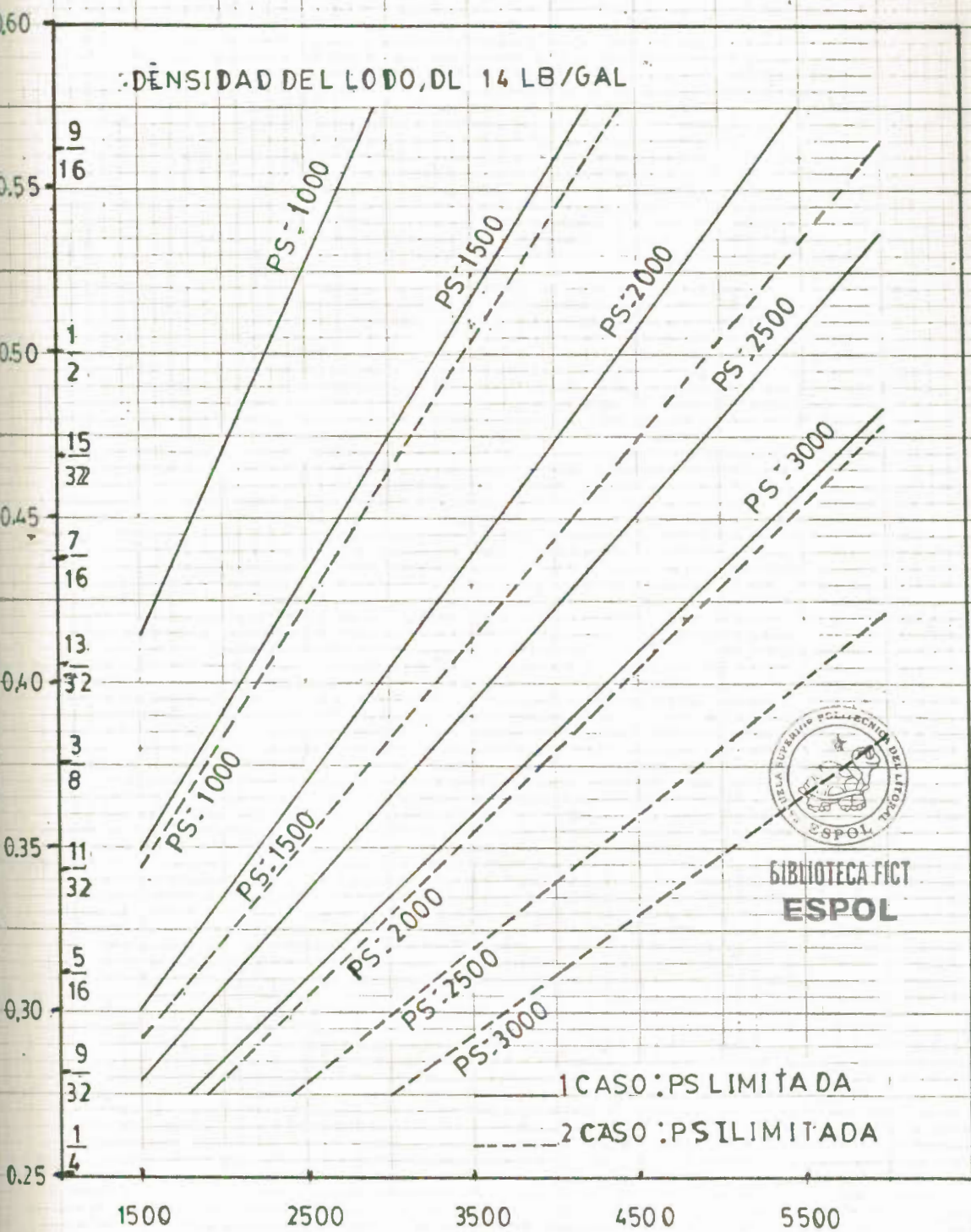
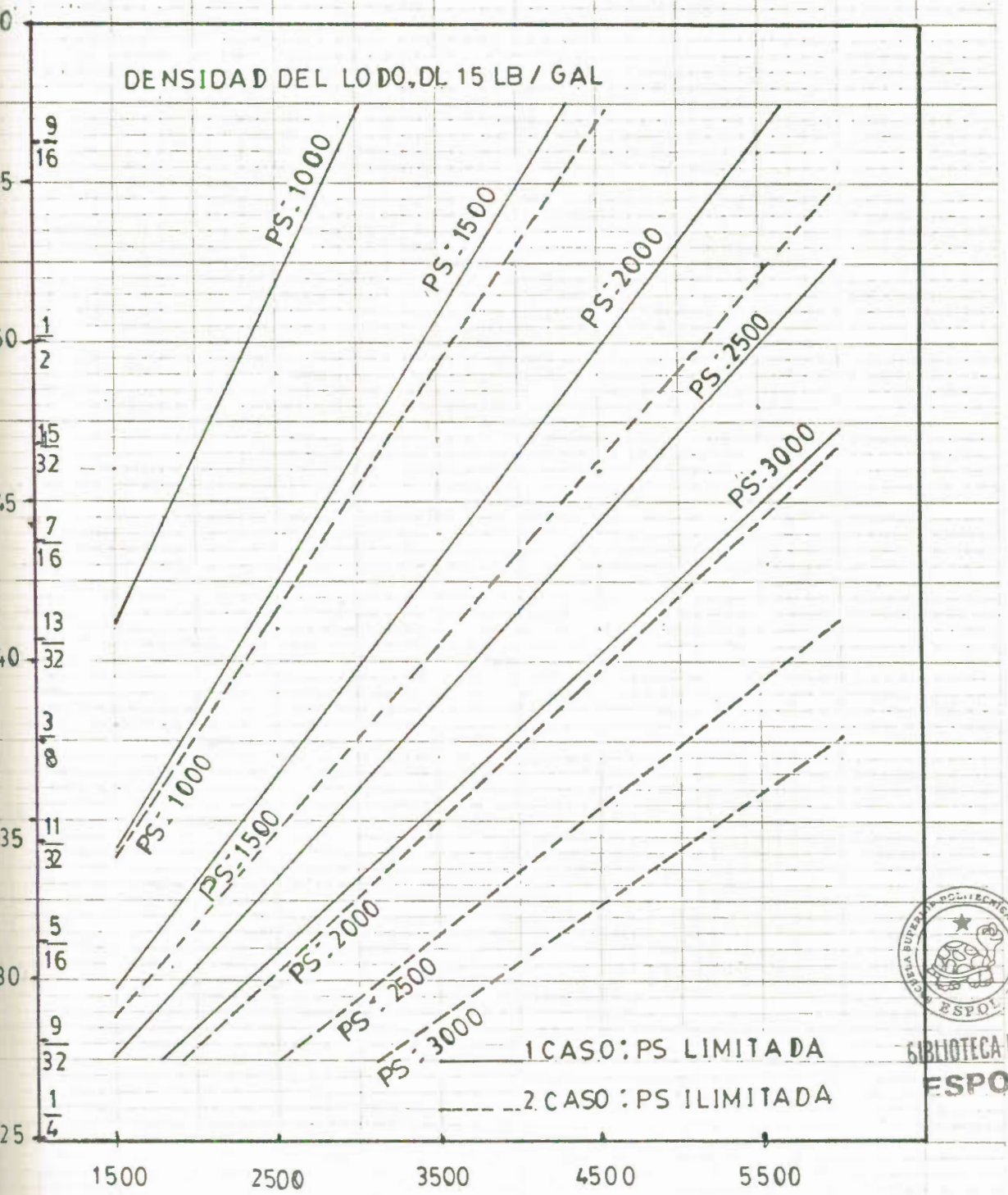
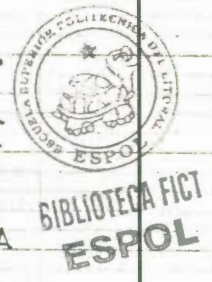
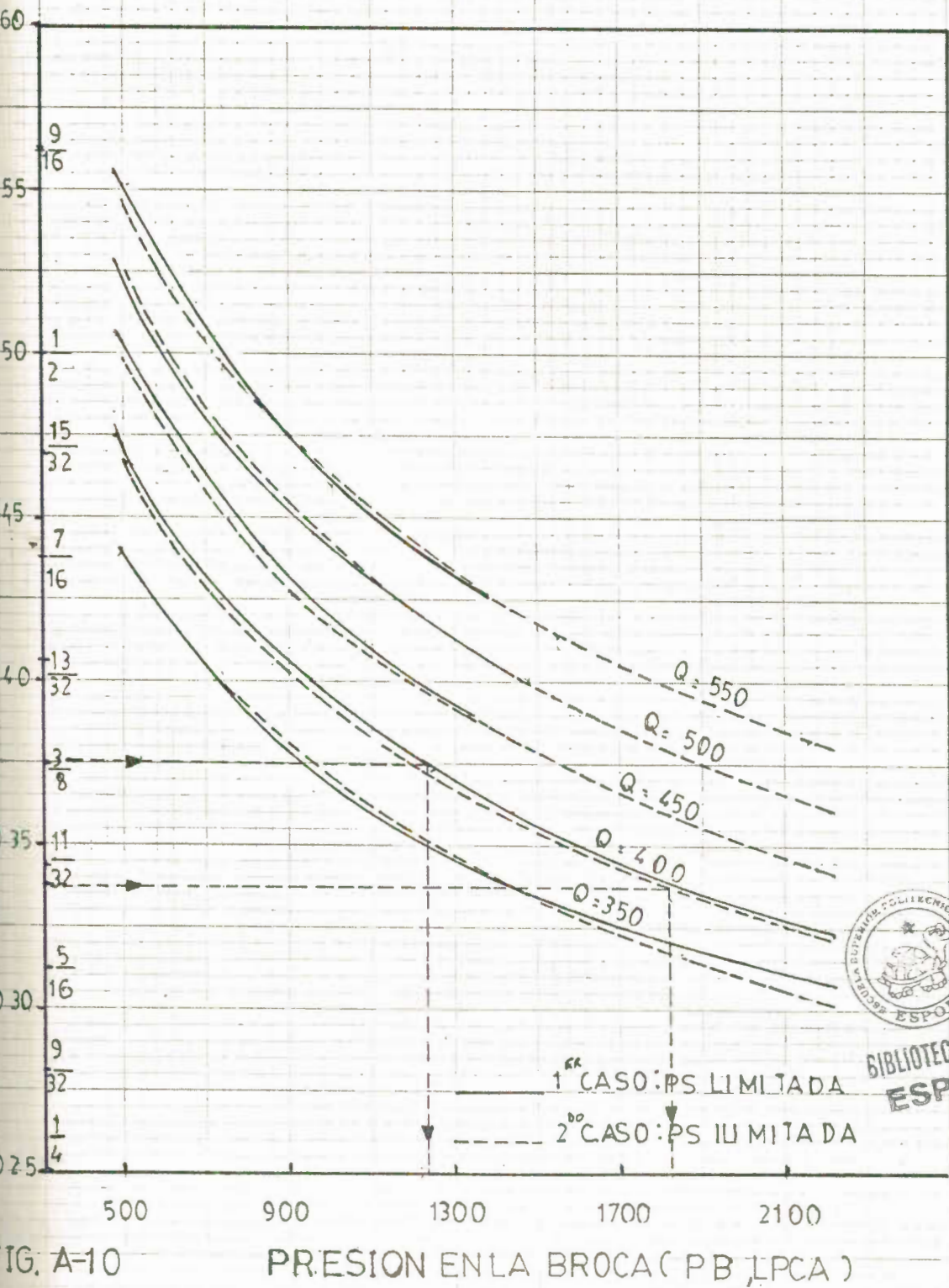


FIG A-8 — FUERZA DE IMPACTO (IMP, LBSf)



BIBLIOTECA FICT  
 ESPOL

FIG.A-9 — FUERZA DE IMPACTO (IMP, LBS<sub>f</sub>)



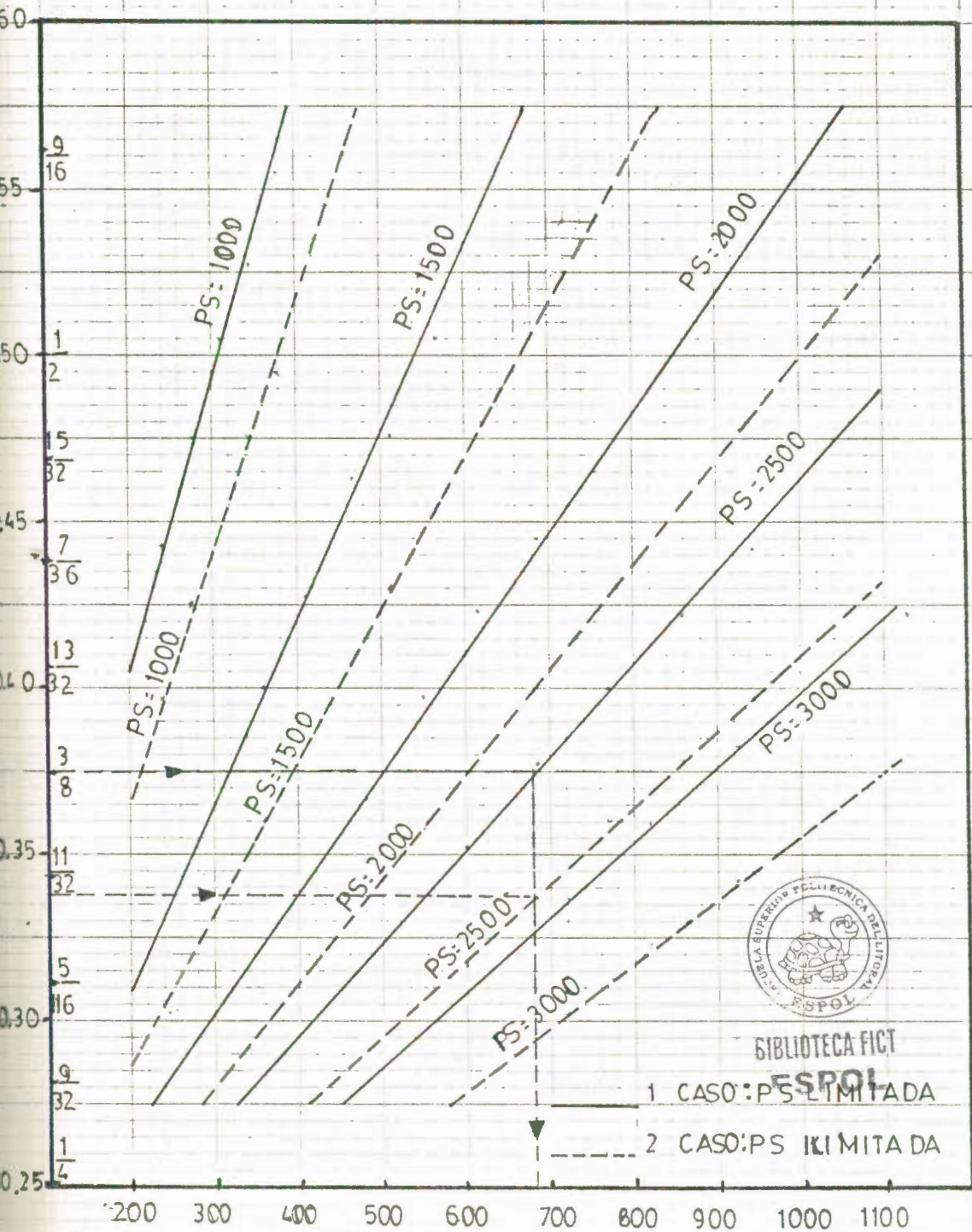


FIG.A-11 POTENCIA REAL EN LA BOMBA (HPR, HP)

DENSIDAD DEL LODO, DL: 10LB/GAL

PS: 3000

PS: 2500

PS: 2000

PS: 3000

PS: 2500

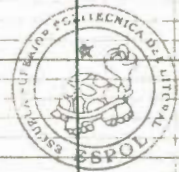
PS: 1500

PS: 2000

PS: 1000

PS: 1500

PS: 1000



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

1 CASO: PS LIMITADA

2 CASO: PS LIMITADA

350

400

450

500

550

G. A-12 CAUDAL DE LA BOMBA (Q, GAL/MIN)



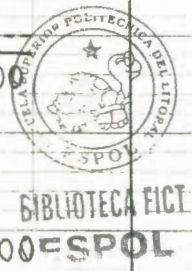
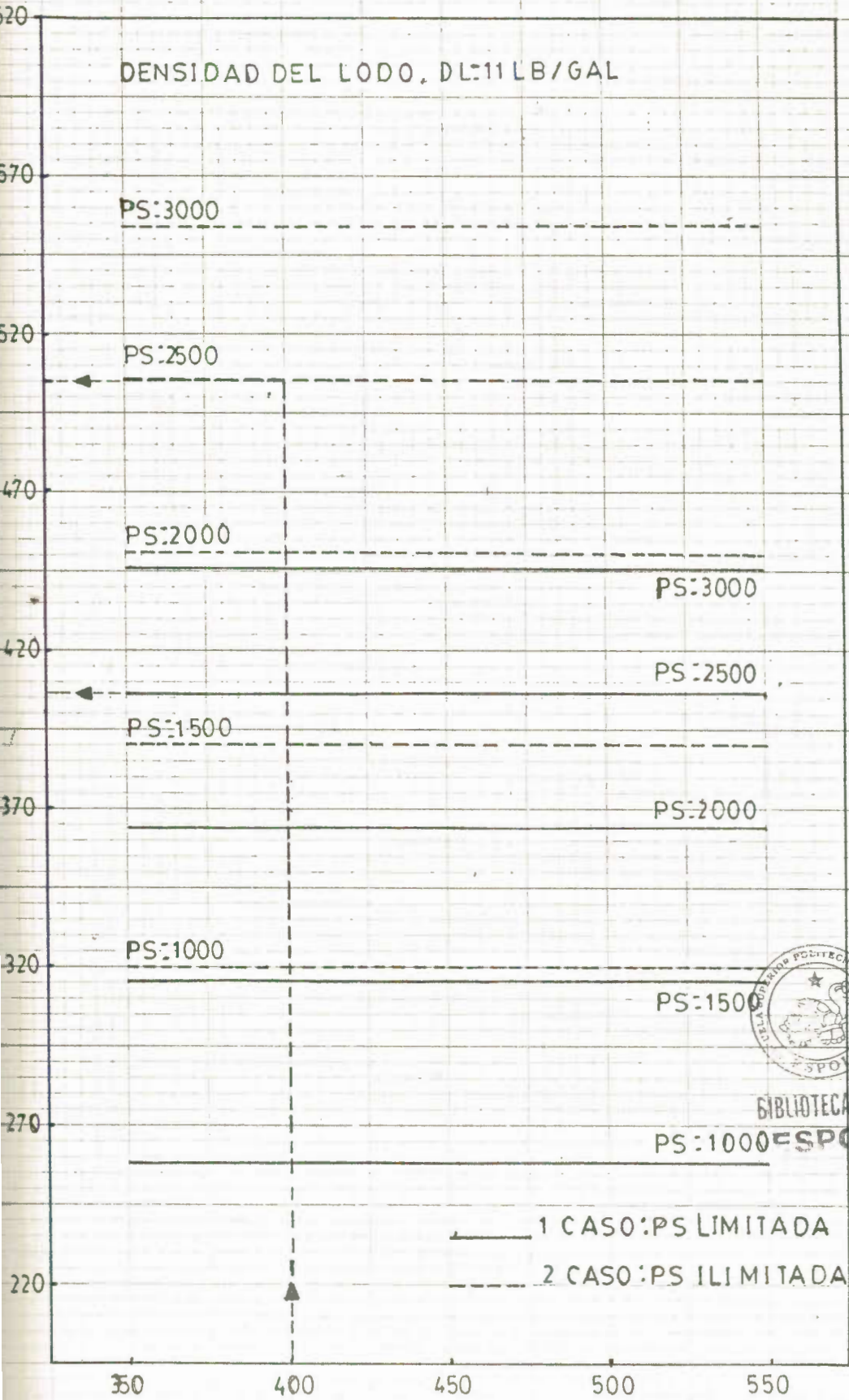


FIG. A-13 CAUDAL DE LA BOMBA (Q, GAL/MIN )

DENSIDAD DEL LODO, DL 12 LB/GAL

PS: 3000

PS: 2500

PS: 2000

PS: 3000

PS: 2500

PS: 1500

PS: 2000

PS: 1000

PS: 1500

PS: 1000

1 CASO: PS LIMITADA

2 CASO: PS ILIMITADA

350

400

450

500

550

A 14 CAUDAL DE LA BOMBA (Q, GAL/MIN)



BIBLIOTECA FICT ESPOL

DENSIDAD DEL LODO, DL: 13 LB/GAL

PS:3000

PS:2500

PS:2000

PS:3000

PS:2500

PS:1500

PS:2000

PS:1000

PS:1500

PS:1000

1 CASO:PS LIMITADA

2 CASO:PS ILIMITADA



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

350

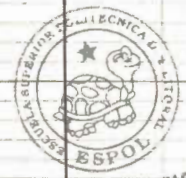
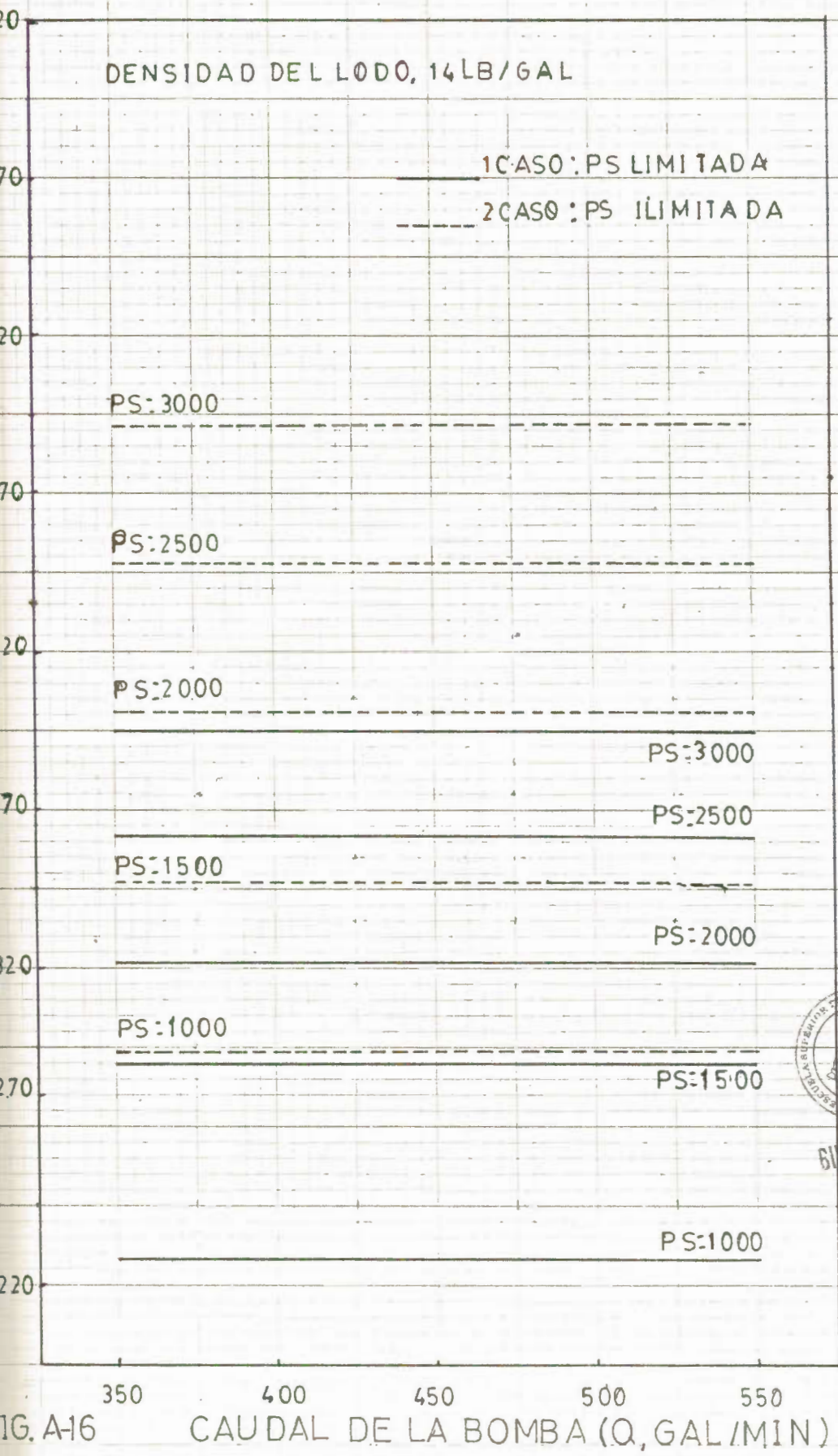
400

450

500

550

G.A-15 CAUDAL DE LA BOMBA (Q.GAL/MIN)



BIBLIOTECA FICT  
 ESPOL

FIG. A-16 CAUDAL DE LA BOMBA (Q, GAL/MIN)

DENSIDAD DEL LODO, DL=15 LB / GAL

1 CASO: PS LIMITADA

2 CAS: PS ILIMITADA

PS:3000

PS:2500

PS:2000

PS: 3000

PS 2500

PS:1500

PS:2000



BIBLIOTECA DEL  
ESPOL

PS:1000

PS: 1500

PS: 1000

350

400

450

500

550

A 17 CAUDAL DE LA BOMBA (Q, GAL/MIN)

## CONCLUSIONES DEL PROGRAMA HIDRAULICO

Por medio de estas curvas se puede hallar de una forma directa y con ahorro de tiempo los diámetros de las boquillas de la broca, a diferencia de los métodos tradicionales que utilizan procedimientos más largos.

Estos gráficos son prácticos en el campo, donde se pueden obtener resultados inmediatos por la complejidad de las operaciones de perforación.

Además se consideran condiciones de DL, Q, PS que se presentan a medida que se profundiza el pozo.

## EJEMPLO PRACTICO

Por medio del programa hidráulico desarrollado encontrar las siguientes variables:

A. Valores para cada boquilla

1. Diámetro
2. Velocidad

B. Potencia en la broca

C. Fuerza de Impacto

D. Presión en la broca

E. Potencia real en la bomba

Datos:

Profundidad: 11000 pies

Diámetro de hoyo: 8 1/2 pulg

Peso del lodo: 11.0 lb/gal.

Tasa de flujo: 400 gal/min.

Presión en superficie: 2500 Lppc

Los datos están graficados en las figuras hidráulicas co



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

rrespondientes, obteniendo las variables deseadas,

Este procedimiento es desarrollado a continuación:

#### A. Valores para cada boquilla

##### 1. Diámetro (D)

Entrando en Fig. A-2 con  $Q = 400$  gal/min y  $PS = 2500$  Lpca, se obtiene:

1er. caso PS limitada  $D = 0.375$  corresponde a 12/32, 12/32, 12/32 pulg.

2do. caso: PS ilimitada  $D=0.3375$  corresponde a 10/32, 11/32, 11/32 pulg.

##### 2. Velocidad (VN)

Entrando en figura A-13 con  $Q = 400$  gal/min.

$PS = 2500$  Lpca y  $DL = 11$  lb/gal, se obtiene:

1er. caso PS limitada  $VN = 407$  pie/seg.

2do. caso PS ilimitada  $VN = 506$  pie/seg.



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

#### B. Potencia en la broca (PB)

Entrando en figura A-3 con  $D = 0.375$  pulg y  $PS = 2500$  Lpca, se obtiene:



1er. caso: PS limitada      PB = 280 HP

Con  $D = 0.3375$  y  $PS = 2500$  Lpca en figura A-3, se obtiene :

2do. caso: PS ilimitada      PB = 430 HP

### C. Fuerza de Impacto (IMP)

Ubicando en figura A-5 los valores  $D = 0.375$  pulg y  $PS = 2500$  Lpca, resulta lo siguiente:

1er. caso PS limitada      IMP = 933 lbs f

Ubicando en figura A-5 los valores  $D = 0,3375$  pulgadas.  
 $PS = 2500$  Lpca, resulta lo siguiente:

2do. caso PS ilimitada      IMP = 1150 lbs f

### D. Presión en la broca (PB)

Entrando en figura A-10 con  $D = 0.375$  pulg.

$PS = 2500$  Lpca, se obtiene:

1er. caso: PS limitada      PB = 1220 Lpca.

Entrando en figura A-10 con  $D = 0.3375$  pulgadas y

$PS = 2500$  Lpca, se obtiene:

2do. caso PS ilimitada      PB = 1820 Lpca.

### E. Potencia Real de la bomba (HPR)

Ubicando en figura A-11 los valores  $D = 0.375$  pulg.

PS = 2500 Lpca, se obtiene:

1er. caso: PS limitada    HPR = 680 HP

Ubicando en figura A-11 los valores  $D = 0.3375$

PS = 2500 Lpca, se obtiene:

2do. caso: PS ilimitada    HPR = 680 HP



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

APENDICE B

CALCULOS DE LOS PROGRAMAS DE PERFORACION  
DEL POZO "POLIGAS"

1. CALCULO DEL PESO DEL LODO
2. CALCULOS DE CEMENTACION DE LA CAMISA
3. CALCULOS DE DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DE  
PRODUCCION Y LA CAMISA.

...

## 1. CALCULO DEL PESO DEL LODO

DATOS:

Profundidad = 7000'

 $\Delta P$  (seguridad) = 150 Lppc $P_1$  (formación) = 4300 Lppc

Utilizando (25) que define la presión hidrostática:

$$P = 0.052 \rho_b \times H$$

Considerando el  $\Delta P$  de seguridad, el cual incrementa al valor de  $P$ .

$$P + \Delta P = 0.052 \rho_b \times H$$

Despejando  $\rho_b$  :

$$\rho_b = \frac{P + \Delta P}{0.052 \times H}$$

$$\rho_b = \frac{4300 + 150}{0.052 \times 7000} = 12.2 \text{ lb/gal.}$$

$$\rho_b = 12.2 \text{ lb/gal.}$$

## 2. CALCULOS DE CEMENTACION DE UNA CAMISA

POZO: POLIGAS

DATOS:

1. Profundidad total : 15.500 pies
2. Ultima zapata: 13000 pies
3. Revestimiento previo: 7 pulg. P-110,35 #/pie
4. Camisa de 5 pulg. P-110,18 lb/pie.

Tope del colgador: 12700 pies

Fondo: 15500 pies

Longitud: 2800 pies

5. Diámetro del hoyo: 5 5/8 pulg

6. Tope del cemento: 12500 pies

7. Mezcla del cemento:

Densidad: 15.5 lb/gal.

Rendimiento: 1.58. pie<sup>3</sup>/SX

Relación de agua: 6.7 gal/SX

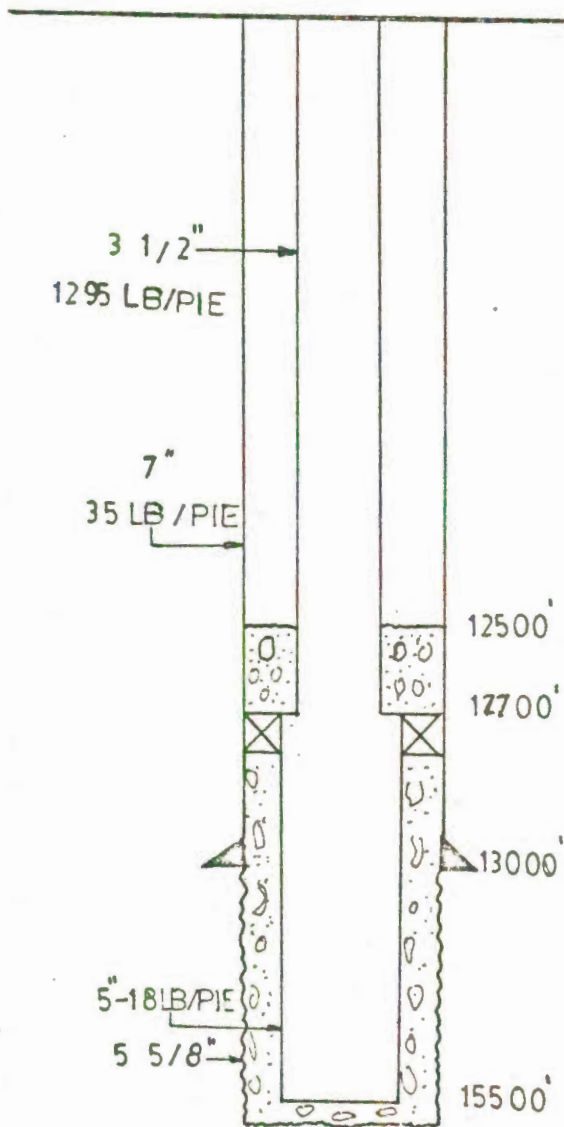
Composición: cemento, 35 % silica fluor -

1.5 % CRF-2, 0.5 % LWL - 1.0% HR-12

## SOLUCION

Cálculo del cemento. Ver figura B-1

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

FIG. B-1 POZO "POLIGAS" CON  
TUBERIA Y CAMISA

Espacio anular	Capacidad		Longitud (pies)
	pie <sup>3</sup> /pie	pie/galón	
5 5/8" - 5"	0.0362	3.6909	2500
5" - 7"	0.0603	2.2185	300
3 1/2" - 7"	0.1298	1.0299	200

El volumen del cemento se calcula por medio de la siguiente relación:

$$V : \text{Cap} \times L$$

$$V : \text{volumen} \quad \text{pie}^3$$

$$\text{Cap} : \text{capacidad anular} \quad \text{pie}^3/\text{pie}$$

$$L : \text{longitud} \quad \text{pies}$$

$$V_T : V_1 + V_2 + V_3$$

En donde:

$$V_T : \text{volumen total} \quad \text{pie}^3$$

$$V_1 : \text{volumen entre camisa y hoyo} \quad \text{pie}^3$$

$$V_2 : \text{volumen entre revestimiento y camisa} \quad \text{pie}^3$$

$$V_3 : \text{volumen entre revestimiento y tubería de perforación} \quad \text{pie}^3$$

$$V_1 : 0.0362 (2500) + 0.0603 (300) + 0.1298 (200)$$

$$V_1 : 134.5 \text{pies}^3$$

Luego los sacos de cemento serán:



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

$$\text{N}^{\circ} \text{ de sacos} = \frac{V_T}{\text{rendimiento}}$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ de sacos} = \frac{134.55 \text{ pie}^3}{1.58 \text{ pie}^3/\text{SX}}$$

$$\text{N}^{\circ} \text{ de sacos} = 85 \text{ SX}$$

Por lo tanto la mezcla de cemento será:

85 SX cemento - 35 % silica fluor - 1.5 %  
CFR - 2, 0.5 % LWL. 1.0 % HR - 12

$$\text{Vol. mezcla} = \frac{85\text{SX} \times 1.58 \text{ pie}^3/\text{SX}}{5.615 \text{ pie}^3/\text{Bbl}}$$

$$\text{Vol. mezcla} = 24 \text{ Bbls}$$

$$\text{Vol. agua} = \frac{85 \text{ SX} \times 6.7 \text{ gal}/\text{SX}}{42 \text{ gal}/\text{Bbls}}$$

$$\text{Vol. agua} = 14 \text{ Bbls}$$

### 3. CALCULOS DE DISEÑO DEL REVESTIMIENTO DE PRODUCCION Y CAMISA

POZO: POLIGAS

DATOS:



Profundidad: 15500 pies

Prof. revestimiento: 13000 pies (revestimiento de producción de 7")

Peso del lodo: 12 lb/gal  $GE = 0.052 \times 12 = 0.62$  Lppc/pie

Peso del gas-oil = 7.5 lbs/gal  $GI = 0.052 \times 7.5 = 0.39$  Lppc/pie

Gradiente de gas = 0.12 Lbs/gal.

Presión en superficie = 7000 Lppc

Presión en fractura = 11000 Lppc

#### DESARROLLO:

#### a. CALCULO DE LA PRESION DE ESTALLIDO ( $P_e$ )

##### 1. Fallas durante la producción:

$$P_e = P_s + H (GI - GE)$$

$P_e$  = presión al estallido Lppc

$P_s$  = presión en superficie: Lppc

H = profundidad pies

GI = gradiente interno Lppc/pie

GE = gradiente externo Lppc/pie

##### a. En la superficie

$$H = 0'$$

$$P_e = 7000 + 0 (0.39 - 0.62)$$

$$P_e = 7000 \text{ Lppc}$$



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

b. En el fondo

$$H = 13000'$$

$$P_e = 7000 + 13000 (0.39 - 0.62)$$

$$P_e = 4010 \text{ Lppc}$$

2. Fallas durante un fracturamiento:

a. En la superficie:

$$H = 0'$$

$$P_e = 11000 + 0(0.39 - 0.62)$$

$$P_e = 11000 \text{ Lppc}$$

b. En el fondo:

$$H = 13000'$$

$$P_e = 11000 + 13000 (0.39 - 0.62)$$

$$P_e = 8010 \text{ Lppc}$$

b. CALCULO DE LA PRESION AL COLAPSO O APLASTAMIENTO

$$P_c = H(GE - GI)$$

$P_c$  = presión al colapso

$H$  = profundidad

$GE$  = gradiente externo (lodo)

$GI$  = gradiente interno (gas)



BIBLIOTECA FICT  
**ESPOL**

Lppc

pies

Lppc/pie

Lppc/pie

a. En la superficie:

$$H = 0'$$

$$P_C = 0 (0.62 - 0.12)$$

$$P_C = 0 \quad L_{ppc}$$

b. En el fondo:

$$H = 13000'$$

$$P_C = 13000 (0.62 - 0.12)$$

$$P_C = 6500 \quad L_{ppc}$$

c. GRAFICAR LAS CURVAS DE PRESION

Calculas las presiones al estallido y al colapso tanto en la superficie como en el fondo, se trzan las curvas correspondientes a los valores de H Vs. P. Ver figura B-2.

d. SELECCION DE LAS TUBERIAS DE REVESTIMIENTO

Después de tener los límites de diseño por la figura B-2, el siguiente paso es seleccionar las tuberías. Esta elección está sujeta a la disposición, existencia y costo de los materiales.

A continuación se presenta un listado de las tuberías que contamos para el diseño:

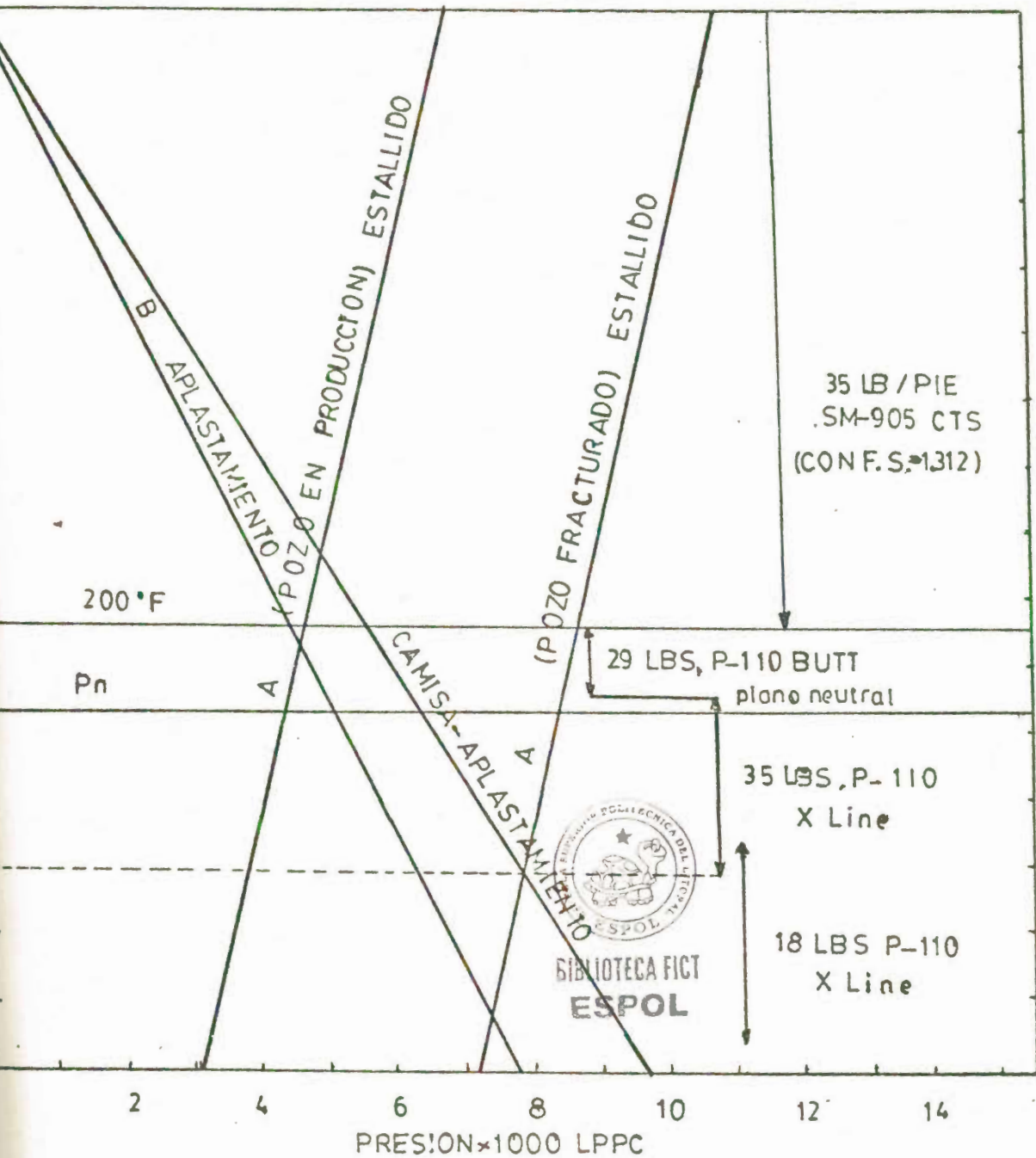


FIG B-2 DISEÑO DE UN REVESTIMIENTO DE PRODUCCION(7") Y DE FONDO(5")

Tensión	Pozo	Grado	Unión	Costo	Estallido	Colapso
1000 lbs	lb/pie	API		\$/pie	Lppc	Lppc
570	35	P-110	SEU	47	10442	11555
621	35	P-110	XL	23.4	11080	10940
515	41	L-80	CTS-A	37.38	8990	10997
609	35	P-110	BUTT	21	11080	10997
470	35	SM-905	CTS	28	9067	9928
531	29	P-110	BUTT		8990	7740



#### E. CALCULO DEL PLANO NEUTRAL

BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

Antes de hacer la selección de las tuberías se debe encontrar el punto neutral donde la componente vertical de la fuerza cambia de tensión a compresión.

$$PN = H \times FF$$

Cálculo FF:

$$FF = 1 - \frac{PL}{65}$$

$$FF = 1 - \frac{12}{65}$$

$$FF = 0.82$$

$$P_N = 0.82 \times 13000$$

$P_N = 10600$  pies

El punto neutral es graficado en la figura B-2 y con las curvas de presión se selecciona la tubería desde el fondo hasta la superficie.

Para 13000 pies, el requisito de resistencia al aplastamiento es 6550 Lppc y la tubería de costo más bajo que cumple con estos requisitos de 35 Lbs/pie, P-110 Buttres, pero es conveniente en muchos casos cambiar una conexión lisa, especialmente donde hay problemas de arcilla, así en nuestro ejemplo, reemplazamos por una tubería: X-Line, 35 lbs/pie, P-110.

Ahora se determina el próximo trayecto en el cual se puede usar también tubería de bajo costo. La tubería de 29 Lbs/pie, P-110, Buttres, tiene un índice de aplastamiento de 7740 Lppc. Esta tubería reúne todos los requisitos necesarios para 10400' pies, como se ha indicado en la figura B-2, inmediatamente encima del punto neutral el diseño es por estallido y la capacidad por estallido es de 8990 Lppc, que también se muestra graficamente para compararlo con los requisitos. Como se puede observar, la capacidad de este revestimiento sobrepasa los requisitos hasta la superficie.

Normalmente, la capacidad del revestimiento se podrá reducir al pasar el punto neutro, debido a que la tubería se mantiene en tensión solamente, pero en este caso los requisitos contra el estallido imponen el diseño por encima del punto neutro y el requisito contra el aplastamiento pasa a segundo lugar.

Por lo tanto el diseño de esta tubería sería suficiente hasta la superficie, si no fuera por una restricción en el uso de la tubería P-110 a temperaturas menores de 200 °F. En este punto se tiene que cambiar a otro grado tal como L-80 o SM-905 a fin de resistir el resquebrajamiento producido por el ácido sulfúrico a temperaturas inferiores.

#### F. DISEÑO POR TEMPERATURA

El gradiente de temperatura se determina por la siguiente fórmula:

$$\text{Grad.} = \frac{T_s - 80}{H}$$

Grad = gradiente de temperatura °F /100 pies

$T_s$  = temperatura estática, corregida por tabla I (Apéndice E).

La lectura del registro eléctrico de temperatura a 17000', de un pozo vecino, es de 272°F

Por la tabla I (Apéndice E), se determina F (factor de corrección de temperatura).

$$F = 1.105 \text{ a } 17000'$$

$$T_s = T_f \times F$$

$$\therefore T_s = 300 \text{ }^\circ\text{F}$$

Luego el gradiente de temperatura será el siguiente:

$$\text{Grad} = \frac{(T_s - 80) \times 100}{H}$$

$$\text{Grad} = \frac{(300-80) \times 100}{17000}$$

$$\text{Grad} = 1.29 \text{ }^\circ\text{F}/100 \text{ pies}$$

A continuación se procede a determinar H correspondiente a  $T_s = 200^\circ\text{F}$  para saber hasta donde se puede instalar tubería P-110. Aplicando la definición de gradiente de temperatura se obtiene lo siguiente:

$$1.29 = \frac{(200 - 80) \times 100}{H}$$

$$H = \frac{12000}{1.29}$$

$$H = 9302 \text{ pies}$$



Esto significa que hasta 9302 pies se puede instalar tubería P-110 y hacia arriba debe utilizarse una tubería más resistente a baja temperatura.

Tomando en consideración el costo, se selecciona la tubería de 35 lbs/pie, SM-905,CTS. Esto permite la capacidad contra el estallido de 9067 Lppc, con un factor de seguridad de 1.312 (la capacidad efectiva contra el estallido es 11895 Lppc).

Esta capacidad de 11895 Lppc, asegura que el revestimiento no fallará a la presión máxima, que se puede experimentar durante un trabajo de fracturamiento.

La capacidad contra el estallido de 9067 Lppc., con un factor de seguridad de 1.312, también sobrepasa el requisito de máxima presión de 7000 Lppc durante los períodos de cierre del pozo.

A fin de completar el diseño de revestimiento de producción se debe revisar el efecto de la tensión.

#### DISEÑO POR TENSION

La tensión puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$T = \text{Peso en aire} * \frac{\text{Factor flotación en el lodo}}{0.853}$$

El primer paso es calcular el peso del diseño de la sección del fondo desde la profundidad total hasta el primer cambio de grado de la tubería que ocurre a 10400 - pies.

Luego el peso será:

$$T_1 = 35 \text{ lbs/pie } (13000' - 10400') * \frac{FF}{0.853}$$

$$FF = 1 - \frac{120}{65}$$

$$FF = 0.82$$

Luego:

$$T_1 = 35(2600) \frac{0.82}{0.853}$$

$$T_1 = 87479 \text{ lbs.}$$

La conexión de cambio a 10400' para tubería de 29 lbs/pie, P-110 es la más débil, pero tiene una capacidad de 531.000 lbs., que es muy superior a la resistencia a la

Tensión requerida para esta sección menor.

A continuación revisamos el próximo cambio y que ocurre hasta 9300'. La tensión del diseño en este punto es:

$$T_2 = 87479 + 29 (10400' - 9300') \times \frac{0.82}{0.853}$$

$$T_2 = 118145 \text{ lbs.}$$

La conexión de cambio aquí es de 35 lbs/pie, SM90S con una capacidad de 470.000 lbs, con un valor muy por encima de la carga de tensión en este punto (118145 - lbs).

El punto restante que será revisado en la superficie donde la tensión del diseño es como sigue:

$$T_3 = 118145 + 35(9300' - 0') \times 0.82/0.853$$

$$T_3 = 431052$$

Este resultado está dentro de la tensión de la junta de SM90S con conexiones CTS que tiene 470.000 lbs, con un factor de seguridad de 1.8 lbs., (tensión real de 846.000).

En caso que la tubería se llegue a pegar durante la cementación, la tensión que se podría aplicar sin que la tubería diseñada anteriormente llegase al punto de ruptura es la siguiente:

$$T = \text{CAP. API} - \text{peso total}$$

$$T = 470000 \times 1.8 - 431052$$

$$T = 846000 - 431052$$

$$T = 414948 \text{ lbs.}$$

Mediante este procedimiento de cálculo se determina la tensión máxima que puede ser aplicada sin llegar a provocar ruptura en la tubería.

El diseño final del revestimiento de producción



Ø	Profundidad	Longitud	Grado/peso	Conexión
7"	0'-9300'	9300'	SM-905/35	BUTTS
7"	9300'-10400'	1100'	P-110/29	BUTT
7"	10400'-13000'	2600'	P-110/35	X-LINE

BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

#### DISEÑO DE LA CAMISA

El diseño de una camisa o revestidor de fondo de pro

ducción es el mismo del revestimiento de producción. La selección de la camisa está controlado por la presión contra el aplastamiento y en caso de superar el punto neutral, deberá ser revisado contra la presión al estado llido.

Si el fluido de terminación del hoyo tiene un peso de: 14 lbs/gal., la presión por colapso será:

$$P_c = H(GE - GI)$$

$$G_e = 0.052 \times 14 = 0.73 \text{ Lppc/pie (lodo)}$$

$$G_I = 0.12 \text{ Lppc/pie (gas)}$$

En la superficie:

$$D = 0'$$

$$P_c = 0(0.73 - 0.12)$$

$$P_c = 0 \text{ Lppc.}$$

En el fondo:

$$D = 15500'$$



BIBLIOTECA FIC:  
ESPOL

$$P_c = 15500 (0.73 - 0.12)$$

$$P_c = 9455 \text{ Lppc}$$

Estos puntos son graficados en la figura B-2. Ahora el próximo paso es seleccionar el material en base de esta curva y la tubería de 5", que cumple con estos requisitos.

En el inventario de tubería hay disponibles los siguientes revestidores de 5".

DIAMETRO (PULG.)	PESO LBS/PIE	GRADO	COLAPSO (FS=1.125) Lppc
5	13	J-55	3490
5	15	J-55	4430
5	18	P-110	11190

Mediante las tablas de esfuerzo es la de 18.0 lbs/pie. P-110 con una resistencia al aplastamiento de 11190 Lppc, con un factor de seguridad de 1.125 el cual es adecuado por cuanto la tubería de 13.5 lbs/pie, que es la menor, no llena estos requisitos. Las conexiones entre las

juntas de revestidor deberán ser lisas, porque el diámetro del hoyo es de 5-5/8", dando un espacio muy reducido y con unión de cuello, podría dar lugar a que la camisa se pegue, es esta razón por la cual se utilizará unión Hydril FJ. o X-Line.

APENDICE C

PROPIEDADES DE LOS REVESTIMIENTOS Y  
CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS (8)



TUBERIA DE PERFORACION		DESPLAZAMIENTO			CAPACIDAD			
DIAMETRO EXTERNO (PULGADAS)	PESO (LPP)	CONEXION API	CONEXION DIAM. EXT. (PULGADAS)	BRL. POR PIE	BRL. POR PAREJA DE 2 3 - TUBOS <sup>2</sup>	PIES POR BRJ.		
2-7/8	10,40	SLIM HOLE	3-3/8	0,00375	0,3488	0,00440	0,4092	227,2
2-7/8	10,40	I.F.	4-1/8	0,00391	0,3636	0,00449	0,4176	222,8
3-1/2	13,30	SLIM HOLE	4-1/8	0,00487	0,4529	0,00723	0,6724	138,2
3-1/2	13,30	I.F.	4-3/4	0,00500	0,4650	0,00740	0,6882	135,1
4	14,00	SLIM HOLE	4-1/2	0,00520	0,4836	0,01055	0,9816	94,8
4-1/2	16,00	I.F.	6-1/8	0,00634	0,5896	0,01419	1,3197	70,5
4-1/2	16,60	H-90 X-HOLE	6	0,00648	0,6026	0,01394	1,2964	71,7
4-1/2	20,00	X-HOLE	6-1/2	0,00793	0,7375	0,01267	1,1783	78,9
5	19,50	X-HOLE	6-3/8	0,00754	0,7012	0,01746	1,6238	57,3
5	23,00	X-HOLE	6-3/8	0,00857	0,7970	0,01643	1,5280	60,9



1 INCLUYE EFECTO VOLUMETRICO DE LAS CONEXIONES

2 ESTIMANDO 93 PIES POR PAREJA

SLIM HOLE = HOYO DE DIAMETRO REDUCIDO (HDR)

I.F. = INTERNAL FLUSH - CONEXION A RAS EN EL INTERIOR

X - HOLE = HOYO GRANDE

TABLA II  
CAPACIDAD DE LOS LASTRABARRENAS

<u>DIAMETRO INTERNO, PULGADAS</u>	<u>BRL. POR PIE LINEAL</u>	<u>PIES LINEALES POR BRL.</u>
1	0,0010	1.000
1-1/4	0,0015	667
1-1/2	0,0022	455
1-3/4	0,0030	333
1	0,0039	256
2-1/4	0,0049	204
2-1/2	0,0061	164
2-3/4	0,0073	137
2-13/16	0,0079	126
3	0,0088	115
3-1/4	0,0103	97



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**

VOLUMEN Y ALTURA ENTRE TUBERIA DE PERFORACION Y EL HOYO ( O REVESTIMIENTO)

TUBERIA DE PERFORACION DIAMETRO, PESO Y CONEXION API	DIAM. INT. DEL HOYO O REVESTIMIENTO (PULGADAS)	BRL. POR PIE LIN.	PIES LIN. POR BRL.	TUBERIA DE PERFORACION DIAMETRO, PESO Y CONEXION API	DIAM. INT. DEL HOYO O REVESTIMIENTO (PULGADAS)	BRL. POR PIE LIN.	PIES LIN. POR BRL.
8-3/8	8-3/8	0,0432	23,1	3-1/2"	5-3/4	0,0197	50,7
8-1/2	8-1/2	0,0450	22,2	13,30 lbs/pie I.F.	5-7/8	0,0211	47,1
8-5/8	8-5/8	0,0473	21,1		6	0,0226	44,3
8-3/4	8-3/4	0,0494	20,2		6-1/8	0,0240	41,6
9-1/4	9-1/4	0,0581	17,2		6-1/4	0,0255	39,1
9-1/2	9-1/2	0,0627	15,9		6-1/2	0,0286	34,9
9-3/4	9-3/4	0,0674	14,8		6-5/8	0,0302	33,1
12-1/8	12-1/8	0,1178	8,5		6-3/4	0,0319	31,3
12-1/4	12-1/4	0,1208	8,3		4-1/2	0,0677	128,9
12-3/8	12-3/8	0,1238	8,1		4-5/8	0,0088	114,2
15	15	0,1936	5,2		4-3/4	0,0099	101,2
					4-7/8	0,0111	90,4
7-5/8	7-5/8	0,0359	27,9	3-1/2"	5	0,0123	81,6
7-7/8	7-7/8	0,0397	25,2	13,30 lbs/pie HDR	5-1/4	0,0148	67,9
8-3/8	8-3/8	0,0476	20,9		5-1/2	0,0174	57,6
8-1/2	8-1/2	0,0496	20,1		5-3/4	0,0201	49,8
8-5/8	8-5/8	0,0517	19,3		6	0,0230	43,5
8-3/4	8-3/4	0,0539	18,6		4-3/4	0,0135	74,1
9-1/4	9-1/4	0,0625	16,0		5	0,0159	63,1
9-1/2	9-1/2	0,0671	14,9		5-1/4	0,0183	54,5
9-5/8	9-5/8	0,0694	14,4	2-7/8"	5-1/2	0,0210	47,6
9-3/4	9-3/4	0,0718	13,9	10,40 lbs/pie I.F.	5-3/4	0,0237	42,1
12-1/4	12-1/4	0,1252	8,0		6	0,0265	37,6
15	15	0,1980	5,0		4	0,0074	135,2
5	5	0,0085	116,8		4-1/8	0,0084	119,0
5-1/4	5-1/4	0,0110	90,5		4-1/4	0,0094	106,4
5-1/2	5-1/2	0,0136	73,2		4-3/8	0,0105	95,6
5-3/4	5-3/4	0,0164	61,0		4-1/2	0,0115	86,7
5-7/8	5-7/8	0,0178	56,2		4-3/4	0,0138	72,5
6	6	0,0192	52,0				
6-1/8	6-1/8	0,0207	48,2				
6-1/4	6-1/4	0,0222	45,1				
6-3/8	6-3/8	0,0237	42,1				
6-1/2	6-1/2	0,0253	39,5				
6-5/8	6-5/8	0,0269	37,2				



\* HDR: Hoyo Diámetro Reducido

TABLA IV

VOLUMEN Y ALTURA ENTRE EL HOYO Y LASTRABARRENAS

<u>LASTRABARRENA</u> <u>D.E.</u> <u>PULGADAS</u>	<u>HOYO</u> <u>DIAMETRO</u> <u>PULGADAS</u>	<u>BRLS.</u> <u>POR</u> <u>PIE LINEAL</u>	<u>PIES LINEALES</u> <u>POR</u> <u>BRLS.</u>
4	5-5/8	0,0152	65,8
4-3/4		0,0088	113,6
4	6-1/4	0,0224	44,6
4-3/4		0,0160	62,5
5		0,0136	73,5
4-3/4	6-3/4	0,0224	44,6
5		0,0200	48,5
6	8-3/4	0,0394	25,4
6-1/2		0,0334	29,9
7		0,0268	37,3
6-1/2	9-7/8	0,0537	18,6
7		0,0471	21,2
7-1/2		0,0401	24,9
8		0,0325	30,8
7-1/2	12-1/4	0,0912	11,0
8		0,0836	12,0
9		0,0671	14,9
10		0,0487	20,5
7-1/2	15	0,1640	6,1
8		0,1564	6,4
9		0,1399	7,1
10		0,1215	8,2
11		0,1011	9,9
7-1/2	17-1/2	0,2429	4,1
8		0,2353	4,2
9		0,2188	4,6
10		0,2004	5,0
11		0,1800	5,6



BIBLIOTECA FIC  
ESPOL

CULO POR MEDIO DE LA REGLA EMPIRICA:

$$\text{VOLUMEN ANULAR (Brls/pie)} = \frac{[\text{Diam. del hoyo (pulg)}]^2 - \text{D.E. Lastrabarrenas (Pulg)}^2}{1.000}$$

TABLA V  
DIMENSIONES Y CAPACIDAD DE REVESTIMIENTOS

<u>REVESTIMIENTO RO EXTERNO (PULGADAS)</u>	<u>PESO COMPLETO POR PIE</u>	<u>DIAMETRO INTERNO (PULGADAS)</u>	<u>BRLS. POR PIE LINEAL</u>	<u>PIES LINEALES POR BRL</u>
4-1/2	9,50	4,090	0,0162	61,54
	11,60	4,000	0,0155	64,34
	13,50	3,920	0,0149	66,99
	15,10	3,826	0,0142	70,32
5-1/2	14,00	5,012	0,0244	40,98
	15,50	4,950	0,0238	42,01
	17,00	4,892	0,0232	43,01
	20,00	4,778	0,0221	45,09
	23,00	4,670	0,0211	47,20
7	23,00	6,366	0,0393	25,40
	26,00	6,276	0,0382	26,14
	29,00	6,184	0,0371	26,92
	32,00	6,094	0,0360	27,72
	35,00	6,004	0,0305	28,56
	38,00	5,920	0,0340	29,37
7-5/8	26,40	6,969	0,0471	21,20
	29,70	6,875	0,0459	21,78
	33,70	6,765	0,0444	22,49
	39,00	6,625	0,0426	23,45
9-5/8	36,00	8,921	0,0773	12,92
	40,00	8,835	0,0758	13,09
	43,50	8,755	0,0744	13,43
	47,00	8,681	0,0732	13,86
	53,50	8,535	0,0707	14,13
10-3/4	45,50	9,950	0,0961	10,40
	51,00	9,850	0,0942	10,61
	55,50	9,760	0,0925	10,81
	60,70	9,660	0,0906	11,03
	65,70	9,560	0,0887	11,26
13-3/8	54,50	12,615	0,1545	6,47
	61,00	12,515	0,1521	6,57
	68,00	12,415	0,1497	6,68
	72,00	12,347	0,1480	6,75



TABLA VI  
RESISTENCIA AL ESTALLIDO EN REVESTIMIENTOS

PESO lbs/pie	PRESION DE ESTALLIDO (TUBOS SIN COSTURA)			
	GRADOS J & K - 55	GRADO C-75	GRADO N-80	GRADO P-110
9,50	4,380	-	-	-
11,60	5,350	7,290	7,780	10,690
13,50	-	8,460	9,020	12,410
15,10	-	-	-	14,420
14,00	4,270	-	-	-
15,50	4,810	-	-	-
17,00	5,320	7,250	7,740	10,640
20,00	-	8,610	9,190	12,630
23,00	-	9,900	10,560	14,530
23,00	4,360	5,940	6,340	-
26,00	4,980	6,790	7,240	9,950
29,00	-	7,650	8,160	11,220
32,00	-	8,490	9,060	12,460
35,00	-	9,340	9,960	13,700
38,00	-	10,130	10,800	14,850
26,40	4,140	5,650	6,020	-
29,70	-	6,450	6,890	-
33,70	-	7,400	7,900	-
39,00	-	8,610	9,180	-
36,00	3,520	-	-	-
40,00	3,950	5,390	5,750	-
43,50	-	5,930	6,330	-
47,00	-	6,440	6,870	-
53,50	-	7,430	7,930	-
40,50	3,130	-	-	-
45,50	3,580	-	-	-
51,00	4,030	5,490	5,860	8,060
55,50	-	6,040	6,450	8,860
60,70	-	-	-	9,760
65,70	-	-	-	10,650
54,50	2,730	-	-	-
61,00	3,090	-	-	-
68,00	3,450	-	-	-
72,00	-	5,040	5,380	-



**BIBLIOTECA FICT  
ESPOL**  
9,440  
10,900

INTERNA DE FLUENCIA AL PUNTO CEDENTE MINIMO, lppc.

5C2 DEL API, ENERO 1974

TABLA VII  
DESPLAZAMIENTO DE BOMBAS "DUPLEX", DE DOBLE ACCION  
EFICIENCIA DE LA BOMBA 100%

<u>EMBOLOADA</u>	<u>DIAM. DEL CILINDRO</u>	<u>EMBS. POR BRL.</u>	<u>BRL. POR EMB.</u>	<u>EMBOLOADA</u>	<u>DIAM. DEL CILINDRO</u>	<u>EMBS. POR BRL.</u>	<u>BRL. POR EMB.</u>
10"	3-1/2"	27,7	0,0361	16"	6-3/4"	4,55	0,2200
10"	4"	20,7	0,0483	16"	7"	4,21	0,2375
10"	4-1/2"	16,15	0,0619	16"	7-1/4"	3,91	0,2560
10"	5"	13,4	0,0745	16"	7-1/2"	3,64	0,2750
12"	4"	17,3	0,0578	16"	7-3/4"	3,39	0,2950
12"	5"	11,2	0,0894	18"	5"	7,84	0,1275
12"	5-1/2"	9,13	0,1095	18"	5-1/2"	6,33	0,1580
12"	6"	7,58	0,1320	18"	6"	5,21	0,1920
12"	6-1/4"	6,96	0,1437	18"	6-1/4"	4,78	0,2090
12"	6-1/2"	6,39	0,1565	18"	6-1/2"	4,38	0,2280
12"	6-3/4"	5,92	0,1690	18"	6-3/4"	4,05	0,2465
12"	7"	5,48	0,1825	18"	7"	3,74	0,2670
14"	5"	9,6	0,1040	18"	7-1/4"	3,47	0,2880
14"	5-1/2"	7,81	0,1280	18"	7-1/2"	3,22	0,3100
14"	6"	6,50	0,1540	18"	7-3/4"	3,02	0,3310
14"	6-1/4"	5,96	0,1675	20"	5-1/2"	5,69	0,1760
14"	6-1/2"	5,48	0,1825	20"	6"	4,68	0,2134
14"	6-3/4"	5,08	0,1970	20"	6-1/4"	4,29	0,2332
14"	7"	4,70	0,2130	20"	6-1/2"	3,95	0,2530
14"	7-1/4"	4,46	0,2240	20"	6-3/4"	3,65	0,2740
14"	7-1/2"	4,15	0,2410	20"	7"	3,37	0,2970
14"	7-3/4"	3,88	0,2575	20"	7-1/4"	3,12	0,3200
16"	5"	8,81	0,1135	20"	7-1/2"	2,91	0,3440
16"	5-1/2"	7,12	0,1405	20"	7-3/4"	2,72	0,3680
16"	6"	5,86	0,1705	20"	8"	2,54	0,3944
16"	6-1/4"	5,40	0,1855	20"	8-1/2"	2,14	0,4690
16"	6-1/2"	4,93	0,2025	22"	7-3/4"	2,47	0,4050

DESPLAZAMIENTO DE BOMBAS "TRIPLEX", DE ACCION SENCILLA  
EFICIENCIA DE LA BOMBA 100%



<u>EMBOLOADA (PULGADAS)</u>	<u>DIAM. DEL CILINDRO</u>	<u>BRL. POR EMB.</u>	<u>EMB. POR BRL.</u>	<u>EMB. (PULG.)</u>	<u>DIAM. DEL CILINDRO</u>	<u>BRL. POR EMB.</u>	<u>EMB. POR BRL.</u>
7	3-1/2	0,0207	48,31	9	5	0,0545	18,34
	3-3/4	0,0238	42,00		5-1/4	0,0602	16,60
	4	0,0271	36,84		5-1/2	0,0662	15,11
	4-1/4	0,0307	32,56		5-3/4	0,0724	13,82
	4-1/2	0,0345	28,97		6	0,0786	12,73
7-1/2	4	0,0290	34,43		6-1/4	0,0855	11,70
	4-1/4	0,0329	30,43	9-1/4	5-1/2	0,0679	14,74
	4-1/2	0,0369	27,10		5-3/4	0,0743	13,46
	4-3/4	0,0410	24,42		6	0,0810	12,35
	5	0,0455	21,99		6-1/4	0,0876	11,41
	5-1/4	0,0502	19,91	10	5-1/4	0,0669	14,95
8	4-1/2	0,0393	25,45		5-1/2	0,0733	13,64
	4-3/4	0,0438	22,83		5-3/4	0,0802	12,46
	5	0,0486	20,59		6	0,0874	11,44
	5-1/4	0,0538	18,58		6-1/4	0,0948	10,55
	5-1/2	0,0590	16,94	11	5-1/2	0,0907	12,34
	5-3/4	0,0636	15,73		6	0,0962	10,40
	6	0,0700	14,29		6-1/4	0,1129	8,86
8-1/2	5	0,0517	19,35		7	0,1310	7,64
	5-1/4	0,0569	17,58	12	5-1/2	0,0891	11,35
	5-1/2	0,0624	16,03		5-3/4	0,0964	10,37
	5-3/4	0,0683	14,63		6	0,1050	9,52
	6	0,0743	13,46		6-1/4	0,1138	8,79
	6-1/4	0,0807	12,39		6-1/2	0,1229	8,14
					6-3/4	0,1326	7,54
					7	0,1420	7,01
					7-1/4	0,1531	6,53

APENDICE D

DETERMINACION DE LA TEMPERATURA DE  
CIRCULACION EN LAS MEZCLAS DE CE  
MENTO. (20)



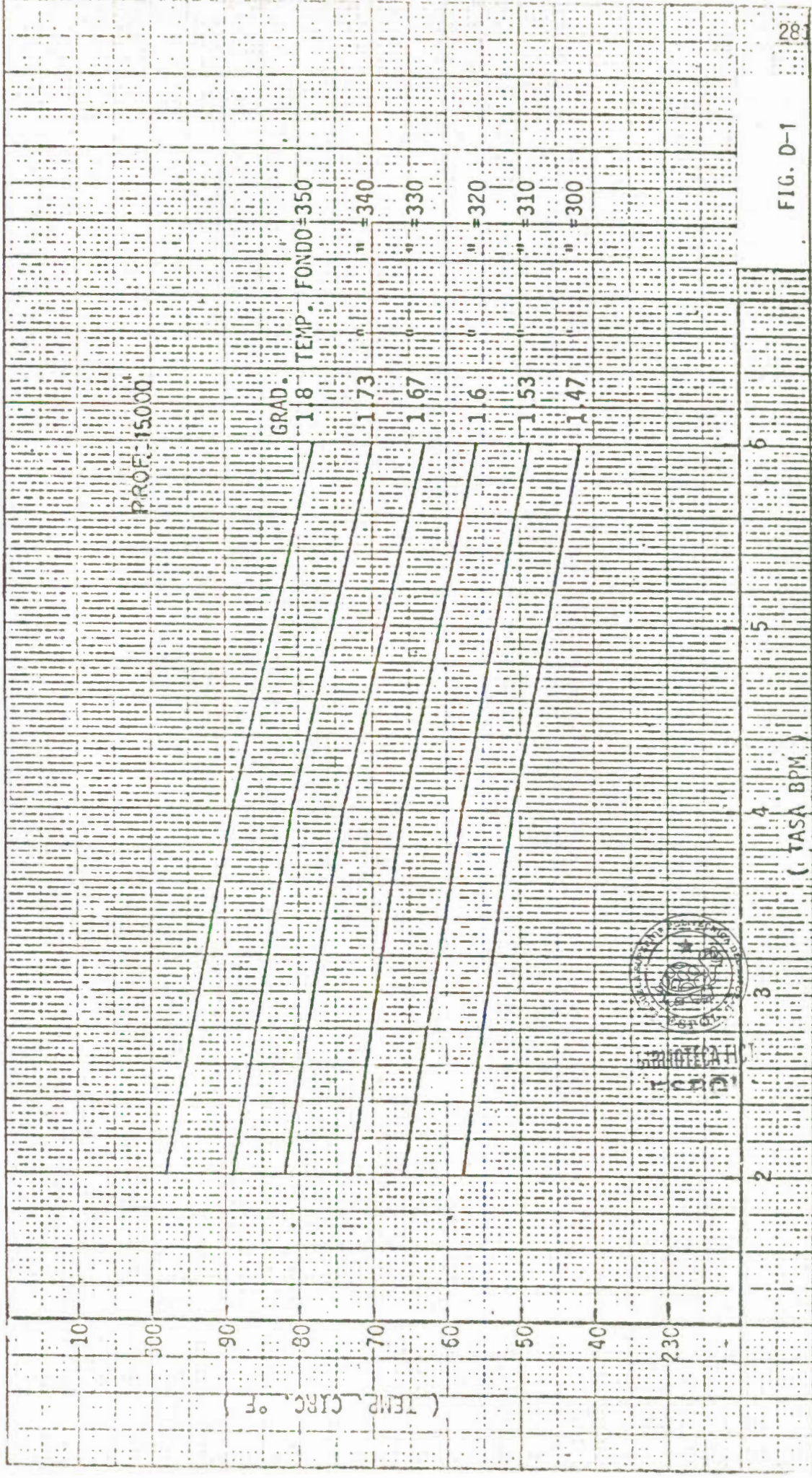


FIG. D-1



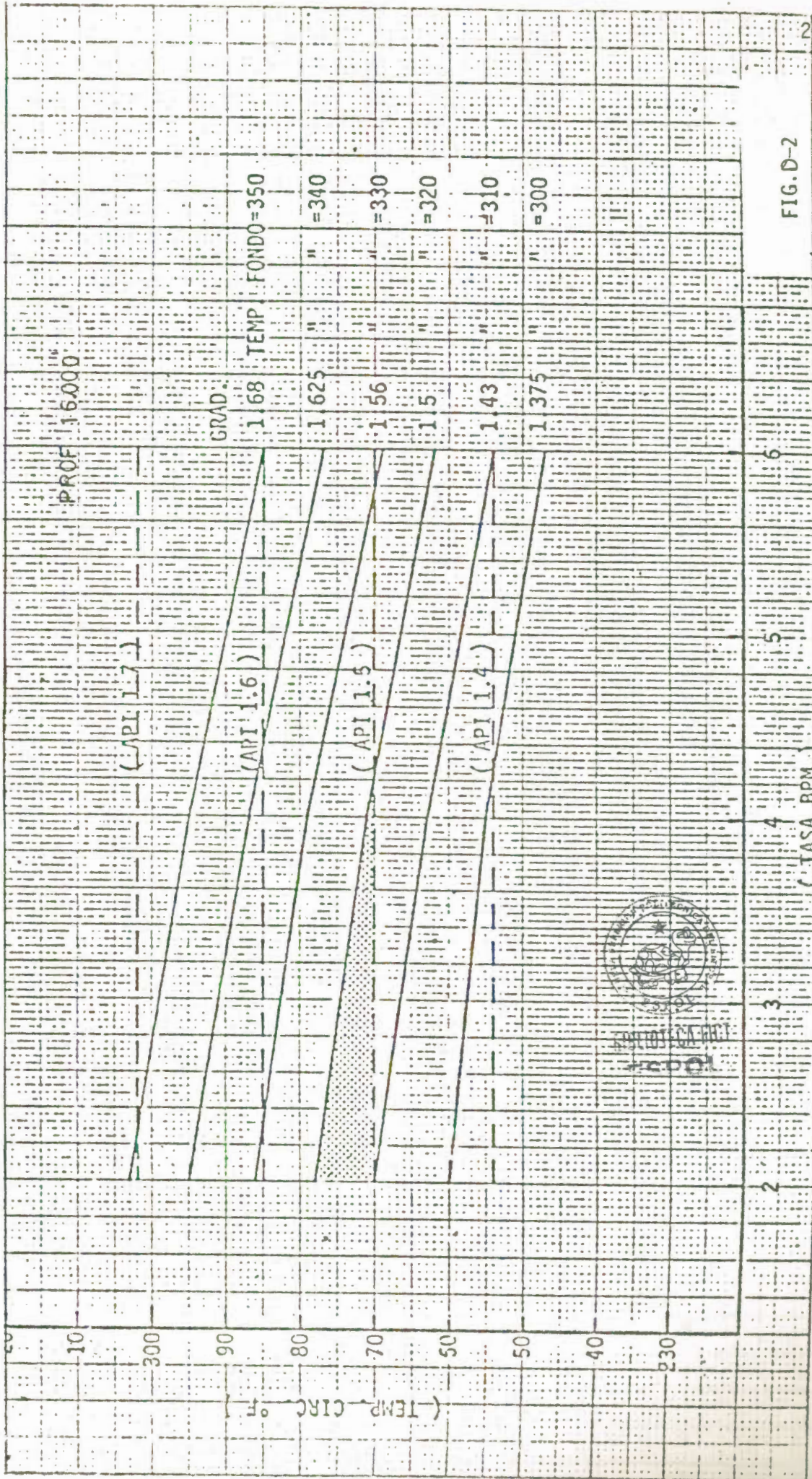


FIG. D-2

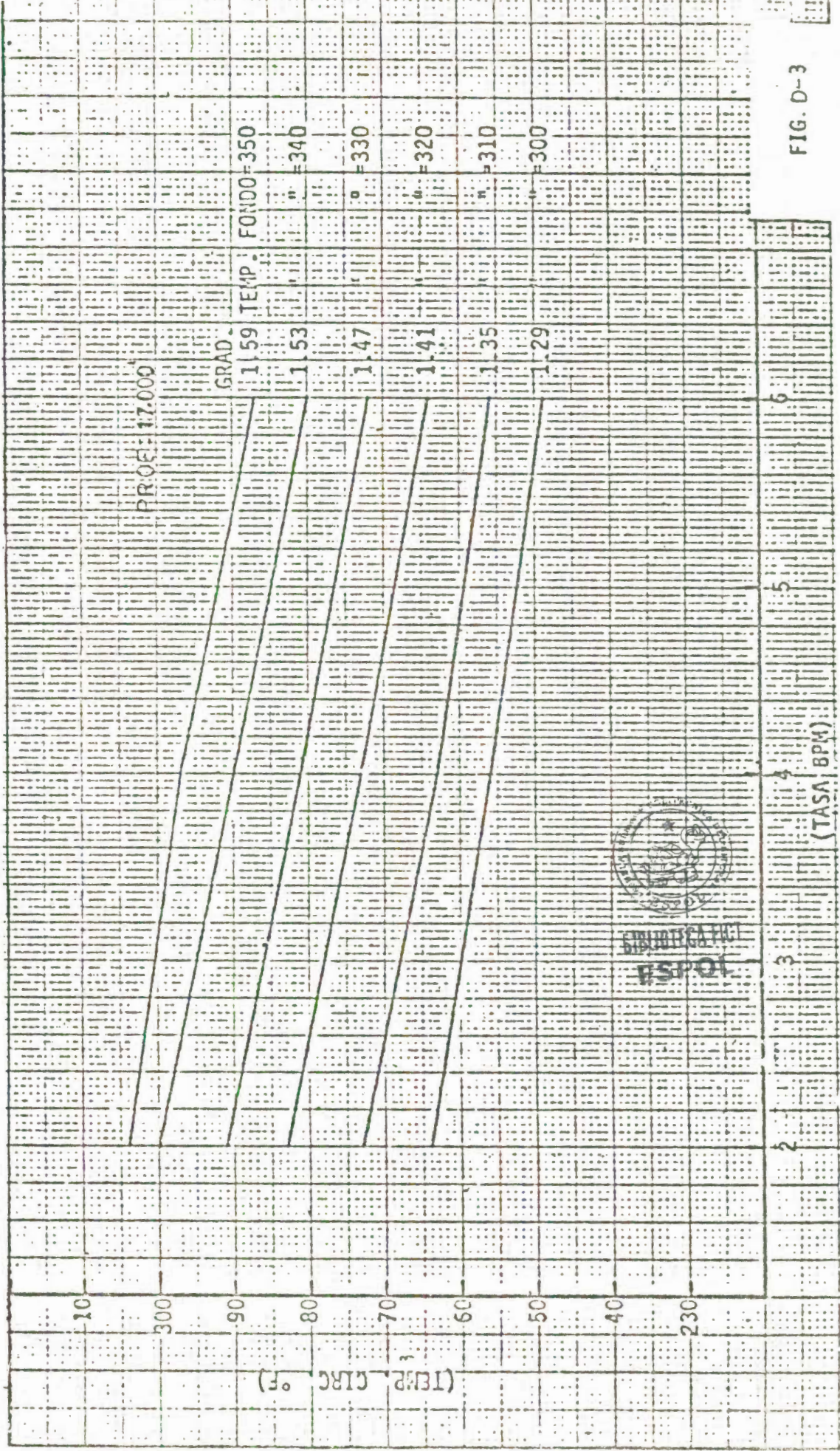


FIG. D-3

FIG. D-4



APENDICE E

FACTORES PARA LA CEMENTACION DE REVESTIDORES  
DE PRODUCCION DE FONDO. (20)

TABLA I

FACTORES PARA CONVERTIR TEMPERATURAS DE REGISTROS A TEMPERATURAS ESTATICAS DE FONDO DEL HOYO

PROFUNDIDAD (PIES) F A C T O R

1000	1.020
2000	1.035
3000	1.050
4000	1.070
5000	1.095
6000	1.100
7000	1.115
8000	1.130
9000	1.140
10000	1.155
11000	1.160
12000	1.165
13000	1.160
14000	1.150
15000	1.140
16000	1.125
17000	1.105
18000	1.185
19000	1.060
20000	1.030



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

TABLA II  
RELACIONES TÍPICAS ENTRE EL HOYO Y UNA  
CAMISA.

Diámetro de camisa Pulg.	Diámetro del Hoyo Puls.	Diámetro ultimo Rev. Pulg.	Area Anular Pulg. <sup>2</sup>	Espesor de la Capa de Cemento Pulg.
9-5/8	10-5/8	11-3/4	15.9	7/16
7-3/4	9-1/2	10-3/4	13.0	7/8
7-5/8	9-1/2	10-3/4	14.5	15/16
7-3/4	8-1/2	9-5/8	9.6	3/8
7-5/8	8-1/2	9-5/8	10.4	7/16
7	8-5/8	9-5/8	19.9	13/16
5-1/2	6-5/8	7-5/8	10.7	9/16
5	6-5/8	7-5/8	14.9	13/16
5	6-1/8	7	9.9	9/16
4-1/2	6-1/8	7	13.6	13/16
3-1/2	4-3/4	5-1/2	8.1	5/8



BIBLIOTECA FIL.  
ESPOI

TABLA III

PROPIEDADES DE TRABAJO PARA UNA CAMISA -

TAMAÑO DIAM. EXT. PULGS.	PESO LB/pie	ESPESOR DE LA - PARED Pulg.	DIAMETRO INTERNO PULG.	GRADO	APLASTAMIENTO Fs=1.125 Lpc	ESTALLIDO Fs=1.312 Lpc.	TENSION EN 1.000 lbs. Lpc.
4-1/2	10.5	0.224	4.052	J-55	3400	3810	73
				K-55	3830	3810	81
	13.5	0.290	4.000	N-80	6740	7260	150
				P-110	9280	9980	188
5	13.0	0.253	4.494	J-55	3490	3880	94
				K-55	3490	3880	103
5	15.0	0.296	4.408	J-55	4430	4570	115
				N-80	5880	6640	173
				P-110	7970	9130	216
5-1/2	15.5	0.275	4.950	J-55	3431	3830	112
				K-55	3431	3830	123
				J-55	4000	4250	127
	17.0	0.304	4.892	K-55	4000	4250	140
				N-80	5240	6180	193



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL



TABLA IV

## MEZCLAS DE CEMENTO COMUNMENTE UTILIZADAS

M E Z C L A	REQ. AGUA (Gal/saco)	PESO DE LA MEZCLA Lbs/gal)	RENDIMIENTO (Pie <sup>3</sup> /saco)
Mara "A" neto	5.2	15.6	1.17
Mara, 2 % Ca C12	5.2	15.6	1.19
Mara, 4% Ca C12	5.2	15.6	1.21
Mara, 4% Gel	7.8	14.0	1.55
Mara, 4% Gel, 25 lbs kolite/saco	8.8	13.2	1.99
Mara, 4% Gel, 50 lbs kolite/saco	9.8	12.6	2.43
Mara, 6 % Gel	9.1	13.6	1.73
Mara, 6% Gel, 25lbs Kolite/saco	10.1	12.8	21.7
Mara, 6% Gel, 50 lbs kolite/saco	11.1	12.4	2.62
Mara, 8 % Gel	10.4	13.1	1.92
Mara, 8 % Gel, 25 Lbs, Kolite/saco	11.4	12.6	2.36
Mara, 8% Gel, 50 lbs Kolite/saco	12.4	12.2	2.80
Mara, 8% Gel, 1 Lb. Mica Gruesa/saco	10.4	13.1	1.92
Mara, 8% Gel, 2 lbs Mica gruesa/saco	10.4	13.2	1.93
Mara, 8% Gel, 30 % Silica Flour	11.7	13.4	2.26
Mara, 8% Gel, 40 % Silica Flour	11.7	13.5	2.28
Mara, 8 % Gel 30 % Silica Flour	11.7	13.5	2.29
Mara, 8 % Gel, 30 % Silica Flour 25 lb Kolite /saco	12.7	12.9	2.70
Mara, 8% Gel, 30% Silica flour 50 lbs. Kolite /saco	13.7	12.5	2.15
Mara, 8 % Gel, 35 % solica fluor, 4%	11.9	13.5	2.35
Mara, 12 % Gel	13.0	12.5	2.28
Mara, 12% Gel, 4 % Ca C12	13.00	12.50	2.32
Mara, 20 % Gel, 4% Sal	18.2	11.7	3.04
Mara, 35 % Silica Flour	6.7	15.5	1.58
Mara, 35 % Silica Flour, 25 lbs.	7.7	14.3	2.01
Mara, 10 % arena	5.2	15.9	1.23
Mara, 10 % arena, 2% Ca C12	5.2	15.9	1.25
Mara, 35 % Solica Flour, 1.5 % CFR-2 0.			
0 .5 % LWL, 1.0% HR-12	6.7		15.5



Nota: los valores dado en la tabla no se alteran en caso de usar la misma mezcla un porcentaje de retardador\* menor de 5% o Mica.

TABLA V  
ADITIVOS MAS USADOS EN LA CEMENTACION

ADITIVO	FUNCION
1 Ca Cl <sub>2</sub>	Acelerador
2 Gel	Aumenta el rendimiento
3 Kolite y	Reducen la pérdida de circulación
4 Mica gruesa	en formaciones de alta permeabilidad.
5 Silica fluor	Evita la pérdida de resistencia a la compresión a altas temperaturas.
6 Sal	acelerador de fraguado en bajas - concentraciones (1%-5%) y retardador en altas concentraciones. Aumenta la propiedad de fluir al cemento, reduciendo la potencia hidráulica.
7 Arena	Más resistencia al cemento y aumenta el peso de la lechada.
8 Diacel "D"	Reduce el peso de la lechada, reduce la pérdida de circulación y aumenta el rendimiento.
9 Kembreak	Retardador de fraguado a baja temperatura.
10 D-13,HR-7	Retardadores de fraguado, reducen la viscosidad y aumentan la propiedad de fluir a la mezcla de cemento.



**BIBLIOTECA FICTICIA  
ESPOL**

11. HR-12 Retardador para altas temperaturas, reduce la viscosidad y aumenta la propiedad de fluir.
12. HR-4 Retardador para altas temperaturas pero no debe utilizarse con cemento de alto contenido de bentonita (12% - 25%) porque no actúa como dispersante.
13. CFR-2 Reductor de fricción, control la pérdida de filtrado por su acción dispersante.
14. LWL Controla la pérdida de filtrado. Actúa como un retardador a bajas temperaturas.

## BIBLIOGRAFIA

1. Davila, J.: Como planificar y controlar la Perforación de un pozo", Petróleo y Tecnología. Vol. 2 N° 4. Julio-Agosto, 1978 Pag. 19-21.
2. Korry, D.E. "Optimizing Deep Drilling Programs". World Oil. Septiembre, 1977. Pag. 53.
3. Outmans, H.D.: "The Effect of some Drilling Variables on the Instantaneous Rate of Penetration". AIME: 1.960. Vol. 219 Pag. 137, 147 - 148.
4. Black, A.D. "Laboratory Simulation of Deep Well Drilling" Petroleum Engineer International. Marzo 1978 N° 3. Vol. 50. Pag. 40.
5. Exxon Production Research Company "Drilling Fluids Technology". 1977. Sección V pag. 1-7.
6. Robinson L.H. y Heilhecker, J.K. "Solids Control in Weighted Drilling Fluids". Journal of Petroleum Technology. Septiembre 1975. Pag. 1141 - 1143.



BIBLIOTECA FICT  
ESPOL

7. Field, L. y Anderson, D.B., "An analytical Approach to Removing Mud Solids J.P.T.46ava.reunión de SPE New Orleans, Octubre, 1971.
8. Exxon Production Research Company: Prevention de Reventones y - Control de Pozos. Seminario dictado en Lagunillas, Venezuela, Marzo, 1978. Pag. 1-7, Apendice 1-C. Pag. 1-6.
9. Tschirley, N.K. "Hole Stability Through Mud Technology an Organized Approach". Southwestern Petroleum Short Course Assotiation - Lubbock, Texas, Abril 1976, Pag. 1-9.
10. Weintritt, D.J. y Hughes, R.G.; "Factors Involved in High Temperature Drilling Fluids". J.P.T. Papel (SPE 1043) presentado a Universidad de Texas, Austin, Enero 20-21, 1965. Pag. 231, 234, 239 - 240.
11. Carlton, L.A. y Chenevert, M.E.: "A New Approach to Preventing Lost Returns". 49<sup>ava</sup> reunión de SPE, Houston, Texas, Octubre 6-9. 1974. Pag. 1-2.
12. Hopkin, E.A.; "Factors Affecting Cuttings Removal During Rotary J.P.T. Tercera Conferencia de SPE en Austin, Texas. Enero 25-26. 1967 Pag. 205, 211- 212.
13. Sutko A.A. y Myers G.M. : The Effect of Nozzle Size, Number, and Extension on the Pressure Distribution Under a Tricone Bit J.P. T. 45<sup>ava</sup> Reunión de SPE, Houston, Octubre 4-7, 1970. Pag. 187-189, 192



14. Kendall H.A. y Goins W.C. "Desing an Operation of Jet - Bit Programs For Maximun Hydraulic Horsepower, Impact Force ot Jet - Velocity" Petroleum Transaction, AIME. Vol. 219. Nº 8129,1960.Pag. 238 - 243.
  
15. Snyder, R.E. y Suman Jr. G.O.: "High Pressure Well- Completions", World Oil. Parte 3. Octubre 1978. Pag. 123 - 131.
  
16. Patchen F.D. "Reactions and Properties of Silica-Portland Cement Mixtures Cured al Elevated Temperatures" Petroleum Transactions, AIME, Vol. 219, 1960, Pag. 281 - 286.
  
17. Hansford, J.E. y Lubinsky A. "Cumulative Fatigue Damage of Drill Pipe in Dog - Legs" J.P.T. Presentado en reunión SPE en Denver, Colorado, Octubre 3-6. 1965. Pag. 285 - 289.
  
18. Burley J.D. y Dupre. N.J.: Cabezales de Pozos. Lagoven S.A. Tia Juana. Septiembre, 1977. Pag. 2-3,8-9
  
19. Moore P.L.; "Drilling Practice Manual" The Petroleum Publishing Co, Tulsa, 1974. Pag. 5-20, 31-34, 205-208,241-256.
  
20. Miño, F.G.: "Cementación de Camisas en Pozos Profundos". Tesis de Grado. ESPOL. Mayo de 1979. Pag. 26-29,92-96.
  
21. Garcia Juan: "FLuidos de Control" Lagoven S.A. Tia Juana. Edo. Zulia. Noviembre, 1976. Pag. 1-7, 14-49.



22. Magcohar: "Drilling Fluid Engineering Manual" Capitulo 16. Enero 1972. Pag. 1-7.
23. Subcommittees of the API: "Principles of Drilling Fluids Control". 20<sup>ava</sup>. Edición. Petroleum Extension Service, Septiembre 1969. Pag. 25 - 42.
24. Baroid: "Fundamental Characteristics of Drilling Fluids" Baroid Petroleum Services. Vol. I. Section 3. Pag. 15-20.
25. Robinson León H. : "Hidráulica de Perforación" Exxon Production Research, Co. Tia Juana, Venezuela 1977. Pag. 25 - 33.
26. McCray A.W ; y Cole F.W.: "Tecnología de la perforación de pozos petroleros" 3era. edición. Marzo de 1970 . Pag. 136-143, 215-218.
27. Lagoven, S.A. : "Operaciones de pesca en Lagoven" Lagunillas, Venezuela, 1978. Pag. 1-4, 8-27.
28. Eastman Whipstock: "Pozos Direccionales" Informativo Técnico - Venezuela, Pag. 17 - 26.
29. Baroid División: "Mud Logger Han Book". Houston Texas. Abril - 1970. Pag. 96 - 97.
30. Petro Perú: "Manual de Perforación, Dpto. de Producción - Lima. 1978. Pag. 141- 148.

31. Gatlin C. : "Drilling and well Completions". Prentice Hall INC. N.Y. 1960 Cap. 7. Pag. 94 - 111.
32. Wilson G.E.: "Cómo perforar un pozo util" Gerencia de Servicios Técnicos Drilco, Houston, Texas, E.U.A. P g.1-13.
33. Hughes Tool Company: "Manual de Barrenas de tres conos rodantes" Traducción de Lagoven, Lagunillas. Septiembre 1978. Pag. 10-15.
34. Martorano Pedro: Problemas en los hoyos en la perforación de Pozos Petroleros"; Lagoven S.A. Tia Juana 1976, Pag. 1-11.
35. Exxon Production Research Company: Seminario de Fluidos Perforación". Mayo 1978. Pag. 3-8.
36. Gutierrez J., : "Resumen de la Perforación del Pozo Q.Q.-648" Lagoven S.A., 1978, Pag. 36-45.

BIBLIOTECA FIC  
ESPOL