

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería de Geología, Minas y Petróleo

"SELECCION DE UN FLUIDO DE  
PERFORACION PARA MINIMIZAR  
LA INESTABILIDAD DE LAS  
ARCILLAS DEL AREA DEL GOLFO  
DE GUAYAQUIL "

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtencion del Título de:

**INGENIERO DE PETROLEO**

Presentada por:

**Alejandro Gallardo Campoverde**

GUAYAQUIL - ECUADOR

**1.985**

DEDICATORIA

A mi mejor amigo, mi padre

SR. JULIO CESAR GALLARDO CARRION

A mi abuelita

SRA. ROSA CARRION VDA. DE GALLARDO

A mis Hermanos :

LETICIA

MATILDE

PATRICIA

MYRIAM

LILIAN

XAVIER

A mis tíos :

GUILLERMINA, LEON, BOLIVAR,  
BOLIVIA(+), PACIFICO, ROSA

A mis Primos

A mis Amigos

8 JUL 1985

ARCHIVO



AGRADECIMIENTO

CENTRO DE INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral

A la Facultad de Ingeniería de Geología,  
Minas y Petróleo.

Al Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT) de la ESPOL.

Al Director de Tesis, Ing. Daniel Tapia F.

A mis Profesores

A CEPE Subgerencia Regional Guayaquil

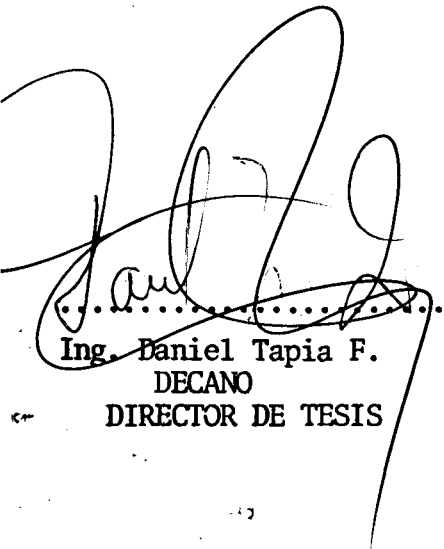
A NL BAROID/NL INDUSTRIES, INC.

A MILCHEM WESTERN HEMISPHERE, INC.


A IMCO

A los Ingenieros que laboran en el campo de  
la Ingeniería Petrolera :

Carlos Arnao, Alan Arbizú, Galo Balda,  
Stalin Benites, Jorge Costales, José Coronel,  
Tomás Espinosa, Denis Karsten, Washington  
Gallegos, Ricardo Gallegos, Miguel Graetzer,  
Kléber Malavé, Néstor Romero, Edgar Riofrío  
y Medardo Vargas.



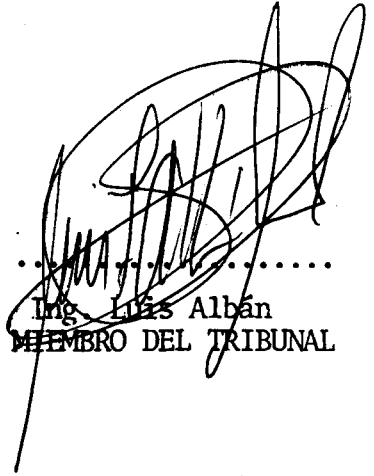
.....  
Ing. Daniel Tapia F.  
DECANO  
DIRECTOR DE TESIS



.....  
Ing. Carlos Arnao  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....  
Ing. Heinz Terán  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

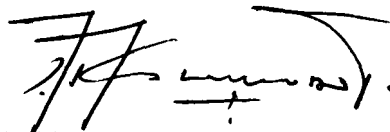


.....  
Ing. Luis Albán  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

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 Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



.....  
AMADO ALEJANDRO GALLARDO CAMOVERDE

## RESUMEN

El presente trabajo trata de la selección de un determinado fluido de perforación que será compatible con la geología encontrada en el Golfo de Guayaquil durante la perforación de pozos (off-shore). Especialmente cuando en el trayecto de la perforación se encuentran arcillas expansivas o plásticas.

Durante la realización de este trabajo se procedió a tomar muestras de arcilla plástica a diferentes profundidades, con el fin de realizar diferentes pruebas para dar con el tipo de arcilla y tipo de fluido a ser empleado, las muestras fueron tomadas del pozo Tenguel #1, el cual en el desarrollo de esta tesis se lo denomina T. #1.

Luego alternadamente se prepararon cinco fluidos de perforación uno base agua fresca (lignosulfonato), tres base agua salada (Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na) y uno base petróleo (emulsión inversa), los mismos que fueron diseñados con fines experimentales.

La interpretación de los resultados de las diferentes pruebas nos dice que los fluidos más compatibles con la formación son los base agua salada (Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na) y emulsión inversa, por detectarse en las muestras de arcilla gran porcentaje de montmorillonita cálcica, seguido de poco porcentaje de montmorillonita sódica.

## VII

Finalmente luego de hacer un estudio técnico-económico a los fluidos preseleccionados; Cl.K, Cl.Na y emulsión inversa por ser quienes reaccionaron favorablemente con las muestras de arcilla, se recomienda usar un fluido de perforación base cloruro de potasio (Cl.K) para minimizar la inestabilidad de las arcillas del área del Golfo de Guayaquil.

## INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN . . . . .	VI
INDICE GENERAL . . . . .	VIII
INDICE DE FIGURAS . . . . .	IX
INDICE DE GRAFICOS . . . . .	X
INDICE DE SIMBOLOGIA . . . . .	XI
INDICE DE TABLAS . . . . .	XV
INTRODUCCION . . . . .	18
I. REVISION DE LITERATURA . . . . .	22
II. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA . . . . .	49
2.1 Pruebas de difracción de Rayos -X . . . . .	60
2.2 Inspección visual . . . . .	64
2.3 Capacidad de intercambio iónico . . . . .	71
2.4 Pruebas de hinchamiento . . . . .	80
2.5 Pruebas de dispersión . . . . .	87
III. PRUEBAS DE LAS ARCILLAS CON DIFERENTE TIPO DE LODOS . . . . .	93
3.1 Lodo Base Agua Fresca (Lignosulfonato) . . . . .	101
3.2 Lodo Base Agua Salada (Cl.Na, Cl <sub>2</sub> .Ca) . . . . .	110
3.3 Lodo Base Cloruro de Potasio (Cl.K) . . . . .	122
3.4 Lodo Base Emulsión Inversa (Invermul) . . . . .	128
IV. ANALISIS ECONOMICO DEL FLUIDO SELECCIONADO . . . . .	138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	158
ANEXOS (TABLAS, GRAFICOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS) . . . . .	164
APENDICES . . . . .	242
BIBLIOGRAFIA . . . . .	251



## INDICE DE FIGURAS

Nº		<u>Pág.</u>
1	MAPA DE UBICACION DEL POZO T. #1	24
2	COLUMNA LITOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA DEL POZO T. #1	27
3	EFEECTO DE LA DIAGÉNESIS Y LA COMPACTACION DE LAS LUTITAS	34
4	DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA DE LA MONIMORILLONITA	40
5	DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA DE LA ILLITA	42
6	DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA DE LA KAOLINITA	42
7	TÍPICOS EJEMPLOS DE LUTITAS PRESURIZADAS	57
8	INSPECCION VISUAL LODO BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)	55
9	INSPECCION VISUAL LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	67
10	INSPECCION VISUAL LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)	68
11	INSPECCION VISUAL LODO BASE EMULSION INVERSA (INVERMUL)	69
12	INSPECCION VISUAL LODOS COMPARATIVOS BASE Cl.K, Cl <sub>2</sub> .Ca Y Cl.Na	70
13	BENTONITA SODICA Y CALCICA EN AGUA	91
14	REVESTIMIENTO POZO T. #1	95
15	PRESION DE FORMACION POZO T. #1	96
16	MUESTRAS DE FLUIDO EN EXPERIMENTO	98
17	EFEECTO DEL CLORURO DE SODIO SOBRE MEZCLAS DE BENTONITA	113
18	DISEÑO ESTIMATIVO DE PERFORACION (4.200'-16.000')	141
19	DISEÑO ESTIMATIVO DE REVESTIMIENTO (0'-16.000')	142

## INDICE DE GRAFICOS

Nº	<u>Pág.</u>
1 MUESTRAS SELECCIONADAS	221
2 INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS EN LOS FLUIDOS BASE LIGNOSULFONATO, Cl.Na, Cl.K Y EMULSION INVERSA (ETAPA INICIAL)	222
3 INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS EN LOS FLUIDOS BASE LIGNOSULFONATO, Cl.Na, Cl.K Y EMULSION INVERSA (ETAPA A LAS 48 HORAS)	223
4 INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS EN LOS FLUIDOS BASE LIGNOSULFONATO, Cl.Na, Cl.K, Y EMULSION INVERSA (ETAPA FINAL)	224
5 HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA EN LOS FLUIDOS BASE LIGNOSULFONATO, Cl.Na, Cl.K Y EMULSION INVERSA (DIAMETRO INICIAL)	225
6 HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA EN LOS FLUIDOS BASE LIGNOSULFONATO, Cl.Na, Cl.K Y EMULSION INVERSA (DIAMETRO A LAS 24 HORAS)	226
7 HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA EN LOS FLUIDOS BASE LIGNOSULFONATO, Cl.Na, Cl.K Y EMULSION INVERSA (DIAMETRO A LAS 48 HORAS)	227
8 HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA EN LOS FLUIDOS COMPARATIVOS BASE Cl.K, Cl <sub>2</sub> .Ca Y Cl.Na	228
9 COSTO POR PIE POZO T. #1	229
10 COSTO POR DIA POZO T. #1	230
11 PORCENTAJE DE ACTIVIDADES OPERACIONALES POZO T. #1	231
12 PERFIL DE PRESIONES DEL POZO T. #1	232
13 PERFIL DE PRESIONES CAMPO T.	233
14 RENDIMIENTO DE LA BENTONITA	234
15 COSTO EN PORCENTAJES POR INTERVALOS DE CADA FLUIDO	235
16 COSTO DE MATERIALES POR ZONAS	236

## INDICE DE SIMBOLOGIA

SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDADES
°		
A	: Amstrongs	$10^{-9}$ m
$\alpha$	: Angulo de radiación	
Bbl, Bbls	: Barril, barriles	
Bbl*	: 1 Bbl* = 1,43 Bbl	
C	: Costo de materiales zona A	\$
C <sub>1</sub>	: Costo de materiales Intervalo I	\$
C <sub>2</sub>	: Costo de materiales Intervalo II	\$
C <sub>3</sub>	: Costo de materiales Intervalo III	\$
C <sub>4</sub>	: Costo de materiales Intervalo IV	\$
C <sub>5</sub>	: Costo de materiales Intervalo V	\$
C'	: Costo de materiales zona B.	\$
C <sub>T</sub>	: Costo Total de materiales de un fluido de perforación.	\$
cc	: Centímetro cúbicos	
Cl <sup>-</sup>	: ion cloruro	
Ca <sup>++</sup>	: ion calcio	
	: Costra	1/32"
d	: Distancia, espacio	
EE	: Estabilidad eléctrica	voltios
	: energía de hidratación	Kcal/Mol
f	: filtrado	cc/30 min.
FOB	: Precio internacional de productos que se mantienen aproximadamente constantes.	
Gi, Gf	: Gel inicial y gel final	Lb/100 pie <sup>2</sup>
gr/350 cc	: Gramos sobre 350 centímetros cúbicos	

SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDADES
HT, HP	: Alta temperatura, alta presión	°F, Psi
	: Intercambio iónico (catiónico)	Me/100 gr
A	: Incremento	
V	: Decremento	
l	: Lodo o fluido de perforación	
LPG	: Libras por galón	
Lec 300	: Lectura trescientos	
Lec 600	: Lectura seiscientos	
$\lambda$	: Longitud de onda	1,54178 Å <sup>o</sup>
Lb/Bbl	: Libras sobre barril	
M	: Concentración de sal	Moles
m	: Metros	
min.	: minutos	
ml	: Milímetros	
Me	: Miliequivalentes	
	: Tipo de malla (Tamiz)	Mesh
n	: Constante de plant	
N <sup>o</sup>	: Número de muestra de arcilla seleccionada a ser analizada en cada fluido	
N <sup>o</sup>	: Número de muestra preseleccionada	
<	: Menor que	
<<	: Pequeñísima cantidad	
O	: Coeficiente osmótico de la solución salina.	
P	: Presión del fluido dentro de los poros	Psi
	: Gradiente	Psi/pie
PV	: Viscosidad plástica	cp

SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDADES
PH. <sub>f</sub>	: PH del filtrado del lodo	
PH ó PH. <sub>1</sub>	: PH del fluido de perforación	
PT	: Profundidad total	(pies)
%	: Porcentaje	
ppm	: Partes por millón	
Pm	: Alcalinidad del lodo	cc
Pf	: Alcalinidad del filtrado	cc
	: Peso de tubería revestimiento	#/pie o Lb/pie
(') 2.000'	: Dos mil pies	
(') 20"	: Veinte pulgadas	
R	: Constante de gas	
$\rho$	: Densidad del fluido de perforación	Lb/gal ó Lbs/gal
$\bar{\rho}$	: Densidad promedio	
s	: Fuerza matricial	
S	: Presión de sobrecarga	Psi/pie
Sx	: Sacos de materiales	(Lbs)
Sen	: Seno trigonométrico	
Seg.	: Segundos	
S/.	: Sucres	
T	: Temperatura	°C , °F
T <sub>1</sub>	: Temperatura absoluta	°K
$\theta$	: Angulo	
UEGG	: Unidad ejecutora gas del Golfo de Guayaquil	
\$	: Dólares	
V	: Número de iones disueltos por Mol	

SIMBOLO	DESCRIPCION	UNIDADES
Va	: Viscosidad aparente	cp
	: Viscosidad de embudo	Seg/qt ó Seg. API
Vol.	: Volumen del lodo	Bbls
Y	: Rendimiento de la arcilla	Bbl/Ton.
Y <sub>p</sub>	: Punto cedente	Lb/100 pies <sup>2</sup>

## INDICE DE TABLAS

Nº		<u>Pág.</u>
1	MUESTRAS ENTREGADAS POR EL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA REGIONAL CEPE-GUAYAQUIL PARA ASUNTO TESIS.	166
2	OBTENCION DE LA MUESTRA TAMIZADA	167
3	MUESTRAS A SER ANALIZADAS MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS -X	168
4	MUESTRAS SELECCIONADAS PARA LA REALIZACION DE LAS PRUEBAS	169
5	INSPECCION VISUAL LODO BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)	170
6	INSPECCION VISUAL LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	171
7	INSPECCION VISUAL LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)	172
8	INSPECCION VISUAL LODO BASE EMULSION INVERSA (INVERMUL)	173
9	INSPECCION VISUAL LODOS SALADOS COMPARATIVOS BASE (Cl.K), (Cl <sub>2</sub> .Ca) Y (Cl.Na) RESPECTIVAMENTE	174
10	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE MINERALES DE ARCILLA EN (Me/100 gr.)	175
11	GRUPO I-A DE LA TABLA PERIODICA	176
12	INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODO BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)	177
13	INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	178
14	INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)	179
15	INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODO BASE EMULSION INVERSA (INVERMUL)	180
16	INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODOS SALADOS COMPARATIVOS BASE (Cl.K), (Cl <sub>2</sub> .Ca) Y (Cl.Na) RESPECTIVAMENTE	181
17	PRESION OSMOTICA EN LODO DE ACEITE	182
18	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODO BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)	183

Nº		<u>Pág.</u>
19	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	184
20	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODO BASE CLORURO DE POTASIO	185
21	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODO BASE EMULSION INVERSA	186
22	PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODOS SALADOS COMPARATIVOS BASE (Cl.K), (Cl <sub>2</sub> .Ca) Y (Cl.Na)	187
23	PRUEBA DE DISPERSION LODO BASE AGUA FRESCA	188
24	PRUEBA DE DISPERSION LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	189
25	PRUEBA DE DISPERSION LODO BASE CLORURO DE POTASIO	190
26	PRUEBA DE DISPERSION LODO BASE EMULSION INVERSA	191
27	PRUEBA DE DISPERSION LODOS SALADOS COMPARATIVOS BASE (Cl.K), (Cl <sub>2</sub> .Ca) Y (Cl.Na)	192
28	RESUMEN DEL POZO T. #1	193
29	CONDICIONES DE OPERACION EN EL POZO T. #1 A LAS PROFUNDIDADES RECOMENDADAS	194
30	PROPIEDADES PROMEDIO DE UN FLUIDO DE PERFORACION BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO) EN EL AREA DE ESTUDIO	195
31	PROPIEDADES PROMEDIO DE UN FLUIDO DE PERFORACION (SAL/DEXTRID) EN EL POZO T. #1	196
32	ETAPA INICIAL LODO BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)	197
33	ETAPA INTERMEDIA LODO LIGNOSULFONATO DESPUES DE 48 HRS.	198
34	ETAPA FINAL LODO LIGNOSULFONATO	199
35	ETAPA INICIAL LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	200
36	ETAPA INTERMEDIA LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	201
37	ETAPA FINAL LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	202
38	ETAPA INICIAL LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)	203
39	ETAPA INTERMEDIA LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)	204
40	ETAPA FINAL LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)	205
41	ETAPA INICIAL LODO BASE EMULSION INVERSA	206



Nº		<u>Pág.</u>
42	ETAPA INTERMEDIA LODO BASE EMULSION INVERSA	207
43	ETAPA INICIAL LODOS COMPARATIVOS (Cl.K), (Cl <sub>2</sub> .Ca) Y (Cl.Na)	208
44	ETAPA INTERMEDIA LODOS COMPARATIVOS (Cl.K), (Cl <sub>2</sub> .Ca) Y (Cl.Na)	209
45	ETAPA FINAL LODOS COMPARATIVOS (Cl.K), (Cl <sub>2</sub> .Ca) Y (Cl.Na)	210
46	DISEÑO ESTIMATIVO DE PERFORACION	211
47	MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO II	212
48	MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO III	213
49	MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV (LODO Cl.Na)	214
50	MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V (LODO Cl.Na)	215
51	MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV (LODO Cl.K)	216
52	MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V (LODO Cl.K)	217
53	MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV (LODO EMULSION INVERSA)	218
54	MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V (LODO EMULSION INVERSA)	219

## INTRODUCCION

Uno de los mayores problemas que actualmente tiene la industria de la perforación, es el costo de la perforación profunda especialmente costa afuera (off-shore), más aún cuando en busca de llegar al objetivo final (PT), se encuentra con que el fluido de perforación no es compatible con la litología encontrada.

Por tal razón este trabajo de investigación contribuye en un porcentaje a resolver un problema técnico operacional, intrínscico de la geología del Golfo de Guayaquil que es el de las arcillas expansivas o plásticas.

De tal manera que para seleccionar cuales o cual es el fluido de perforación más adecuado para contrarrestar inestabilidad de arcillas en el área del Golfo de Guayaquil, se procedió primero a tomar muestras de arcilla del pozo T. #1 a diferentes profundidades para luego realizar la prueba de difracción de Rayos - X (D.R-X) a diez de ellas, con el fin de determinar el tipo de minerales de arcilla que corresponden a dichas muestras y de esta manera poder identificar a que clase de arcillas corresponden.

Hago hincapié que la importancia de esta primera prueba radica en que al saber la mineralogía de las arcillas del área en estudio del Golfo de Guayaquil, se puede entonces

tener un mejor criterio de diseño de los fluídos de perforación, ante quienes reaccionarán las muestras de arcilla hidratándose o deshidratándose.

Luego de esta prueba se realizaron simultáneamente las pruebas de : inspección visual, intercambio iónico (catiónico), hinchamiento, dispersión y las pruebas concernientes a cada fluído de perforación diseñado.

Para tal efecto se prepararon cinco fluídos de perforación : uno base agua fresca (lignosulfonato), tres base agua salada (Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca, Cl.Na) y otro base petróleo (emulsión inversa), con el fin de establecer en cual de ellos reaccionarían positivamente las muestras de arcilla obtenidas del pozo en estudio.

Se sabe por literatura y experiencias con fluídos que los fluídos de perforación inhibitorios son los más aconsejables a ser experimentados en estos casos, pero por tratar se de un fin netamente comparativo, se prueba también con un fluído base agua fresca (lignosulfonato).

El proceso experimental de trabajo con los fluídos consiste de tres etapas bien definidas: Etapa inicial, que es cuando la bola no está en contacto con el fluído preparado; Etapa intermedia, cuando la bola de arcilla está en contacto con el fluído, para de esta manera durante 24 y

48 horas ver los efectos que se producen en la bola y fluído; y Etapa final que consiste en recuperar las propiedades establecidas inicialmente, siempre y cuando haya habido alteración alguna en el fluído.

Debo destacar que el hecho de hacer un análisis comparativo con los fluídos base agua salada (Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na) es eliminar la utilización del fluído menos compatible con las muestras de arcilla, que resultó en este caso ser el fluído base (Cl<sub>2</sub>.Ca).

En cuanto al estudio técnico-económico realizado a tres fluídos preseleccionados, dos base agua salada (Cl.K, Cl.Na) y uno base emulsión inversa, su evaluación se hace en base a un diseño estimativo de perforación, dividiendo la (PT) en dos zonas: A y B; y cada zona en sus respectivos intervalos, previo análisis detallado de la litología y estratigrafía de dicho pozo en estudio.

Los resultados de las pruebas antes mencionadas, al ser observados e interpretados, nos determinará cual es el fluído que técnica y económicamente contrarreste dicho problema, explicado al inicio de esta introducción.

Todos los análisis y pruebas experimentales fueron realizados en los laboratorios de Mecánica de Suelos y Fluídos de Perforación de la Escuela Superior Politécnica del Li-

toral, excepto los análisis de Difracción de Rayos - X que tuvieron que realizarse en el laboratorio de Rayos - X de la Escuela Politécnica Nacional (Quito).

Finalmente por la importancia del tema y dada su incidencia en el campo técnico-socioeconómico del país, este trabajo ha sido orientado desde el punto de vista netamente investigativo.

## CAPITULO I

### REVISION DE LITERATURA

El Golfo de Guayaquil se encuentra localizado en la plataforma continental de la costa del Océano Pacífico, al sur-oeste del territorio ecuatoriano, presentando hasta la fecha una caprichosa geología.

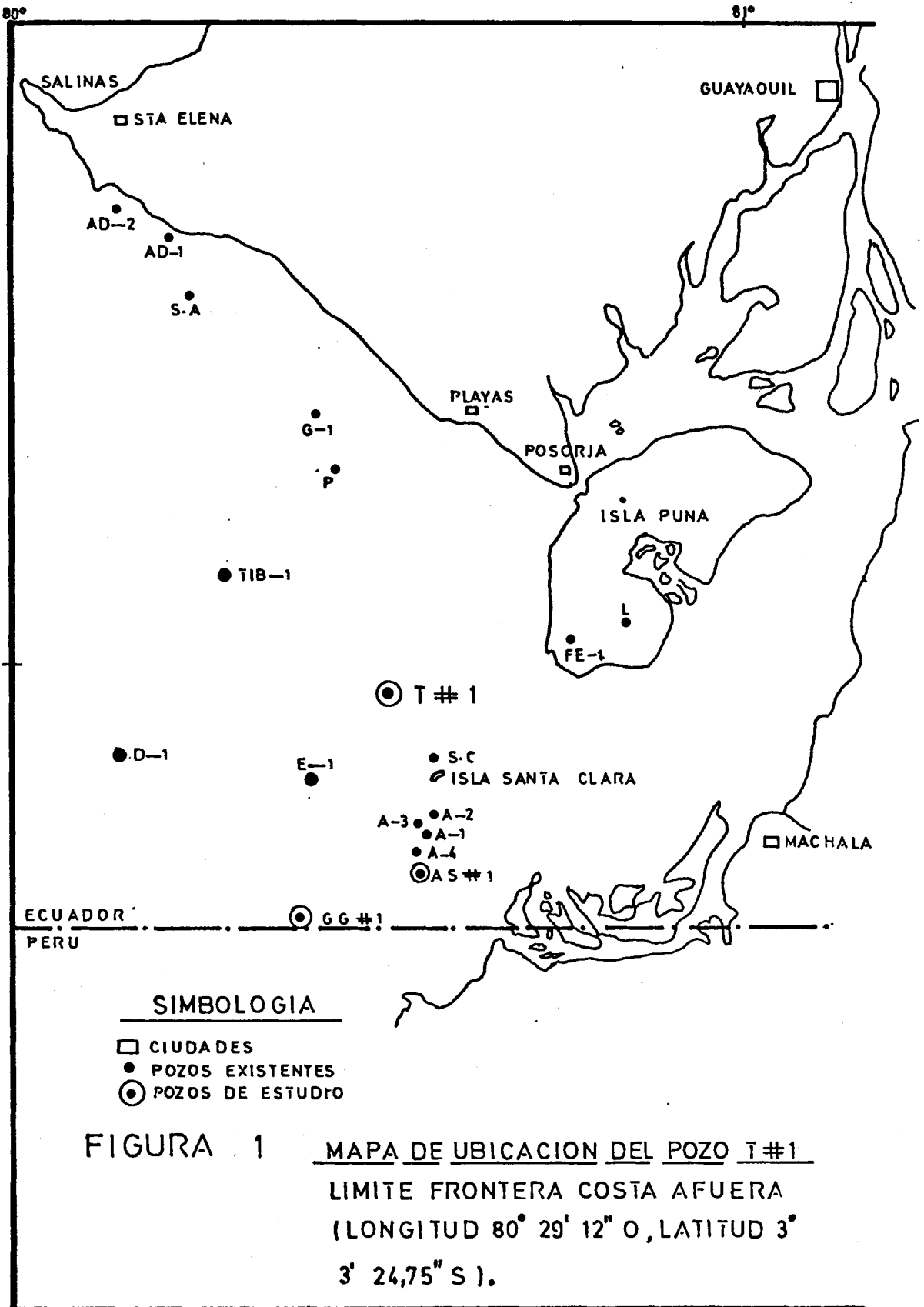
Según Woodside<sup>40</sup>, en su estudio posibilidades petrolíferas del Golfo de Guayaquil, afirma que la cuenca progreso es una cubeta sinclinal estrecha que corre de nor-este a sur-oeste y contiene sedimentos que van del período oligoceno al período reciente. Los límites sur-este y norte de la cuenca están claramente definidos por levantamientos de rocas cretácicas metamórficas y volcánicas de la cordillera occidental de los andes. En cambio en el lado nor-oeste la situación no es tan clara, pues la cuenca se extiende hasta tierra, y corre en dirección nor-oeste formando ángulo recto con el eje de la cuenca submarina.

A la vez Stalin Benites<sup>3,4</sup>, en su estudio morfología y sedimentos de la plataforma continental del Golfo de Guayaquil, del mapa morfotectónico del sur-oeste ecuatoriano concluye que la zona II (Graben Jambelí) se encuentra lo

calizada en un ambiente de depositación sedimentario, la cual se encuentra situada: al norte con la falla la cruz y falla posorja; al sur el levantamiento zorritos; al este con el perfil costanero y al oeste con la plataforma continental, Océano Pacífico (fosa marina).

Con estos antecedentes geológicos, en el año 1966-1969 la compañía ADA, descubre el campo amistad en el Golfo de Guayaquil; y entre los años 1969-1971 dicha compañía perfora varios pozos en el Golfo de Guayaquil, de los cuales los pozos perforados amistad 1,3 y 4, según datos demuestran poseer reservas de gas con un estimativo de ≈200-296 billones de pies<sup>3</sup> normales entre reservas probadas y probables.

Esto hace que en el Gobierno del entonces (extinto) Abogado JAIME ROLDOS AGUILERA, Presidente de la República, creara la UEGG en el año 1980, hoy llamada Subgerencia Regional CEPE Guayaquil, la cual entre sus finalidades tenía la de hacer trabajos de exploración en el Golfo de Guayaquil, para lo cual ésta contrata los servicios de una plataforma auto-elevable a la compañía Permargo International con la cual se perfora entre los años 1982-1983 tres pozos exploratorios: ver Fig. 1, G.G. #1, perforado en el campo frontera alcanzando una profundidad de 13.868 pies con un fluido de perforación base agua lignosulfona





to; A.S. #1, perforado en el campo del mismo nombre alcanzando una profundidad de 16.090 pies con un fluido de perforación base agua (lignosulfonado-agua salada  $\approx 100.000$  ppm  $Cl^-$ ) y T. #1, también perforado en el campo del mismo nombre alcanzando una profundidad de 15.428 pies con un fluido, en su mayoría sal/dextrid con una salinidad promedio de 80.000 y 100.000 ppm de ion ( $Cl^-$ ) respectivamente. Por tratarse de las primeras perforaciones y donde se carecía a su vez de información geológica necesaria, en el Golfo de Guayaquil existieron ciertos problemas durante la perforación de dichos pozos tales como: Pérdida del lodo a la formación, incorporación de sólido al lodo, pegamiento de tubería (pegamiento diferencial), presiones anormales, abastecimiento del lodo al pozo, falta de salinidad, hinchamiento de las arcillas, inestabilidad del hueco, entre otros, etc.

En virtud de estos problemas habidos y considerándose de mucho interés el problema de expansividad (hinchamiento) de arcillas plásticas, problema que es intrínscico en la Geología del Golfo de Guayaquil, se ha orientado éste trabajo de tesis a como minimizar dicho problema a través de un fluido de perforación adecuado, para lo cual las posibles soluciones que se darían se las concluirá al final del trabajo de investigación.

De los tres pozos perforados, esta investigación está en

su mayoría basada en datos e información del pozo T.#1, el cual presentó como litología y estratigrafía la siguiente :

## LITOLOGIA

El control litológico en el pozo se efectuó mediante el análisis microscópico de ripios de perforación, con una densidad de muestreo dependiente del interés formacional e hidrocarburífero (Ver columna litológica Fig. 2).

Las profundidades y densidades de muestreo se indican a continuación:

PROFUNDIDAD (pies)	DENSIDAD DE MUESTREO
350 - 4.200	cada 50 pies
4.200 - 7.260	cada 30 pies
7.260 - 8.700	cada 20 pies
8.700 - 15.428	cada 10 pies

A lo largo de la columna litológica del pozo<sup>7</sup>, Fig. 2, se puede observar con claridad que en la relación arcilla, arena, las zonas arcillosas predominan en casi toda la columna litológica con paquetes de arena y arenisca que se consideran de poca magnitud y que no reflejan zo-

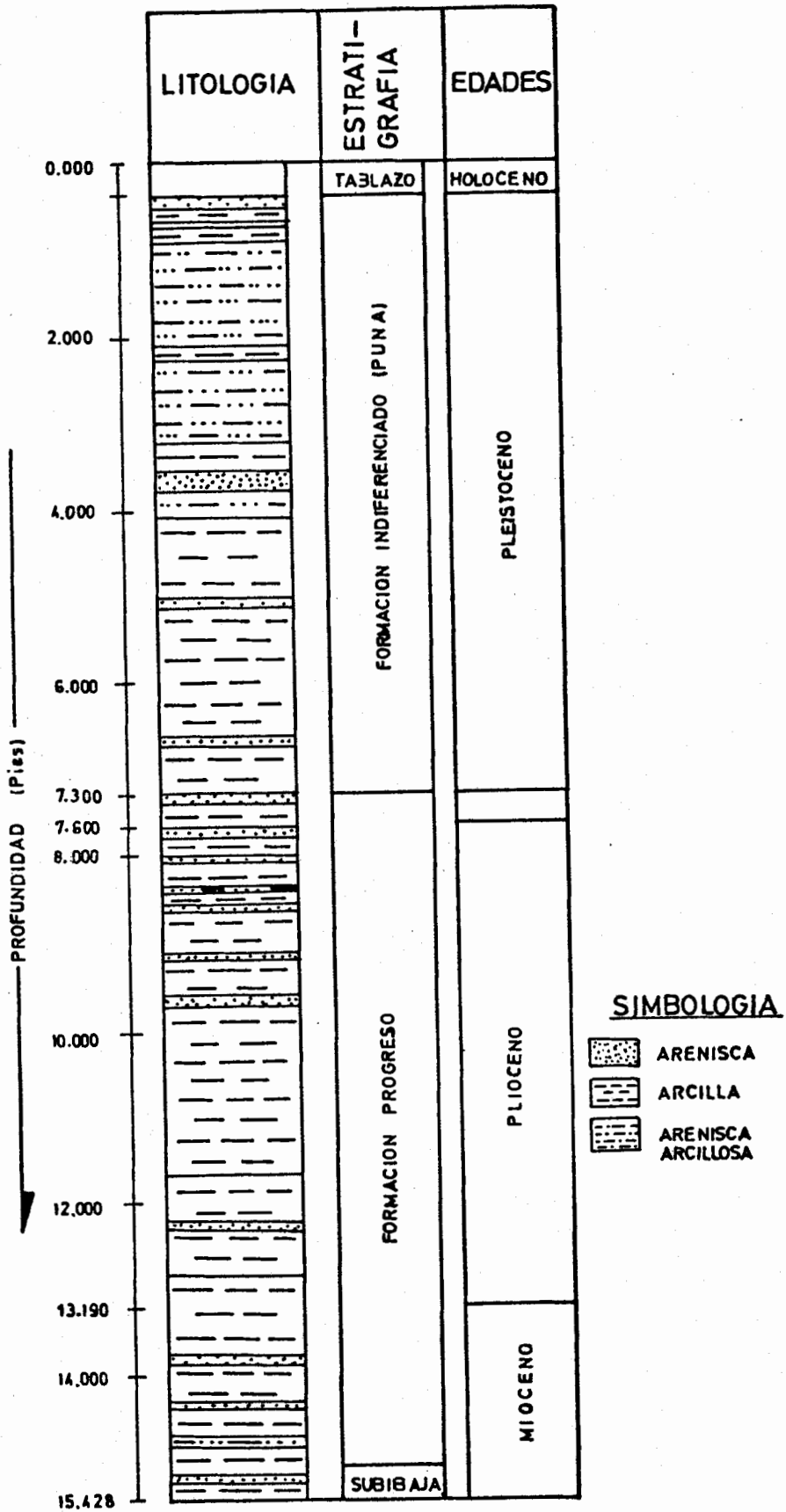


FIGURA 2 COLUMNA LITOLÓGICA Y ESTRATIGRÁFICA DEL POZO T#1  
 CEPE - SUBGERENCIA REGIONAL

nas arenosas notables.

La columna litológica se inicia con un paquete de arcilla que va hasta los 1.200 pies. Aquí desaparecen las areniscas y se continúa con arcillas y limolitas; esta secuencia se continúa hasta los 5.500 pies donde reaparecen las areniscas en poca cantidad, decreciendo aún más a partir de los 6.800 pies, hasta desaparecer por completo existiendo arcillas con intercalaciones de limolitas.

De 14.100 pies hasta 14.500 pies se perforaron areniscas con intercalaciones de lutitas. Luego hacia la profundidad total (P T) del pozo se vuelve a perforar una alternancia de arcillas, areniscas y limonitas. Se puede concluir que la columna litológica del pozo en un 70% es arcillosa, 20% arenosa y 10% limolítica.

## ESTRATIGRAFIA

La estratigrafía atravesada en el pozo T. #1 hasta los 15.429 pies<sup>7</sup>, fue controlada litológicamente durante la perforación, paleontológicamente en el laboratorio y correlacionada por medio de los registros eléctricos, determinándose las siguientes formaciones:

FORMACION	EDAD
Indiferenciado (Puná)	Pleistoceno
Progreso	Plioceno
Subibaja	Mioceno

FORMACION INDIFERENCIADO : Presenta las siguientes características: Tope 000'; base 7.300' (litológico); potencia 7.300'. La secuencia estratigráfica está representada por una alternancia de arcillas, limolitas, areniscas y arenas conglomeráticas.

FORMACION PROGRESO : Sus características son: Tope 7.300' (litológico); base 15.100'; potencia 7.800'. La secuencia litológica de esta formación se caracteriza por una alternancia de areniscas, limolitas y arcillolitas.

FORMACION SUBIBAJA : Presentó las siguientes características: Tope 15.100' (litológico); base sin definir; potencia sin definir.

Litológicamente el Tope de esta formación ha sido determinado a partir de los 15.100' por un cambio gradual de limolitas a arcillolitas, esta formación se caracteriza por ser arcillosa. Se presentan pequeñas capas de areniscas, arenas y limolitas, las mismas que se alternan con estratos mayores de arcilla y lutitas.

Por estudios paleontológicos y por análisis geoquímicos de varios núcleos de pared se puede deducir que la perforación del pozo no llegó más allá del mioceno medio inferior, por lo tanto no alcanzaría la formación dos bocas.

Como acabamos de ver según la litología y estratigrafía, el porcentaje de arcilla es bastante notorio a lo largo de la perforación del pozo y en general en los pozos perforados en el golfo, razón por la cual se profundizará en el campo de las arcillas plásticas.

### ARCILLAS

#### CICLO GEOLOGICO<sup>36</sup>

Para el geólogo las arcillas no sólo son partículas y agregados de partículas sino también rocas que consisten de ciertos minerales.

Los minerales no se encuentran en las rocas del centro de la corteza terrestre, pero abundan en la superficie. La respuesta radica en el ciclo de la materia a través de varios procesos geológicos.

El ciclo consta de cinco etapas :

- a) Las rocas profundas en la corteza terrestre suben a la superficie por la acción de los volcanes y los procesos tectónicos (fallas, doblamientos) que producen las montañas.
- b) Una vez en la superficie las rocas son expuestas a la acción del tiempo y a la erosión.

- c) Los productos así formados son transportados (principalmente por agua) a través de grandes distancias hasta ser depositados en cuencas sedimentarias.
- d) Los sedimentos se entierran lentamente y se transforman en rocas en el proceso conocido como diagénesis.
- e) Estas rocas sedimentarias pasan por metamorfismo y granitización que las transforma en granito.

Los minerales de las arcillas sólo existen en las tres primeras etapas.

#### EFFECTOS DEL TIEMPO

Los dos procesos principales de la acción del tiempo son la fragmentación y la Hidrólisis.

La Fragmentación que es la desintegración de rocas a través de mecanismos como la acción alterna de mojarse y se carse, congelarse y descongelarse.

La Hidrólisis comprende la reacción lenta de minerales primarios con el agua para formar nuevos minerales.

El efecto del tiempo sobre las rocas varía de acuerdo con el clima del área. La fragmentación y la hidrólisis se presentan en climas templados.

La Hidrólisis aumenta con la lluvia y la temperatura y es mínima en regiones frías y montañosas, la hidrólisis afecta al máximo en regiones tropicales, con estaciones alternas de invierno y verano. La lluvia ataca y disuelve las rocas arrastrando consigo elementos en orden de su solubilidad: sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, silicio y aluminio. Los materiales restantes se combinan formando los minerales de las arcillas. De manera que los minerales serán distintos de acuerdo con el clima de la zona donde se formen.

#### EFFECTOS DE LA SEDIMENTACION

Los ríos y riachuelos arrastran desde el continente toneladas de materiales incluyendo minerales de arcilla. Estos materiales se depositan en cuencas sedimentarias como océanos y lagos.

Las condiciones en el ambiente sedimentario puede transformar los minerales a través de un proceso conocido como fixación o reacondicionamiento. Mientras estaban en el continente los minerales fueron degradados a medida que perdían iones como potasio, magnesio, hierro y silicio. Estos iones se arrastran en solución hasta la cuenca. Cuando los minerales degradados entran en una zona de alta concentración de iones, tienden a volver a adquirirlos, quedando reaccionados como minerales.



## DIAGENESIS Y METAMORFISMO

Después que los sedimentos se depositan en el fondo de la cuenca, comienzan a ser enterrados paulatinamente hasta llegar a espesores de hasta 4.000 m. A medida que esta acumulación continúa, la temperatura y presión también aumenta; el agua es expulsada de los sedimentos y los lodos sedimentarios se convierten en rocas sedimentarias; las arenas se convierten en areniscas, etc. Este es el proceso de diagénesis.

Cuando se perfora un pozo, se deben tener en cuenta dos componentes de fuerzas que son muy importantes y que se deben determinar y balancear. Estas son la presión de poros de la formación y el esfuerzo de la matriz<sup>5</sup>.

En zonas donde la compactación normal de la lutita se ha interrumpido o cuando la diagénesis de minerales arcillosos (de montmorillonita) está todavía produciéndose, liberando agua de los poros (ver Fig. 3) encontramos presiones anormalmente altas (mayor de 9,0 Lb/gal) y el esfuerzo de la matriz anormalmente bajo.

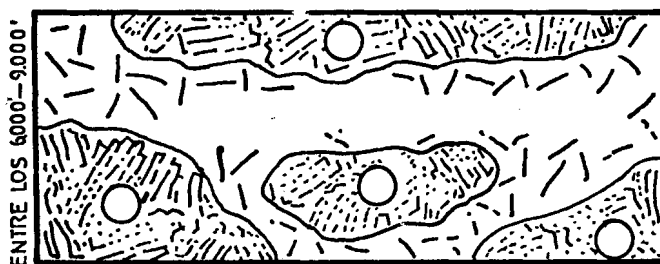
Con más calor y compactación el proceso se convierte en metamorfismo, por el cual las lutitas se transforman en filitas y luego en esquistos. A medida que el metamorfismo continúa, los minerales de arcilla se recristalizan co

## DIAGENESIS DE LA ARCILLA DE MONTMORILLONITA A ILLITA

A— MONTMORILLONITA ANTES DE LA DIAGENESIS



B— DESPUES DE LA DIAGENESIS A ILLITA



C— DESPUES DE LA DIAGENESIS Y LA COMPACTACION



▭ CAPA DE  
ARCILLA

▬ AGUA

○ PARTICULA DE  
ARCILLA

FIGURA 3 EFECTO DE LA DIAGENESIS  
Y LA COMPACTACION DE LAS  
LUTITAS.

mo minerales primarios.

Al final del ciclo no resta ningún mineral de arcilla original, sin embargo los precursores están en las rocas y podrán repetir un nuevo ciclo si llegan de nuevo a la superficie y son expuestos a la acción del tiempo.

Los cristales de los minerales de las arcillas son tan pequeños (muchos de ellos tienen menos de 2 micrómetros de ancho) que no se pueden distinguir inclusive con la a ayuda de un lente de aumento.

No fue sino hasta que las técnicas de difracción de rayos-X<sup>18, 36</sup>, análisis térmico diferencial y microscopía de electrones estuvieron desarrolladas que fué posible extraer, identificar y estudiar los minerales de las arcillas. Las arcillas son rocas en que estos minerales están mezclados en varias proporciones ( a veces también con arena, carbonato de calcio y óxidos de hierro) para formar la gran variedad de arcillas que se encuentran en la naturaleza. De manera pues que el término arcilla se usa en cuatro sentidos diferentes refiriéndose a:

- a) tamaño de unas partículas
- b) minerales
- c) rocas

d) el más común refiriéndose a un material que exhibe un comportamiento plástico.

#### ARCILLAS PLASTICAS

La arcilla está formada de partículas delgadas y planas con cargas eléctricas, la superficie de la partícula es grande comparada con su espesor.

En la arcilla seca los sólidos son de tamaño mayor de dos micrones, cuando la arcilla se pone en contacto con el agua se dispersa y los sólidos se subdividen en partículas menores a dos micrones.

Las arcillas varían entre aquellas que se hidratan y se hinchan y aquellas que se hidratan pero no se hinchan o lo hacen ligeramente. Las nativas o de formación son ligeramente hidratables.

Las arcillas mezcladas con agua forman masas plásticas. Las arcillas de textura esquistosa se denominan arcillas pizarrosas, éstas poseen la propiedad principal de las arcillas, de convertirse en plásticas al ser mezcladas con agua.

Las arcillas son materiales plásticos<sup>13</sup>, de grano fino, las partículas de arcilla son de naturaleza coloidal<sup>19</sup>.

En su estructura en forma de plaquetas, se encuentran comúnmente átomos de silicio, aluminio, magnesio, hidrógeno y de oxígeno. La diferente disposición de estos átomos en las moléculas y la presencia de pequeñas cantidades de sodio, calcio u otros cationes explican la amplia variedad de arcillas conocidas.

Algunas arcillas, en particular las montmorillonitas atraen y retienen moléculas de agua. Estas arcillas se llaman hidrofílicas. Las arcillas que no atraen el agua se llaman hidrofóbicas.

Si bien el tamaño coloidal de sus partículas hace que todas las arcillas sean activas en fluidos de base agua, el grado de actividad varía de una a otra. Las arcillas más activas son las montmorillonitas y las atapulguitas.

#### QUIMICA DE LAS ARCILLAS PLASTICAS

Desde el punto de vista de perforación los grupos de minerales que más nos interesan son: kaolín, montmorillonita, illita y de láminas mezcladas.

**MONTMORILLONITA** : La estructura de la montmorillonita está compuesta de 2 láminas de tetra edros de sílice con una de octaedros de alúmina en el centro: Gibsonita o Brucita dependiendo de si el átomo central es aluminio o magnesio respectivamente.

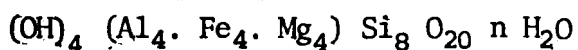
Un tetraedro de sílice tiene un átomo de silicio equidistante de 4 oxígenos o hidróxilos. Estos tetraedros están dispuestos en una red hexágona formando una lámina.

La unidad octaedro consiste de un átomo de aluminio, hierro o magnesio que está equidistante de seis átomos de oxígeno o hidróxilos.

Las cargas eléctricas dentro de esta unidad están desbalanceadas por una carga, ésta se neutraliza parcialmente por la absorción de iones (Ca, Mg, H y Na) en la superficie exterior y entre las capas de mineral.

La característica especial de la montmorillonita es la de que el agua y otras moléculas pueden entrar entre las láminas y causar la expansión de la estructura cristalina. La cantidad de agua que se va a dejar entrar es controlada por la naturaleza del catión que se puede cambiar.

Su fórmula teórica es :



La montmorillonita puede ser: montmorillonita sódica, la cual en agua dulce se hincha hasta ocupar 10 veces su volumen original y 3 veces en agua saturada de sal, ésta tiene un PH de 8 y una gravedad específica de 2,35.

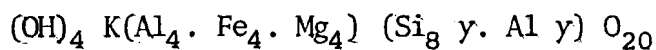
Montmorillonita cálcica, ésta no absorbe suficiente agua para dispersarse (hincharse) y cuando se agrega al lodo de perforación actúa como sólido inerte, ver Fig.4.

ILLITA : La estructura de la illita consta de dos tetraedros de sílice con una lámina central que es un octaedro de alúmina (Brucita o Gibbsita). Su estructura es muy parecida a la de la montmorillonita.

Las illitas se distinguen de la montmorillonita en que tienen más reemplazo de iones de (Al) por (Si) en la lámina de tetraedros. La deficiencia de carga eléctrica en estas arcillas es balanceada generalmente por un ión potasio.

Estos minerales, llamados illitas degradadas dejan entrar el agua entre las láminas causando expansión.

Su fórmula teórica es: (Ver Fig. 5)



KAOLINITA : Formada por una hoja de tetraedros de sílice y una de octaedros (Gibbsita).

Tiene las cargas eléctricas balanceadas y existe muy poca sustitución de iones. Este cristal se expande poco

FORMULA  $(OH)_4 (Al_x Fe_x Mg_x) Si_8 O_{20} n H_2O$

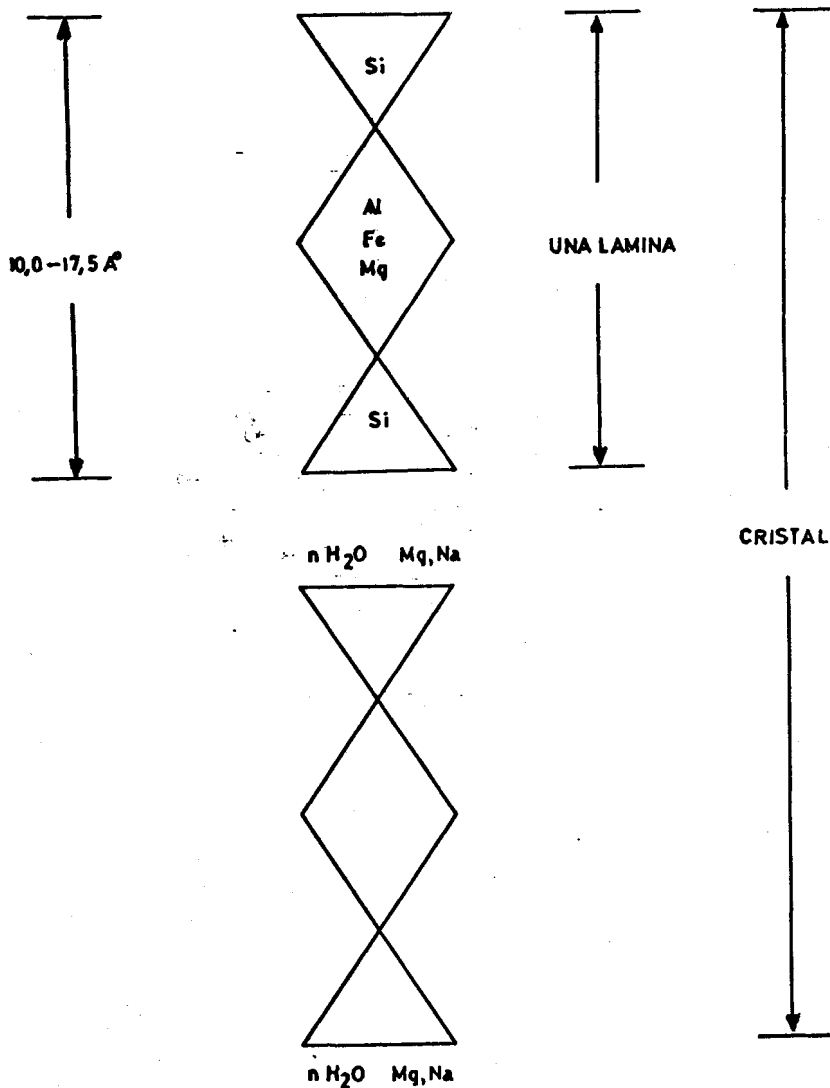
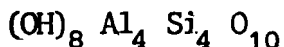


FIGURA 4 DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA DE LA MONTMORILLONITA



en presencia del agua. Su fórmula es : (Ver Fig. 6)



Tres propiedades características de las arcillas de inte  
rés particular para la industria petrolera y que están  
interrelacionadas son las de:

1. ADSORBER Y RETENER AGUA : El agua se puede adsorber a  
las arcillas de tres maneras:

a) Agua de cristalización: Es parte integral de la  
estructura que constituyen a la arcilla y están  
tan bien unidas que se necesitan altas temperatu-  
ras para liberarlas. Por ejemplo las kaolinitas  
requieren de 550-600°C; las illitas de 500-650°C  
y las montmorillonitas de 600-700°C.

b) AGUA DE UNION ROTA : Es la que se adsorbe en las  
esquinas y las orillas de los cristales que forman  
la arcilla , a fin de satisfacer las cargas de io-  
nes localizadas en estas posiciones, lo cual resul-  
ta cuando una partícula de arcilla es rota. La ca  
pacidad de una arcilla para adsorber agua en estos  
lugares aumenta a medida que el tamaño de la parti-  
cula disminuye.

c) EL AGUA DEL PLANO : Es aquella que se puede adsor-

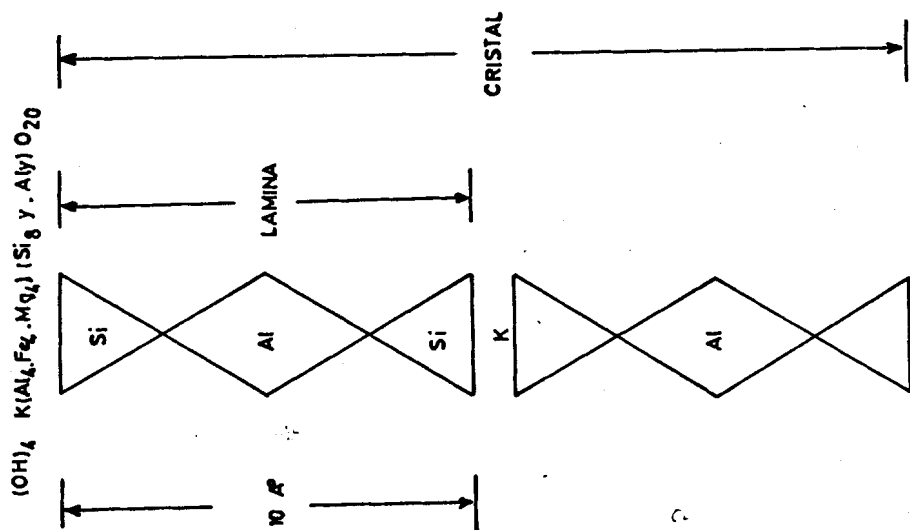


FIGURA 5 DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA  
CRISTALINA DE LA ILLITA

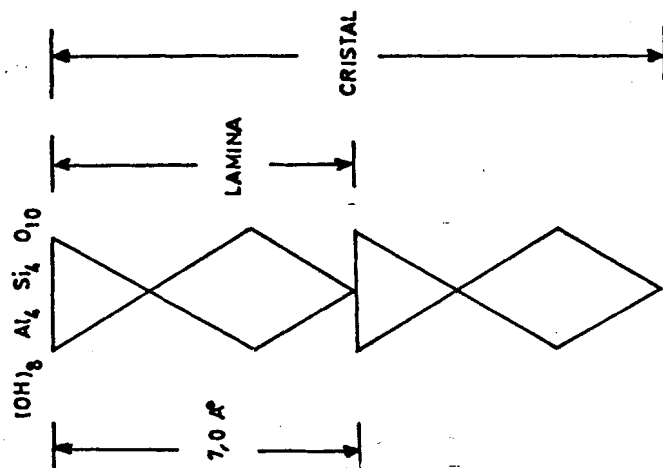


FIGURA 6 DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA  
CRISTALINA DE LA KAOLINITA

ber en las superficies del tope y la base de las unidades que forman el cristal. La superioridad de la montmorillonita en lodos de perforación se debe principalmente a la adsorción de grandes cantidades de agua en estos planos. Esta misma propiedad causa que las arcillas y lutitas del tipo montmorillonita se hinchen y derrumben durante la perforación.

2. INTERCAMBIO DE LA BASE : Un catión de menor atracción se le puede dejar ir y cambiarlo por uno de mayor atracción sin por eso alterar la estructura o cristal de la arcilla. Esta propiedad de las arcillas de intercambiar cationes entre la unidad estructural o cristal y una solución de agua que tenga unidad son illita , clorita, montmorillonita y kaolinita.
3. FLOCULACION Y DEFLOCULACION : Los factores importantes en la floculación y defloculación son:
  - a) Tipo y concentración de los electrolitos presentes en el fluido;
  - b) Efectos del cambio de base en la arcilla;
  - c) PH de la solución.

La floculación es un proceso constante y en el cual participan las partículas en suspensión a no ser que esto sea intencionalmente prevenido.

El grado de defloculación es también controlado por la capacidad de cambio de base de la arcilla, concentración de cationes intercambiables en la superficie de la arcilla, concentración de cationes en el fluido que rodea la partícula y el PH.

DAÑOS OCASIONADOS POR ESTAS ARCILLAS PLASTICAS EN DICHA ZONA.

LUTITAS DESMORONABLES : La inestabilidad de la pared del pozo que se presentó durante la perforación de lutitas difíciles de mantenerlas en sitio, es un problema que ocurre en casi todos los campos petrolíferos del mundo. A pesar de los esfuerzos para controlar éste problema, las lutitas inestables o desmoronables siguen siendo la causa de :

- 1) Ensanchamiento del hueco;
- 2) Malas cementaciones;
- 3) Huecos demasiado estrechos;
- 4) Atascamiento de tubería;
- 5) Acumulación de derrumbe en el fondo del hueco después

de sacar y meter la sarta de perforación;

- 6) Aumento del contenido de sólidos en el fluido de perforación;
- 7) Problemas de pesca;
- 8) Incremento del costo del fluido de perforación.

Las causas principales del desmoronamiento de lutitas son:

- A.- Aplicación de técnicas inadecuadas de perforación
- B.- Reacción desfavorable del fluido de perforación con las formaciones inestables.

Los problemas que ocasionan las lutitas se analizan y se solucionan de acuerdo al tipo de lutita<sup>15,20</sup>

Las lutitas contienen diferentes tipos de arcillas que reaccionan de diferente modo en presencia de agua, estas arcillas son por lo general:

- a) Montmorillonita
- b) Illita
- c) Clorita

El control de las lutitas hidratables, dispersables y quebradizas se hace con un fluido de actividad equilibrada.

FACTOR DE LUTITA : Es una prueba para determinar el contenido de arcilla de una muestra de arena y lutita. También ayuda a buscar o ubicar formaciones inestables que causan problemas.

#### DAÑOS EN EL POZO POR INTERVALOS<sup>6</sup>

INTERVALO III (1.006' - 4.206') : Al bajar la tubería de revestimiento, ésta se atascó y se pegó a una profundidad de 1.965 pies. Dado que se siguió teniendo circulación, es casi necesariamente un pegamiento de índole diferencial.

INTERVALO IV (4.206' - 8.701') : Este tramo tuvo problemas en cuanto al desempeño mismo del lodo. Los problemas se pueden resumir en la contaminación del calcio y la incorporación de sólidos desde los 5.700 pies. El más grave de los problemas fue la incorporación de sólidos, ya que el calcio fue controlado con bicarbonato de sodio . Pero hay que hacer incapié el hecho de tener esta contaminación, ya que las arcillas encontradas a esta profundidad, son calcareas que pueden dar buena indicación para pozos posteriores. El hecho de que hubo una contaminación de ión-calcio, indicando una arcilla de naturaleza calcarea, dice que la sal predominante en la formación de esta zona no es el sodio, sino más bien el calcio. La

sal con la cual se trata de inhibir la formación en el momento es el cloruro de sodio (Cl Na) y por lo tanto se reduce la capacidad de inhibir la formación dada la discrepancia entre los dos iones.

Por último, la incorporación de sólidos que se experimentó, recalca el hecho de que el lodo de por sí no pudo de tener eficazmente la desintegración de las arcillas. Esta desintegración llevó a la incorporación de estas arcillas al lodo (como sólidos muy finos de tamaño coloidal) dando problemas ya notados de filtración, salinidad y reología.

INTERVALO V (8.701'-13.533') : Los problemas surgidos durante este intervalo fueron la pérdida de circulación y el aumento de sólidos.

La pérdida de circulación fue solucionada con el material obturante adecuado. Por otro lado, la formación de 12.100 pies se vuelve casi 100% arcilla muy plástica mojada e hinchable. Durante este tramo se vio una disminución alta de los ripios recobrados por la saranda.

Se puede deducir que, dada la naturaleza de la formación y estos indicadores que la formación perforada se estaba incorporando como sólidos finos de tamaño coloidal antes de llegar siquiera a la superficie.

El tamaño de los sólidos de arcilla contemplados aquí deberían ser de 20 y 40 micrones, necesitando de una máquina centrífuga para eliminarlos.



## CAPITULO II

### ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA

Las lutitas son formadas por la composición de sedimentos, usualmente éstos consisten de una variedad de porcentajes de cuarzo, feldes pato, calcita y diferentes fracciones de arcilla.

De las varias formaciones que son encontradas en el transcurso de la perforación de un pozo<sup>31</sup>, la más susceptible a inestabilidad es la lutita.

Las arenas no - consolidadas, usualmente encontradas a pocas profundidades, pueden ser erosionadas por el flujo de perforación en flujo turbulento.

Esencialmente las lutitas son rocas que contienen arcillas. Las rocas lutíticas son formadas por la compactación de sedimentos.

El grado de compactación de los sedimentos es proporcional a la profundidad a que se encuentra la lutita, siempre y cuando el agua tenga una manera fácil para escapar a un nivel permeable. Los sedimentos jóvenes se ablandan y se dispersan cuando son mezclados con el agua. Las lutitas más viejas han sido sometidas al proceso de diagénesis, y pueden mantenerse duras y menos propensas a su dispersión en el agua.

El término lutita se aplica a toda roca desde la arcilla hasta materiales lutificados tal como la pizarra.

Las arcillas blandas o suaves reaccionan extremadamente en la presencia del agua, mientras las pizarras son relativamente inertes.

La cantidad de arcilla, el tipo de arcilla, la profundidad y la cantidad de agua dentro de una lutita dada, se relacionan a la estabilidad de la lutita. La cantidad de arcilla dentro de una lutita dada, depende de la composición de los sedimentos lutíticos en la época en los cuales se depositan. El tipo de arcilla dentro de una lutita dada, depende no sólo en la composición al tiempo de depositarse sino también en los cambios que pueden ocurrir luego de ser enterrados.

Desde el punto de vista de la estabilidad del hueco perforado, las arcillas pueden ser clasificadas como expansibles y no expansibles. Las arcillas expansibles están clasificadas como el grupo de smectitas. La montmorillonita (Bentonítica), es un miembro de este grupo que exhibe un alto grado de inchamiento. Las arcillas no expansibles más comunes son: illita, clorita, kaolinita.

El grado de hinchamiento de ambos tipos de arcillas varía enormemente con el tipo y la cantidad de sales di-

sueltas en el agua con el cual se moja la arcilla.

La cantidad de agua dentro de una arcilla dada depende de la profundidad de enterramiento y del tipo de arcilla dentro de la lutita. El agua se exprime de la lutita por medio de la presión ejercida por el peso de sobrecarga de la tierra al nivel de enterramiento. Una buena aproximación a la presión de sobrecarga es 1 Psi/pie de profundidad.

#### CAUSAS DE LA INESTABILIDAD DE LA LUTITA

La inestabilidad de la lutita puede resultar de cualquiera de las siguientes fuerzas, en combinación o por sí solas :

- 1) Presión de sobrecarga
- 2) Presión de poro
- 3) Fuerzas tectónicas
- 4) Absorción de agua (Dispersión-Hinchamiento)

Cuando la presión de sobrecarga excede la fuerza innata de la formación por el proceso desarrollado de la perforación de un pozo, surge en varias formas la inestabilidad del hueco. Un conocido ejemplo de este fenómeno es el flujo plástico que ocurre en la lutita geopresurizada. El contenido de agua y la plasticidad de la lutita son a-

normalmente altas en relación a la sobrecarga, y la arcilla se introduce al hueco por medio de este flujo plástico.

Cuando la presión ejercida por el fluido de perforación es menor que las presiones de los fluidos dentro de los poros de las rocas perforadas, la diferencia de presiones hacia el hueco tiende a fragmentar la roca y hacerla caer hacia adentro. Tales derrumbes es más probable cuando la roca es más impermeable.

Fuerzas tectónicas resultan de los esfuerzos geológicos impuestos sobre un estrato dado provenientes de las deformaciones en la superficie de la tierra. Dichas deformaciones se denominan como pliegues y fallas, y es un resultado normal de la formación de montañas. Dichos esfuerzos geológicos son rápidamente aliviados cuando se trata de lutitas que son fácilmente deformables, mientras tienden a permanecer cuando las rocas son duras. Sólo se necesita una pequeña absorción de agua para crear suficiente esfuerzo indicando que fragmentos de la lutita se derrumban dentro del hueco.

#### CLASIFICACION DEL PROBLEMA DE LUTITAS

Varias clasificaciones de problemas de lutitas, son propuestos por O'brien y Chenevert<sup>14,32</sup>, su clasificación es

tá basada en la dispersibilidad de la lutita en agua fresca y el contenido de arcilla. Darley<sup>15</sup>, escribe que el único daño que distingue a varias lutitas es su dispersibilidad en agua. El problema de lutitas puede ser ampliamente clasificado por su mecanismo de fallamiento (inestabilidad) en : Lutitas hidratables y Dispersas; Lutitas derrumbables y lutitas presurizadas.

LUTITAS HIDRATABLES Y DISPERSAS : El proceso de hidratación (hinchamiento) y dispersión es afectado por la cantidad y tipo de arcillas en la lutita.

HIDRATACION : Resulta de dos mecanismos distintos;

Hidratación Superficial<sup>31</sup>. Con el término "Lutitas" se entiende rocas que contienen arcilla y que fueron compactadas y parcialmente deshidratadas. Para cada determinado tipo de lutita la fuerza de compactación es igual al peso de los estratos sobrestantes o "Sobrecarga" menos la presión de formación para el estrato particular.

Cuando se perfora la formación el esfuerzo lateral se reduce y estas lutitas quieren absorber agua con una fuerza igual a la fuerza de compactación que causó su deshidratación.

Es así posible fijar dos principios generales :

- 1) A mayor profundidad de la lutita, más grande su fuerza de hidratación superficial;
- 2) A mayor presión porosa contenida en la lutita, menor su fuerza de hidratación superficial.

Cuando por causa de la perforación se reduce el esfuerzo lateral, si la lutita entra en contacto con el agua, su fuerza de hidratación produce absorción y la consiguiente hinchazón.

La inestabilidad del hueco se debe a la absorción inicial de agua, pero la hidratación superficial no es la única causa de la hidratación e hinchazón de la lutita.

Hidratación Osmótica, que es en primer lugar la expansión de la red estructural de la misma partícula causada por la adsorción de agua en la superficie de la partícula de arcilla en compañía de iones.

Una masa de lutita puede actuar como una membrana semipermeable que permite el paso del agua pero limita el movimiento de los iones disueltos en la misma. Cuando se perfora lutitas, si la concentración de los iones del agua del fluido perforante es más baja de aquella del agua intersticial contenida en la lutita, se crea una fuerza de hidratación osmótica; pero, si la concentración de io

nes del agua del fluido es la más alta, se desarrolla una fuerza de deshidratación osmótica.

Cuando se perfora una lutita por medio de un fluido acuoso ambas fuerzas pueden desarrollarse. Si el fluido es a base de agua dulce, ambas fuerzas cooperan en causar hidratación e hinchazón de la lutita. Si el fluido tiene alta salinidad, la fuerza osmótica tenderá a causar deshidratación. Sin embargo, los experimentos han comprobado que una fuerza de deshidratación osmótica no impide la hidratación superficial.

Debido a que las fuerzas de hidratación superficial para lutitas de presión normal a profundidades debajo de los 2.000 pies, superan los 1.000 psi, es probable que fluidos de alta salinidad causen la hidratación de la lutita en lugar de producir su deshidratación.

DISPERSION : Es una continua y frecuente desintegración de las lutitas superficiales, la dispersión resulta cuando la fuerza de aprisionamiento (unión) entre las partículas es reducida por la entrada de agua.

Por eso es importante y difícil reconocer la variedad de reacciones de las arcillas cuando están expuestas al agua. Las arcillas que son más comúnmente encontradas en

lutitas pueden estar agrupadas como minerales de arcilla en : Montmorillonita, Illita , y Cloritas.

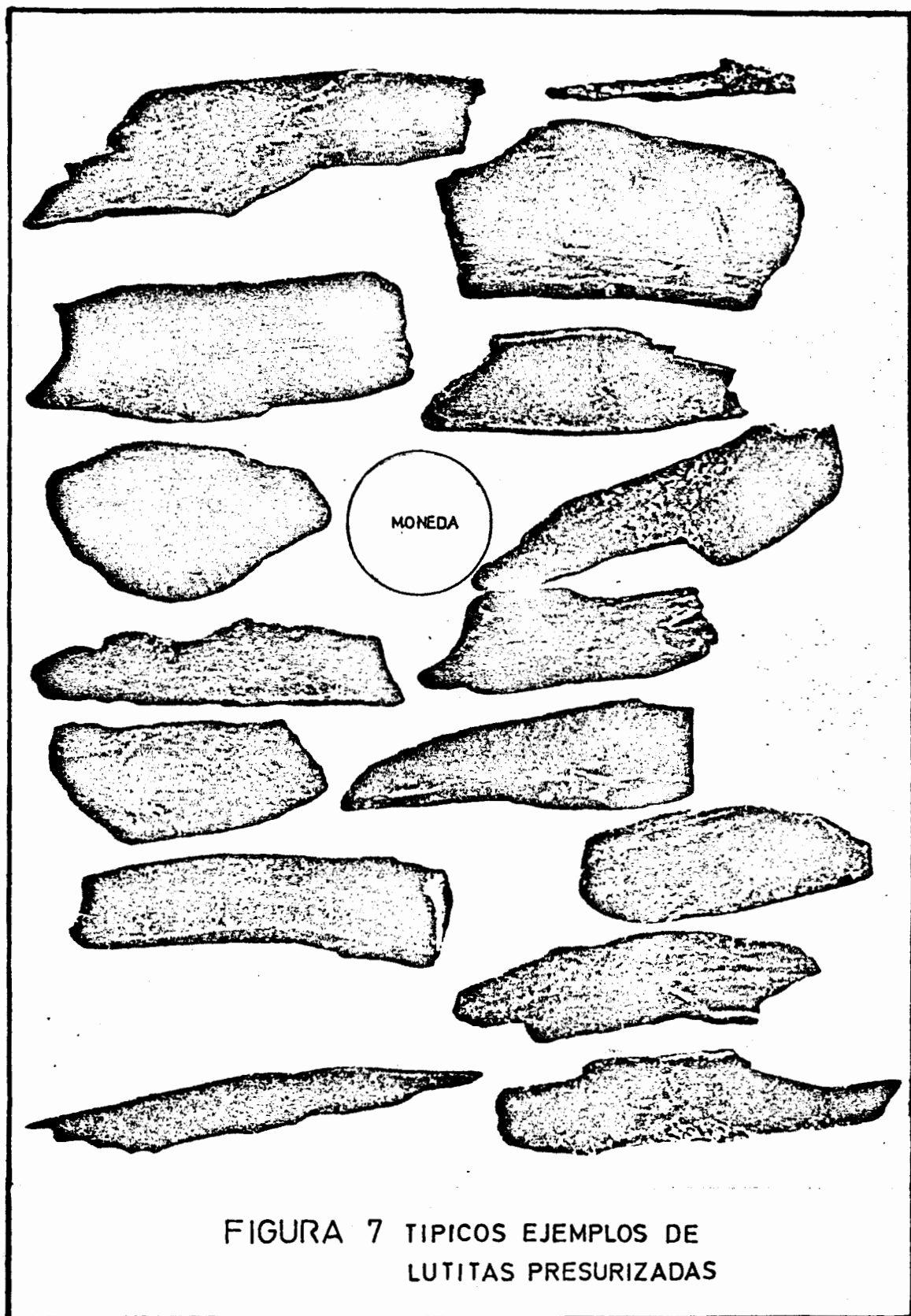
**LUTITAS DERRUMBABLES** : Estas aparecen totalmente estables y compactadas sólomente se derrumban o precipitan cuando están en contacto con el agua.

La inestabilidad de lutitas derrumbables pueden ser causada por cualquiera de los dos mecanismos: Primero las lutitas pueden ser expandidas por hidratación de microfracturas superficiales del plano de estratificación y fragmentos (trozos) dentro de la estructura de la lutita. Grandes fragmentos de lutita, entonces se derrumban en el interior del pozo. El segundo mecanismo resulta cuando pequeñas cantidades de arcilla están rodeadas por una completa no hinchazón de la matriz de Cuarzo/Feldespatos. Aún la mala hidratación de las arcillas causará alto diferencial de la presión de hinchamiento y hacer la formación inestable.

**LUTITAS PRESURIZADAS** : El mecanismo de presurización de lutitas es más bien físico. La inestabilidad es causada por desmoronamiento superficial del diámetro interior del pozo o por deformación plástica dentro del hueco. La Figura 7 presenta típicos ejemplos de lutitas presurizadas.

La inestabilidad resulta cuando el esfuerzo diferencial





excede la fatiga (fuerza) de la formación. El esfuerzo de la formación está relacionado al grado de desbalance entre la presión hidrostática del fluido de perforación y la presión desde la formación. La inestabilidad de lutitas presurizadas son mejor controladas por incremento de peso al fluido de perforación.

#### ESTUDIO DE ARCILLAS DEL POZO T. #1

##### OBTENCION DE MUESTRAS

Según ciertos criterios técnicos<sup>3,4,7</sup>, existen tres formaciones : Indiferenciado (Puná), Progreso y Subibaja, y lo que se quiere saber es si hay o no arcillas expansivas en las formaciones antes mencionadas. Para tal efecto el Departamento de Geología Regional CEPE-Guayaquil recomienda seleccionar las siguientes muestras en base a un análisis de los registros eléctricos y más criterios técnicos, Tabla 1.

Las muestras que fueron obtenidas del pozo T.#1 se las envió en tarros herméticamente cerrados, conteniendo en su interior un preservativo de zephiran chloride que actúa como bactericida no permitiendo a su vez la alteración de la muestra.

##### TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA

ETAPA DE SECADO : Los recipientes que en su interior con

tenían la muestra, fueron abiertos en su parte superior con un abrelatas, el cual permitió que no cayera a interior desperdicio alguno y pudiera contaminarla. Luego estas muestras fueron secadas en un horno eléctrico durante 24 horas y a una temperatura promedio entre (50 - 80)°C, API.

TRITURAMIENTO (SEPARACION) : De la variedad de métodos que existen para este propósito, se utilizó el "Método del Mortero". El cual consiste en triturar la muestra manualmente, con la finalidad de no desperdiciar muestra ya que la cantidad que se poseía era muy poca. A medida que el trabajo avanzaba, se desmoronaba la muestra en terrones más pequeños, hasta alcanzar el objetivo deseado, que es obtener los granos más finos de la muestra.

TAMIZADO : Para esta etapa se utilizó un tamiz de malla 200 mesh, el cual permite que pase la arcilla (plástica) que se necesita para hacer en el futuro las pruebas recomendadas.

Las muestras tamizadas se pueden ver en Tabla 2.

El pasante de la muestra tamizada fue puesta en fundas plásticas con su respectiva numeración, de acuerdo a su profundidad.

## PRUEBAS DE LABORATORIO<sup>20</sup>

Las pruebas de laboratorio deben ser realizadas después del problemas de lutitas, para que el fluido recomendado a usarse en dicho campo, sea el técnicamente adecuado . Estas pruebas aciertan en la clasificación de los problemas de lutitas. Una clasificación programada es simplemente una guía para el uso de un mejor fluido de perforación ante una lutita particular. Las pruebas serán realizadas en cortes o muestras y en diferentes tipos de fluidos. Al final la única prueba válida, será la que vaya a realizarse en el campo.

Las principales pruebas de laboratorio para determinar el fluido de perforación recomendado para una inestabilidad de lutitas son: Difracción de rayos X, inspección visual, capacidad de intercambio iónico, pruebas de hinchamiento y pruebas de dispersión.

### 2.1 PRUEBAS DE DIFRACCION DE RAYOS-X

La difracción de rayos-X, hace un estudio analítico en base a la cristalinidad de la materia, siempre y cuando ésta esté ordenada<sup>18</sup>.

El difractómetro de rayos-X utiliza radiación monocromática y registra la información en una cinta de

papel. La muestra para el análisis difractométrico se prepara reduciéndola a polvo fino, que se extiende uniformemente sobre la superficie de una porta, usando una pequeña cantidad de adhesivo. Si la muestra ha sido preparada de forma adecuada, habrá millares de partículas pequeñísimas en el porta en todas las orientaciones. Si un plano tiene un espacio ( $d$ ) que refleja con un ángulo ( $\theta$ ), no aparece evidencia de esta reflexión hasta que el tubo contador ha girado  $2\theta$ . En este momento el rayo reflejado se amplifica y mueve la pluma del registrador. Así, a medida que el tubo contador recorre el registrador, la cinta de papel registra el pico de la reflexión de la muestra.

El ángulo  $2\theta$  en el cual se ha producido la reflexión se puede leer directamente de la posición del pico en el papel. La altura de los picos son directamente proporcionales a las intensidades de las reflexiones que lo causaron.

$$n\lambda = 2d \text{ Sen}\theta$$

El papel sobre el cual se registra está dividido en décimas de pulgada y se mueve a velocidad constante. Un registro por difractómetro puede hacerse en una

hora. En una carta difractométrica puede ser determinada gráficamente la altura del pico con gran exactitud.

Para medir los valores  $2\theta$  éstos se leen directamente en el registro difractométrico en grados, para luego con la ayuda del fichero de la American Society for Testing and Materials (ASTM) identificar él o los minerales convirtiendo los grados a Amstrongs (A).

En conclusión la prueba de difracción de Rayos-X determina los relativos porcentajes de los varios minerales de lutita. Los diferentes tipos y cantidades de arcilla presente dirán que tipo de fluido de perforación deberá ser usado en dicha zona de arcillas expansibles. El estudio de arcillas por difracción de rayos-X se realizó utilizando un difractómetro Phillips, tubo de cobre, radiación  $K\alpha$  ( $\lambda=1.54178 \text{ \AA}$ ) - Cu  $K\alpha$  y filtro de grafito.

ANALISIS DE MUESTRAS : De las muestras tamizadas , sólo 10 fueron analizadas mediante difracción de rayos-X y son las que se indican en la Tabla 3.

El estudio de difracción de rayos-X fue realizado bajo la responsabilidad del Ing. T. Espinoza<sup>17</sup>, y de

Robertson Research (U.S.) Inc. , respectivamente .  
A su vez de la correlación de estos dos trabajos se  
concluyó que :

- 1) Las muestras del Pozo T. #1 son en su mayoría li  
molitas, lutitas, cuya composición dominante de  
arcilla, cuarzo, plagioclasas y pirita fueron de  
tectadas.
  
- 2) La mineralogía de las arcillas según microscopía  
electrónica de barrido/análisis de energía dis-  
persa y difracción de rayos-X demuestra que es  
dominante la mezcla de estratos arcillosos (illi  
ta/smetita), el cual contiene cerca de 15-30% de  
illita.

Illita dispersa se encuentra en menor cantidad .  
Arcilla y materiales amorfos están en un rango  
de 16-57%. En la mezcla de estratos arcillosos  
es dominante la fracción de arcilla en el rango  
de (45-100)%.

- 3) Según Espinosa T.<sup>17</sup>, detecta gran porcentaje de  
montmorillonita cálcica seguido de poco porcenta  
je de montmorillonita sódica y de otros filosili  
catos como: illita, cloritas, micas tipo mosco-

vita, hidrómicas y minerales caoliníticos.

Finalmente el mayor porcentaje de arcilla (plástica), se detecta en el intervalo comprendido entre (12.200-12.300) pies de profundidad, con un rango de mezcla de estratos arcillosos de 88-90%. Esto hace que de las 10 muestras tomadas a diferentes profundidades, se seleccionen seis muestras representativas tanto en porcentaje de arcilla como en cantidad de muestra tamizada. Cabe mencionar que la muestra correspondiente a la profundidad antes mencionada nos servirá de patrón en el normal desarrollo de todas las pruebas a realizarse, como se muestra en la Tabla 4, Gráfico 1.

## 2.2 INSPECCION VISUAL

Aunque no se trata de una prueba cuantitativa<sup>20</sup>, es necesaria ya que gracias a ella, se puede tener una mejor visión del comportamiento de las arcillas frente a un determinado fluido. Esta prueba hace que veamos físicamente el cambio que se produce en la muestra de arcilla, al estar en contacto con un cierto fluido durante determinado tiempo. Esto nos permitirá tener un mejor criterio del comportamien-



to de las arcillas (plásticas).

DESARROLLO DE LA PRUEBA : Para este propósito se trabajó con las seis muestras seleccionadas y se procedió de la siguiente manera :

- 1) Se pesó (20 gr); (20 gr); (20 gr); (10 gr); (20 gr) y (10 gr) correspondientes a las muestras N° ①, ②, ③, ④, ⑤ y ⑥ respectivamente. La cantidad de las muestras ④ y ⑥ no es igual a las restantes, debido a la poca cantidad que se posee de muestra tamizada.

Debo mencionar que los flúidos comparativos base : Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca, y Cl.Na, fueron probados en la muestra N° ⑤.

- 2) Luego se procedió a formar pequeñas bolas, mediante el uso de agua destilada, para de esta manera, mediante trabajo manual, dar la forma de una bola a la muestra de arcilla.
- 3) Finalmente se pesó la bola hecha.

Todo el procedimiento correspondiente a cada flúido, está tabulado en las Tablas 5, 6, 7, 8 y

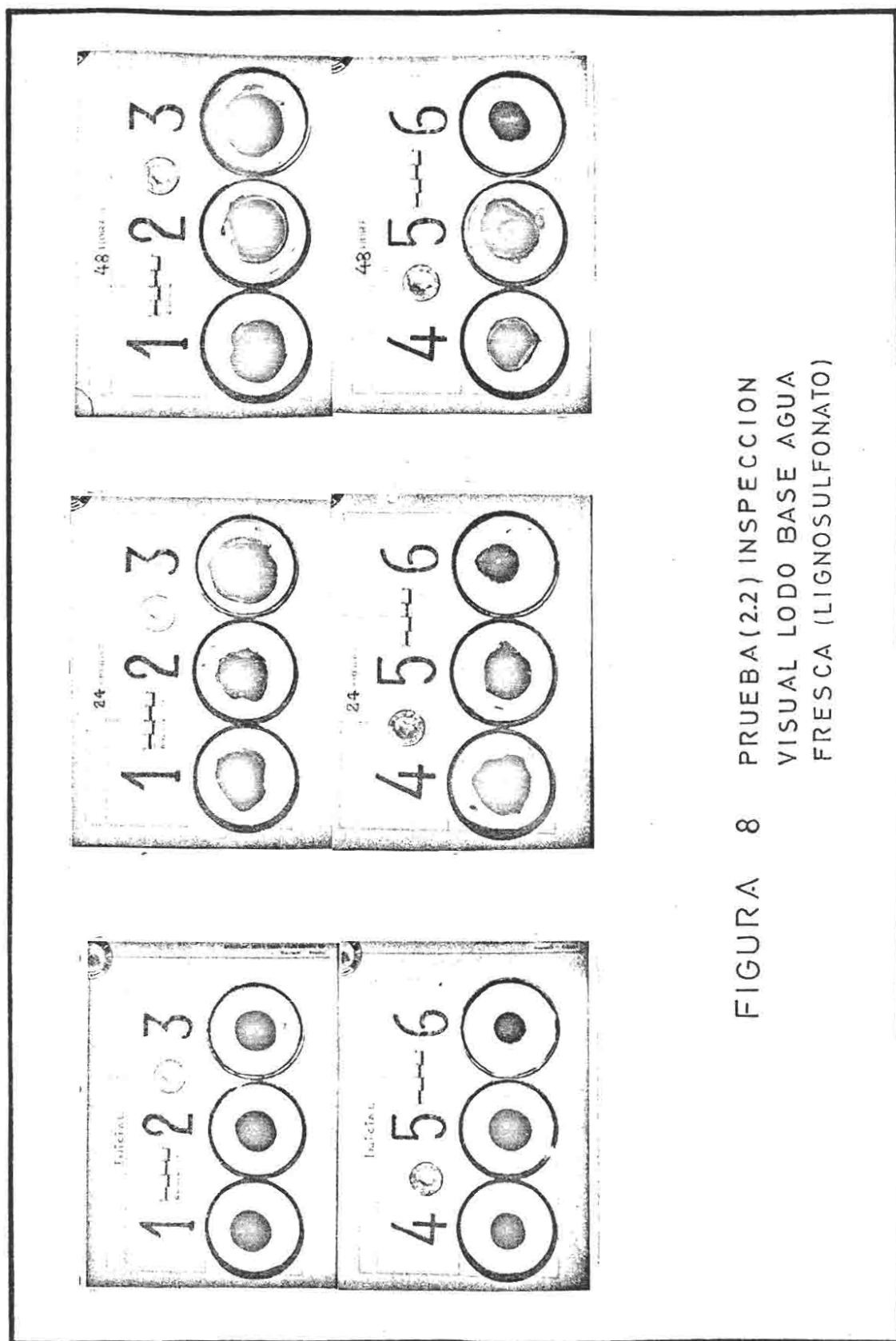


FIGURA 8 PRUEBA (2.2) INSPECCION  
VISUAL LODO BASE AGUA  
FRESCA (LIGNOSULFONATO)

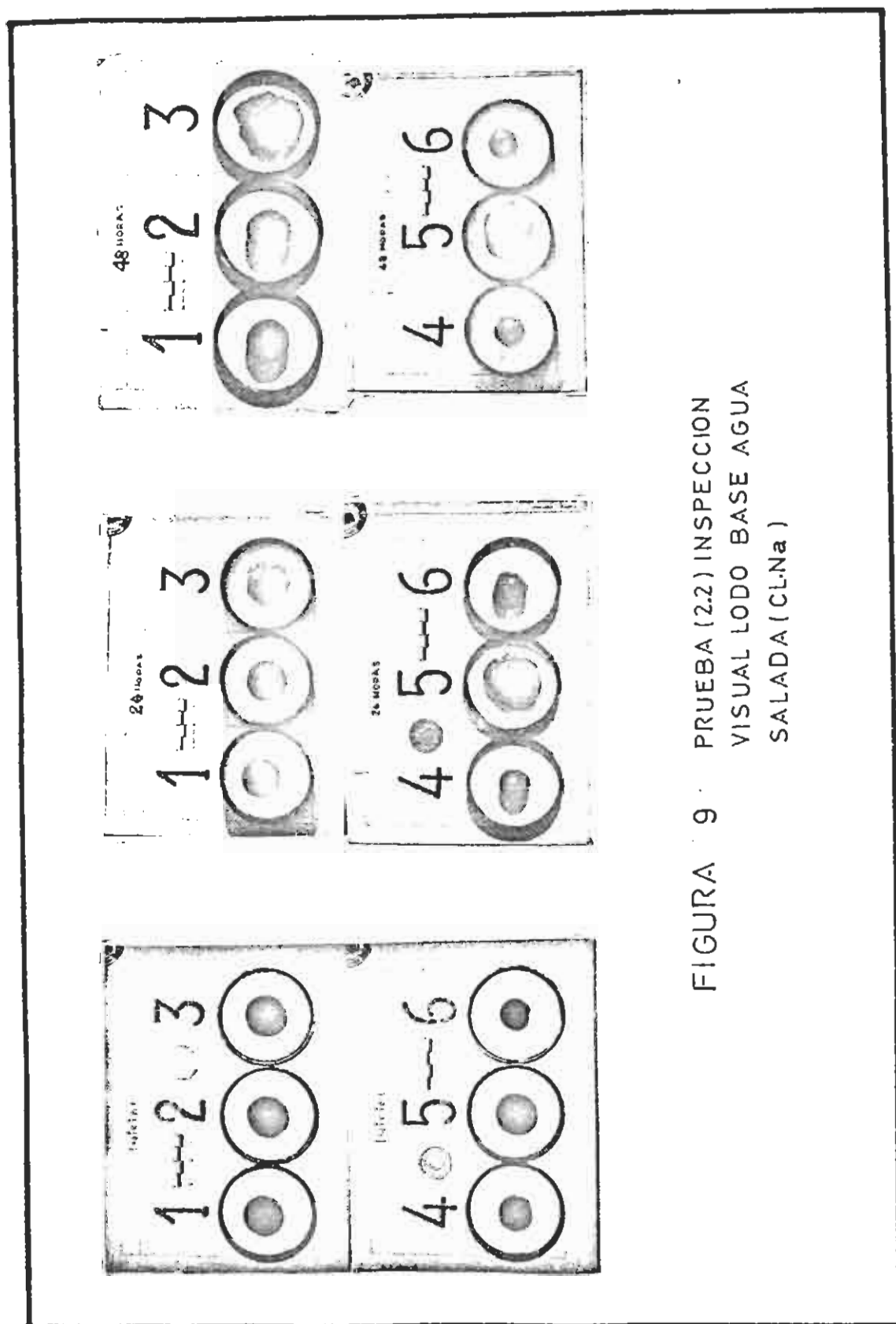


FIGURA 9 PRUEBA (2.2) INSPECCION  
VISUAL LODO BASE AGUA  
SALADA (CL-Na)

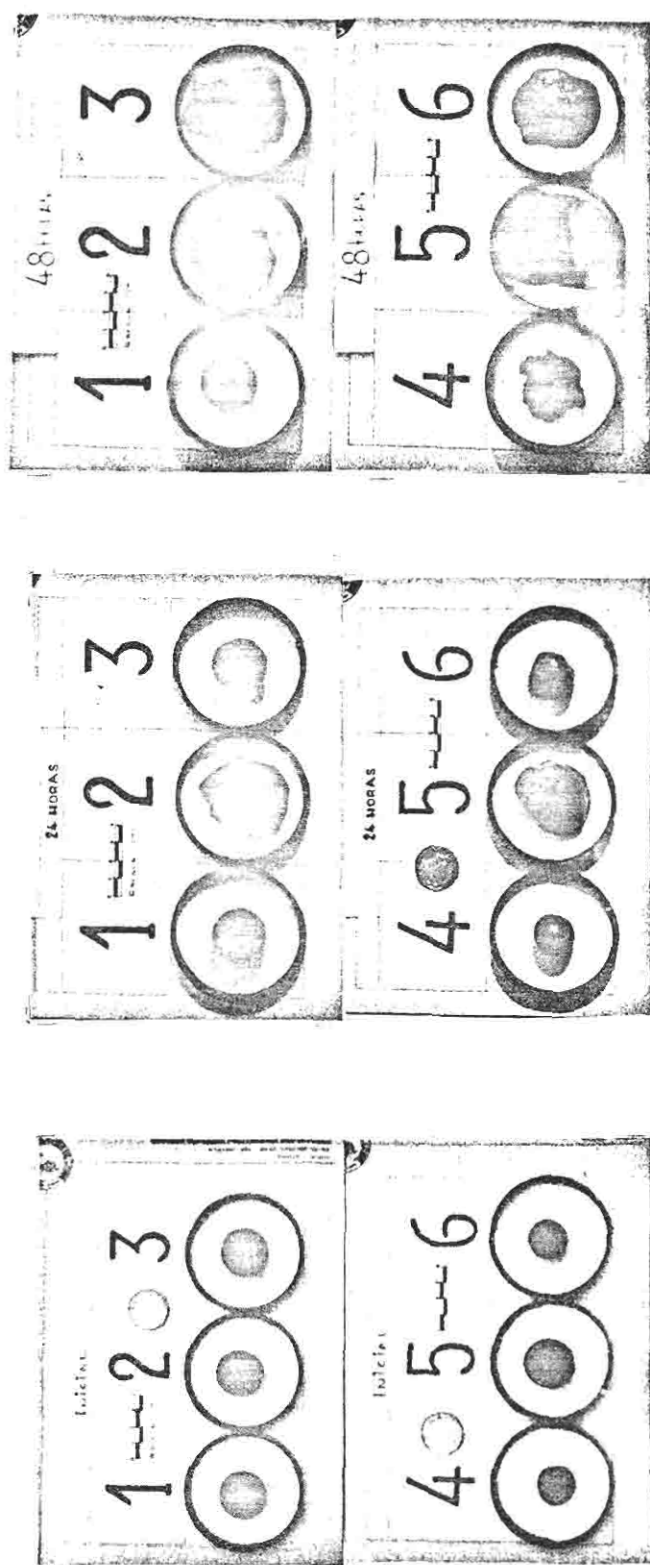


FIGURA 10 PRUEBA (22) INSPECCION VISUAL LODO BASE CLORURO DE POTASIO (CL.K)

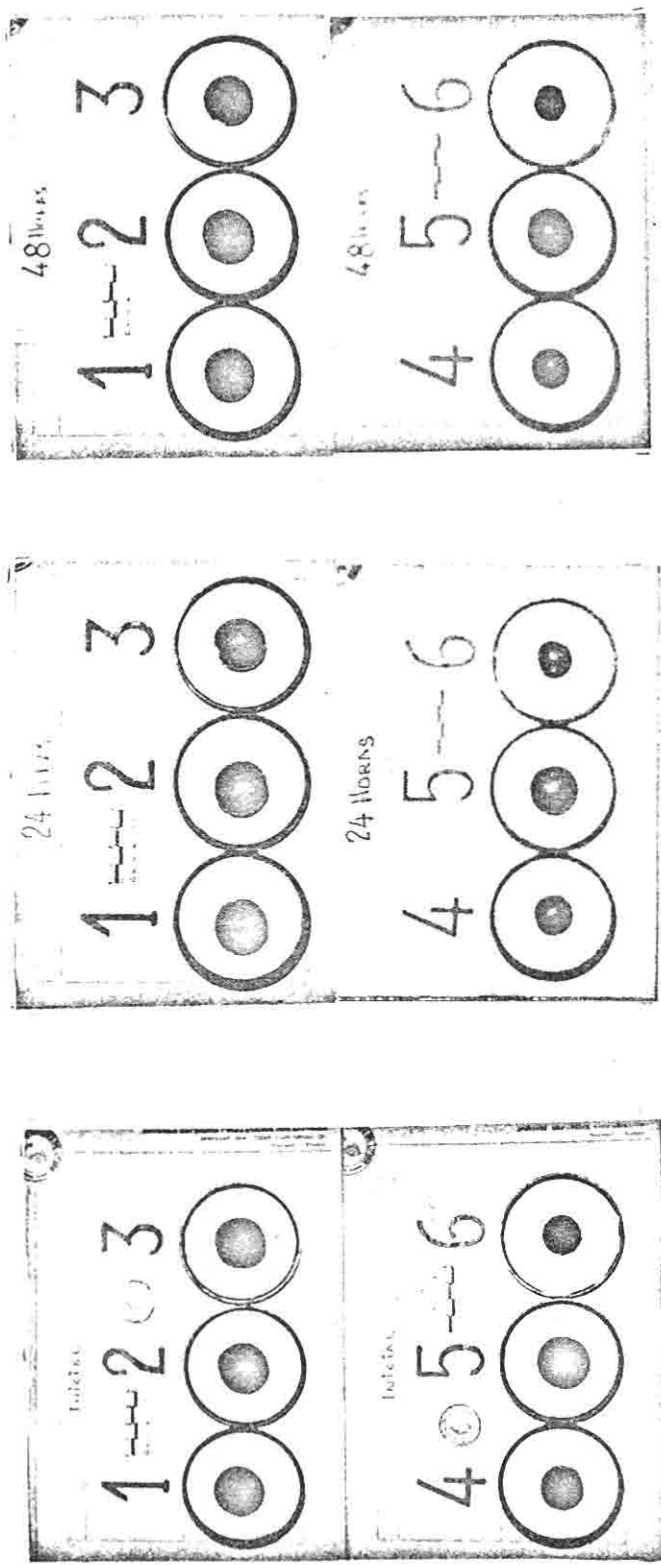


FIGURA 11 PRUEBA (22) INSPECCION VISUAL LODO BASE EMULSION INVERSA (INVERMUL)

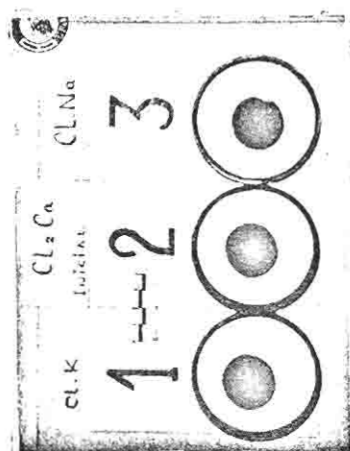
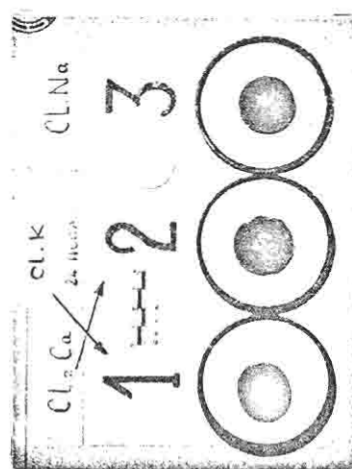
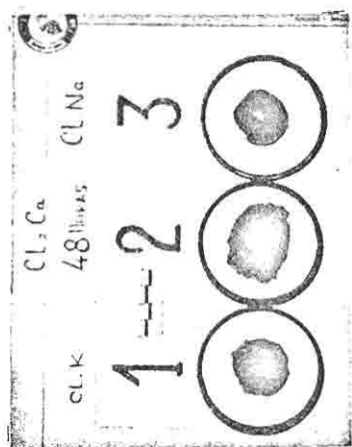


FIGURA 12 PRUEBA (2.2) INSPECCION  
VISUAL Lodos COMPARATI-  
VOS BASE CLK, CL<sub>2</sub>Ca, Y  
CL.Na

9 . También se adjunta ilustración fotográfica correspondiente a cada fluido diseñado, en las Figuras 8, 9, 10, 11 y 12 respectivamente.

### 2.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IONICO

Los elementos importantes en el análisis de sólidos son <sup>19</sup>: El contenido de arena, el contenido total de sólidos, el contenido de petróleo, el contenido de agua y la capacidad de intercambio catiónico.

Los minerales de arcilla tienen la propiedad de absorber ciertos cationes <sup>31</sup>, y retenerlos durante el intercambio, estos iones son intercambiables por otros cationes en tratamiento con similares iones en solución acuosa.

INTERCAMBIO CATIONICO : Si la concentración de iones  $\text{Na}^+$  o  $\text{Ca}^{++}$  es suficientemente alta, ello provoca una inhibición de la hidratación de las arcillas añadidas al lodo.

La adición de cationes a lodos de agua dulce que contengan arcillas montmorillonitas produce una floculación inmediata, en la cual las partículas de arcilla cargadas negativamente, se flocculan por con-

tacto con los cationes introducidos. Por otro lado, si esos cationes entran en la fase continua de un lodo en el cual las arcillas ya están hidratadas, se produce una floculación inmediata, a la que sigue, después de algún tiempo, una deshidratación de las arcillas. Los cationes  $K^+$  (Potasio) y  $NH_4^+$  (Amonio), cuando se añaden deliberadamente a la fase continua de ciertos lodos, producen resultados similares.

Cuando se agregan compuestos solubles de calcio a un lodo de base acuosa<sup>27</sup>, las arcillas dispersas son floculadas y como consecuencia se obtienen altas resistencias de gelatinosidad y pérdidas de agua. Para corregir estos inconvenientes debe recurrirse al tratamiento químico.

Si están presentes cantidades apreciables de  $(Ca^{++})$  en el lodo y se agregan arcillas hidratables secas, se produce muy poco aumento de viscosidad.

Esta propiedad es la que da a los lodos tratados con cal muchas de sus ventajas.

Si el alto punto de sedencia es causado por iones calcio que provocan la floculación de las arcillas, se puede separar esos iones por precipitación. Los



iones sodio no se pueden separar por precipitación.

La capacidad de la arcilla para absorber cationes<sup>31</sup>, de la solución (lodo) puede ser medida mediante la prueba de azul de metileno (M B T).

La capacidad de intercambio catiónico (C E C) de algunos minerales de arcilla típicos<sup>31</sup>, son listados en la Tabla 10.

El orden de reemplazamiento para algunos iones comunes es aproximadamente igual al siguiente :

$\text{Li} < \text{Na} < \text{NH}_4 < \text{K} < \text{Mg} < \text{Rb} < \text{Ca} < \text{Al}$ .

En la serie de cationes listados, el litio (Li) es el más débil a ser sustituido de esa posición en la arcilla, en cambio el aluminio (Al) es más difícil de sustituirlo.

**INTERCAMBIO ANIONICO** : Quizás la mayoría de aniones libres demuestran fenómenos de intercambio en el uso de fosfatos con adelgazantes. Los aniones fosfatos tienen la geometría de un tetraedro de silicio con tres capas, el (Si) en su parte exterior, que pueden ser absorbidos en el borde de las placas de arcilla.

Cloruros y Sulfatos están entre los aniones más comunes para estabilizar un fluido de perforación. Es poco usual el lodo cuando está sometido a altos contenidos de sulfatos, muchos excesos estarían siendo leídos como interacción de aniones con las arcillas del lodo.

De esta manera, los bordes de las partículas de arcilla presentan a menudo una capa positiva de cargas.

Los aniones tales como  $\text{CO}_3^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ , etc.; pueden encontrar entonces sitios para tratar de equilibrar las cargas<sup>19</sup>. El resultado es una atracción entre las partículas de arcilla y los aniones en sus bordes.

Los iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{HCO}_3^-$  son particularmente importantes en la química de los lodos de base agua. Otros iones, tales como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{SO}_3^{=}$ ,  $\text{PO}_4^{=}$  y  $\text{S}^{=}$ , pueden también jugar un papel importante.

Para contrarrestar los efectos nocivos de esos iones se emplean dispersantes que tiene bajo (PH) y bajo (Pf).

Cuantos más iones oxhidrilos estén presentes, mayo-

res serán la Pf y el PH. Los iones oxhidrilos mejoran la dispersión de las arcillas, reducen el efecto de muchos contaminantes e inhiben la corrosión.

También es posible controlar inestabilidad de lutitas usando un lodo de base acuosa. Esto se logra por inhibición iónica, encapsulamiento o sellado; y usualmente se utiliza la mezcla de iones de potasio (K) y amonio para conseguir tal propósito.

APLICACION DEL ION POTASICO : El ion potásico es el único por su estabilización en las lutitas<sup>31</sup>, dada la manera con la cual este ion interactúa con la arcilla. Para ilustrar este punto se considera este ion dentro del contexto de otros similares. En la Tabla 11, encontramos las dimensiones físicas de los elementos del grupo I-A de la tabla periódica.

Los iones Calcio y Magnesio también son incluidos, ya que ambos iones son muy comunes en la composición del agua.

Dado que la molécula de agua es polar (un lado tiene carga positiva y el otro negativa). Los lados negativos de la molécula de agua son atraídos a la carga positiva de iones metálicos y se agrupan alrededor de ellos. Consecuentemente cada ion de metal

se envuelve con una funda de agua alrededor. El espesor de cada funda de agua está dado por el diámetro hidratado en la anterior tabla. La cifra bajo energía de hidratación, indica que tan fuerte es la retención de las moléculas de agua por parte del ion metálico. Es lógico imaginarse que la funda de agua alrededor del ion metálico sea fuertemente agarrado mientras mayor sea la energía de hidratación que posee el ion metálico.

También entre más fuerte sea la atracción por parte del ion metálico, menos propensa será la molécula a deformarse.

Ahora utilizando la Tabla 11 imaginemos como los varios cationes interaccionarían con las plaquetas de la lutita. El espacio entre plaquetas es una arcilla típica de 10 Å. Tiene una carga negativa alrededor de ella y por tanto se esperaría que el catión positivamente cargado migraría hacia las plaquetas.

- 1) Si el fluido tendría solamente iones de Calcio y Magnesio, es lógico suponer que el espacio entre plaquetas sea agrandado dado el tamaño mayor a 10 Å de estos dos iones (19,2 y 21,6 Å) respectivamente. Habrá una aceleración y agrandamiento

del espacio entre plaquetas, aumentando el proceso de hidratación y absorción de agua. Si la lutita es débil, pedazos discretos caerán hacia el interior del hueco abierto.

2) Si el fluído tendrfa sólomente iones de Sodio, éste sólo entraría a la parte exterior de las plaquetas. Si la concentración de iones de Sodio es suficientemente alta, las plaquetas tenderán a atraerse mutuamente por el efecto de cargas opuestas. Cuando se aproxima la distancia entre las plaquetas tendrá que haber una deformación de la funda de agua alrededor del catión antes que pueda juntarse más las plaquetas.

3) Si el fluído contiene sólomente iones de Potasio el ion hidratado cabería fácilmente entre las plaquetas, dado su tamaño pequeño ( $7,6 \text{ \AA}$ ). Dado que la funda de agua es fácilmente deformable, las plaquetas serán atraídas a sí mismo aún con una concentración baja de cationes. Los iones que se deshidratan serán atrapados dentro de los huecos de la arcilla, ya que su tamaño permite que entre fácil y ajustadamente. Por tanto es lógico esperar que los iones de Potasio cierren los lados abiertos de las arcillas localizadas

en la circunferencia del hueco abierto, prohibiendo la entrada adicional de agua.

En resumen la fijación de potasio por parte de la arcilla ha sido un fenómeno reconocido dentro de la química de suelos hace años<sup>31</sup>. El ion potásico reaccionará de esta manera con muchas de las arcillas smectitas, pero no todas. La estabilidad de la arcilla se obtiene por medio del uso del ion potásico, principalmente por medio de la restricción del hinchamiento de la arcilla y también por la disminución de las presiones o fuerzas hidratacionales. Los lados rotos de la arcilla encontrados en la circunferencia del hueco abierto, provee el canal directo para la absorción adicional del agua que inducirá la fracturación e hinchamiento de la roca. La presencia del potasio en el fluido hace cerrar estos canales a biertos.

La restricción de la hidratación osmótica dependerá de la concentración salina del fluido. Ade más, la presencia de varios materiales de tamaño coloidal, restringirán aún más estos pasajes de hidratación de arcilla, sobre todo si estos co loides son aniónicos.

PRUEBA DE AZUL DE METILENO : La prueba de azul de metileno (MBT)<sup>20</sup>, mide la capacidad total de intercambio catiónico del sistema y por lo tanto, depende del tipo y del contenido de los minerales de arcilla presentes en la muestra. Solamente la porción de los ripios que reaccionan, pueden intercambiar cationes. Algunos minerales como la ilmenita, caliza, arenas no absorben azul de metileno.

Esta prueba<sup>26,27,30</sup>, es la única que da una lectura directa de la capacidad para intercambio catiónico de la formación. Esta lectura y la del factor de lutita se expresan en miliequivalentes por 100 gr. de muestra (Me/100 gr).

La capacidad adsorbsiva de cationes, no depende de la profundidad sino de la concentración y del tipo de arcilla. Debo mencionar que esta prueba fue realizada paulatinamente y en coordinación con las demás pruebas de la tesis, Capítulo III.

Datos correspondientes a esta prueba, se encuentran tabulados en las Tablas 12, 13, 14, 15, 16; y Gráficos 2, 3, y 4 respectivamente.

## 2.4 PRUEBAS DE HINCHAMIENTO

Algunos sólidos atraen moléculas de líquido provenientes de la fase continua<sup>19</sup>, la Bentonita por ejemplo, se hidrata en lodos de agua dulce hasta alcanzar un volumen que es aproximadamente 10 veces el que tenía en estado seco.

La Montmorillonita Sódica (Bentonita) se hidrata tremendamente porque los iones sodio unen las laminillas de arcilla en forma muy débil, permitiendo que se fije una gran cantidad de agua entre las láminas y entre las laminillas. La Montmorillonita Cálcica no se hidrata tanto porque los iones calcio unen las láminas entre sí con mucho menor espacio intermedio.

Donde hay arcillas presentes en zonas productivas, los filtrados cálcicos impiden su hinchamiento y la obstrucción consiguiente al flujo de gas y petróleo.

Por esto es conveniente hacer análisis frecuentemente que indiquen si lo agregado es correcto. En algunas áreas, la necesidad de añadir cal es mayor, aparentemente debido a la presencia de arcillas hidratables.



El control de las lutitas hidratables, dispersables y quebradizas se hace con un lodo de actividad equilibrada.

Las pruebas de laboratorio han demostrado que el agua migra del lodo invertido hacia la lutita cuando la actividad del lodo es mayor que la de la lutita, es decir, cuando la concentración de sal es menor en el lodo que en la lutita, y la deshidratación de esta última ocurre precisamente cuando ambas actividades son iguales. En otras palabras, el equilibrío de actividad se logra cuando existe la misma concentración de sal tanto en el lodo como en la lutita.

MECANISMOS DE HIDRATACION DE LA LUTITA : Las fuerzas que causan las lutitas al absorber agua son atribuibles a las arcillas en ella encontradas. Es importante recalcar que las fuerzas responsables de absorber, inhibir, atraer, o chupar agua hacia si misma pueden ser muy poderosas.

Si la diferencia entre la presión hidrostática y la de formación es de 250 Psi, esto representa la presión por la cual se presionará el filtrado a la formación. Como se apreciará a continuación las fuer-

zas de absorción de agua son superiores.

La hidratación de la lutita depende de un número de factores tales como la energía de hidratación de los cationes presentes en una arcilla, y la densidad de la carga eléctrica en la superficie de los cristales de las arcillas.

Para propósitos de la perforación, la fuerza de hidratación se puede calcular como:

La presión efectiva de compactación sobre la lutita puede ser representada por la equivalencia,

$$s = S - P$$

Donde  $\underline{s}$  es la fuerza matricial de la roca,  $\underline{S}$  la presión de sobrecarga y  $\underline{P}$  la presión del fluido dentro de los poros de la roca.

A medida que se entierra progresivamente una capa de lutita a mayores profundidades, se exprime más y más agua por medio de la fuerza de compactación de la sobrecarga. La fuerza por la cual se exprime el agua de la lutita es igual a la presión de la matriz de la roca. La fuerza de absorción de la arcilla actúa opuestamente a la fuerza de expulsión del

agua dado por la compactación.

Cuando la broca penetra en la lutita se aligera la fuerza de compactación en la circunferencia del hueco. Consecuentemente, se desarrolla una fuerza de hidratación igual a la fuerza mitigada de compactación. Dada que la fuerza de compactación es igual a la de presión de matriz tenemos :

$$\text{FUERZA DE HIDRATACION DE LA LUTITA}(\text{psi}) = \text{SOBRECARGA}(\text{psi}) \\ - \text{PRESION DE PORO}(\text{psi})$$

Por ejemplo, asumiendo una lutita normalmente presurizada (equivalente a 9,0 lbs/gal, peso del lodo) a 10.000 pies :

$$\text{SOBRECARGA}(\text{psi}) = 1 \text{ psi/pie} \times 10.000 \text{ pies} :$$

$$\text{PRESION DE MATRIZ}(\text{psi}) = \text{SOBRECARGA}(\text{psi}) - \text{PRESION DE PORO}(\text{psi}) \\ = 10.000 \text{ psi} - (9 \times 0,052 \times 10.000) \text{ psi} \\ = 5.320 \text{ psi}$$

La fuerza de hidratación de la lutita a 10.000 pies, bajo una presión de poro normal resulta ser unos 5.320 psi.

Otro factor por el cual la lutita absorbe agua es la presión osmótica. Cuando una lutita se expone a un fluido de perforación, puede surgir una presión de hidratación osmótica si es que la superficie de la arcilla actúa como una membrana semi-permiable y si existe una diferencia de salinidad entre el agua de la formación y la del lodo. Dependiendo de si la salinidad del lodo es mayor o menor a la de la encontrada dentro de la lutita, ésta fuerza osmótica puede resultar en una desabsorción o absorción de agua. La fuerza osmótica de absorción de la formación es mínima o nula si el agua dentro de la formación es fresca. Cuando la salinidad del lodo y del agua de formación es igual, tampoco hay un desarrollo de las fuerzas osmóticas de hidratación. Por lo contrario, si la salinidad de la formación es mayor, se genera una fuerza osmótica.

Se puede calcular la presión osmótica entre dos soluciones de diferentes salinidades :

$$\text{PRESION OSMOTICA} = RT (O_1 M_1 V_1 - O_2 M_2 V_2)$$

Donde R = constante de gas

T = Temperatura absoluta, K°

O = Coeficiente osmótico de la solución salina.

M = Concentración de sal, moles

V = Número de iones disueltos por mol.

En el lodo de base aceite la membrana semi-permeable se compone por medio de los emulsificadores y películas de aceite que encapsula a cada gota de agua emulsificada. Cuando se perfora con lodo base agua, la lutita mismo puede servir como la membrana semi-permeable.

El orden de magnitud de presión osmótica que puede ser generada entre fluido de perforación y una sección de arcilla <sup>31</sup>, está sujeta por los datos en la Tabla 17.

DESARROLLO DE LA PRUEBA : Para este propósito se trabajó con las seis muestras seleccionadas y se procedió de la siguiente manera <sup>20</sup> :

- 1) Se pesó (20 gr), correspondientes a las muestras N° ①, ②, ③, y ⑤ respectivamente y (10 gr) correspondientes a las muestras N° ④ y ⑥ respectivamente.
- 2) Se procedió a formar pequeñas bolas, mediante el uso de agua destilada, para de esta manera, me-

diante trabajo manual, dar la forma de una bola a la muestra de arcilla.

- 3) Luego estas bolas fueron preparadas para cada tipo de fluido diseñado, conservando sus respectivas proporciones.

Debo citar que los fluidos comparativos base : Cl.K , Cl<sub>2</sub>.Ca , y Cl.Na, fueron probados con la muestra N° ⑤.

- 4) Además debo explicar que cada grupo de bolas fueron puestas en un determinado fluido de perforación diseñado, considerando la profundidad que corresponde a cada muestra de arcilla (Bola).
- 5) A estas bolas de arcilla se les midió el diámetro tanto, inicial (antes de ser puestas en el fluido), a las 24 horas y finalmente a las 48 horas de estar expuestas en su respectivo frasco de cada fluido de perforación diseñado. Como se muestra en las Tablas 18, 19, 20, 21, 22 y los respectivos Gráficos 5, 6, 7 y 8.
- 6) Para lograr tal propósito, se usaron los siguientes instrumentos: espátulas; balanza de pesar ;

pipeta graduada; probeta de 10 ml; mortero de plástico con mango de plástico; pinzas para tomar las bolas de su respectivo frasco; tapas con fondo blanco para poner las muestras durante el proceso de medición y de fotografía; finalmente vernier para tomar las respectivas mediciones.

- 7) No está demás mencionar que éstas pruebas fueron desarrolladas conjuntamente con el resto de pruebas de la tesis, especialmente con las pruebas (2.2), (2.3) y (2.5) respectivamente.

## 2.5 PRUEBAS DE DISPERSION

DISPERSION DE LAS ARCILLAS : Dispersión es la desintegración continua y frecuentemente rápida de la superficie de la lutita y ocurre cuando la resistencia de los enlaces de las partículas se debilitan por entrada de agua<sup>27</sup>.

El grado de dispersión o hinchamiento depende del área de superficie por unidad de peso de arcilla. No obstante, la bentonita Sódica tiene mayor capacidad de dispersión que la Cálcica porque el Sodio  $\text{Na}^+$  (Monovalente) provee un ligamento más débil que el calcio  $\text{Ca}^{++}$  (Bivalente), dando lugar a una mayor fa-

cilidad de separación entre partículas y por consiguiente una área mayor de absorción. En consecuencia a mayor hidratación mayor dispersión y por tanto mayor rendimiento.

Las arcillas reaccionan con los contaminantes y con los lignosulfonatos. Su presencia de sales, yeso, cemento y dureza en el agua, afectan el comportamiento de las arcillas.

Estos contaminantes causan la floculación excesiva de las arcillas y los lignosulfonato se usan como adelgazadores para prevenirla y/o eliminarla cuando existe.

El PH de los lodos afecta: la dispersibilidad de las arcillas, la solubilidad de varios productos y sustancias químicas, la corrosión de materiales de acero y las propiedades reológicas de los lodos.

Los problemas que ocasionan las lutitas se analizan y solucionan de acuerdo al tipo de lutita. Por eso, se han propuesto las siguientes clasificaciones :

- 1) Según la dispersibilidad de la lutita en agua dulce y su contenido de arcilla. Propuesto por



O'brien y Chenevert.

- 2) Según la dispersibilidad en agua. Propuesta por Darley<sup>15</sup>.
- 3) Según el mecanismo que afecta la estabilidad de la lutita.
  - a) Lutitas hidratables y dispersables
  - b) Quebradisas
  - c) Lutitas cargadas de presión o presurizadas.

Algunas lutitas se hinchan notablemente pero se dispersan poco; en otras ocurre el fenómeno contrario.

La hidratación está relacionada con la dispersión aunque la cantidad y tipo de arcilla que contiene la lutita afecta a uno y otro proceso.

#### COMPORTAMIENTO DE ARCILLAS EXPANSIBLES EN AGUA

Mientras unos recortes de lutitas están siendo bombeados hacia arriba por el espacio anular, después de ser liberados de la matriz (formación) por la broca, el grado por el cual los recortes estarán contaminando un fluido de perforación base agua, dependerá principalmente de lo siguiente :

- a) El tipo y la cantidad de arcilla en los recortes

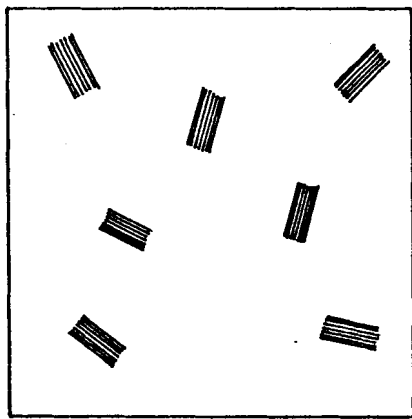
b) Las características de la fase continua (filtrado) del lodo.

Este punto es ilustrado en la Fig. 13, donde el comportamiento de la bentonita (smetita) en agua y en soluciones electrolíticas, como observamos en el tubo medidor de arena, es interpretado en términos de las partículas de arcilla mirándolas desde el borde,

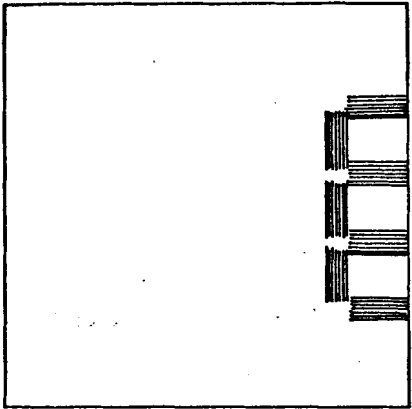
Dispersión, agregación, floculación y defloculación son términos básicos en el vocabulario de la tecnología de los fluidos de perforación. Como se propone en la Fig. 13, el medio de dispersión decrece de una fase asociada hacia una fase disasociada y el medio de agregación incrementa de una fase disasociada hacia la fase asociada. El medio de floculación se incrementa desde el borde hacia la fase asociada, y el medio de defloculación decrece desde la fase asociada hacia el borde de la otra fase, de cualquiera de las dos plaquetas individuales o agregado de plaquetas.

DESARROLLO DE LA PRUEBA : La tendencia a dispersarse de la lutita puede ser estimada cualitativamente<sup>20</sup> por simple observación de las muestras de lutita (Bolas) en diferentes tipos de fluido y notando su comportamiento, o cuantitativamente por calentamiento

FLOCULACION  
DEFLOCULACION

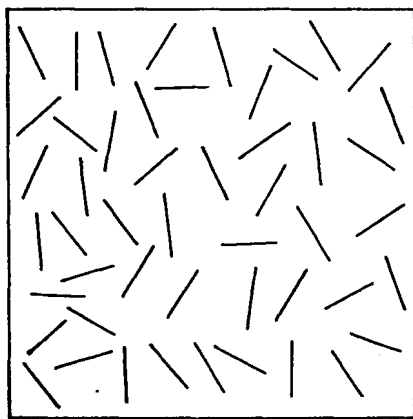


BENTONITA Ca EN  
AGUA DESTILADA

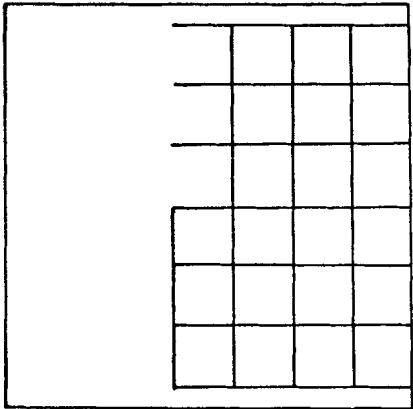


BENTONITA Ca EN  
Cl<sub>2</sub>Ca

DISPERSION  
AGREGACION



BENTONITA Na EN  
AGUA DESTILADA



BENTONITA Na EN  
Cl Na

FIGURA 13 BENTONITA SODICA  
Y CALCICA EN AGUA

de holas pequeñas puestas en diferentes flúidos<sup>20</sup>.

La emulsión gelatinosa de agua y barro es puesta en tonces a través de una serie de tamices. El porcentaje recuperado en cada malla o tamiz es un indicador de la dispersión característica.

Se utilizó el método cualitativo durante el proceso de la prueba y además debo mencionar que estas pruebas fueron hechas conjuntamente con las pruebas de hinchamiento.

Datos al respecto, se muestran en las Tablas 23, 24, 25, 26 y 27 respectivamente.

### CAPITULO III

#### PRUEBAS DE LAS ARCILLAS CON DIFERENTE TIPO DE LODOS

Cumpliendo con el objetivo de este trabajo de investigación. Durante el desarrollo de este capítulo, se procede a la preparación de cuatro fluidos diferentes de perforación, en los cuales se experimenta el efecto que producen las muestras de arcilla (Bolas) al estar en contacto con éstos, según se explicó en el Capítulo II y visiversa según se explica en este capítulo, mediante el cambio que sufren las propiedades del fluido.

Las seis muestras de arcilla corresponden a diferentes profundidades previamente seleccionadas mediante difracción de rayos - X.<sup>7,17,34</sup>

Debo mencionar que para el diseño de estos fluidos de perforación (Lodos), fue necesario tomar como punto de partida un breve resumen técnico de los pozos perforados últimamente en el Golfo de Guayaquil (años 82-83)<sup>8,9,11,12</sup> especialmente del pozo T. #1<sup>6</sup> que fue de donde se tomaron las muestras de arcilla y la mayor cantidad de información tal como: Intervalos perforados<sup>6</sup>, propiedades promedio por intervalo<sup>6</sup>, propiedades del fluido a dichas profundidades de estudio (Seleccionadas)<sup>6,8</sup>, materiales usados (Químicos)<sup>6,8</sup>, costo de operaciones - Químicos<sup>6</sup>, perfil de presiones<sup>10</sup>, y finalmente ciertos problemas in

tránsicos de la geología del Golfo de Guayaquil; por citar pegamiento de tubería y arcillas expansibles detectadas, entre otros. Como se muestra en las Tablas 28, 29, 30 y 31; Figuras 14 y 15; y Gráficos 9, 10, 11, 12 y 13 respectivamente.

El equipo de laboratorio usado <sup>19, 20, 30, 31, 39</sup> y los productos usados en la preparación de los diferentes fluidos de perforación <sup>21, 22, 28, 29, 31</sup>, se encuentran tabulados en los apéndices 1 y 2. Además señaló que se usaron productos BAROID, excepto en el lodo de emulsión inversa que se usaron productos MILCHEM.

PRUEBAS REALIZADAS : El proceso experimental del trabajo consiste de tres etapas bien definidas que son las siguientes :

- 1) ETAPA INICIAL, que consiste en la preparación del fluido en su fase inicial, con las propiedades recomendadas previamente. En esta etapa la bola de arcilla no está aún en contacto con el fluido preparado.
- 2) ETAPA INTERMEDIA, que trata justamente del contacto de la bola de arcilla en cada fluido preparado, para de esta manera durante 24 y 48 horas ver los efectos que se producen en la bola y en el fluido.

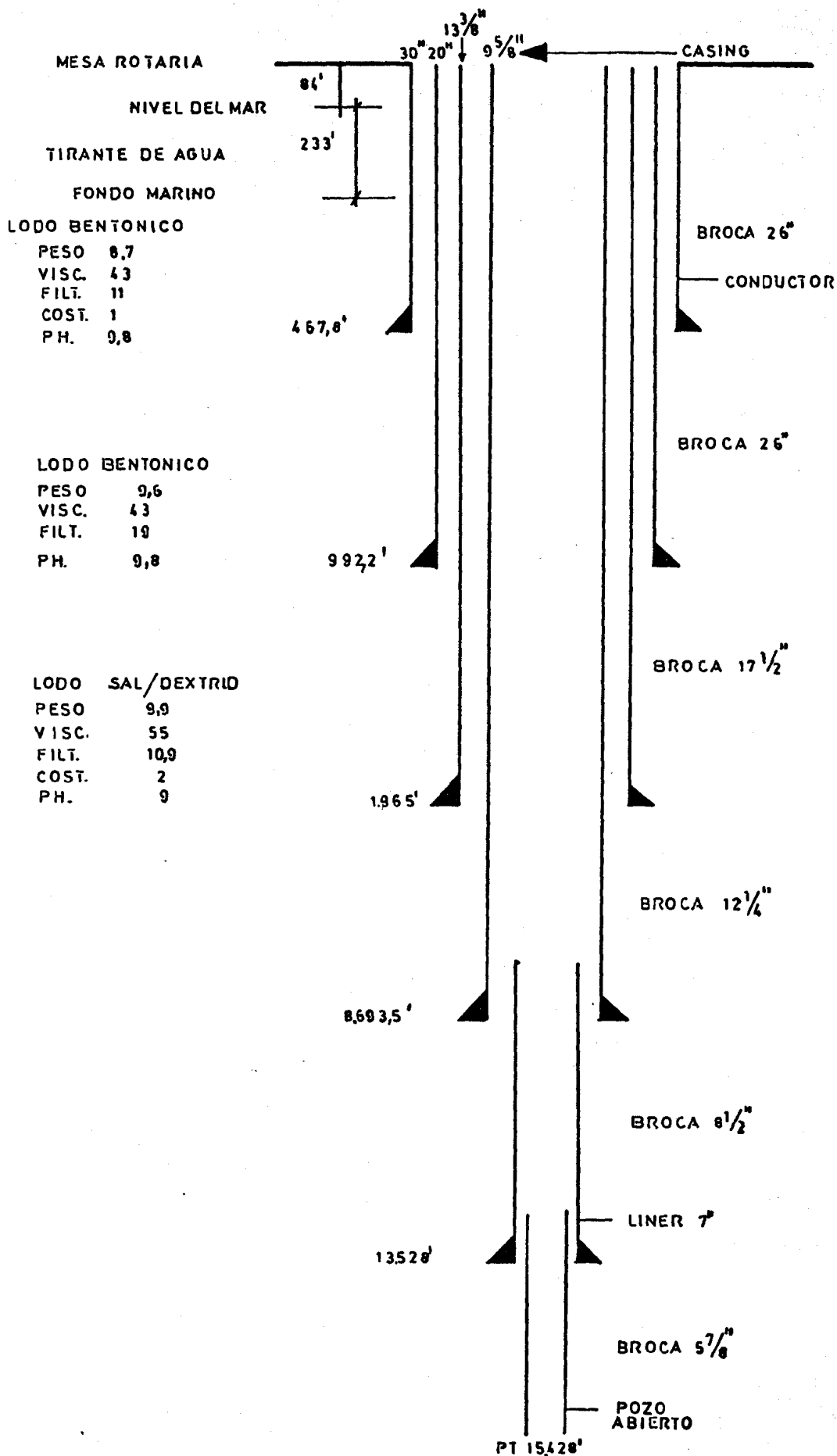


FIGURA 14 REVESTIMIENTO POZO T # 1

PROFUNDID (pies)	LITOLOGIA	PRESION DE POROS lb/Gal	PESO DEL LODO lb/Gal	PRESION DE FRACTURA lb/Gal	TEMPER. DE FORMACION (°F)
1006		8,7	9,6	11,3	77
1445		8,8	9,7	11,5	103
4206		9,2	10,5	13,3	126
5697		10,2	10,7	14,4	134
6438		10,6	10,8	15,2	138
7281		10,6	10,8	15,5	143
8701		10,6	10,8	16,0	150
8701		10,6	11,4	16,0	150
10978		11,9	12,1	16,4	159
13205		12,8	13,2	17,0	168
14268		13,0	13,2	15,4	183
14999		13,4	13,5	17,5	190
15426		13,5	13,5	17,3	196

FIGURA 15 PRESION DE FORMACION POZO T#1  
CEPE—SUBGERENCIA REGIONAL



Antes de medir las propiedades del fluido, se procede a batir el fluido con su respectiva mitad ( $1/2$ ) de bola de arcilla, simulando que esa cantidad de arcilla, se ha incorporado en el fluido al momento de atravesar la formación arcillosa.

- 3) ETAPA FINAL, consiste en recuperar las propiedades establecidas inicialmente, siempre y cuando haya habido alteración alguna en el fluido.

Este proceso de trabajo fue aplicado a todos los fluidos diseñados y experimentados en este capítulo.

Cada fluido es puesto en seis frascos, cuya numeración va de acuerdo a la muestra (Bola) de arcilla a ser experimentadas, ver Fig. 16. La densidad (Lb/gal) de diseño varía en cada fluido.

Las pruebas que se realizaron en los diferentes fluidos de perforación, incluyendo los fluidos preseleccionados Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na fueron las siguientes :  
5,6,8,10,19,28,30,33,35,38,

- 1) Densidad del lodo (Lb/gal)
- 2) Propiedades Reológicas
  - a) Viscosidad de embudo (seg. API)
  - b) Viscosidad plástica, (cp)

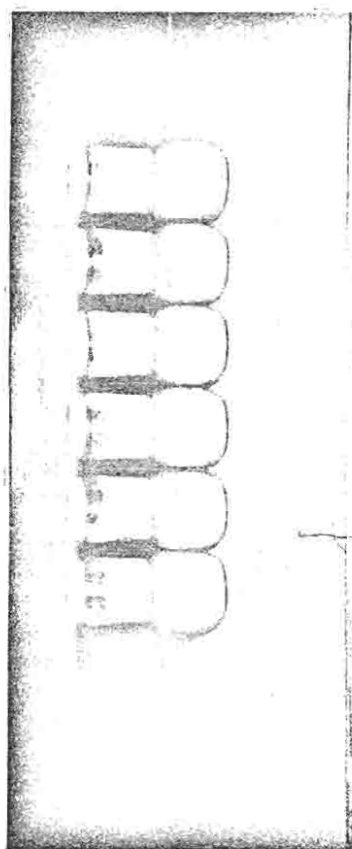


FIGURA 16 MUESTRAS DE FLUIDO. EN  
EXPERIMENTO

- c) Punto cedente (Lb/100 pie<sup>2</sup>)
  - d) Resistencia de Geles (Lb/100 pie<sup>2</sup>). Gel inicial, Gel final Gi/Gf.
- 3) PH y Alcalinidad del lodo (cc)
- 4) Características de filtración
- a) API (Temperatura ambiente, baja presión); (cc/30 min).
  - b) API (HT, HP) (cc/30 min)
  - c) Análisis de costra 1/32 pulgada
- 5) Análisis de filtrado
- a) Alcalinidad (cc)
  - b) Concentración de sal (cloruros) ppm. (Cl<sup>-</sup>)
  - c) Concentración de Calcio (Ca<sup>++</sup>) ppm. (Ca<sup>++</sup>)
  - d) Concentración de potasio (K<sup>+</sup>) ppm.
- 6) Análisis de Sólidos
- a) Contenido de arena (%)
  - b) Contenido de petróleo (%)
  - c) Contenido de agua (%)
  - d) Contenido total de sólidos (%)
  - e) Prueba de intercambio catiónico (Me/100 gr)
- 7) Prueba de estabilidad eléctrica de emulsiones agua en

petróleo (Voltios).

Durante el desarrollo experimental del trabajo, se emplearon las conversiones entre unidades de campo y de laboratorio<sup>16,22,28</sup> por ejemplo: Cuando en el laboratorio se hable de : 1 Bbl equivale a 350 cc

Lb/Bbl equivale a gr/350 cc

Cuando se agrega un aditivo, durante el proceso de mezcla, se agrega éste paulatinamente, de manera que la agitación se pueda llevar a cabo con eficiencia y uniformidad<sup>19,21,29,30,31</sup>.

El tiempo que se emplea en batir cada aditivo va a estar en el intervalo de 5-15 minutos, dependiendo del tipo de aditivo que se tenga que mezclar y del fluido que se esté preparando.

El procedimiento para realizar las pruebas se describe en detalle en las referencias,<sup>19, 25,30,33,35,39</sup> razón por la cual no se aonda en este tópicó.

La Bentonita con la que se preparó los diferentes fluidos de perforación tuvo un rendimiento de 72,5 Bbl/Tonelada, como se muestra en el Gráfico 14.

### 3.1 LODO BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)

Los lodos de base agua son los más frecuentemente empleados. Varían desde los lodos NO-INHIBITORIOS, tales como : Los nativos y ligeramente tratatados; hasta los INHIBITORIOS o intensamente tratados<sup>19</sup>, si contienen cationes, o agentes encapsulantes o ambos en cantidades suficientes.

La fase continua de un lodo de base agua es agua. Las sales disueltas en el agua son también parte de la fase continua. Los cationes  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{++}$  y el anión  $\text{OH}^-$  son de particular importancia para el comportamiento de los lodos de base agua.

Los lodos de base agua son generalmente simples y poco costosos. Los aditivos comerciales se limitan generalmente a viscosificantes, dispersantes, soda caustica y algo de barita.

Se ha perforado normalmente con lodos ligeramente tratados hasta aproximadamente 9.000' y en ciertos casos a mayores profundidades. Siendo sus limitaciones evidentes cuando aparecen formaciones dificultosas, contaminación marcada, temperaturas por arriba a 220°F o densidades de lodo por encima de 14,0 Lb/gal. Un lodo inhibitorio se comporta mejor

cuando existen esas condiciones.

### LQDOS NO-INHIBITORIOS

AGUA PURA : El agua pura es a veces el mejor fluído para perforar formaciones duras, compactas y con presiones vecinas a la normal<sup>19</sup>. El agua empleada varía entre agua dulce y salada (Saturada), dependiendo de la disponibilidad de agua y de la naturaleza de las formaciones.

Una forma eficiente de remover los sólidos en flujos de agua pura es la sedimentación. La superficie de sedimentación debe ser suficientemente grande, de modo que haya tiempo adecuado para que se produzca la sedimentación.

LQDOS NATIVOS : En algunas áreas, las formaciones perforadas contienen arcillas o lutitas productoras de lodo<sup>19</sup>. Cuando se bombea agua hasta el fono del pozo durante la perforación, regresa barroza (lodososa). La viscosidad va aumentando con la circulación continua y el resultado es un lodo nativo. Se puede añadir pequeñas cantidades de bentonita (Aquagel) para mejorar la pérdida de filtrado natural. También se agrega a veces soda caústica, por medio del barril químico, para el control de la corrosión.

LODOS DE AGUA-BENTONITA : La bentonita (Aquagel) y el agua dulce producen un lodo con buena capacidad de acarreo y buen control de pérdida de filtrado<sup>19</sup>. Este es un lodo de iniciación, que también se utiliza en algunos casos a mayores profundidades.

Las propiedades del agua son importantes. La presencia de sal y la dureza en el agua interfieren con la hidratación de la bentonita y reducen su eficacia . La dureza de calcio debe ser eliminada del agua por adición de carbonato de sodio. La adición de 1/4 a 1/2 (Lb/Bbl) de soda cáustica puede también ayudar para disminuir la dureza.

Como regla empírica, podemos decir que 20 a 25 (Lb/Bbl) de bentonita en agua dulce, producirán un lodo con una viscosidad de embudo de 35 a 40 (Seg/qt).

La capacidad de acarreo de los lodos de agua-bentonita puede ser aumentada añadiendo un "Extendedor" de bentonita (Benex) o floculando la bentonita ya hidratada con una o dos bolsas de cal o cemento. Esto se hace en algunos lodos de iniciación en los que preocupa poco el control de pérdida de filtrado y las presiones de circulación.

Generalmente no hay control de PH en los lodos de ini

ciación. Sin embargo en los otros lodos de agua-bentonita, el PH se mantiene en el rango entre 8,0 y 9,5. La soda caustica tiende a flocular la bentonita hidratada. Este efecto se puede reducir a un mínimo por la adición lenta de la soda y una agitación vigorosa simultánea en el área de mezclado.

#### LODOS DE LIGNOSULFONATO INHIBITORIOS

A) Se cree que los lignosulfonatos de cromo se fijan sobre las partículas de arcilla<sup>19</sup>, por atracción de valencias del borde del enlace fracturado, reduciendo de esa manera la fuerza atractiva entre las partículas. Este fenómeno explica la habilidad del dispersante para reducir la viscosidad y la resistencia de gel. La adsorción masiva de los cationes de lignosulfonato cromico sobre la partícula de arcilla tiende también a suprimir la hidratación de las partículas de arcilla, por su efecto bloqueante. En consecuencia, los lodos tratados con altas concentraciones de lignosulfonato crómico poseen cualidades inhibitorias las cuales tienden a mantener las arcillas de la formación en su condición natural.

B) Los tratamientos con lignosulfonato de cromo pro-



veen un excelente control de la reología del lodo así como estabilidad de las paredes del pozo. El dispersante actúa también como agente efectivo de control de filtrado debido al efecto taponante de las sales ferrocromicas y a la máxima dispersión que se logra. En consecuencia, los lodos de lignosulfonato cromo al mantener bajo PH y baja concentración de iones calcio, son estables a temperaturas por encima de 400°F.

- C) Estos lodos son compactibles con diversos aditivos que se pueden añadir si se consideran necesarios. Agentes de control tales como (Cellex) se pueden agregar para disminuir aún más la pérdida de filtrado, pero conviene reducir su empleo a un mínimo.
- D) A menudo se obtienen mayores velocidades de perforación mediante el uso de lodos de lignosulfonato especialmente cuando se mantiene bajas concentraciones de sólidos.

#### CONVERSION

- A) Los lodos de lignosulfonato de cromo son muy flexibles a los tratamientos que pudieran modificar

sus propiedades. A medida que la perforación progresa, se aumenta el tratamiento de lignosulfonato hasta alcanzar una concentración de 6 a 12 (Lb/Bbl) en el sistema del lodo <sup>25</sup>. Las concentraciones más altas de lignosulfonato (10 a 12 Lb/Bbl) ofrecen ventajas tales como: Inhibición, control de filtrado, dispersión máxima, estabilidad térmica y estabilidad de las paredes del pozo, y hacen al lodo relativamente inmune a la contaminación con cemento, cal y yeso.

La adición diaria de bentonita ayuda a minimizar el riesgo de pegamiento a la pared, al lograr una baja pérdida de filtrado en el fondo del pozo, una mejor textura del revoque, y al permitir una baja concentración de sólidos. El PH de los lodos de lignosulfonato es llevado normalmente a 9,0-10,5 con soda cáustica, más importante que el PH es el control de Pf entre 0,2 y 1,0 cm<sup>3</sup>.

- B) Para convertir un lodo inicial en el trayecto de la perforación a un lodo lignosulfonato, es necesario que el lodo posea una baja concentración de sólidos. Si los sólidos son demasiado altos, debe añadirse agua al lodo para una dilución adecuada de los mismos.

## MANTENIMIENTO

- A) Los tratamientos en cada turno consistirán generalmente de unas Lbs de soda cáustica y unas de lignosulfonato, dependiendo por supuesto estas cantidades del tamaño del pozo, las formaciones que se están perforando, la densidad del lodo y las propiedades del lodo que se desean.
- B) En cada turno debe agregarse bentonita, para el mantenimiento de una concentración adecuada de só lidos coloidales, que es esencial para el control de la pérdida de filtrado simulado en el fondo del pozo.
- C) Si se incorporan en el lodo cantidades grandes de sal en un período corto de tiempo, es probable que ello dé por resultado un aumento notorio de viscosidad, resistencia de Gel y pérdida de filtrado. Sin embargo, si se ajusta el Pf entre 0,5 y 0,8  $\text{cm}^3$  con soda cáustica y se trata con cantidades adicionales de lignosulfonato (1 a 5 Lb/Bbl), puede mantenerse buenas propiedades de flujo y un buen control de filtrado.
- D) Si la contaminación se hace excesiva, con la consiguiente producción de elevados geles, viscosi-

dad y pérdida de filtrado, puede ser necesario el tratamiento con un agente precipitante. El PH del lodo debe mantenerse entre 9,0 y 10,5 con soda cáustica.

#### VENTAJAS

- 1) No hay "pico" de conversión como en los lodos de cal o yeso.
- 2) Las profundidades de conversión pueden ampliarse; los lodos densificados se pueden convertir sin necesidad de diluirlos.
- 3) Los lodos de lignosulfonato son ideales cuando prevalecen altas temperaturas en el fondo del pozo.
- 4) Se trata de sistemas simples y fáciles de mantener.
- 5) Cuando se mantiene adecuadamente, la tendencia a pegamiento diferencial es mínima.
- 6) Con altas concentraciones (10 a 12 Lb/Bbl) estos sistemas son buenos inhibidores.
- 7) Estos sistemas se caracterizan por su buena tolerancia a los contaminantes.
- 8) Los lodos de lignosulfonato proveen excelente con

trol de pérdida de filtrado en el fondo del pozo.

#### FORMULACION (DOSIFICACION) DEL FLUIDO LIGNOSULFONATO

COMPONENTES (ADITIVOS)	CANTIDAD	
	Por : Bbl	Por: $1^{3/7}$ Bbl = $1.43$ Bbl = $Bbl^*$
Agua (Fresca)	1 Bbl	1 Bbl*
Bentonita (Aquagel)	8% = 28 Lb/Bbl	40 Lb/Bbl*
Barita (Baroid)	140 Lb/Bbl	200 Lb/Bbl*
Soda Cáustica	0,7-1,5 Lb/Bbl	1-3 Lb/Bbl*
Q - Broxin	4-10 Lb/Bbl	6-14 Lb/Bbl*
C M C	0,1-0,4 Lb/Bbl	0,15-0,6 Lb/Bbl*
Estearato de Aluminio	--	0,05-0,07 gal/Bbl*

#### PREPARACION DEL FLUIDO EN EL LABORATORIO

Por razones de comodidad se trabajó en el laboratorio con 500 cc equivalentes a 1 Bbl\*. A fin de unificar el lodo y así tener un fluido inicialmente homogéneo, se consiguió mantener la densidad promedio de  $\bar{\rho} = 11,0$  Lb/gal.

El orden de preparación del fluido lignosulfonato, se muestra en el Apéndice 3.

Todos los valores experimentales correspondientes a este lodo, se encuentran resumidos en las Tablas 32, 33 y 34.

### 3.2 LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na, Cl<sub>2</sub>.Ca)

#### LODO BASE CLORURO DE SODIO (Cl.Na)

Decimos que se trata de un lodo de agua salada cuando contiene más de 10.000 ppm de sal y no ha sido convertido a otro tipo de lodo<sup>19,31,37</sup>. Los lodos de agua salada se clasifican a su vez de acuerdo a la cantidad de sal presente y/o la fuente del agua de su constitución.

#### A) Cantidad de sal en ppm

1. Lodos saturados de sal (315.000 ppm o más)
2. Lodos salados (Más de 10.000 ppm, pero no saturados)

#### B) Fuente de agua de constitución

1. Lodos de agua salobre
2. Lodos de agua de mar

Los lodos de agua salada pueden ser preparados a propósito, o puede derivar del uso de un agua de constitución que contiene sal, de la perforación de vetas de sal o cuando se encuentran corrientes de agua salada durante la perforación.

La sal puede ser añadida a propósito en incrementos

desde 10.000 a 315.000 ppm con el fin de inhibir Lutitas Bentoníticas.

Los efectos que la sal ejerce sobre un lodo depende de la cantidad de sal en el lodo, del tipo y porcentaje de sólidos y de si la sal es añadida al lodo o las arcillas al agua salada. Entre las características más importantes tenemos que :

- a) La sal actúa como un contaminante en los sistemas de lodo de agua dulce aun cuando se encuentre en pequeñas cantidades, produce un aumento en viscosidad, resistencia de gel y pérdida de filtrado.

A medida que las concentraciones de sal aumentan por encima de 10.000 ppm, resulta cada vez más difícil controlar las propiedades de los lodos y puede ser necesario convertir el lodo u otro tipo más resistente a la sal, por ejemplo tratado con calcio o lodo de lignosulfonato.

- b) Arcillas secas del tipo montomorillonita, cuando se añaden a un lodo que contiene más de 10.000 ppm, de sal, muestran una hidratación y dispersión mucho menores. A medida que la concentración de sal aumenta, la hidratación y dispersión de la arcilla disminuyen cada vez más, Cuando la concen-

tración de sal alcanza valores de 50.000 ppm (o su periores), la viscosidad y el control de filtrado derivado de la Bentonita y de Arcillas expansivas se hace insignificante, ver Fig. 17.

- c) Las arcillas de tipo montmorillonita pueden prehidratarse antes de añadirselas al agua salada<sup>19, 37</sup>. El catión sodio (proveniente de la sal) provoca floculación de la arcilla hidratada (Hinchada), originando viscosidad con la adición de cantidades mínimas de arcilla, ver Fig. 17. Con el tiempo la acción de masa del ión sodio sobre la Bentonita hidratada hace que se encojan las plaquetas de arcilla; se libera entonces agua y eso determina una disminución de la viscosidad. La adición de más Bentonita prehidratada es necesaria entonces para mantener la viscosidad deseada.
- d) Debido al ambiente floculado de los lodos salados, la velocidad de filtración es extremadamente alta, lo que hace necesario el empleo de aditivos para control de filtrado.
- e) El agua salada contiene cantidades variables de sales de calcio y de magnesio. Esas sales contribuyen aun más a dificultar la hidratación de la mont



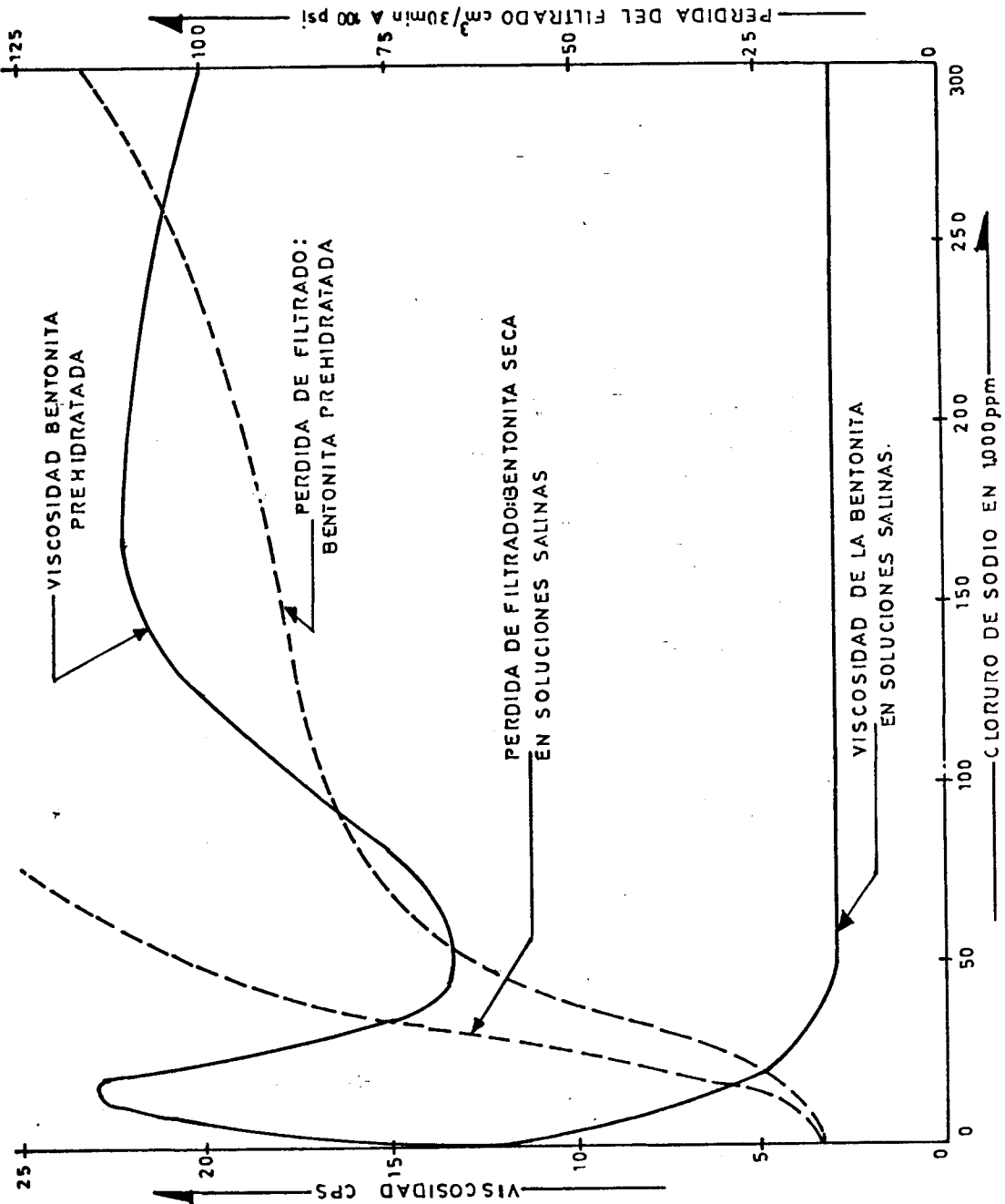


FIGURA 17 EFECTO DEL CLORURO DE SODIO SOBRE MEZCLAS DE BENTONITA.

morillonita, y además hacen más difícil el control del filtrado.

#### LODOS DE AGUA SALADA SATURADA

- A) Estos lodos se usan principalmente para perforar lechos masivos de sal o domos de sal, para evitar un ensanchamiento excesivo del pozo a nivel de esas secciones.
- B) Fluídos saturados de sal se usan también frecuentemente en operaciones de reparación.

Cuando se decide convertir un lodo de agua dulce a un lodo saturado de sal, es deseable utilizar la mayor cantidad posible del viejo lodo. Este ofrece una fuente de viscosidad y de densidad, y de esa manera se ahorra en la cantidad de arcilla que se necesitará.

#### LODOS SALADOS

- A) Los lodos salados se originan con la mayor frecuencia como resultado de perforar formaciones de sal con un lodo de agua dulce. Generalmente se les denomina de acuerdo al tipo principal de aditivo para control de filtrado que se utilizó en ellos, por ejemplo: Lodos de Almidón, Lodos de Dextrid ,

Lodos de Drispac. Estos generalmente contienen entre 30.000 ppm y 100.000 ppm de sal, dependiendo de la cantidad de sal perforada y del grado de dilución con agua dulce.

B) Estos lodos pueden, en algunos casos, prepararse intencionalmente con sal en bolsas o con salmuera para perforar secciones de lutitas dificultosas y para evitar que las lutitas se desprendan o desmoronen, o bien para prevenir la dispersión de los sólidos perforados con aumento de la viscosidad . Estos lodos pueden tener un contenido de sal que varía entre 50.000 ppm y saturación.

C) Los lodos de agua salada proveniente de la formación se utilizan frecuentemente para operaciones de reparación o como lodos de terminación.

Se trata usualmente de lodos con baja concentración de sólidos, baja densidad y un tratamiento químico mínimo, y normalmente poseen baja viscosidad y alta pérdida de filtrado. En muchos casos, se emplean agua dulce y Bentonita para comenzar la perforación y para colocar el revestimiento de superficie. A medida que la perforación progresa, y cuando el contenido de sal excede las 20.000 ppm, generalmente se emplea ZEOGEL como viscosificante.

Cuando las propiedades se hacen más críticas, se usa DRISPAC o DEXTRID para control de la filtración y estos lodos son llamados lodos de Drispac o de Dextrid.

#### LODOS DE AGUA SALOBRE Y DE AGUA DE MAR

- A) LODOS DE AGUA SALOBRE : En muchas áreas por razones económicas o por falta de agua dulce en cantidad suficiente, se utiliza agua salobre como agua de constitución para lodos. Esos lodos generalmente se denominan lodos de agua salobre si su contenido de sal es de aproximadamente 10.000 a 20.000 ppm. Se encuentran generalmente en Bahías de tierra adentro o donde el agua de constitución de la formación es salobre.
- B) LODOS DE AGUA DE MAR: Frecuentemente en perforaciones costa afuera (off-shore)<sup>2,19</sup>, se emplea agua de mar como agua de constitución, para evitar los gastos y los problemas que crearía el transporte de agua dulce hasta el lugar del pozo. El agua de mar contiene aproximadamente 35.000 ppm de (ClNa) y 1.500 a 2.500 ppm de dureza total debido a sales de (Mg) y de (Ca).

Muchos de los problemas asociados con los lodos

de agua de mar se deben a la alta concentración de dureza total en el agua de mar (Ca y Mg). La mayor parte de esa dureza es debida al (Mg), que se torna insoluble a un PH de 10,6 a 11,0. Por esa razón, el tratamiento con soda cáustica para mantener el PH por encima de 11 (Pf de 1,0 cm<sup>3</sup> o más) es de eficacia en lodos de agua de mar. Puede también agregarse carbonato de sodio con el fin de precipitar el (Ca), con lo que se obtiene mejores propiedades de lodo.

Los lodos de agua salobre y de agua de mar poseen generalmente puntos de cedencia y resistencia de Gel más alto que lo normal, con características de pérdida de filtrado. Por lo tanto, se requieren concentraciones más altas de dispersantes, para lograr un control efectivo de la viscosidad y de la resistencia de Gel, y puede ser necesario emplear un agente orgánico de control de filtrado si se pretende reducir la velocidad de filtración.

#### LODO BASE CLORURO DE CALCIO (Cl<sub>2</sub>.Ca)

Actualmente se están usando tres tipos de lodos tratados con calcio. A estos lodos se les da un nombre distinto según cual sea la fuente de calcio; lodo de cal Ca (OH)<sub>2</sub>, lodo de yeso (Ca.SO<sub>4</sub>) y lodo de cloru-

ro de calcio ( $\text{Ca} \cdot \text{Cl}_2$ )<sup>19,31</sup> .

El propósito de añadir calcio al lodo es convertir las arcillas sódicas en arcillas cálcicas. Este intercambio de base de un catión monovalente de sodio a un catión bivalente de calcio, con su mayor potencia de enlace, tiende a que las plaquetas de arcilla se mantengan más unidas. A medida que las plaquetas de arcilla se deshidratan, el agua absorbida en la arcilla hidratada se libera.

Teóricamente, cuanto mayor es la concentración de cal cio soluble en el filtrado, más inhibitorio es el sistema. El calcio soluble varía entre 120 ppm en un lodo de cal hasta 400-800 ppm en un lodo de ( $\text{Cl}_2 \text{Ca}$ ), alcanzando niveles todavía más altos (1.200 ppm) en un lodo de yeso.

#### VENTAJAS

A) Estos lodos, debido a sus características inhibitorios, son capaces de mantener una baja viscosidad y una baja resistencia de Gel, con alta tolerancia de sólidos. Esto los hace particularmente aplicables en sistemas de lodos densificados. Se puede así tener densidades máximas de lodo con ba jas viscosidades cuando ello es necesario para con

trolar presiones subterráneas anormales.

- B) Los lodos tratados con calcio se usan principalmente cuando se deben perforar formaciones de lutitas con tendencia a hidratarse y a desmoronarse. El efecto inhibitorio sobre lutitas y arcillas hidratables retarda su hidratación. Esto permite perforar un pozo más estabilizado a través de formaciones de lutitas difíciles así disminuyendo los problemas de pozos estrecho y de lutitas desmoronables.
- C) Los lodos tratados con calcio son también muy resistentes a la contaminación con los contaminantes habituales: sal, cemento y anhídrita.
- D) Se puede utilizar cualquier tipo de agua de mezcla para la preparación de lodos tratados con calcio.

**DESVENTAJAS :** Antes de la conversión, la concentración de sólidos debe ser baja. Para reducir a un mínimo la cementación, el porcentaje de sólidos en volumen debe ser lo más bajo posible. La alcalinidad y el calcio soluble deben ser mantenidos al nivel más bajo posible, mientras se mantiene buenas propiedades de flujo. Debe añadirse Cromato de So-

dio (1/4 a 1/2 Lb/Bbl).

### FORMULACION DEL FLUIDO BASE AGUA SALADA (Cl.Na y Cl<sub>2</sub>.Ca)

COMPONENTES (ADITIVOS)	FLUIDO BASE Cl.Na	FLUIDO BASE Cl <sub>2</sub> .Ca
	Cantidad por:Bbl*	Cantidad por:Bbl*
Agua	1 Bbl*	1 Bbl*
Bentonita (Aquagel)	21,5 Lb/Bbl*	18,5 Lb/Bbl*
Soda Cáustica	1 - 2 Lb/Bbl*	1 - 2 Lb/Bbl*
Q - Broxin	5 - 10 Lb/Bbl*	5 - 10 Lb/Bbl*
Sal (Cl.Na ó Cl .Ca)	93 Lb/Bbl*	80 Lb/bbl*
Barita (Baroid)	70 Lb/Bbl*	70 Lb/Bbl*
Drispac - Reg	0,1 - 1,5 Lb/Bbl*	0,1 - 2 Lb/Bbl*
C M C	--	0,5 - 4 Lb/Bbl*
Soda ASH	0,7 - 1,5 Lb/Bbl*	1,0 - 3 Lb/Bbl*
Estearato de (Al)	0,23-0,35 gal/Bbl*	0,23-0,35 gal/Bbl*
Dextrid	3 - 6 Lb/Bbl*	--

### PREPARACION DEL FLUIDO EN EL LABORATORIO

En estos lodos base Cl.Na y Cl<sub>2</sub>.Ca, se consiguió mantener la densidad en ( $\rho=10$  Lb/gal), ya que la Barita es un material inerte y el control de peso no es razón principal de esta investigación.

### PREHIDRATACION DE LA ARCILLA (BENTONITA)

Durante la prehidratación de la Bentonita se utilizó 2



volúmenes (2 Bbl\*), lo cual dio mayor facilidad de trabajo y a su vez permitió preparar dos muestras de fluido de perforación a experimentarse.

La Bentonita para que tenga buen rendimiento, debe de ser prehidratada previamente, para luego sí ejecutar la mezcla con el agua salada.

El procedimiento de prehidratación en un fluido base (Cl.Na) es el siguiente :

A) Se mezcló en un jarro 1 Bbl\* de agua (Fresca)+43 Lbs de Bentonita + 0,5 Lbs de Soda Caústica y +4 Lbs de Q - Broxin respectivamente, luego se dejó prehidratar por un tiempo de 48 horas.

B) Después de 48 horas de prehidratación se procedió a mezclar en otro jarro 1 Bbl\* de agua fresca+186 Lbs de (Cl.Na), cantidad que fue previamente consultada en un manual de fluidos de perforación para alcanzar aproximadamente 100.000 ppm de ion  $(Cl^-)$ <sup>19,28,29,30,31</sup>.

C) Luego se mezcló las partes A y B de la siguiente manera: 1/2 Bbl\* de A. con 1/2 Bbl\* de B., quedando de esta manera dos volúmenes de Bentonita prehidratada listos para continuar con la preparación

del fluido a experimentarse.

En cuanto al fluido base ( $\text{Cl}_2.\text{Ca}$ ) el procedimiento es similar excepto que varía la cantidad de Bentonita y de ( $\text{Cl}_2.\text{Ca}$ ), lo cual se explicará en este capítulo más adelante.

El orden de preparación de los fluidos base ( $\text{Cl}.\text{Na}$ ) y ( $\text{Cl}_2.\text{Ca}$ ) se muestran en los Apéndices 4 y 5 respectivamente.

Todos los valores experimentales correspondientes al fluido base ( $\text{Cl}.\text{Na}$ ), se encuentran resumidos en las Tablas 35, 36 y 37.

### 3.3 LODO BASE CLORURO DE POTASIO ( $\text{Cl}.\text{K}$ )

El ion potasio ( $\text{K}^+$ ) reacciona entre las láminas de arcilla individuales, de igual manera en las lutitas, teniendo cuidado de que las capas sean al mismo tiempo sujetadas<sup>9,20,29,31</sup>. Las pequeñas aberturas entre las capas de lutita cerca de la pared del pozo, a través de las cuales el agua del fluido de perforación puede entrar, son cerradas estrechamente por la presencia del ( $\text{K}^+$ ).

Por lo tanto, el hinchamiento de la lutita, derrumbe, desprendimiento de la formación de lutitas hacia el

pozo es minimizada, como la presencia de arcillas en zonas productivas son estabilizadas<sup>31</sup>.

El (Cl.K), ya sea como un aditivo K-PLUS (sistema de fluido de perforación lignito-potasio) o como DEXTRID (polímero orgánico en lodos salados), proporcionan un sistema económico y efectivo de inhibición de lutitas, cuando se está perforando formaciones de lutita inestable.

El uso del POTASIO como intercambiador básico de ión para inhibir lutitas inestables ha sido aceptado por muchos operadores en diferentes partes del mundo.<sup>31</sup>

Las tres mejores aplicaciones para sistemas potásicos son:

- 1) Perforación de formaciones suaves (arcillas plásticas) para prevenir, embolamiento de la broca y problemas de hueco apretado, comúnmente asociados con perforación de formaciones plásticas<sup>24,31,32</sup>.
- 2) Perforación de lutitas endurecidas, parecidas a las que se encuentran en las estribaciones de Canadá y West Texas, donde derrumbes y ensanchamiento de hueco abierto son problemas comunes.

- 3) Fluídos para perforación y reacondiciamiento de pozos donde la zona de pago es sensible al agua.

Los materiales usados para controlar las propiedades y características de los fluídos, varían mucho entre sí. Un análisis de los productos del sistema Cl.K, sus funciones y efectos al hacerlo serviría de mucha utilidad.

#### MATERIALES Y SUS FUNCIONES

Cl.K : Es usado como fuente para suministro de potasio. Varias investigaciones indican que una concentración de 3%-5% (10,5-17,5 Lb/Bbl), es suficiente para proporcionar una inhibición<sup>31</sup>. Intentar aumentar la concentración a 15% (52,5 Lb/Bbl), para incrementar el efecto de inhibición de inestabilidad de hueco abierto, no siempre es logrado.

Una fuente secundaria de potasio es (OH.K), el cual es usado algunas veces como alcalinizador. Generalmente éste se usa en concentraciones inferiores al potasio. Aproximadamente 1,6 Lb/Bbl de (OH.K) son requeridas para conseguir el mismo efecto de PH que 1 Lb/Bbl de soda cáustica. El (OH.K) proporciona aproximadamente 2.000 ppm de (K<sup>+</sup>) por cada Lb/Bbl que

se agrega.

El anion policrilamida ha demostrado que la adsorción en el intercambio positivo de las arcillas expuestas, reduce la entrada de agua de las formaciones arcillosas y contribuye a incrementar la inhibición.

VISCOSIFICADORES : Los materiales usados como viscosificadores en sistemas base (Cl.K) son :

X C - polímero, Bentonita Prehidratada, Hidróxido Etil Celulosa (HEC) y Dispositivo Gomoso (Modificado).

Es factible la combinación de 6 Lb/Bbl de Bentonita prehidratada y 0,5 Lb/Bbl de XC polímero, siendo usados en la mayor parte del tratamiento.

Estos materiales hacen incrementar la viscosidad, pero en cuanto a la capacidad de acarreo son poco satisfactorios, necesitando altas concentraciones de Bentonita, para proporcionar adecuada limpieza al hueco.

Estos lodos básicamente exhiben un alto ( $Y_p$ ) con relación a la ( $p_v$ ) y así también una alta rata de filtrado, como se indica a continuación por Ejemplo:

$p_v = 5 \text{ cps}$

$Y_p = 35 \text{ Lb/100 pie}$

Filtado API= 25-35 cc

**CONTROL FILTRADO :** Los materiales usados para reducir filtrado en estos sistemas base potasio son :

XKB-LIG que consiste en una espuma de lignito que reacciona con el (OH.K), siendo el PH de estos materiales aproximadamente 9,5. XKB-LIG es usado para controlar filtrado y como una fuente de potasio en sistemas en los cuales no se utiliza Cl.K.

El tratamiento recomendado está entre 6-35 Lb/Bbl , dependiendo del requerimiento de las propiedades del lodo.<sup>31</sup>

DRISPAC : Su uso es muy satisfactorio, normalmente se usa de (0,5-1 Lb/Bbl), para reducir filtrado , además puede reducir drásticamente la relación de  $Y_p$  y  $p_v$ .<sup>31</sup>

## FORMULACION DEL FLUIDO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)

COMPONENTES (ADITIVOS)	CANTIDAD
	Por : Bbl*
Agua	1 Bbl*
Bentonita (Aquagel)	17,1 Lb/Bbl*
Soda Cáustica	1-2 Lb/Bbl*
Q-Broxin	2-8 Lb/Bbl*
Sal (Cl.K)	50 Lb/Bbl*
Barita (Baroid)	70 Lb/Bbl*
Drispac - Reg	0,2-1,5 Lb/Bbl*
Dextrid	3-8 Lb/Bbl*
Carbonato de Potasio	0,5-1,5 Lb/Bbl*
Estearato de Aluminio	0,47-0,58 gal/Bbl*

## PREPARACION DEL FLUIDO EN EL LABORATORIO

En este lodo base (Cl.K), se consiguió mantener la densidad en ( $\rho=10,0$  Lb/gal). El procedimiento de prehidratación de la Bentonita, para este fluido fue similar a la prehidratación para los anteriores fluidos base (Cl.Na) y (Cl<sub>2</sub>Ca), excepto que las cantidades de Bentonita y (Cl.K)<sup>19,31</sup> fueron 17,1 Lb/Bbl\* y 50 Lb/Bbl\* respectivamente.

El orden de preparación del fluido base (Cl.K) se muestra en el Apéndice 6. Además todos los valores experimentales correspondientes a este fluido se encuentran resumi-

dos por lo tanto en las Tablas 38, 39 y 40.

### 3.4 LODO BASE EMULSION INVERSA (INVERMUL)

Una emulsión inversa es una emulsión de agua en petróleo en el cual la fase dispersa es agua dulce o salada y la fase continua es diesel, petróleo crudo o alguna otra clase o derivado de petróleo<sup>19,31</sup>. Una emulsión es creada en un lodo base aceite cuando un líquido es formado por una mezcla microscópicamente heterogénea de dos líquidos (aceite y agua), uno disperso dentro del otro. Un agente emulsificante es necesario para formar una emulsión estable.

En una buena emulsión no deben haber tendencias de separación de las fases. El petróleo continuará siendo la fase continua y las gotas de agua no serán capaces de abrirse paso en medio de esa fase continua o de entrar en contacto con las paredes del pozo o con la sarta.

Se conoce sin embargo que la conducta de una emulsión inversa es influida considerablemente por la relación petróleo/agua, por el tiempo y grado de agitación, y por el tipo y cantidad de los emulsionantes empleados.



Las gotitas de agua actúan como viscosificantes y contribuyen sustancialmente a la resistencia de gel, al control de filtrado y a la suspensión de la barita. Gotitas emulsionadas más pequeñas dan por resultado una mayor viscosidad, mejor suspensión del densificante y menor pérdida de filtrado (característico de todos los lodos base petróleo).

Cuando se añade aceite la emulsión es más estable porque la distancia entre gotitas es mayor. Agregando agua se reduce la estabilidad porque la distancia entre gotitas de agua es reducida. El agregado de aceite o agua afectará la viscosidad.

La tendencia en la tecnología actual de perforación es emplear lodos con relaciones petróleo/agua más altas que las que se utilizaron en el pasado. Hay varias razones para ello, pero tres motivaciones principales son: mejoramiento de la perforación, mejor estabilidad térmica y mayor resistencia a la contaminación<sup>14, 31</sup>.

La zona límite de contacto entre las fases petróleo y agua es el asiento de importantes reacciones químicas. La cal se combina con los concentrados de lodo CARBO-TEC-L (INVERMUL), proveyendo el calcio para ja

bones especiales de base calcio que se necesitan para la formación de una emulsión estable.

Cuando se incluye un electrolito en la fase acuosa, la solubilidad del calcio de la molécula de jabón cálcico aumenta. Por esa razón, las emulsiones inversas más estables se forman cuando la fase acuosa contiene un electrolito, como el cloruro de sodio (Cl.Na) o el cloruro de calcio (Cl<sub>2</sub>.Ca). La alternativa para elegir el tipo de sal a emplearse en estos lodos, está dictada por la tecnología moderna relacionada con el uso de estos sistemas en la perforación de lutitas extremadamente difíciles<sup>17,20,34</sup>.

Investigaciones recientes han demostrado que cada lutita tiene su propia y característica "Actividad". Esta actividad está relacionada con el contenido residual de agua de la lutita, su grado de presurización y la salinidad de sus aguas.

El control de la actividad de los lodos base petróleo se logra ajustando la salinidad de la fase acuosa. Dado que el (Cl<sub>2</sub>.Ca) es más soluble que el (Cl.Na), puede obtenerse con el primero una salinidad más alta. Esto determina una menor actividad de lodo, lo que puede ser necesario para ciertas secciones de lutita. El (Cl<sub>2</sub>.Ca) ofrece al operador la posibilidad

de ajustar la salinidad (o actividad) dentro del rango adecuado, mediante adiciones de  $(Cl_2Ca)$  en polvo. Esta sal es más hidrocópica y penetrará a través de la fase oleosa continua hasta el interior de la fase acuosa dispersa, en condiciones en que el  $(Cl.Na)$  no lo haría.

Los lodos base aceite fueron usados con mucho éxito después que ciertos fenómenos fueron observados en el laboratorio de investigación<sup>31</sup>. Estas observaciones indicaron que los lodos base aceite poseían la propiedad única de desarrollar fuerzas osmóticas frente a formaciones de lutitas. Esto daba como resultado la extracción de agua (deshidratación de la lutita, cuando una cantidad suficiente del  $(Cl_2Ca)$  disuelto estaba presente en la fase acuosa del lodo base aceite.

Cuando la fase acuosa del fluido (usualmente 15%-30%) contiene una salinidad mayor que la del fluido de formación, se produce un "Efecto osmótico". La membrana semipermeable producida por el jabón de alto peso molecular en el lodo CARBO TEC-L, deja entrar o salir agua si las condiciones son tales que pueda generarse una presión osmótica.

Si el fluido de perforación no hidrata a la arcilla, tenemos una fuerza de deshidratación osmótica (Fuerza osmótica) y cuando el fluido hidrata a la arcilla tenemos una fuerza de hidratación osmótica (Fuerza de Hidratación). Por lo tanto, si la fuerza osmótica es mayor que la fuerza de hidratación, resulta una deshidratación total de la arcilla.

Es un hecho bien conocido que el agua migra de una solución menos salina a otra de mayor salinidad si está presente una membrana semipermeable. Es por este fenómeno que una emulsión inversa puede realmente deshidratar formaciones lutíticas o arcillosas.

Estos lodos base aceite CARBO-TEC-L ofrecen las siguientes aplicaciones :

- A) Perforación de areniscas productoras sensibles al agua.
- B) Aliviar aprisionamientos diferenciales<sup>1</sup>
- C) Perforación de formaciones solubles en agua, hidratables o plásticas (Gumbos)<sup>24</sup>
- D) Perforación de pozos desviados
- E) Coroneo (sacar testigos)

- F) Perforación de formaciones de altas temperaturas
- G) Perforación de áreas en las que el aumento de sólidos incorporados es un problema.
- H) Perforación de ambientes corrosivos
- I) Fluidos de empaque
- J) Para prevenir la corrosión, "Casing Packs" (en el exterior de la cañería).
- K) Perforación de formaciones de sal o anhidrita
- L) Llevar al máximo la recuperación de tuberías
- M) Perforación de formaciones de baja presión
- N) En casos especiales: perforación bajo balance

#### MATERIALES Y SUS FUNCIONES<sup>19,22,31</sup>

- 1) CARBO TEC-L : Carbo Tec-L (L es por líquido) es el componente básico de los lodos base aceite CARBO TEC-L — CARBO TROL A-9 y sólo en casos muy especiales un lodo base aceite deberá ser preparado o mantenido sin él.
- 2) CARBO TROL A-9 : Es un coloide orgánico dispersable en aceite usado para controlar el filtrado de los lodos base aceite, además provee estabilidad a alta temperatura y requiere la presencia de CAR

BO TEC-L para trabajar adecuadamente.

- 3) CARBO GEL : Tiene una estructura bentonítica que desarrolla un esfuerzo de geles, necesita de un aditivo polar, como el agua, para desarrollar una fluencia máxima.
- 4) EZ - MUL (CARBO MUL) : Forma una emulsión ligera y deberá ser usado junto a, o como suplemento de CARBO TEC-L. Es un agente humectante rápido de aceite en el tratamiento de sólidos humedecidos de agua e imparte estabilidad a alta temperatura.
- 5) DIESEL : Ya que el material más crítico que requiere propiedades uniformes es el petróleo. Se prefiere usar DIESEL, porque su peso específico varía entre (32 y 40°API) y además porque su punto de anilina es más alto que el del petróleo<sup>19</sup>, generalmente se acepta entre (135 y 160°F).

El riesgo de condiciones inflamables debe tenerse en cuenta para todos los petróleos y deben tomarse todas las precauciones necesarias de seguridad.<sup>2</sup>

- 6) CLORURO DE CALCIO : Cantidades suficientes de (Cl<sub>2</sub>.Ca) mezcladas en la fase acuosa de la emulsión CARBO TEC-L proveerán una fuerza osmótica ca

paz para deshidratar formaciones mojadas de agua.

### FORMULACION DEL FLUIDO BASE EMULSION INVERSA

COMPONENTES (ADITIVOS)	CANTIDAD
RELACION PETROLEO/AGUA (70/30) - $\rho$ =(12 Lb/gal)	Por : Bbl*
Agua	0,244 Bbl*→122,35 cc.
Aceite	0,571 Bbl*→285,55 cc.
Carbo Tec-L (466 lb/55 gal)	11,42 Lb/Bbl*→11,24 cc (solución) 0,02248 Bbl*(solución)
Cal (Lime)	5,714 Lb/Bbl*
Cl <sub>2</sub> .Ca	57,14 Lb/Bbl*
Carbo Gel	2,86 Lb/Bbl*
Carbo Trol A-9	10,0 Lb/Bbl*
EZ-MUL (Carbo Mul)	2,86 Lb/Bbl*
Barita	304,0 Lb/Bbl*

### PREPARACION DEL FLUIDO EN EL LABORATORIO

Este fluido de emulsión inversa, fue preparado con una relación petróleo/agua=70/30 y con una densidad  $\rho$ =12 Lb/gal. En general, la relación aceite/agua debería ser aumentada a medida que la densidad es aumentada<sup>31</sup>, por ejemplo, un lodo no densificado puede tener una relación aceite/agua (65/35), mientras que uno de densidad 18 Lb/gal, es controlada más fácilmente con una relación 90/10.

El período de agitación que se dé a ciertos componentes de este lodo es muy importante, ya que la emulsión debe estar bien formada antes de agregar la barita.

La calidad de la emulsión se mide mediante un probador (Tester) de emulsión<sup>19,30,31</sup>. El cual consiste en aplicar un voltaje a través de los electrodos y se aumenta hasta que fluye una cantidad determinada de corriente. La medida de emulsión es indicada por el flujo de corriente y la estabilidad por el voltaje en el punto de flujo, por lo tanto el grado de la emulsión puede ser indicado por la estabilidad eléctrica. Generalmente la estabilidad eléctrica (EE) debería ser de 500 voltios.

El orden de preparación de este fluido se muestra en el Apéndice 7. Además los valores experimentales correspondientes a este fluido se encuentran resumidos en las Tablas 41 y 42.

#### LODOS SALADOS COMPARATIVOS DE Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na

Una vez que se han preparado y experimentado los fluidos: Base agua fresca (Lignosulfonato), base agua salada (Cl.Na y Cl.K) y base aceite (Emulsión Inversa), se llega a una primera conclusión, de que los fluidos que técnicamente contrarrestan el problema de



inestabilidad de arcillas son: Los base agua salada y base aceite (Emulsión inversa), observando en este último muy buenos resultados, pero dado a su alto costo de preparación y perforación con este fluido, se lo ha descartado y se ha resuelto probar con los fluidos base agua salada (Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na), bajando las concentraciones de sal.

El procedimiento de prehidratación de la bentonita, para estos fluidos base agua salada (Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na) es similar a la prehidratación de la bentonita explicada ya anteriormente en este capítulo, variando tan sólo las cantidades de bentonita, Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na en : 18,5 Lb/Bbl\*, 20 Lb/Bbl\*, 80 Lb/Bbl\* y 40 Lb/Bbl\* respectivamente.

Debo mencionar que los tres fluidos fueron experimentados a través de la muestra N° ⑤ (12.200'-12.300') que es la más representativa de las seis muestras seleccionadas<sup>17,34</sup>, mediante difracción de rayos -X.

Además todos los valores experimentales correspondientes a estos fluidos se encuentran resumidos en las Tablas 43, 44 y 45 respectivamente.

## CAPITULO IV

### ANALISIS ECONOMICO DEL FLUIDO SELECCIONADO

La Industria de la perforación, como cualquier otra industria que compite, está continuamente, a medida que avanza la tecnología buscando mecanismos para reducir sus costos. De hecho, uno de los mayores problemas que tiene la industria de la perforación, actualmente, es el costo de la perforación profunda, especialmente (OFF-SHORE)<sup>2,19</sup>.

Por su puesto el costo de perforación varía de región a región, y son varias las razones para el aumento del costo por pie perforado, al aumentar la profundidad por ejemplo :

- 1) Formaciones más duras. A profundidades mayores, la presión de sobrecarga en las rocas es mayor y por ello las rocas son más compactas y más difíciles de perforar.
- 2) Menor porcentaje de tiempo en el fondo. A estas profundidades mayores, la vida de la broca es más corta que a poca profundidad y por lo tanto se requiere más viajes redondos por unidad de perforación.
- 3) En zonas como la del Golfo de Guayaquil<sup>3,40</sup>, debido a la geología que presenta, ésta es bastante irregular, tan

to estructural como litológicamente (Fallamiento, arcillas expansivas, etc.), lo cual ocasiona grandes problemas de índole técnico operacional.

Es evidente que existe una amplia variedad de lodos. El lodo apropiado para perforar un pozo es aquel que permite llegar a la profundidad total o final, de una manera RÁPIDA, "ECONOMICA" (costo/pie) y SEGURA (mantener al pozo mayormente controlado).

Un bajo costo inicial del lodo puede a lo largo resultar muy costoso si da por resultado problemas posteriores en la perforación o en la producción.

Para evitar en lo que fuera posible dichos problemas, se ha seleccionado el intervalo comprendido entre el asentamiento del casing de  $13\frac{3}{8}$ " (4.200') y la profundidad total (16.000') como intervalo de estudio, según informe de perforación del pozo. Ya que se encuentra en una zona problema, de arcillas expansivas, las cuales fueron detectadas mediante difracción de rayos -X y las respectivas pruebas de laboratorio hechas a cada fluido diseñado.

El intervalo en mención consta de dos tramos, por tratarse de diferentes diámetros de agujero.

Además, solo se hará el estudio económico a los fluidos

base agua salada (Cl.Na, Cl.K) y base emulsión inversa , por considerarse según los resultados de las pruebas hechas anteriormente en capítulos II y III, como los más adecuados en cumplir el objetivo propuesto de minimizar inestabilidad de arcillas en el área del Golfo de Guayaquil.

#### ESTUDIO ECONOMICO DE LOS FLUIDOS PRESELECCIONADOS

En este diseño estimativo de perforación, se considera cinco tuberías de revestimiento, sentadas a cinco diferentes tamaños de brocas, como se indica en la Tabla 46, Fig. 18 y 19.

Por lo tanto se divide la profundidad total estimada, en dos zonas A y B. Correspondiéndole a la zona A los intervalos I, II y III respectivamente; y a la zona B los intervalos IV y V respectivamente. Cada uno de los intervalos aquí mencionados difieren tanto en diámetro como en profundidad.

Para los intervalos comprendidos en la zona A, se procederá a perforar en condiciones bastante similares a los ya perforados en el pozo T. #1 (Campo T.), tan sólo variando cierta cantidad de materiales a usarse y por su puesto los volúmenes respectivos.

En la zona B, será donde se hará el estudio económico con

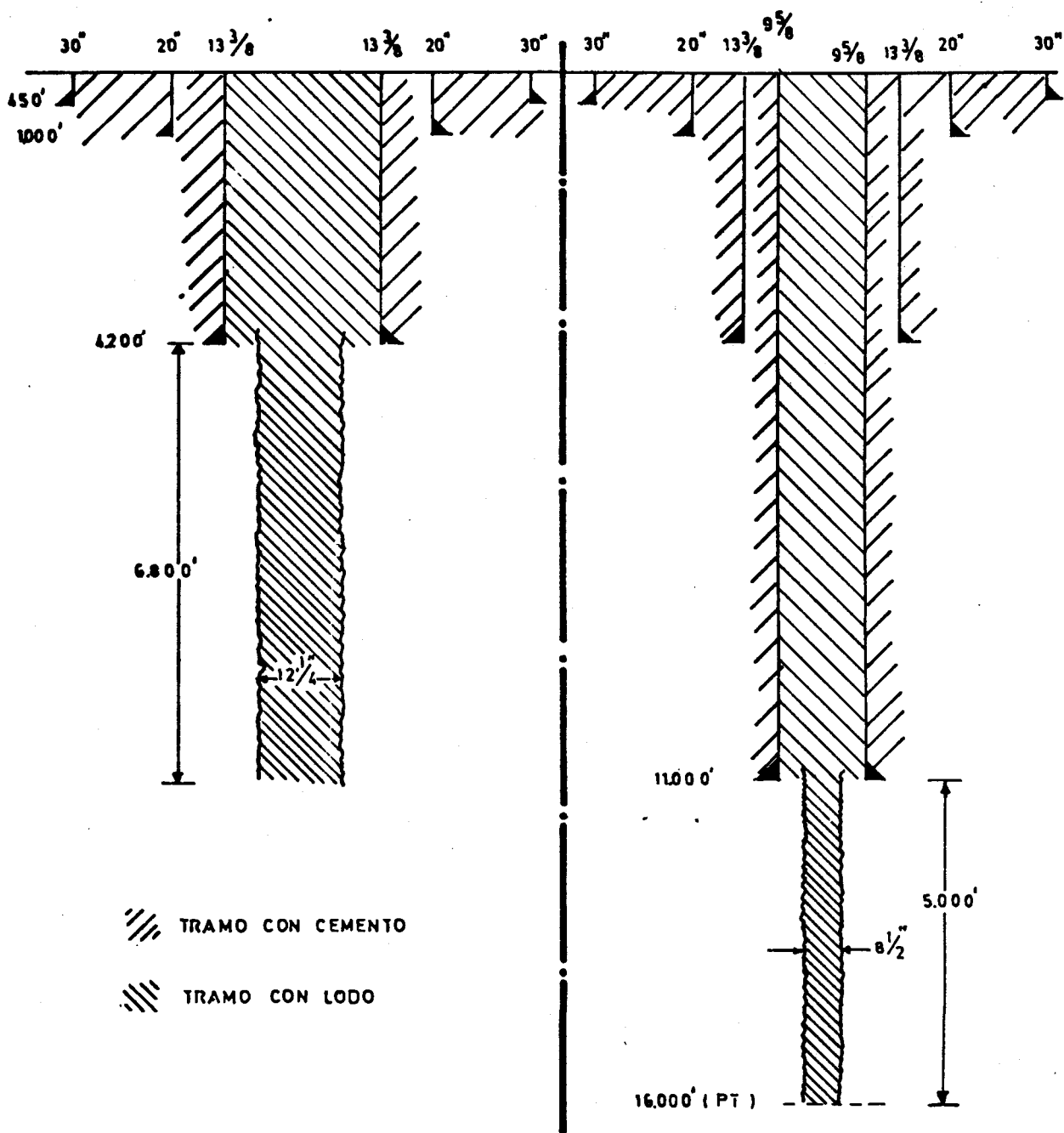


FIGURA 18 DISEÑO ESTIMATIVO DE PERFORACION (4200'—16000').

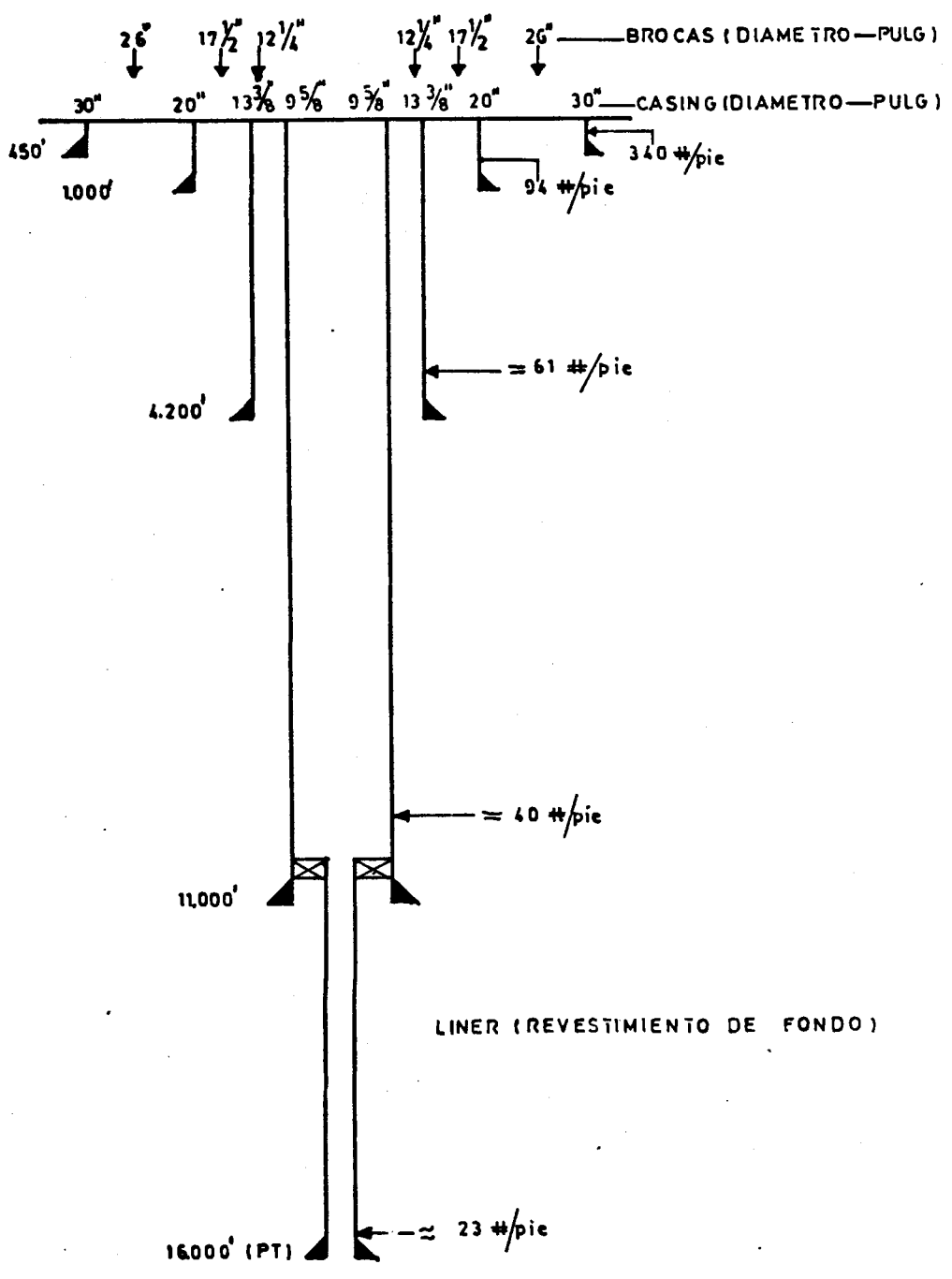


FIGURA 19 DISEÑO ESTIMATIVO DE REVESTIMIENTO (0'-16.000').

los fluídos preseleccionados base agua salada (Cl.Na y Cl.K) y base emulsión inversa, por considerarse zona problema , debido a la presencia de un gran porcentaje de arcillas plásticas, las cuales ocasionan problemas de inestabilidad del hueco tales como: Derrumbes, pegamiento diferencial, ensanchamiento del hueco, aumento del contenido de sólidos en el fluído de perforación, etc.

Los precios a los que se hace referencia en este estudio, son precios que corresponden al año 1982, ya que con respecto a los precios actuales varían muy poco, por tratarse de precios de productos FOB (Precios que se mantienen aproximadamente constantes en el mercado).

Además el costo total de la zona A. será considerado constante a lo largo del estudio, por lo ya explicado anteriormente.

Si se considera que las operaciones se realizan desde una plataforma autoelevable (Jack-Up's) tipo "UXMAL", con un remolque o barco de abastecimiento, se explica el diseño de los fluídos por cada zona mencionada en la Tabla 46.

#### ZONA A (0'-4.200')

Se asume una profundidad de 300' desde la mesa rotaria hasta el fondo marino, considerando una profundidad nominal o tirante de agua de aproximadamente 230'.

**INTERVALO I (0'-450') - MARTILLANDO**

Durante la perforación de este intervalo, no se utiliza ningún fluido de perforación. El asentamiento de la zapa del casing de 30", se hace martillando hasta la profundidad de 450 pies. Por lo tanto, no se usa materiales de fluido en este intervalo y se asume un tiempo de operación de un día.

Costo del fluido de perforación ( $C_1$ ) = \$ 0.00

**INTERVALO II (450'-1.000') FLUIDO NATIVO/BENTONITICO**

Se comienza a perforar este intervalo desde 150 pies arriba de 450 pies (Fondo marino), ya que el casing de 30" es asentado a 450 pies sin perforar.

Debo indicar que la plataforma a la que se hace mención, tiene tres piletas grandes de preparación de fluido, de 1.600 Bbl en total de capacidad y que cada pileta bajo la zaranda tiene 50 Bbl de capacidad.

Además el fluido en su inicio es de tipo nativo, cuya fase continúa es agua de mar, con una salinidad de aproximadamente 20.000 ppm  $Cl^-$  y a medida que se va perforando se transforma en un fluido tipo Bentonítico, con propiedades promedio estimativas de :



Densidad : 8,7 - 9,3 Lb/gal

Salinidad : 5.000 - 10.000 ppm Cl<sup>-</sup>

Filtrado : 11 cc/30 min (API)

El uso del equipo de sólidos, será continuo, dada la gran cantidad de sólidos a encontrarse.

#### MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO II

1. Vol. En superficie (se asume pileta 2+piletas zaranda)	200 Bbl
2. Vol. Hueco recubierto 300' Casing 30" ( $\pi r^2 \cdot h$ )	262 Bbl
3. Vol. Hueco abierto 700' agujero 26''+15%=459,41+68,9 (Apénd. C, Tab. 8, ref. 19)	529 Bbl
Sub total	<u>991 Bbl</u>
4. (Vol. Dilución 10%/pérdida por día) x 1 día	99 Bbl
TOTAL	<u><u>1.090 Bbl</u></u>

(Ver Tabla 47)

#### INTERVALO III (1.000' - 4.200') FLUIDO SALADO (SAL/DEXTRID)

Este intervalo será perforado con un fluido similar al ya usado en este intervalo en el pozo T. #1.

Las propiedades promedio del fluido se mantendrán aproximadamente como:

Densidad	: 9,3 Lb/gal - 9,5 Lb/gal
Viscosidad (Embudo)	: 55 - 65 Seg
PV	: 15 - 20 cp
YP	: 10 - 20 Lb/100 pie <sup>2</sup>
Filtrado	: 8 - 13 cc/30 min (API)
Salinidad	: 95.000 - 105.000 ppm Cl <sup>-</sup>

Además por experiencia de pozos ya perforados en dicha área, especialmente del T., se adicionará un porcentaje de 6% de diesel del volumen total, con el fin de lubricar las paredes del hueco, antes de bajar tubería de revestimiento de  $13 \frac{3}{8}$ ". La salinidad ha sido elevada a 100.000 ppm  $Cl^-$  debido al requerimiento y la bentonita prehidratada durante 48 horas antes de agregarla al fluido.

#### MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO III

1. Vol. En Superficie asumido	700 Bbl
2. Vol. (1.000') casing 20" (Apénd. C, Tab. 5, ref. 19)	355 Bbl
3. Vol. (3.200') agujero $17 \frac{1}{2}$ " +10%= 951,36+95,14 (Apénd. C, Tab. 8, ref. 19)	1.047 Bbl
Sub total	2.102 Bbl
4. (Vol. dilución 25%/pérdida por dfa) x 8 días	4.204 Bbl
5. Vol. Adicional (un preparado)	500 Bbl
TOTAL	6.806 Bbl

(Ver Tabla 48)

El tiempo hasta aquí empleado se estima en 10 días y el costo estimado de los materiales correspondientes a la zona A es de \$ 89.343,017.

$$C_1 = \$ 0.00$$

$$C_2 = " 2.576,42$$

$$C_3 = " \underline{86.766,597}$$

$$C = \$ 89.343,017$$

ZONA B (4.200'-16.000')

FLUIDO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)

INTERVALO IV (4.200'-11.000') LODO SALADO (Cl.Na)

Se agrega sal en polvo (pura), para conseguir la salinidad deseada. El agua será obtenida del mar y tratada previamente antes de entrar a formar parte del fluido.<sup>19</sup> Se usará parte del fluido anterior ya que las propiedades iónicas de dicho fluido, son iguales al que se diseña en este intervalo. Además la Bentonita, será prehidratada antes de agregarla al fluido durante 48 horas.

Las propiedades promedio a conseguirse serán :

Densidad	: 9,5 - 12,5 Lb/gal .
Viscosidad (Embudo)	: 40 - 60 Seg.
PV	: 15 - 25 cp
YP	: 15 - 20 Lb/100 pie <sup>2</sup>
Filtrado	: 5 - 8 cc/30 min (API)
Cloruros	: 40.000-50.000 ppm Cl <sup>-</sup>
Sólidos	: 15 - 25%

Se usará un compuesto "ORGANICO-ALUMINICO", para controlar problemas de perforación, asociados con arcillas expansivas. Este producto se llama SUPER SHALE TROL (SST)<sup>23,24</sup> y lo fabrica la compañía MILCHEM y puede ser usado en cualquier tipo de fluido, ya sea base agua fresca o agua salada, e incluso en fluidos base emulsión inversa.

## MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV

1. Vol. Superficie	700 Bbl	Vol. anterior
2. Vol. (4.200') casing 13 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " (Apénd. C, Tab.5, ref. 19)	639 Bbl	
3. Vol. (6.800') agujero 12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> " + 10% = 991 + 99 (Apénd. C, Tab.8, ref. 19)	<u>1.090 Bbl</u>	
	Sub total	2.429 Bbl
4. (Vol. Dilución 15%/pérdida por día) x 20 días	<u>7.287 Bbl</u>	
	Sub total	9.716 Bbl
5. (-Vol. que había en intervalo anterior)	<u>-1.339 Bbl</u>	
	TOTAL	8.377 Bbl

(Ver Tabla 49)

## INTERVALO V (11.000' - 16.000') FLUIDO SALADO (Cl.Na)

Se usa un fluido del mismo tipo que se usó en el intervalo anterior, estimándose propiedades promedio de :

Densidad	:	12,5 - 13,7 Lb/gal
Viscosidad (Marsh)	:	50 - 70 Seg.
PV	:	20 - 35 cp
YP	:	15 - 25 Lb/100 pie <sup>2</sup>
Filtrado	:	2 - 3 cc/30 min (API)
Cloruros	:	40.000 - 50.000 ppm Cl <sup>-</sup>
Sólidos	:	15 - 25%
Aceite	:	4%

## MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V

1. Vol. Superficie	700 Bbl	} Vol. anterior
2. Vol. (11.000') Casing 9 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> " (Apénd. C, Tab. 5, ref. 19)	834 Bbl	
3. Vol. (5.000') agujero 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " + 5% = 351+17 (Apénd. C, Tab. 8, ref. 19)	368 Bbl	
	<u>Subtotal</u>	1.902 Bbl
4. (Vol. Dilución 15%/pérdida por día) x 40 días	11.412 Bbl	
	<u>Subtotal</u>	13.314 Bbl
5. (-Vol. que había en intervalo anterior)	- 1.534 Bbl	
	<u>TOTAL</u>	11.780 Bbl

(Ver Tabla 50)

El tiempo estimado para esta zona es de 60 días y el costo de materiales en esta zona B, se estima en \$ 452.560,1.

$$C_4 = \$ 209.710,45$$

$$C_5 = \underline{\underline{\$ 242.849,65}}$$

$$C' = \$ 452.560,10$$

Por lo tanto se estima un total de 70 días en perforar el pozo, con un COSTO TOTAL DE MATERIALES ( $C_T$ ) = ( $C + C'$ ), ESTIMADO EN \$ 541.903,11.

FLUIDO BASE AGUA SALADA (C1.K)

INTERVALO IV (4.200' - 11.000') FLUIDO SALADO (C1.K)

El fluido a usarse en esta zona, será diferente en su cons

titución iónica al fluido usado en la zona A, por lo tanto éste será un fluido nuevo, dada su base salina.

Se agregará sal de (Cl.K) en polvo (pura), para conseguir la salinidad deseada. El agua será obtenida del mar y tratada, previamente en la planta de tratamiento, antes de entrar a formar parte del fluido y se abastecerá continuamente de agua fresca caso de ser necesario.

La Bentonita que se use, será previamente prehidratada, durante 48 horas, antes de formar parte del fluido de perforación. Además se empleará el compuesto (SST) en pequeña concentración, ayudando a la inhibición de arcillas expansivas.

Las propiedades promedio estimadas son :

Densidad	: 9,5 - 12,4 Lb/gal
Viscosidad (Embudo)	:
PV	: 10 cp
YP	: 30 Lb/100 pie <sup>2</sup>
Filtrado	: 8 - 13 cc/30 min (API)
Cloruros	: 22.000 - 25.000 ppm Cl <sup>-</sup>
Potasio	: 25.000 - 27.000 ppm K <sup>+</sup>
Sólidos	: 15 - 25 %

## MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV

1. Vol. Superficie	700 Bbl
2. Vol. (4.200') Casing 13 $\frac{3}{8}$ " (Apénd. C, Tab. 5, ref. 19)	639 Bbl
3. Vol. (6.800') agujero 12 $\frac{1}{4}$ " +10% (Apénd. C, Tab. 8, ref. 19)	1.090 Bbl
	<hr/>
Sub total	2.429 Bbl
4. (Vol. Dilución 12%/pérdida por día) x 19 días	5.538 Bbl
	<hr/>
TOTAL	7.967 Bbl

(Ver Tabla 51)

## INTERVALO V (11.000' -16.000') FLUIDO SALADO (Cl.K)

Se trata de un fluido del mismo tipo que se usó en el intervalo anterior, cuyas propiedades promedio se estiman en :

Densidad	: 12,4 - 13,7 Lb/gal
Viscosidad (Embudo)	:
PV	: 15 cp
YP	: 30 Lb/100 pie <sup>2</sup>
Filtrado	: 3 - 6 cc/30 min (API)
Cloruros	: 22.000 - 25.000 ppm Cl <sup>-</sup>
Potasio	: 25.000 - 27.000 ppm K <sup>+</sup>
Sólidos	: 15 - 25 %
Aceite	: 3%

## MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V

1. Vol. Superficie	700 Bbl	} Vol. anterior
2. Vol. (11.000') Casing 9 5/8" (Apénd. C, Tab. 5, ref. 19)	834 Bbl	
3. Vol. (5.000') agujero 8 1/2" + 5% (Apénd. C, Tab. 5, ref. 19)	368 Bbl	
	<hr/>	
Sub total	1.902 Bbl	
4. (Vol. Dilución 14%/pérdida por día) x 40 días	10.651 Bbl	
	<hr/>	
Sub total	12.553 Bbl	
5. (-Vol. que había en intervalo anterior)	- 1.534 Bbl	
	<hr/>	
TOTAL	11.019 Bbl	

(Ver Tabla 52)

Se estima un tiempo de 59 días y un costo de materiales en esta zona B de \$ 538.759,11.

$$C_4 = \$ 228.404,00$$

$$C_5 = \underline{\quad} 310.355,11$$

$$C' = \$ 538.759,11$$

Por lo tanto se estima un total de 69 días en perforar el pozo, con un costo total de materiales ( $C_T = (C+C')$ ), estimado en \$ 628.102,12.



## FLUIDO BASE EMULSION INVERSA

INTERVALO IV (4.200'-11.000') FLUIDO BASE ACEITE (EMULSION INVERSA).

Se trata de un fluido nuevo de emulsión inversa, de base aceite. Este fluido dado su naturaleza no reactiva con las arcillas, daría una estabilidad máxima a la formación reduciría la desintegración de los sólidos finos al fluido, dando menos problemas a la operación como un todo. La estabilidad y resecamiento de la formación impuesta por el fluido base aceite, probablemente permita perforar con densidades inferiores a las actualmente usadas, dando mejores rendimientos de las brocas y ratas de penetración más rápidas, sin el peligro ni los problemas de atascamiento o de torque. También reduciría los peligros de daño a la formación.

Se estima las siguientes propiedades :

Relación petróleo/agua :	70/30
Densidad :	9 - 12,3 Lb/gal
PV :	20 - 28 cp
YP :	6 - 12 Lb/100 pie <sup>2</sup>
Filtrado (HP y HT) :	4 - 6 cc API
Cloruros :	350.000 ppm Cl <sup>-</sup>
Sólidos :	10 - 15%
Estabilidad eléctrica :	550 - 600 voltios

## MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV

1. Vol. Superficie	700 Bbl
2. Vol. (4.200') Casing 13 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> " (Apénd. C. Tab. 5, ref. 19)	639 Bbl
3. Vol. (6.800') agujero 12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> " + 2% = 991 + 20 (Apénd. C., Tab. 8, ref. 19)	<u>1.011 Bbl</u>
	Sub total 2.350 Bbl
4. (Vol. Dilución 5%/pérdida por dfa) x 16 días	<u>1.880 Bbl</u>
	TOTAL 4.230 Bbl de fluido

(Ver Tabla 53)

## INTERVALO V (11.000' - 16.000') FLUIDO BASE ACEITE (EMULSION INVERSA).

Sería un fluido del mismo tipo que se usó en el intervalo anterior, cuyas propiedades promedio se estiman en :

Relación petróleo/agua :	70/30
Densidad :	12,3 - 13,5 Lb/gal
PV :	22 - 30 cp
YP :	7 - 14 Lb/100 pie <sup>2</sup>
Filtrado :	6 - 8 cc API
Cloruros :	300.000 - 350.000 ppm Cl <sup>-</sup>
Estabilidad eléctrica :	600 - 700 voltios

## MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V

1. Vol. Superficie	700 Bbl	} Vol. anterior
2. Vol. (11.000') Casing 9 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> " (Apénd. C, Tabla 5, ref. 19)	834 Bbl	
3. Vol. (5.000') agujero 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> " + 3% = 351+11 (Apénd. C, Tabla 8, ref. 19)	362 Bbl	
	<hr/>	
	Sub total	1.896 Bbl
4. (Vol. Dilución 8%/pérdida por día) x 35 días	5.309 Bbl	
	<hr/>	
	Sub total	7.205 Bbl
5. (-Vol. que había en intervalo anterior)	- 1.534 Bbl	
	<hr/>	
	TOTAL	5.671 Bbl de fluido

(Ver Tabla 54)

El tiempo estimado para esta zona es de 51 días y el costo de materiales en esta zona B, se estima en \$ 626.415,7.

$$C_4 = \$ 290.004,39$$

$$C_5 = \underline{\underline{\$ 336.411,31}}$$

$$C' = \$ 626.415,5$$

Por lo tanto se estima un total de 61 días en perforar el pozo, a un costo total de materiales  $(C_T) = (C+C')$ , estimado en \$ 715.758,71.

## COMPARACION TECNICA-ECONOMICA DE DICHOS FLUIDOS (SELECCION)

Del estudio técnico-económico hecho a cada fluido prese-

leccionado, se estima resultados totales, en costo de materiales en dólares (\$) de cada fluido, mostrados a continuación:

FLUIDO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)	\$ 541.903,11
FLUIDO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)	" 628.102,12
FLUIDO BASE ACEITE EMULSION INVERSA	" 715.758,71

Si junto a los resultados totales antes mencionados se observa detenidamente: Costo en (%) por intervalos de cada fluido, Gráfico 15, y costo de materiales por zonas, Gráfico 16.

Se estima que a pesar de no ser el fluido base (Cl.K) el más barato de los tres fluidos, sin embargo, técnicamente es el más recomendado a ser usado, ya que trabaja por ejemplo : en relación a un fluido tipo Sal/Dextrid o (Cl.Na) , con una densidad menor a estos y con un poder de inhibición de arcillas (Lutitas) mucho más eficiente; en cambio con relación a un fluido base aceite emulsión inversa que técnicamente es el mejor inhibidor de arcillas expansivas, el fluido base (Cl.K) es menos costoso y no tiene el poder de contaminación del medio ambiente que tiene el mencionado fluido.

Sin embargo, un fluido base aceite emulsión inversa podría ser usado en un campo en desarrollo, donde se va a justi

ficar su alto costo.

Con estos antecedentes y por considerarse el área en estudio de tipo exploratorio, el fluido de perforación base cloruro de potasio (Cl.K), es el seleccionado, para minimizar la inestabilidad de las arcillas de dicha área en el Golfo de Guayaquil.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. Según la litología y estratigrafía, el porcentaje de arcilla es bastante notorio a lo largo de la perforación del Pozo T. #1 y en general en los últimos tres pozos perforados en el Golfo de Guayaquil.
2. La columna litológica aproximadamente en un 70% es arcillosa, en un 20% arenosa y en un 10% limolítica.
3. La muestra de mayor porcentaje de arcilla plástica, resultó ser la N<sup>o</sup> ⑤, que fue obtenida a (12.200'-12.300') de profundidad.
4. El presente trabajo acepta que :
  - La mineralogía de las arcillas según microscopía electrónica de barrido/análisis de energía dispersa y difracción de rayos -X demuestra que; las muestras del Pozo T. #1 en su mayoría son: Limolitas, Lutitas, cuya composición dominante de arcilla, cuarzo, plagioclasa, y pirita fueron detectadas.

Arcilla y material amorfo están en un rango de (16-57%).

En la mezcla de estratos arcillosos es dominante la

fracción de arcilla en el rango de (45-100%).

Se detecta gran porcentaje de montmorillonita cálcica, seguido de poco porcentaje de montmorillonita sódica y de otros filosilicatos como : illita, cloritas, micas tipo moscovita, hidromicas y minerales caoliníticos. (trabajo de Espinosa T.<sup>17</sup>). Lo anterior ha sido comprobado a lo largo de los trabajos experimentales realizados.

5. Los problemas que ocasionan las lutitas se analizan y se solucionan en función del tipo de lutita.
6. Mediante las pruebas de inspección visual, se determina que en los fluídos : Base agua fresca (Lignosulfonato), base agua salada (Cl.Na y Cl<sub>2</sub>.Ca) las muestras de arcilla se hidratan con notoriedad. En cambio en el fluído base (Cl.K) su hidratación es mínima. Finalmente en un fluído base aceite (Emulsión Inversa) se produce una total deshidratación.
7. Las arcillas presentan mayor actividad en un fluído base agua fresca (7,5-9,5 Me/100 gr) y menor actividad en un fluído de emulsión inversa (1-1,4 Me/100 gr).

8. El hinchamiento es notorio en un fluido base lignosulfonato en cambio en un fluido de emulsión inversa prácticamente es nulo.
9. Durante las pruebas experimentales se observó la presencia de abundante espuma en los fluidos, lo cual alteraba las propiedades y por tal razón fue necesaria la utilización de estearato de aluminio como antiespumante.
10. Los fluidos que técnicamente contrarrestan el problema de inestabilidad de arcillas son : Fluidos base agua salada (Cl.Na, Cl.K) y fluido base emulsión inversa.
11. Mientras mayor es el poder de inhibición del fluido , mayor es el costo de aditivos usados.

#### RECOMENDACIONES

1. Hacer a su debido tiempo las pruebas de difracción de rayos -X.
2. Hacer un análisis de ripios constantemente, especialmente en zonas donde se detecte arcilla plástica.



3. Diseñar la densidad del fluido de perforación seleccionado, en función de un perfil de presiones del área en estudio.
4. Prehidratar la bentonita antes que ésta sea agregada a los fluidos salados base (Cl.Na, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.K) durante unas 48 horas respectivamente.
5. Si se trabaja en el laboratorio, debe diluirse previamente el estearato de aluminio y soda cáustica, antes de agregarlos al lodo.
6. Recomiendo probar el compuesto Orgánico-Alumínico, super shale trol (SST)<sup>23</sup> en el fluido seleccionado, dada su característica principal de buen inhibidor de arcillas plásticas, para evaluación de sus resultados.
7. Después de haberse hecho el respetivo estudio técnico económico con los fluidos preseleccionados, se recomienda usar el fluido de perforación base cloruro de potasio, como el más adecuado para minimizar la inestabilidad de las arcillas de dicha área en estudio, en el Golfo de Guayaquil.

8. Un fluido base emulsión inversa podría ser usado aunque su costo es elevado, ya que se llegaría a la profundidad total (P.T.) en un menor tiempo de operación, dado su poder lubricante e inhibidor total de expansividad de arcillas.

9. Se recomienda usar cinco tuberías de revestimiento, sentadas a cinco diferentes tamaños de brocas, como se indica en la Tabla 46. Esta recomendación surge sin embargo, teniendo en mente el problema de la expansividad de las arcillas solamente.

Futuros trabajos deberán tomar en cuenta también presiones de sobrecarga, gradientes de fractura, presión de poros, etc.

10. En la zona A comprendida de (0'-4.200'), se recomienda usar un fluido similar al utilizado en dicha zona durante la perforación del pozo T. #1.

11. El fluido seleccionado base (Cl.K), se recomienda se use en la zona B comprendida desde (4.200' - PT).

12. De usarse en el futuro en el Golfo de Guayaquil un fluido base emulsión inversa, debe de hacerse un estu-

dio de contaminación del medio ambiente, con el fin de preservar la riqueza itiológica existente en dicha área.

13. Usese el equipo de sólidos continuamente, dado la gran cantidad de sólidos a encontrarse en dicha zona.

A N E X O S

TABLAS, GRAFICOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

T A B L A S

TABLA 1  
 MUESTRAS ENTREGADAS POR EL DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA REGIONAL PARA ASUNTO TESIS.  
 POZO T. #1

INTERVALO DE PROFUNDIDAD RECOMENDADA (pies)	PROFUNDIDAD ENTREGADA MUESTRAS (pies)	CANTIDAD		OBSERVACION
		MUESTRAS †	LODO PROFUNDIDAD (pies)	
5.750 - 5.800	5.800	1	5.800	De estos intervalos no se obtuvo muestras.
6.000 - 6.100	6.000 - 6.000/6.100	2	6.100/6.200	
6.900 - 7.000	6.900 - 7.000	2	6.900	
7.400 - 7.500	7.400	1	7.500	
8.500 - 8.550	8.500 - 8.460/8.540	2	8.500	
8.950 - 9.000	-	-	-	
9.400 - 9.450	-	-	-	
10.200 - 10.300	10.200 - 10.300	2	10.200	
11.100 - 11.150	11.100	1	11.100	
12.200 - 12.300	<u>12.200</u> - <u>12.200</u>	2		
	12.300 - 12.280			
13.000 - 13.100	<u>13.000</u> - <u>13.020</u>	2	12.900	
	13.100 - 13.080			
13.400 - 13.450	<u>13.400</u>	1		
	13.500			

TABLA 2

OBTENCION DE LA MUESTRA TAMBIADA

MUESTRA (pies)	NUMERO DE REFERENCIA (Nº)	CANTIDAD (gr)	O B S E R V A C I O N
5.800	1	128	Se trituró en exceso la muestra
6.000	2'	68	
6.000/6.100	2	72	
6.900	3'	51	
7.000	3	51	
7.400	4	80	
8.460/8.540	5'	127	
8.500	5	121	
10.200	6	52	
10.300	6'	110	
11.100	7	62	<p>[ Se tuvo que calentar la muestra, ya que contenía cierta cantidad de humedad. ]</p> <p>[ Esta muestra fue descartada, ya que no se trataba de una arcilla sino de un material cellante, para contrarrestar pérdida de fluído. (obturante) ]</p>
12.220/12.280	8	149	
12.200/12.300	8'	113	
13.020/13.080	9	50	
13.000/13.100	9'	-	
13.400/13.500	10	-	

TABLA 3  
MUESTRAS A SER ANALIZADAS MEDIANTE DIFRACCION DE RAYOS X

MUESTRA TAMIZADA (Nº)	PROFUNDIDAD (pies)	CANTIDAD (gr)	REFERENCIA DE MUESTRA ANALIZADA (Nº )
1	5.800	7	<u>1</u>
2	6.000/6.100	5	<u>2</u>
2'	6.000	7	<u>3</u>
3'	6.900	7	<u>4</u>
4	7.400	6	<u>5</u>
5	8.460/8.540	8	<u>6</u>
6	10.300	7	<u>7</u>
7	11.100	6	<u>8</u>
8	12.200/12.280	6	<u>9</u>
9	13.020/13.080	8	<u>10</u>



TABLA 4

MUESTRAS SELECCIONADAS PARA LA REALIZACION DE LAS PRUEBAS

PROFUNDIDAD (pies)	MUESTRA TAMIZADA (Nº)	CANTIDAD ACTUAL (gr)	MUESTRAS A SER ANALIZADAS (Nº)
5.800	1	85	①
6.000	2'	88	②
6.000/6.100	2		
8.460/8.540	5'	200	③
8.500	5		
10.300	6'	63	④
12.220/12.280	8		
12.200/12.300	8'	220	⑤
13.020/13.080	9	52	⑥

TABLA 5  
 LODO (FLUIDO) BASE AGUA FRESCA. (LIGNOSULFONATO)

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Arcilla Pozo T. #1 (gr)	20	20	20	10	20	10
Adición de Agua Destilada (ml)	5,7	5,9	5,7	3,0	5,4	2,8
Peso de Bola de Arcilla (gr.)	25,0	25,4	25,0	12,6	24,5	12,4

TABLA 6  
 LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S					
	①	②	③	④	⑤	⑥
Arcilla Pozo T. #1 (gr.)	20	20	20	10	20	10
Adición de agua destilada (ml)	5,7	5,9	5,7	3,0	5,4	2,8
Peso de Bola de arcilla (gr.)	25,0	25,4	25,0	12,6	24,5	12,4

TABLA 7  
 LODO BASE CLORURO DE POTASIO (CL.K)

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Arcilla Pozo T. #1 (gr.)	20	20	20	10	20	10
Adición de agua Destilada (ml)	5,3	5,2	5,4	2,6	5,2	2,9
Peso de Bola de Arcilla (gr.)	24,0	24,6	25,0	12,4	24,8	12,7

TABLA 8  
 LODO BASE EMULSION INVERSA (INVERMUL)

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Arcilla Pozo T. #1 (gr.)	20	20	20	10	20	10
Adición de agua destilada (ml)	5,5	5,5	5,2	2,8	5,6	2,5
Peso de Bola de Arcilla (gr.)	25,4	25,3	24,8	13,5	25,6	12,4

**TABLA 9**  
**LODOS SALADOS COMPARATIVOS BASE (Cl.K), (Cl<sub>2</sub>.Ca) Y (Cl.Na) RESPECTIVAMENTE**

	M U E S T R A S		
	Cl.K	Cl <sub>2</sub> .Ca	Cl.Na
<b>PROCESO DE TRABAJO</b>	(5)	(5)	(5)
Arcilla Pozo T. #1 (gr.)	20	20	20
Adición de agua destilada (ml)	5,4	5,4	5,2
Peso de Bola de Arcilla (gr.)	25,4	25,0	24,8

TABLA 10  
 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO DE MINERALES DE ARCILLA EN  
 MILIEQUIVALENTES POR 100 gr. (Me./100 gr.)

M I N E R A L E S	(Me./100 gr.)
Kaolinita	3 - 15
Halloysita 2H <sub>2</sub> O	5 - 10
Halloysita 4H <sub>2</sub> O	40 - 50
Smectita	80 - 150
Illita	10 - 40
Vermiculita	100 - 150
Clorita	10 - 40
Sepiolita, Atapulguita, Plagioclasa	3 - 15

TABLA 11.  
GRUPO I-A DE LA TABLA PERIODICA

ion	DIAMETRO A °		ENERGIA DE HIDRATACION KCal/Mol
	NO-HIDRATADO	HIDRATADO	
Li <sup>+</sup>	1,20	14,6	124,4
Na <sup>+</sup>	1,90	11,2	97,0
K <sup>+</sup>	2,66	7,6	77,0
Kb <sup>+</sup>	2,96	7,2	71,9
Cs <sup>+</sup>	3,34	7,2	66,1
Ca <sup>++</sup>	1,98	19,2	377
Mg <sup>++</sup>	1,30	21,6	459,1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2,16	-	72,5



TABLA 12  
 INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODO BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)

ETAPAS	UNIDADES	M U E S T R A S						OBSERVACION
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Etapa Inicial	(Me/100 gr.)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	Se mantiene constante
Etapa a 48 hr.	(Me/100 gr.)	8,0	9,4	7,5	8,5	9,0	9,0	En muestra N° (3) decrece.
Etapa final	(Me/100 gr.)	9,5	9,0	8,0	9,0	8,0	9,0	Relativamente uniforme

TABLA 13  
 INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)

ETAPAS	UNIDADES	M U E S T R A S						OBSERVACION	
		①	②	③	④	⑤	⑥		
Etapa Inicial	(Me/100 gr.)	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	4,0	4,0	
Etapa a 48 Hr.	(Me/100 gr.)	4,0	4,5	4,5	4,5	4,0	5,0	5,0	Hay un relativo incremento.
Etapa final	(Me/100 gr.)	6,0	4,5	5,5	5,0	5,0	5,0	5,0	Notorio incremento en muestra N <sup>o</sup> ①

TABLA 14  
 INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)

ETAPA	UNIDADES	M U E S T R A S						OBSERVACION
		①	②	③	④	⑤	⑥	
Etapa Inicial	(Me/100 gr.)	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	4,0	
Etapa a 48 Hr.	(Me/100 gr.)	3,5	4,5	4,5	4,5	5,5	5,0	Notorio incremento de muestra N° ⑤
Etapa final	(Me/100 gr.)	5,0	5,0	5,5	5,0	5,5	5,0	Relativamente uniforme

TABLA 15  
INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODO BASE EMULSION INVERSA (INVERMUL)

ETAPA	UNIDADES	M U E S T R A S						OBSERVACION
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Etapa Inicial	(Me/100 gr.)	-	-	-	-	-	-	Fue difícil tomar valores.
Etapa a 48 Hr.	(Me/100 gr.)	1,0	1,0	1,0	1,1	1,4	1,0	Decrece totalmente la actividad de la arcilla
Etapa final	(Me/100 gr.)	-	-	-	-	-	-	No fue posible tomar valores.

TABLA 16

INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS LODOS SALADOS COMPARATIVOS (Cl.K), (Cl<sub>2</sub>.Ca) Y (Cl.Na) RESPECTIVAMENTE

ETAPA	UNIDADES	M U E S T R A S			OBSERVACION
		Cl.K	Cl <sub>2</sub> .Ca	Cl.Na	
		(5)	(5)	(5)	
Etapa Inicial	(Me/100 gr.)	4,5	4,0	5,0	Relativamente uniforme
Etapa a 48 Hr.	(Me/100 gr.)	5,5	3,5	3,5	Decrecimiento notorio en flujos base Cl <sub>2</sub> .Ca y Cl.Na
Etapa final	(Me/100 gr.)	5,0	4,0	5,5	Se logra una aparente recuperación

TABLA 17

PRESEION OSMOTICA EN LODO DE ACEITE

CONCENTRACION DE SAL DISUELTA Cl <sub>2</sub> Ca, (ppm)	*PRESION OSMOTICA Psi
52.600	500
100.000	1.100
182.000	3.000
250.000	5.800
307.000	9.400
400.000	16.100
456.000 (saturación)	24.400
Cl.Na, (ppm)	
55.000	670
105.000	1.400
149.000	2.200
189.000	3.200
226.000	4.300
268.000 (saturación)	5.800

\* Calculada para un lodo base aceite frente a una lutita con agua dulce a 25°C.

Referencia (31)

PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODO (FLUIDO) BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)

TABLA 18

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S						OBSERVACION
	①	②	③	④	⑤	⑥	
Diámetro Inicial Bola (cm)	2,9	2,9	2,9	2,4	2,8	2,3	
Diámetro Bola a las 24 Hrs. (cm)	3,8	3,7	4,0	3,2	3,8	2,8	Hay Hinchamiento Masivo
Observación de cada bola después de 24 Hrs.	Hay Hinchamiento	Alto Hinchamiento	Alto Hinchamiento	Alto Hinchamiento	Alto Hinchamiento	Poco Hinchamiento	Todas las bolas, presentaron Hinchamiento.
Diámetro Bola a las 48 Hrs. (cm)	3,9	4,3	4,2	3,3	4,2	2,9	Hubo poco Hinchamiento
Observación de cada bola después de 48 Hrs.	Poco Hinchamiento	Alto Hinchamiento	Poco Hinchamiento	Poco Hinchamiento	Alto Hinchamiento	Normal Hinchamiento	El Hinchamiento creció en menor escala al anterior

TABLA 19  
PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Diámetro Inicial Bola (cm)	2,9	2,9	2,9	2,3	3,0	2,2	Poco hinchamiento excepto la N <sup>o</sup> (4) y (5) Es notoria la hidratación de la muestra N <sup>o</sup> (5)
Diámetro Bola a las 24 Hrs (cm)	2,9	3,0	3,5	2,3	4,0	2,3	
Observación de cada bola después de 24 Hrs	Normal	Normal	Digregada completamente.	Normal	Dilatada e Hinchamiento.	Normal	
Diámetro Bola a las 48 Hrs (cm)	3,0	3,0	4,3	2,3	4,3	2,3	Notorio hinchamiento de bola N <sup>o</sup> (3) y (5)
Observación de cada bola después de 48 Hrs	Normal Cuarteada.	Normal	Totalmente digregada	Normal Cuarteada.	Dilatada e Hinchamiento.	Normal	En efecto hubo notorio hinchamiento de muestras N <sup>o</sup> (3) y (5)



TABLA 20.  
PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Diámetro Inicial Bola	2,9	2,9	3,0	2,3	3,0	2,4	
Diámetro Bola a las 24 Hrs (cm)	3,0	3,9	3,1	2,4	4,0	2,7	Poco hinchamiento excepto la N <sup>o</sup> (2) y (5)
Observación de cada bola después de 24 Hrs.	Normal	Digrega <u>da</u> com- pletamen <u>te</u> .	Normal	Normal	Dilatada e Hidrata- da total- mente.	Poca Hidrata- ción.	Notoria digregación, dilatación e hidratación de bolas N <sup>o</sup> (2) y (5)
Diámetro Bola a las 48 Hrs. (cm)	3,1	4,5	5,2	3,2	6,0	4,5	Aquí hubo un hinchamiento total, debido a una falla mecánica.
Observación de cada bola después de 48 Hrs.	Normal Cuarte <u>a</u> da.	Digrega <u>da</u> y di- latada total- mente.	Digrega <u>da</u> y di- latada total- mente.	Digrega- da.	Dilatada e Hidrata- da total- mente.	Dilatada e Hidratada totalmen- te	Hay bastante dilatación, debido a que por falla se elevó la temperatura del horno.

PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODO BASE EMULSION INVERSA (INVERMUL)

M U E S T R A S

TABLA 21

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Diámetro Inicial Bola (cm)	2,9	2,9	2,8	2,3	2,9	2,3	
Diámetro Bola a las 24 Hrs (cm)	2,8	2,8	2,7	2,2	2,8	2,2	Reducción muy pequeña de diámetro.
Observación de cada bola después de 24 Hrs.	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Sus condiciones son normalmente normales, notando una pequeña reducción del diámetro.
Diámetro Bola a las 48 Hrs (cm)	2,7	2,8	2,7	2,2	2,7	2,1	Parcialmente reducción del diámetro, no tan notorio.
Observación de cada bola después de 48 Hrs.	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Se puede notar claramente exceso de compactación de la bola en presencia del fluido de emulsión inversa (resecamiento).

TABLA 22  
 PRUEBA DE HINCHAMIENTO LODOS SALADOS COMPARATIVOS BASE : (Cl.K), (Cl<sub>2</sub>Ca) Y (Cl.Na)

PROCESO DE TRABAJO	M U E S T R A S			O B S E R V A C I O N
	Cl.K	Cl <sub>2</sub> .Ca	Cl.Na	
	(5)	(5)	(5)	
Diámetro Inicial Bola (cm)	2,8	2,8	2,8	No hubo hinchamiento
Diámetro Bola a las 24 Hrs (cm)	2,8	2,9	2,8	
Observación de cada bola después de 24 Hrs.	Normal	Normal	Normal	
Diámetro bola a las 48 Hrs. (cm)	3,0	3,7	2,9	Hubo gran hinchamiento y dilatación en Cl <sub>2</sub> .Ca
Observación de cada bola después de 48 Hrs.	Poco Hinchamiento.	Alto Hinchamiento.	Aproximadamente normal.	Relativamente hubo poco hinchamiento excepto la bola del lodo de Cl <sub>2</sub> .Ca

TABLA 23  
 PRUEBA DE DISPERSION LODO BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO)

PROCESO DE TRABAJO	O B S E R V A C I O N					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Etapa Inicial	-	-	-	-	-	-
Etapa a las 24 Hrs.	Dispersión Alta	Dispersión Alta	Dispersión Alta	Dispersión Alta	Dispersión Alta	Hubo Dispersión
Etapa a las 48 Hrs.	Dispersión Alta	Dispersión Alta	Dispersión Baja	Dispersión Alta	Dispersión Alta	No Hubo Dispersión

TABLA 24  
 PRUEBA DE DISPERSION LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)

PROCESO DE TRABAJO	O B S E R V A C I O N					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Etapa Inicial	-	-	-	-	-	-
Etapa a las 24 Hrs.	No hubo Dispersión	No hubo Dispersión	Dispersión y Digregada	No hubo Dispersión	Dispersión Total	No hubo Dispersión
Etapa a las 48 Hrs.	No hubo Dispersión	No hubo Dispersión	Dispersada y Digregada Completamente	No hubo Dispersión	Dispersión y Dilatación Total	No hubo Dispersión

TABLA 25  
 PRUEBA DE DISPERSION LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)

PROCESO DE TRABAJO	O B S E R V A C I O N					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Etapa Inicial	-	-	-	-	-	-
Etapa a las 24 Hrs.	No hubo Dispersión	Dispersada y Digregada Completamente	No hubo Dispersión	No hubo Dispersión	Dispersada y Digregada Altamente	Dispersión Baja
Etapa a las 48 Hrs.	Cuartamiento y Baja Dispersión	Dispersada y Digregada Completamente	Dispersada y Digregada Completamente	Dispersada y Digregada Completamente	Dispersada y Digregada Completamente	Dispersada y Digregada Completamente



TABLA 27

## PRUEBA DE DISPERSION

LODOS SALADOS COMPARATIVOS BASE : (Cl.K), (Cl<sub>2</sub>.Ca) Y (Cl.Na)

PROCESO DE TRABAJO			
	Cl.K	Cl <sub>2</sub> .Ca	Cl.Na
	⑤	⑤	⑤
Etapa Inicial	-	-	-
Etapa a las 24 Hrs.	No hubo Dispersión	No hubo Dispersión	No hubo Dispersión
Etapa a las 48 Hrs.	Dispersada y Digregada Poco	Dispersada y Digregada Completamente	No hubo Dispersión



TABLA 28  
RESUMEN DEL POZO T# (11)

INTERVALO	PROFUNDIDAD						PROPIEDADES PROMEDIO										MATERIALES USADOS EN (\$x)													COSTOS US\$															
	BROCA (Pulg)	REVESTIMIENTO (Pulg)	ZAPATA (Pies)	DESDE (Pies)	HASTA (Pies)	TOTAL (Dias)	PIES PERFORADOS EN EL INTERVALO	DENSIDAD (lb/gal)	VISCOSIDAD Seg (API)	PV (cp)	YP (lb/100 Pies <sup>2</sup> )	FILTRADO (cc/30 min)	CLORUROS Cl (ppm)	SOLIDOS (%)	ACEITE (%)	AQUAGEL	BARRO	BARITA ANCON	BICARBONATO DE SODIO	CASCARA DE ARROZ	CARBONOX	CELLEX	DEXTRID	DIESEL (gal)	DRISPAZ REGULAR	DRIPAC SUPERLO	EZ-SPOT (tambores)	KWIKSCAL	MICATEX	Q-BROXIN	SAL (GROSS)	SAL (Polve)	SODA ASH	SODA CAUSTICA	ESTERATO DE ALUMINIO	WALNUT	ZEOGEL	COSTO (%) BENTONITA	COSTO (%) BARITA	COSTO (%) DE ADITIVOS-QUIMICOS	COSTO (%) OBTURANTE	COSTO/PIE US\$	COSTO/DIA DE OPERACION US\$		
I		30	489	0	489	2	489									150			3			4			10							5	4					29,7	70,3			3,84	1943,56		
II	26	70	992	489	1006	2	537	6,7								773	855		28			109	344	10.210	29	83	16			68	949	1.247	37	68	2			122	5,7	5,1	89,2		32,51	8668,77	
III	17 1/2	13 7/8	1965	1006	4.206	12	3.200	9,9				8	80.000			391	6410		115			16	226	310	8580	40	24			60	197	2.403		44	132	39	60	180	2,1	26,3	70,4	1,2	32,04	5.536,26	
IV	12,5	9 5/8	8.695	4.206	8.701	30	4.495	10,8				8	85.000	1,5		202	4800	30	92	10	83	34	313	14.991	34	18		99	46	193	1.436		11	180	33	98								22,41	
V	8 1/2	7	13.531	8.701	13.533	29	4.832	11,2				2,2	100.000	1,4		100	4.198	2	260	10	89	391	1.072	33.781	124	138	16	189	198	484	5.132	1.247	97	405	86	231	302	30	27,1	67,3	2,8	28,83	4.149,31		
VI	5 7/8		13.535	15.428	24	1.895	13,7																																						
TOTAL																1.616	17.983	30	260	10	89	391	1.072	33.781	124	138	16	189	198	484	5.132	1.247	97	405	86	231	302	30	27,1	67,3	2,8	28,83	4.149,31		

TABLA 29

CONDICIONES DE OPERACION EN EL POZO T#1 A LAS PROFUNDIDADES RECOMENDADAS

TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS						PROPIEDADES DEL LODO											QUIMICOS UTILIZADOS																				
Nº MUESTRA	ACTIVIDAD	CONDICIONES DE LAS MUESTRAS	TEMPERATURA DE SECADO (°C)	TIEMPO (Horas)	TRITURAMIENTO	TAMIZADO (Mesh)	TIPO DE LODO	PROFUNDIDAD (Pies)	TEMPERATURA EN LINEA (°F)	PESO (Lbs/gal)	GRADIENTE (Psi/pie)	VISCOSIDAD (cp)	YIELD POINT (Lb/100 pie <sup>2</sup> )	PH	FILTRADO (cc/30 min)	COSTRA (1/32 pulg)	CLORUROS Cl <sup>-</sup> (ppm)	CALCIO Ca <sup>2+</sup> (ppm)	CONTENIDO DE ARENA (%V)	CONTENIDO DE SOLIDOS (%V)	CONTENIDO DE ACEITE (%V)	CONTENIDO DE AGUA (%V)	AQUAGEL	DRISPAC (R)	CELLEX	SODA (ASH)	SODA CAUSTICA	BICARBONATO	DEXTRID	ESTERATO DE ALUMINIO	DIESEL	DRISPAC SUPERLO	D-BROXIN	BAROID	SAL	CARBONOX	
1	PERFORAN. REPLAZAD <sup>2</sup>	RIP10	50-80 °C	22-23	CRISOL MORTERO PORCELANA	TAMIZ 200 Mesh	BENTONITICO SAL DEXTRID	325	97	8,8	—	14	18	9,8	11	1,0	2,500	40	—	3	—	97	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	PERFORAN.	"	"	"	"	"	"	6,000 6,100	120	10,9	0,561	20	20	9,0	6,0	1,5	80,000	380	5,0	22	—	78	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	"	"	"	"	"	"	"	6,900	143	"	0,561	"	14	"	7,2	"	"	500	0,5	"	—	"	"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	"	"	"	"	"	"	"	7,400	"	"	"	22	16	"	"	"	82,000	600	"	24	—	76	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	"	"	"	"	"	"	"	8,460 8,540	138	"	"	20	14	"	8,0	"	100,000	800	"	28	—	72	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	"	"	"	"	"	"	"	10,300	132	11,4	0,803	37	24	9,5	2,6	"	106,000	160	0,4	18	12	70	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	"	"	"	"	"	"	"	11,100	107	12,2	0,634	35	22	10,0	2,4	"	104,000	180	1,0	21	11	68	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	"	"	"	"	"	"	"	12,220 12,280	134	12,6	0,655	45	26	9,5	3,2	"	100,000	160	0,2	25	7	"	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	"	"	"	"	"	"	"	13,020 13,080	"	12,8	0,673	36	"	9,8	3,0	"	103,000	100	0,1	"	9	66	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

X = Valor cualitativo

" = Valor constante

TABLA 30  
 PROPIEDADES PROMEDIO DE UN FLUIDO DE PERFORACION  
 BASE AGUA FRESCA (LIGNOSULFONATO) EN EL AREA DE ESTUDIO

PROFUN. (PIES)	TEMP. (°F)	DENSID. LODO Lb/gal.	GRAD. psi pie	VISCO. EMBUDO seg.	PV cp	YP Lb 100 pie <sup>2</sup>	PH	FILTRADO cc 30 min.	COST. 1/32"	CLORUROS Cl <sup>-</sup> ppm	CALCIO Ca <sup>++</sup> ppm	AREN. %	SOLI. %	AGUA %	GELES Gi/Gf	MUESTRA Nº
5.800	120	10,8	0,56	35	15	15	9,0	8,8	1,5	10.000	50	1,5	18,5	80	4/10	<u>1</u>
6.000																
6.100	138	10,8	0,56	36	15	15	9,0	7,0	1,0	10.000	50	1,5	19	80	3/9	<u>2</u>
6.900	142	10,8	0,56	38	15	15	9,0	7,5	1,0	10.000	50	1,5	19	80	3/14	<u>3</u>
7.400	143	10,8	0,56	40	15	16	9,0	7,2	1,0	10.000	50	1,5	19	80	2/6	<u>4</u>
8.500	138	11,1	0,56	40	16	10	9,5	8,0	1,0	10.000	50	1,5	17,5	82	3/16	<u>5</u>
10.200	130	11,6	0,60	40	18	8	9,5	2,6	1,0	10.000	50	1,5	15,5	84	2/6	<u>6</u>
10.300	132	11,7	0,61	40	20	9	9,5	2,6	1,0	10.000	50	1,5	13,5	86	3/8	<u>7</u>
11.100	107	12,4	0,63	40	22	10	10,0	2,5	1,0	10.000	50	1,5	11,5	88	4/12	<u>8</u>
12.200																
12.300	134	12,7	0,66	40	24	12	10,0	3,1	1,0	10.000	50	1,5	11,5	88	5/12	<u>9</u>
13.020																
13.080	134	13,0	0,67	40	30	14	10,0	3,0	1,0	10.000	50	1,5	11,5	88	6/12	<u>10</u>

TABLA 31  
 PROPIEDADES PROMEDIO DEL FLUIDO DE PERFORACION  
 (SAL/DEXTRID) EN EL POZO T. #1

PROFUN. (pies)	TEMP.	DENSI.	GRAD.	VISCO.	PV	YP	PH	FILTRADO	COST.	CLORUROS	CALCIO	AREN.	SOLI.	ACEI.	AGUA	CELES	MUESTRA
	°F	Lb/gal.	psi pie	EMBUDO seg.	cp	Lb 100 pie <sup>2</sup>		cc 30 min.	1/32"	Cl <sup>-</sup> ppm	Ca <sup>++</sup> ppm	%	%	%	%	GI/GF	Nº
5.800	120	10,8	0,56	75	20	20	9,5	8,8	1,5	94.000	1.400	1,5	18	-	80,5	10/25	1
6.000	138	10,8	0,56	70	20	20	9,2	7,0	1,0	85.000	600	1,0	21	-	78	10/23	2
6.900	142	10,8	0,56	74	20	22	9,0	7,5	1,0	90.000	600	0,5	21	-	78,5	16/24	3
7.400	143	10,8	0,56	65	22	16	9,0	7,2	1,0	82.000	600	0,5	24	-	76	10/21	4
8.500	138	11,1*	0,56	70	20	14	9,0	8,0	1,0	100.000	800	0,5	27,5	-	72	11/25	5
10.200	130	11,6*	0,60	70	37	24	9,5	2,6	1,0	108.000	180		17	12	71	4/10	6
10.300	132	11,7*	0,61	70	37	22	9,5	2,6	1,0	106.000	160	0,4	17,6	12	70	5/8	7
11.100	107	12,4*	0,63	70	35	23	10,0	2,5	1,0	104.000	160	1,0	20	11	68	4/14	8
12.200	134	12,7*	0,66	70	43	25	9,6	3,1	1,0	100.000	160	0,2	24,8	7	68	4/22	9
13.080	134	13,0*	0,67	70	36	25	9,8	3,0	1,0	103.000	100	0,1	24,9	9	66	4/20	10

\* Los datos de "densidad del lodo" a partir de la 5ta. fila fueron obtenidos de un perfil de presiones del pozo T. #1, realizado por el Ing. José Coronel<sup>10</sup>.

ETAPA INICIAL LODO BASE AGUA FRESCA LIGNOSULFONATO

ADITIVOS Y QUIMICOS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Agua (Fresca)	1	1	1	1	1	1	1 Bbb* = 500 cc
Bentonita	40	40	40	40	40	40	8% de Bentonita
Barita	205	205	205	205	205	205	
Soda cáustica	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Q - Broxin	10	10	10	10	10	10	
C M C	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	
Estearato de Al. gal/Bbl*							
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS							
Temperatura (°F)	60	60	60	60	60	60	Temp. Ambiente
Densidad (Lb/gal)	11	11	11	11	11	11	Densidad unificada
Lec 600	67	74	67	68	70	69	
Lec 300	37	40	36	37	38	37	
PV (cp)	30	34	31	31	32	32	Buena viscosidad
YP (Lb/100 pie <sup>2</sup> )	7	6	5	6	6	5	Buen YP
Geles Gi/Gf	3/5	3/5	4/7	4/7	3/6	3/6	Buena relación Geles
PH PH.1/PH.f	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	9/9	Excelente PH
Filtrado API (cc/30 min)	6,5	6,0	6,0	6,5	7,0	6,5	Aceptable filtrado
P.f (cc)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	Buena alcalinidad
Costra (1/32 pulg.)	1	1	1	1	1	1	Excelente costra
% Arena	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	Excelente
% Sólidos	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	
% Agua	90	90	90	90	90	90	
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	Buen intercambio

TABLA 33  
ETAPA INTERMEDIA LODO LIGNOSULFONATO DESPUES DE (48 HORAS)

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Temperatura (°F)	60	60	60	60	60	60	Constante
Densidad (Lb/gal)	11,0	11,0	11,0	11,0	11,2	11,0	Relativamente constante
Lec 600	100	102	77	82	88	64	
Lec 300	56	57	42	45	48	34	
PV	44	45	35	37	40	30	Hubo incremento
Yp (Lb/100 pie <sup>2</sup> )	12	12	7	8	8	4	Hubo incremento
Geles Gi/Gf	5/8	4/7	3/5	4/6	4/8	3/5	Aceptable relación
PH	8/8	8/8	8/8	8/8	8/8	8/5	Hubo decrecimiento
Filtrado API (cc/30 min)	6	6	8	7,5	7	9	Pequeño incremento
P.f (cc)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	Hubo decrecimiento
Costra (1/32 pulg.)	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	1,5	Hubo incremento
% Arena	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	Total incremento
% Sólidos	10,5	10,5	9,6	9,6	9,6	10,7	Total incremento
% Agua	89	89	90	90	90	89	Aproximadamente constante
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	8,0	9,4	7,5	8,5	9,0	9,0	Decrecimiento excepto en muestra N° 2

TABLA 34  
ETAPA FINAL LODO LIGNOSULFONATO

ADITIVOS Y QUIMICOS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Agua fresca	0,1	0,1	0,1	0,1	0,16	0,1	Para bajar viscosidad  Para bajar filtrado
Soda cáustica	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	
Q - Broxin	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	
C M C	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	
Drispac - Reg	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,2	
<b>PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS</b>							
Temperatura (°F)	60	60	60	60	60	60	Constante
Densidad (lb/gal)	11	11	11	11	11	11	
Lec 600	75	65	57	67	56	71	Relativamente se bajó
Lec 300	41	36	31	38	31	41	
PV (cp)	34	29	26	29	25	30	Relativamente se bajó
Yp (lb/100 pie <sup>2</sup> )	7	7	5	9	6	11	
Geles (Gi/Gf)	3/6	3/6	3/6	4/7	3/6	4/7	Buena relación
PH (PH.1/PH.f)	8,5/8,5	8,5/8,5	9/9	9/9	9/9	9/9	
Filtrado API (cc/30 min)	6	6	7	6	6,5	6,5	Buena alcalinidad
P.f (cc)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
Costra (1/32 pulg.)	1	1	1	1	1	1	Excelente
% Arena	0,3	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	
% Sólidos	9,7	9,75	9,75	9,75	9,7	9,7	Aceptable
% Agua	90	90	90	90	90	90	
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	9,5	9,0	8,0	9,0	8,0	9,0	Recuperación excepto en N° 5 que decreció

ETAPA INICIAL LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)

ADITIVOS Y QUIMICOS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Agua fresca	1	1	1	1	1	1	
Bentonita	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	
Soda cáustica	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Q - Broxin	9	9	9	9	9	9	
Sal (Cl.Na)	93	93	93	93	93	93	Se alcanza 100.00 ppm Cl
Barita	70	70	70	70	70	70	Se obtiene p =10 Lb/gal
Drispac-Reg	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	
Dextrid	4	4	4	4	4	4	
Soda ASH	0,5	0,5	0,5	1	1	1	Se precipita el calcio
Estearato de Al.	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	Eliminar espuma
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS							
Temperatura	60	60	60	60	60	60	Densidad diseñada
Densidad	10	10	10	10	10	10	
Lec 600	53	55	53	54	54	54	
Lec 300	33	34	32	34	35	34	
PV	20	21	21	20	19	20	Acceptable
YP	13	13	11	14	16	14	Acceptable
Geles	5/12	5/14	6/13	5/13	4/10	5/12	Excelentes
PH	9/9	9/9	9,5/9	9/9	10/10	10,5/10	PH variable
Filtrado API	7,0	7,0	9,0	8,0	7,0	7,0	Relativamente alto
Pf	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	Acceptable
Costra	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	Relativamente alta
Cloruros	110.000	110.000	110.000	110.000	100.000	100.000	Excelente
Calcio	500	500	500	300	300	300	Acceptable
% Arena	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	Acceptable
% Sólidos	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	Acceptable
% Agua	91	91	91	91	91	91	Acceptable
% Aceite	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Acceptable
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	4,0	Acceptable



TABLA 36  
ETAPA INTERMEDIA LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Temperatura (°F)	60	60	60	60	60	60	
Densidad (Lb/gal)	9,7	9,7	10,0	10,0	9,8	9,9	Varió poco
Lec 600	67	56	63	65	58	60	
Lec 300	40	33	39	40	36	37	
PV (cp)	27	23	24	25	22	23	Se elevó totalmente
YP (Lb/100 pie <sup>2</sup> )	13	10	15	15	14	14	Relativamente constante
Geles Gi/GF	6/13	6/14	8/15	7/15	6/13	7/16	Se elevaron (acceptable)
PH PH.1/PH.f	9/9	9/9	9,5/9,5	9/9	9,5/9,5	9,5/9,5	PH variable
Filtrado API (cc/30 min)	9	11	11	11	8	6	Incremento total ex-cepto en N.º 6
PF (cc)	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,3	Se elevó totalmente
Costra (1/32 pulg.)	1,5	1,5	2,0	2,0	1,0	1,0	Incremento total ex-cepto N.º 5 y 6
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ppm)	100.000	100.000	95.000	100.000	100.000	100.000	Relativamente constante
Calcio (Ca <sup>++</sup> ppm)	600	600	600	400	400	400	Incremento total
% Arena	0,25	0,3	0,3	0,3	0,25	0,25	
% Sólidos	8,75	6,7	6,7	6,7	8,75	9,75	
% Aceite	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Acceptable
% Agua	90	92	92	92	90	89	
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	4,0	4,5	4,5	4,0	5,0	5,0	Se elevó totalmente

TABLA 37  
ETAPA FINAL LODO BASE AGUA SALADA (Cl.Na)

ADITIVOS Y QUIMICOS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Agua fresca	0,14	0,14	0,08	0,08	0,1	0,08	Se recuperó lodo y se disminuyó Vp.
Bentonita	-	-	-	-	-	-	Para incrementar salinidad
Soda cáustica	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Q - Broxin	2	2	2	2	2	2	
Sal (Cl.Na)	10	10	10	10	10	10	
Barita	13	13	5	5	10	10	
Drispac-Reg	0,5	0,5	1,0	1,0	0,8	1,0	
Dextrid	-	-	-	-	-	-	
Soda ASH	1	1	1	1	1	1	
Estearato de Al.	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	
Estearato de Al. gal/Bbl*							
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS							
Temperatura	60	60	60	60	60	60	
Densidad (Lb/gal)	10	10	10	10	10	10	
Lec 600	56	55	54	55	56	53	
Lec 300	33	34	22	35	36	32	
PV	23	21	21	20	20	21	
Yp	10	13	12	15	16	11	Acceptable
Geles	6/13	5/13	6/12	6/12	5/11	6/12	Acceptable
PH	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	Excelente
Filtrado API	7,0	6,0	9	8,0	7,0	5,5	Acceptable excepto Na <sup>+</sup> (3)
Pf	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	Relativamente aceptable
Cloruros	100.000	110.000	110.000	110.000	100.000	90.000	Excelente
Calcio	300	300	300	150	150	150	Acceptable
% Arena	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
% Sólidos	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	
% Agua	89	89	89	89	89	89	Acceptable
% Aceite	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	6,0	4,5	5,5	5,0	5,0	5,0	Se notó incremento total

TABLA 38

## ETAPA INICIAL LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)

ADITIVOS Y QUIMICOS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Agua Fresca	1	1	1	1	1	1	
Bentonita	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	
Soda cáustica	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Q - Broxin	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	Se alcanza 50.000 ppm Cl <sup>-</sup>
Sal (Cl.K)	50	50	50	50	50	50	
Barita	70	70	70	70	70	70	
Drispac - Reg	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
Dextrid	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	
Carbonato de Potasio	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Estearato de Al. gal/Bbl*	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	Se observó bastante espuma
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS							
Temperatura	60	60	60	60	60	60	
Densidad	10	10	10	10	10	10	
Lec 600	30	32	31	30	31	30	
Lec 300	25	27	25	25	26	25	
PV	5	5	6	5	5	5	
Yp	20	22	19	20	21	10	Se nota claramente menor que Yp
Geles	6/10	7/13	7/12	6/10	7/11	6/10	Observamos un Yp > Pv
PH	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	Acceptable
Filtrado API	10,0	9,0	14,0	7,0	9,0	8,0	Acceptable
Pf	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	Acceptable
Costra	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	No tan buena
Cloruros	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	Acceptable
Calcio	200	200	200	200	200	200	Acceptable
% Arena	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
% Sólidos	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	
% Agua	88	88	88	88	88	88	
% Aceite	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	Acceptable
Intercambio iónico	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	4,0	

TABLA 39  
ETAPA INTERMEDIA LODO BASE CLORURO DE POTASIO (CL.K)

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	MUESTRAS						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Temperatura (°F)	60	60	60	60	60	60	
Densidad (Lb/gal)	9,8	9,8	9,7	10,2	10,1	10,0	Poca variación
Lec 600	42	36	37	35	39	36	
Lec 300	31	28	28	27	29	27	
PV (cp)	11	8	9	8	10	9	Hubo incremento total
Yp (Lb/100 pie <sup>2</sup> )	20	20	19	19	19	18	Se mantuvo constante
Geles Gi/Gf	7/12	6/11	6/10	7/11	7/12	7/11	Acceptable
PH PH.1/PH.f	8,0/8,0	8,0/8,0	8,5/8,5	8,5/8,5	8,5/8,5	8,5/8,5	Decreció totalmente
Filtrado API (cc/30 min)	15	13	16	10	12	11	Incremento masivo
Pf (cc)	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	Incremento masivo
Costra (1/32 pulg.)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	Incremento masivo
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ppm)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	Constante
Calcios (Cat <sup>++</sup> ppm)	250	250	250	250	250	250	Incrementó poco
% Arena	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
% Sólidos	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	
% Agua	88	88	88	88	88	88	Acceptable
% Aceite	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	3,5	4,5	4,5	4,5	5,5	5,0	Hubo incremento

TABLA 40

ETAPA FINAL LODO BASE CLORURO DE POTASIO (Cl.K)

ADITIVOS Y QUIMICOS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Agua (Fresca) Bbl*	0,04	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	Para bajar viscosidades
Bentonita Lb/Bbl*	-	-	-	-	-	-	
Soda cáustica Lb/Bbl*	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	
Q - Broxin Lb/Bbl*	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
Sal (Cl.K) Lb/Bbl*	-	-	-	-	-	-	
Barita Lb/Bbl*	5,0	5,0	10	-	-	-	Para recuperar ρ
Drispac - Reg Lb/Bbl*	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Dextrid Lb/Bbl	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Carbonato de potasio Lb/Bbl*	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Estearato de Al. gal/Bbl*	0,23	0,23	0,23	0,18	0,18	0,18	
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS							
Temperatura (°F)	60	60	60	60	60	60	
Densidad (Lb/gal)	10	10	10	10	10	10	
Lec 600	34	31	32	31	33	30	
Lec 300	27	26	26	25	27	25	
PV (cp)	7	5	6	6	6	5	
Yp (Lb/100 pie <sup>2</sup> )	20	21	20	19	21	20	
Geles Gi/Gf	6/10	6/12	7/12	6/11	7/11	6/11	
PH PH.1/PH.f	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	10,5/10,5	
Filtrado API (cc/30 min)	6,0	7,0	8,0	5,0	6,0	5,0	
Pf (cc)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Costra (1/32 pulg.)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ppm)	45.000	50.000	50.000	47.000	48.000	50.000	Pequeña variación Bajo totalmente
Calcio (Ca <sup>++</sup> ppm)	100	100	100	100	100	100	
% Arena	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	
% Sólidos	15,75	15,75	15,75	15,75	15,75	15,75	
% Agua	83	83	83	83	83	83	Acceptable
% Aceite	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	5,0	5,0	5,5	5,0	5,5	5,0	Hubo un relativo incremento

ETAPA INICIAL LODO BASE EMULSION INVERSA

ADITIVOS Y QUIMICOS	M U E S T R A S						OBSERVACION	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
Aceite Bbl*	0,571	0,571	0,571	0,571	0,571	0,571	Viene preparado en solución (líquido)	
Carbo Tec-L Lb/Bbl*	11,42	11,42	11,42	11,42	11,42	11,42		
Agua (Fresca) Bbl*	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24		
Lime Lb/Bbl*	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71		
Cl <sub>2</sub> Ca Lb/Bbl*	57,14	57,14	57,14	57,14	57,14	57,14		
Carbo Gel Lb/Bbl*	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86		
Carbo Trol-A-9 Lb/Bbl*	10	10	10	10	10	10		
EZ - MUL Lb/Bbl*	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86		
Barita Lb/Bbl*	304	304	304	304	304	304		
								También preparado en líquido
<b>PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS</b>								
Temperatura (°F)	80	80	80	80	80	80	Excelente	
Estabilidad eléctrica (Volt)	550	550	550	550	550	550		
Densidad (Lb/gal)	12	12	12	12	12	12		
Lec 600	66	67	66	65	66	67		
Lec 300	40	40	40	39	40	40		
PV	26	27	26	26	26	27		
Yp	14	13	14	13	14	13		
Geles (Lb/100 pie <sup>2</sup> )	4/10	4/9	5/11	4/10	4/10	4/10		
PH Gi/Gf	9,5/9,5	9,5/9,5	9,5/9,5	9,5/9,5	9,5/9,5	9,5/9,5		
Filtrado PH.1/PH.f (HP y HT) (cc)	8	8	8	8	8	8		
Pf (cc)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	Excelente	
Salinidad total x 1000 ppm	350	350	350	350	350	350		
Costra (1/32 pulg.)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0		
% Arena	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		
% Sólidos	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6		
% Agua	25	25	25	25	25	25		
% Aceite	65	65	65	65	65	65		
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	-	-	-	-	-	-		
								No se pudo tomar lectura

TABLA 42  
ETAPA INTERMEDIA LODO BASE EMULSION INVERSA

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	M U E S T R A S						OBSERVACION
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Temperatura (°F)	70	70	70	70	70	70	Acceptable
Estabilidad eléctrica (volt.)	550	550	550	550	550	550	Acceptable
Densidad (Lb/gal)	12	12	12	12	12	12	Acceptable
Lec 600	66	67	66	65	66	67	Acceptable
Lec 300	40	40	40	39	40	40	Acceptable
PV (cp)	26	27	26	26	26	27	Acceptable
Yp (Lb/100 pie <sup>2</sup> )	14	13	14	13	14	13	Acceptable
Geles Gi/Gf	4/10	4/9	5/11	4/10	4/10	4/10	Acceptable
PH PH.1/P.f	9,5/9,5	9,5/9,5	9,5/9,5	9,5/9,5	9,5/9,5	9,5/9,5	Acceptable
Filtrado (HP.y HT) cc.	8	8	8	8	8	8	Acceptable
Pf (cc)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	Acceptable
Salinidad total x 1000 ppm	350	350	350	350	350	350	Acceptable
Costra (1/32 pulg.)	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	Acceptable
% Arena	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	Acceptable
% Sólidos	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	Acceptable
% Agua	25	25	25	25	25	25	Acceptable
% Aceite	65	65	65	65	65	65	Acceptable
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	Acceptable

OBSERVACION : Durante esta etapa se pudo observar que el lodo no presentó alteración alguna, razón por la cual, no se usó ningún tratamiento.

TABLA 43

ETAPA INICIAL LODOS COMPARATIVOS Cl.K , Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na

ADITIVOS Y QUIMICOS		L O D O S			OBSERVACION
		Cl.K	Cl <sub>2</sub> Ca	Cl.Na	
Agua (Fresca)	Bbl*	1	1	1	Cantidad experimental 13 Lb/Bbl
Bentonita	Lb/Bbl*	18,5	18,5	18,5	
Soda cáustica	Lb/Bbl*	1,25	1,75	1,25	
Q - Broxin	Lb/Bbl*	6,0	9,0	6,0	
Sal	Lb/Bbl*	20	80	40	
Barita	Lb/Bbl*	70	60	70	
Drispac-Reg	Lb/Bbl*	1,5	0,5	1,5	
CMC	Lb/Bbl*	-	6,0	-	
Dextrid	Lb/Bbl*	6,0	-	4,0	
Soda ASH	Lb/Bbl*	1,0	2,0	1,0	
Estearato de Al.	gal/Bbl*	0,58	0,23	0,58	Se utilizó en el lodo Cl <sub>2</sub> .Ca Se uso en dos lodos (Cl.K y Cl.Na) Mayor cantidad en lodo Cl <sub>2</sub> .Ca para precipitar Ca <sup>++</sup>
PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS					
Temperatura	(°F)	60	60	60	Elevado filtrado en el lodo base Cl <sub>2</sub> .Ca  Elevada costra en lodo Cl <sub>2</sub> .Ca  Excelente Aceptable          Variable comportamien to iónico.
Densidad	(Lb/gal.)	10	10	10	
Lec 600		32	69	45	
Lec 300		27	45	28	
PV	(cp)	5	24	17	
Yp	(Lb/100 pie <sup>2</sup> )	22	21	11	
Gales	Gi/Gf	7/13	9/14	4/10	
PH	PH.l/PH.f	11/11	11/11	10/10	
Filtrado (HP y Ht)	cc	14	50	4,5	
P.f/P.m		1/ -	1/9	1,2/ -	
Costra (1/32 pulg.)		1,5	>2,0	1,0	
Cl <sup>-</sup>	(ppm)	30.000	70.000	48.000	
Ca <sup>++</sup>	(ppm)	200	800	250	
% Arena		0,2	0,4	0,2	
% Sólidos		2,8	8,6	2,8	
% Agua		95	90	95	
% Aceite		2,0	1,0	2,0	
Intercambio iónico	(Me/100 gr.)	4,5	4,0	5,0	



ETAPA INTERMEDIA Lodos Comparativos Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na

PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS	L O D O S			OBSERVACION
	Cl.K	Cl <sub>2</sub> .Ca	Cl.Na	
Temperatura (°F)	60	60	60	Poca variación
Densidad (lb/gal)	10,0	9,7	9,9	
Lec 600	34	65	44	
Lec 300	28	45	28	
PV (cp)	6	20	16	VP en lodo Cl <sub>2</sub> .Ca
Yp (lb/100 pie <sup>2</sup> )	22	25	12	Yp en lodo Cl <sub>2</sub> .Ca
Geles (Gf/Gf)	7 / 14	8 / 11	5 / 13	PH en lodos Cl <sub>2</sub> .Ca y Cl.Na Es extremadamente elevado el filtrado en Cl <sub>2</sub> .Ca
PH (PH.1/PH.f)	11 / 11	9 / 9	9,5 / 9,5	
Filtrado (HP y HT) cc.	10	70	4,4	
P.f/P.m	1/-	1,2 10	1/-	
Costra (1/32 pulg.)	1	<2	1	Costra en lodo Cl <sub>2</sub> .Ca Δ
Cl <sup>-</sup> (ppm)	29.000	67.000	48.000	Salinidad en Cl.K y Cl <sub>2</sub> .Ca ▽
Ca <sup>++</sup> (ppm)	200	850	250	Ca <sup>++</sup> en lodo Cl <sub>2</sub> .Ca ▽
% Arena	0,4	0,4	0,4	
% Sólidos	3,2	9,6	3,2	
% Agua	94,4	89	94,4	
% Aceite	2,0	1,0	2,0	
Intercambio iónico (Me/100 gr.)	5,5	3,5	3,5	Actividad en lodo Cl.K Δ

**TABLA 45**  
**ETAPA FINAL LODOS COMPARATIVOS Cl.K, Cl<sub>2</sub>Ca y Cl.Na**

ADITIVOS Y QUIMICOS		L O D O S			OBSERVACION
		Cl.K	Cl <sub>2</sub> .Ca	Cl.Na	
Agua (Fresca)	Bbl*		-	-	
Bentonita	Lb/Bbl*		2,5	1,5	
Soda Cáustica	Lb/Bbl*		1,0	0,4	
Q- Broxin	Lb/Bbl*		3	1	
Sal	Lb/Bbl*		-	-	
Barita	Lb/Bbl*		15	5	
Drispac-Reg	Lb/Bbl*		1,5	-	Claro incremento de Drispac
CMC	Lb/Bbl*		2,0	-	
Dextrid	Lb/Bbl*		-	-	
Soda ASH	Lb/Bbl*		1,0	0,5	
Estearato de Al.	gal/Bbl*		0,12	-	
<b>PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS</b>					
TEMPERATURA	(°F)		60	60	
Densidad	(Lb/gal)		10	10	Correcta
Lec 600			85	46	
Lec 300			55	28	
PV	(cp)		30	18	Excelente
Yp	(Lb/100 pie <sup>2</sup> )		25	10	Excelente
Geles	(Gi/Gf)		10 18	3 8	
PH	PH.1/PH.f		11,5/11,5	10,5/10,5	
Filtrado (HP y HT)	cc.		45	4,0	Sin embargo se mantiene alto el filtrado en lodo Cl <sub>2</sub> .Ca
P.f/P.m					
Costra	(1/32 pulg)		<2,0	1,0	Costra en lodo Cl <sub>2</sub> .Ca ▲
Cl <sup>-</sup>	(ppm)		65.000	46.000	Salinidad en Cl <sub>2</sub> .Ca y Cl.Na ▼
Ca <sup>++</sup>	(ppm)		500	150	Ca <sup>++</sup> en Cl <sub>2</sub> .Ca y Cl.Na ▼
% Arena			0,4	0,2	
% Sólidos			8,6	3,0	
% Agua			90	95,8	
% Aceite			1,0	1,0	
Intercambio iónico	(Me/100 gr)		4,0	5,5	

TABLA 46  
DISEÑO ESTIMATIVO DE PERFORACION

INTERVALO	PROFUNDIDAD ASENTAMIENTO	DIAMETRO BROCAS	DIAMETRO TUBERIA REVESTIMIENTO	PESOS PROM. TUBERIA REVESTIMIENTO	TIPO DE FLUIDO DE PERFORACION
N <sup>a</sup>	(pies)	(pulg.)	(pulg.)	(Lbf/pie)	
Zona A	I	0 - 450	30	340	Martillando
	II	450 - 1.000	26	94	Nativo/Bentonítico
	III	1.000 - 4.200	17 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	61	Sal/Dextrid
-----					
Zona B	IV	4.200 - 11.000	12 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	40	Nota: A experimentarse fluidos base (Cl.Na, Cl.K) y base Emulsión Inversa.
	V	11.000 - 16.000	8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	23	

TABLA 47  
MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO II

PRODUCTOS	(Lb/Bbl) (Bbl)	(Lbs)	(Sx) (\$)	(\$)
Aquagel	20 x 1.090	= 21.800	= 218 x 7,7	= 1.678,50
Bicarbonato de Sodio	0,25 x 1.090	= 272,5	= 3 x 27,45	= 82,35
Q - Broxin	1 x 1.090	= 1.090	= 22 x 23,75	= 522,50
Soda (ASH)	0,3 x 1.090	= 327	= 3 x 18,53	= 55,59
Soda Cáustica	0,5 x 1.090	= 545	= 11 x 21,58	= 237,38
(C <sub>2</sub> ) = \$				<u>2.576,42</u>
Costo por pie perforado en intervalo II			= "	3,68
Costo por día de operación en intervalo II			= "	2.576,42
Costo de la Bentonita			=	65,15 %
Costo de aditivos y químicos			=	34,48 %

TABLA 48  
MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO III

PRODUCTOS	(Lb/Bbl) (Bbl)	(Lbs)	(Sx)	(S)	(S)
Aguagel	16 x 6.806	= 108.896	= 1.089 x	7,7	= 8.385,3
Baroid de (9,3-9,5 Lb/gal)	11,5 x 6.806	= 78.269	= 782 x	6,2	= 4.848,4
Bicarbonato de Sodio	0,3 x 6.806	= 2.042	= 20 x	27,45	= 549
Cellex	0,5 x 6.806	= 3.403	= 68 x	192,7	= 13.103,6
Dextrid	2 x 6.806	= 13.612	= 272 x	66,25	= 18.020
Drispac - Superlo	0,5 x 6.806	= 3.403	= 68 x	221,58	= 15.067,44
Diesel	(6% Vol) x 6.806	= 408,36 (Bbl)	= 17.151 (gal) x	0,327	= 5.608,377
Estearato de Al.	0,1 x 6.806	= 680	= 27 x	63,94	= 1.726,38
Q - Broxin	2 x 6.806	= 13.612	= 272 x	23,75	= 6.460
Soda Cáustica	1,0 x 6.806	= 6.806	= 136 x	21,58	= 2.934,88
Soda (ASH)	0,5 x 6.806	= 3.403	= 34 x	18,53	= 630,02
Sal polvo Cl.Na (pura)	66 x 6.806	= 449.196	= 4.492 x	2,1	= 9.433,2
(C <sub>3</sub> ) = \$					86.766,597
Costo por pie perforado intervalo III	= \$	27,11			
Costo por día de operación intervalo III	= \$	10.845,82			
Costo de la Bentonita	=	9,66%			
Costo de la Barita	=	5,59%			
Costo de aditivos y químicos	=	84,75%			

TABLA 49  
MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV (LODO Cl.Na)

PRODUCTOS	(Lb/Bbl) (Bbl)	(Lbs)	(Sx)	(\$)	\$
Aguagel	16 x 8.377	= 134.032	= 1.340 x	7,7	= 10.318,00
Baroid de: (10-12,5 Lb/gal)	162 x 8.377	= 1357.074	= 13.571 x	6,2	= 84.140,20
Bicarbonato de sodio	0,3 x 8.377	= 2.513	= 25 x	27,45	= 686,25
Cellex	0,5 x 8.377	= 4.188,5	= 84 x	192,7	= 16.186,80
Dextrid	2 x 8.377	= 16.754	= 335 x	66,22	= 22.183,70
Drispac (Superlo)	0,5 x 8.377	= 4.188,5	= 84 x	221,58	= 18.612,72
Diesel	(3% Vol) x 8.377	= 251,31 (Bbl)	= 10.555(gal) x	0,327	= 3.451,48
Estearato de Al.	0,1 x 8.377	= 835	= 34 x	63,94	= 2.173,96
Q - Broxin	2,5 x 8.377	= 20.942	= 419 x	23,75	= 9.951,25
Sal polvo (Cl.Na) pura	25 x 8.377	= 209.425	= 2.094 x	2,1	= 4.397,40
Soda (ASH)	0,3 x 8.377	= 2.513	= 25 x	18,53	= 463,25
Soda Cáustica	1 x 8.377	= 8.377	= 168 x	21,58	= 3.625,44
S S T.	5 x 8.377	= 41.885	= 838 x	40	= 33.520,00
					(C <sub>4</sub> ) = \$ 209.710,45
Costo por pie perforado intervalo IV	= \$	30,84			
Costo por día de operación intervalo IV	= \$	10.485,52			
Costo de la Bentonita	=	4,92%			
Costo de la Barita	=	40,12%			
Costo de aditivos y químicos	=	54,96%			

TABLA 50

MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V (Lodo Cl.Na)

PRODUCTOS	(Lb/Bbl)	(Bbl)	(Lbs)	(Sx)	(\$)	\$
Aguagel	10 x	11.780	= 117.800	= 1.178	x 7,7	= 9.070,6
Baroid de: (12,5-13,8 lb/gal)	89 x	11.780	= 1'048.420	= 10.484	x 6,2	= 65.000,8
Bicarbonato de Sodio	0,3 x	11.780	= 3.534	= 35	x 27,45	= 960,75
Cellex	0,3 x	11.780	= 3.534	= 70	x 192,7	= 13.489
Dextrid	2	11.780	= 23.560	= 471	x 66,22	= 31.189,62
Drispac Superlo	0,5 x	11.780	= 5.890	= 118	x 221,58	= 26.146,44
Diesel	(4% Vol) x	11.780	= 471,2 (Bbl)	= 19.790 (gal)	x 0,327	= 6.471,33
Estearato de Al.	0,1 x	11.780	= 1.178	= 47	x 63,94	= 3.005,18
Q - Broxin	3 x	11.780	= 35.340	= 706	x 23,75	= 16.767,5
Sal polvo (Cl.Na) (pura)	25 x	11.780	= 294.500	= 2.945	x 2,1	= 6.184,5
Soda (ASH)	0,2 x	11.780	= 2.356	= 23	x 18,53	= 426,19
Soda Caústica	1,5 x	11.780	= 17.670	= 353	x 21,58	= 7.617,74
S S T	6 x	11.780	= 70.680	= 1.413	x 40	= 56.520
						(C <sub>5</sub> ) = \$242.849,65
Costo por pie perforado intervalo	V = \$	48,57				
Costo por día de operación intervalo	V = \$	6.071,24				
Costo de la Bentonita	=	3,74%				
Costo de la Barita	=	26,77%				
Costo de aditivos y químicos	=	69,49%				

TABLA 51  
MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV (LODO CL.K.)

PRODUCTOS	(Lb/Bbl) (Bbl)	(Lbs)	(Sx) (\$)	\$
Aquagel	16 x 7.967	= 127.472	= 1.275 x 7,7	= 9.817,5
Baroid de (10-124 Lb/gal)	155 x 7.967	= 1234.885	= 12.349 x 6,2	= 76.563,8
Bicarbonato de Sodio	0,2 x 7.967	= 1.593	= 16 x 27.45	= 439,2
Dextrid	2,5 x 7.967	= 19.916	= 398 x 66,22	= 26.355,56
Diesel	(2% Vol) x 7.967	= 159,34 (Bbl)	= 6.692 (gal) x 0,327	= 2.188,284
Drispac-Superlo	0,7 x 7.967	= 5.577	= 111 x 221,58	= 24.595,38
Hidróxido de potasio	1 x 7.967	= 7.967	= 80 x 116	= 9.280
Estearato de Al.	0,1 x 7.967	= 797	= 32 x 63,94	= 2.046,08
Q - Broxin	3 x 7.967	= 23.901	= 478 x 23,75	= 11.352,5
Sal polvo (Cl.K.) (Pura)	17 x 7.967	= 135.439	= 1.354 x 27	= 36.558
Soda Cáustica	1 x 7.967	= 7.967	= 159 x 21,58	= 3.431,22
Soda (ASH)	0,2 x 7.967	= 1.593	= 16 x 18,53	= 296,48
S S T	4 x 7.967	= 31.868	= 637 x 40	= 25.480,00
				(C <sub>4</sub> ) = \$ 228.404,00
Costo por pie perforado intervalo IV = \$	33,59			
Costo por día de operación intervalo IV = \$	12.021,26			
Costo de la Bentonita	= 4,30%			
Costo de la Barita	= 33,52%			
Costo de aditivos y químicos	= 62,18%			



TABLA 52

## MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V (Lodo Cl.K)

PRODUCTOS	(Lb/Bbl)	(Bbl)	(Lbs)	(Sx)	(\$)	\$
Aquagel	12 x	11.019	= 132.228	= 1.322	x 7,7	= 10.179,4
Baroid de:(12,5-13,8 Lb/gal)	89 x	11.019	= 980.691	= 9.807	x 6,2	= 60.803,4
Bicarbonato de sodio	0,3 x	11.019	= 3.306	= 33	x 27,45	= 905,85
Dextrid	3 x	11.019	= 33.060	= 661	x 66,22	= 43.771,42
Diesel	(3% Vol) x	11.019	= 330,57 (Bbl)	= 13.884 (gal)	x 0,327	= 4.540,07
Drispac - Superlo	1 x	11.019	= 11.019	= 220	x 221,58	= 48.747,6
Hidróxido de potasio	1,4 x	11.019	= 15.426	= 154	x 116	= 17.864
Estearato de Al.	0,1 x	11.019	= 1.102	= 44	x 63,94	= 2.813,36
Q - Broxin	4 x	11.019	= 44.076	= 881	x 23,75	= 20.923,75
Sal polvo (Cl.K) (pura)	17 x	11.019	= 187.323	= 1.873	x 27	= 50.571
Soda (ASH)	0,2 x	11.019	= 2.204	= 22	x 18,53	= 407,66
Soda Cáustica	1 x	11.019	= 11.019	= 220	x 21,58	= 4.747,6
S S T	5 x	11.019	= 55.095	= 1.102	x 40	= 44.080
						(C <sub>5</sub> ) = \$ 310.355,11

Costo por pie perforado intervalo V = \$ 62,07

Costo por día de operación intervalo V = \$ 7.758,88

Costo de la Bentonita = 3,28%

Costo de la Barita = 19,60%

Costo de aditivos y químicos = 77,12%

TABLA 53  
MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO IV (LODO EMULSION INVERSA)

PRODUCTOS	(Lb/Bbl)	(Bbl)	(Lbs)	(Sx)	\$	\$
Agua	0,2447 $\frac{\text{Bbl}}{\text{Bbl}}$	x 4.230	=1.355,081 (Bbl)	= 43.474 (gal)		
Aceite (Diesel) de : 35°API, 150°F	0,571 $\frac{\text{Bbl}}{\text{Bbl}}$	x 4.230	=2.415,753 (Bbl)	= 101.461,62 (gal/55 x22)	=	40.584,647
Carbo Tec-L (INVERMUL)	0,0225 $\frac{\text{Bbl}}{\text{Bbl}}$	x 4.230	= 95,175 (Bbl)	= 3.997,35 (gal)/55x812	=	59.015,421
Carbo-Gel (GEL-TONE II)	2	x 4.230	= 8.460	= 169 x 75,5	=	12.759,5
Carbo TROL A-9 (DURATONE)	7	x 4.230	= 29.610	= 592 x 90,95	=	53.842,4
Cal (LIME)	4	x 4.230	= 16.920	= 339 x 5,85	=	1.983,15
Cl <sub>2</sub> .Ca	40	x 4.230	= 169.200	= 1.692 x 26	=	43.992
EZ-MUL (Carbo MUL)	0,006 $\frac{\text{Bbl}}{\text{Bbl}}$	x 4.230	= 25,38 (Bbl)	= 1.065,96 (gal)/55x800	=	15.504,872
Barita de: (8,6-12,3 lb/gal)	237,63	x 4.230	=1'005.175	= 10.052 x 6,2	=	62.322,4
					(C4) = \$ 290.004,39	
Costo por pie perforado intervalo	IV = \$		42,65			
Costo por día de operación intervalo	IV = \$		18.125,27			
Costo de la Bentonita (Carbo-Gel)	=		4,4%			
Costo de la Barita	=		21,5%			
Costo de aditivos y químicos	=		74,1%			

TABLA 54  
MATERIALES ESTIMADOS INTERVALO V (LODO EMULSION INVERSA)

PRODUCTOS	(Lb/Bbl)	(Lbs)	(Sx)	(\$)	\$
Agua	0,247 $\frac{\text{Bbl}}{\text{Bbl}}$ x 5.671	= 1.400,74 (Bbl)	= 58.830,95 (gal)	=	=
Aceite (diesel) de: 35° API 150°F	0,5711 $\frac{\text{Bbl}}{\text{Bbl}}$ x 5.671	= 3.238,708 (Bbl)	= 136.025,74 (gal)/55x22	=	= 54.410,294
Barita de: (12,3-13,6 lb/gal)	88,5 x 5.671	= 501.883,5	= 5.019 x 6,2	=	= 31.117,8
Carbo Tec-L (INVERMUL)	0,225 $\frac{\text{Bbl}}{\text{Bbl}}$ x 5.671	= 127,597 (Bbl)	= 5.59,095 (gal)/55x812	=	= 79.119,729
Carbo-Gel (GEL TONE II)	2 x 5.671	= 11.342	= 227 x 75,5	=	= 17.138,5
Carbo Trol A-9 (DURATONE)	7 x 5.671	= 39.697	= 794 x 90,95	=	= 72.214,3
Cal (Lime)	4 x 5.671	= 22.684	= 454 x 5,85	=	= 2.655,9
Cl. Ca	40 x 5.671	= 226.840	= 2.268 x 26	=	= 58.968
EZ - MUL (Carbo MUL)	0,006 $\frac{\text{Bbl}}{\text{Bbl}}$ x 5.671	= 34.026 (Bbl)	= 1.429,094 (gal)/55x800	=	= 20.786,79
					(C5) = \$ 336.411,31
Costo por pie perforado intervalo	V = \$	67,28			
Costo por día de operación intervalo	V = \$	9.611,75			
Costo de la Bentonita (CARBO GEL)	=	5,1%			
Costo de la Barita	=	9,25%			
Costo de aditivos y químicos	=	85,7%			

G R A F I C O S

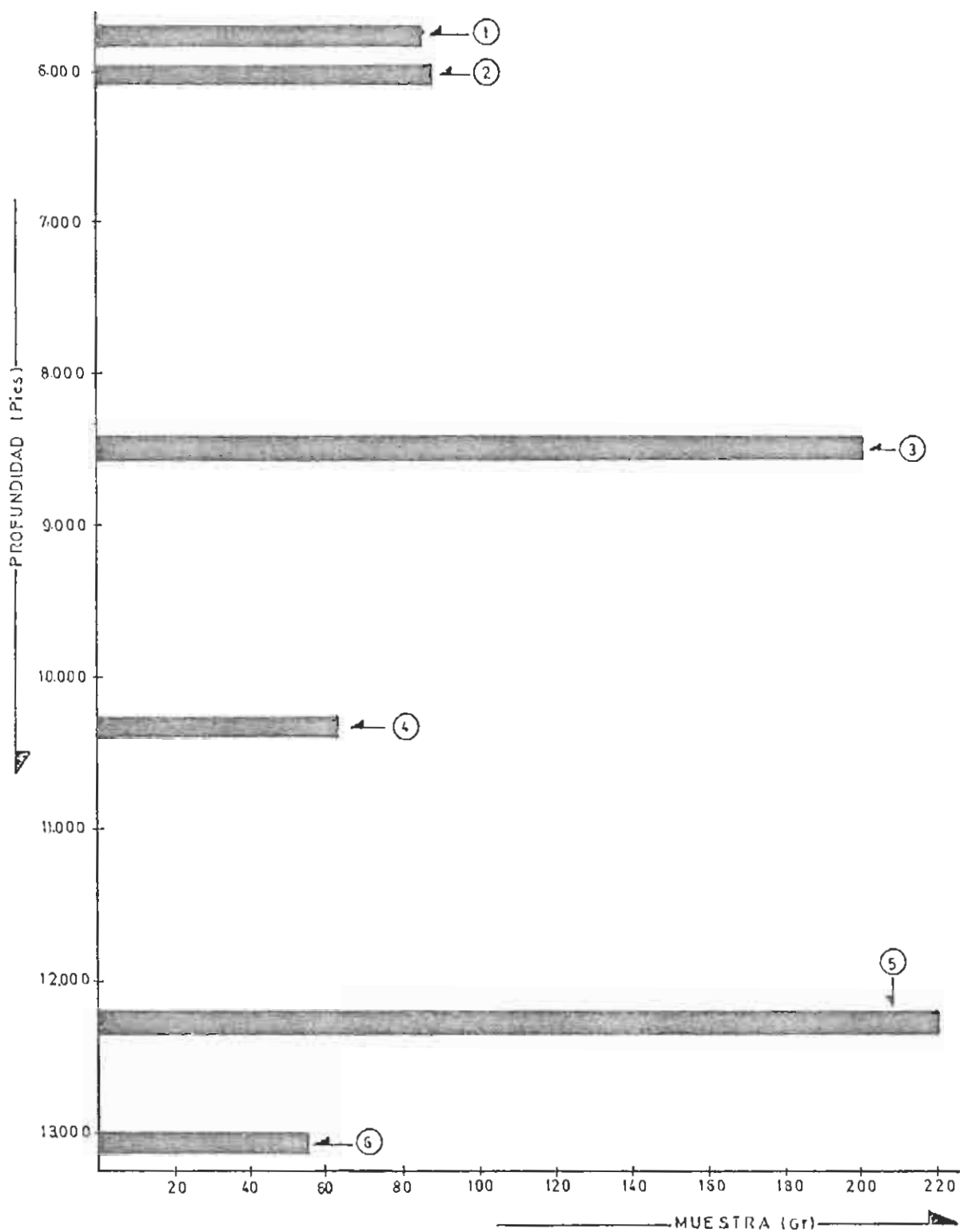


GRAFICO 1 MUESTRAS SELECCIONADAS.  
PROFUNDIDAD (Pies) (VS)  
MUESTRA (Gr)

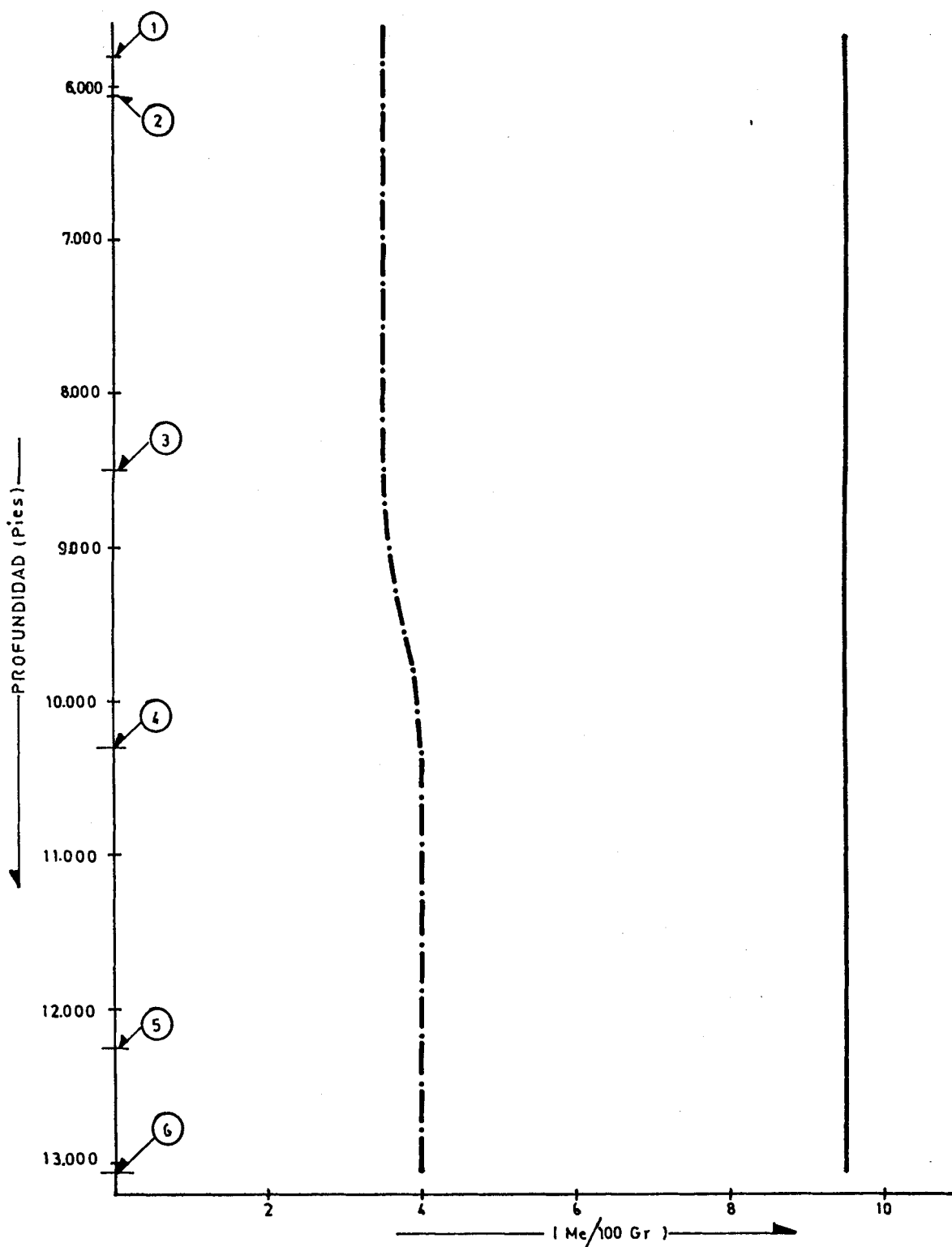


GRAFICO 2 PRUEBA (23) INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS EN LOS FLUIDOS BASE LIGNOSULFONATO (—), ClNa (---), CLK (---), Y EMULSION INVERSA (ETAPA INICIAL). PROFUNDIDAD (Pies) (VS) (Me 100 Gr).

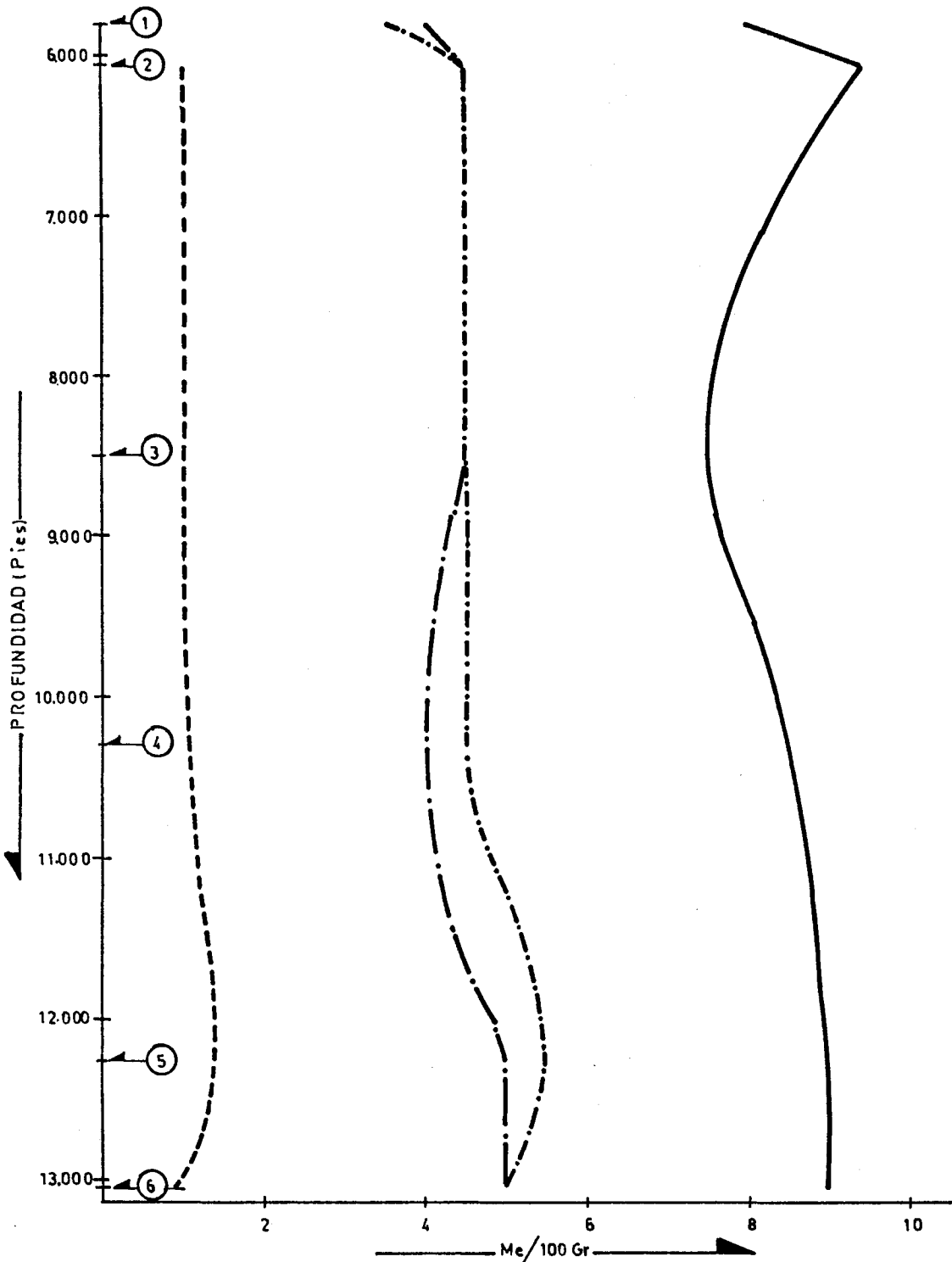


GRAFICO 3 PRUEBA (23) INTERCAMBIO IONICO POR ETAPA EN LOS FLUIDOS BASE LIGNOSULFONATO (—), CL Na (-.-), CLK (-.-.-), Y EMULSION INVERSA (-.-.-). (ETAPA A LAS 48 HORAS). PROFUNDIDAD (pies) (vs) (Me 100 Gr).

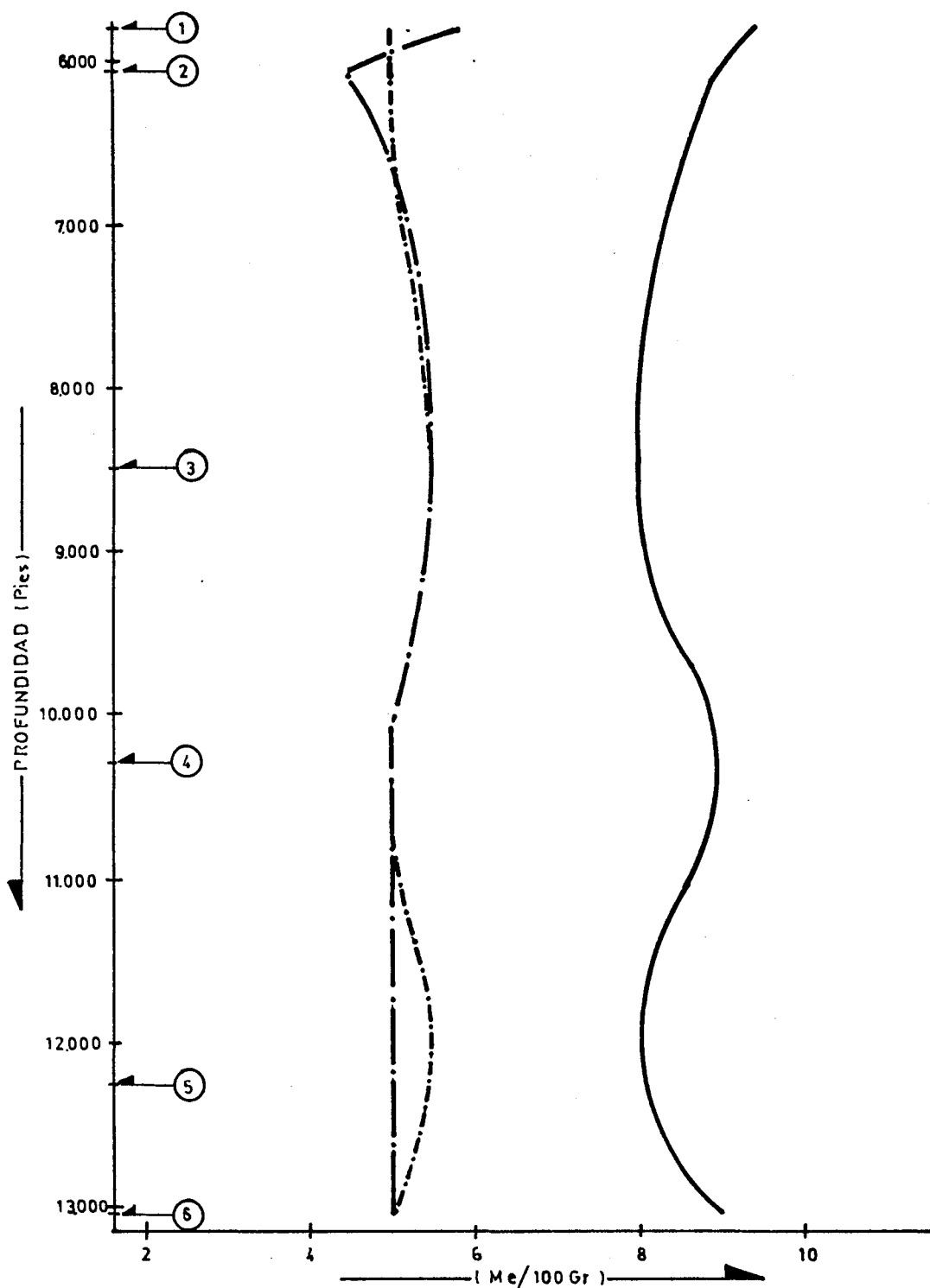


GRAFICO 4 PRUEBA (2.3) INTERCAMBIO IONICO POR ETAPAS EN LOS FLUIDOS BASE LIGNO-SULFONATO (—), CLNa (— · —), CLK (· · · · ·) Y EMULSION INVERSA. (ETAPA FINAL). PROFUNDIDAD (pies) (vs) (Me/100 Gr)



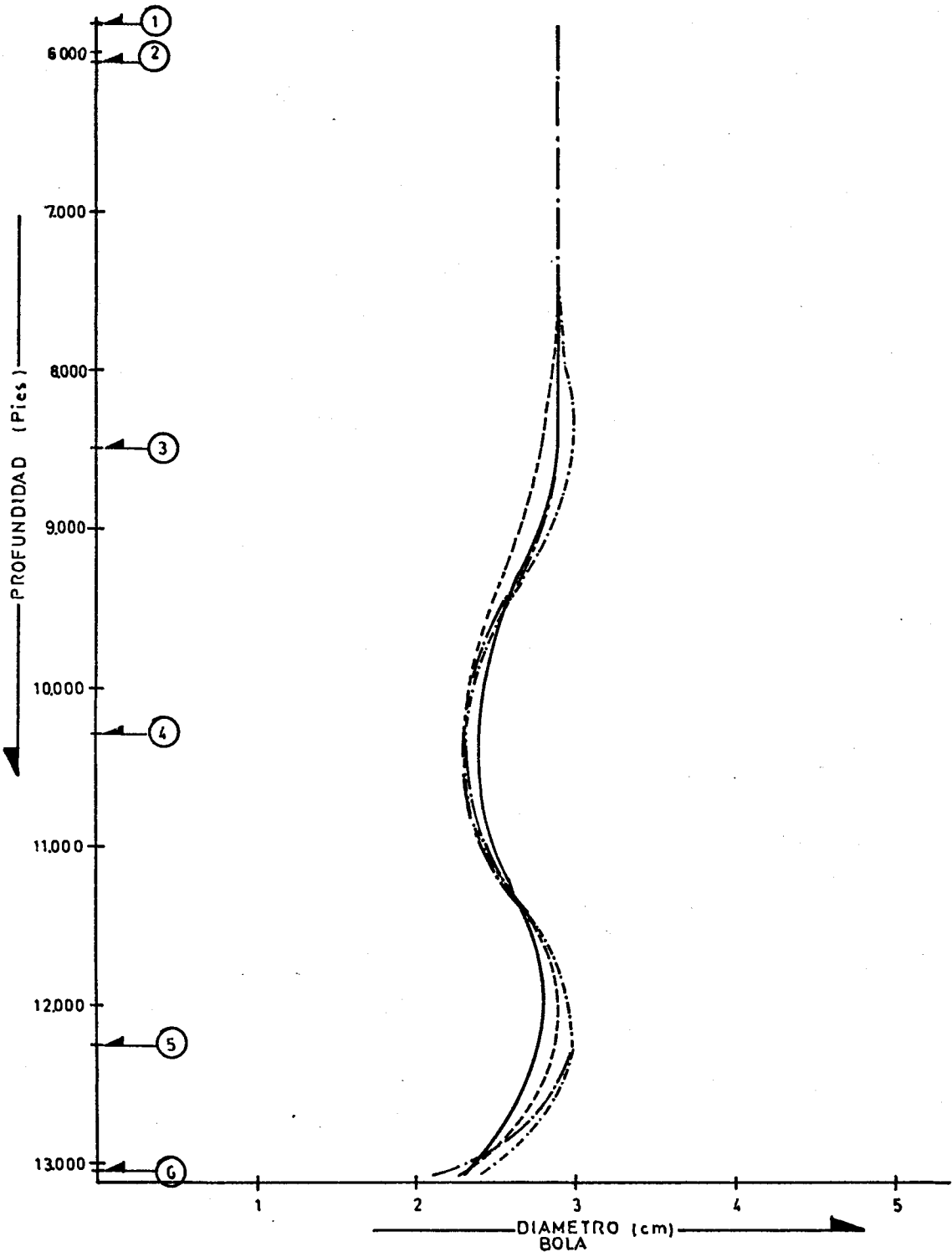


GRAFICO 5 HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA EN LOS FLUIDOS BASE LIGNO-SULFONATO (—), CL Na (---), CL K (- - - - -) Y EMULSION INVERSA • DIAMETRO INICIAL. PROFUNDIDAD (Pies) (vs) DIAMETRO (cm). EMULSION INVERSA (- - - - -)

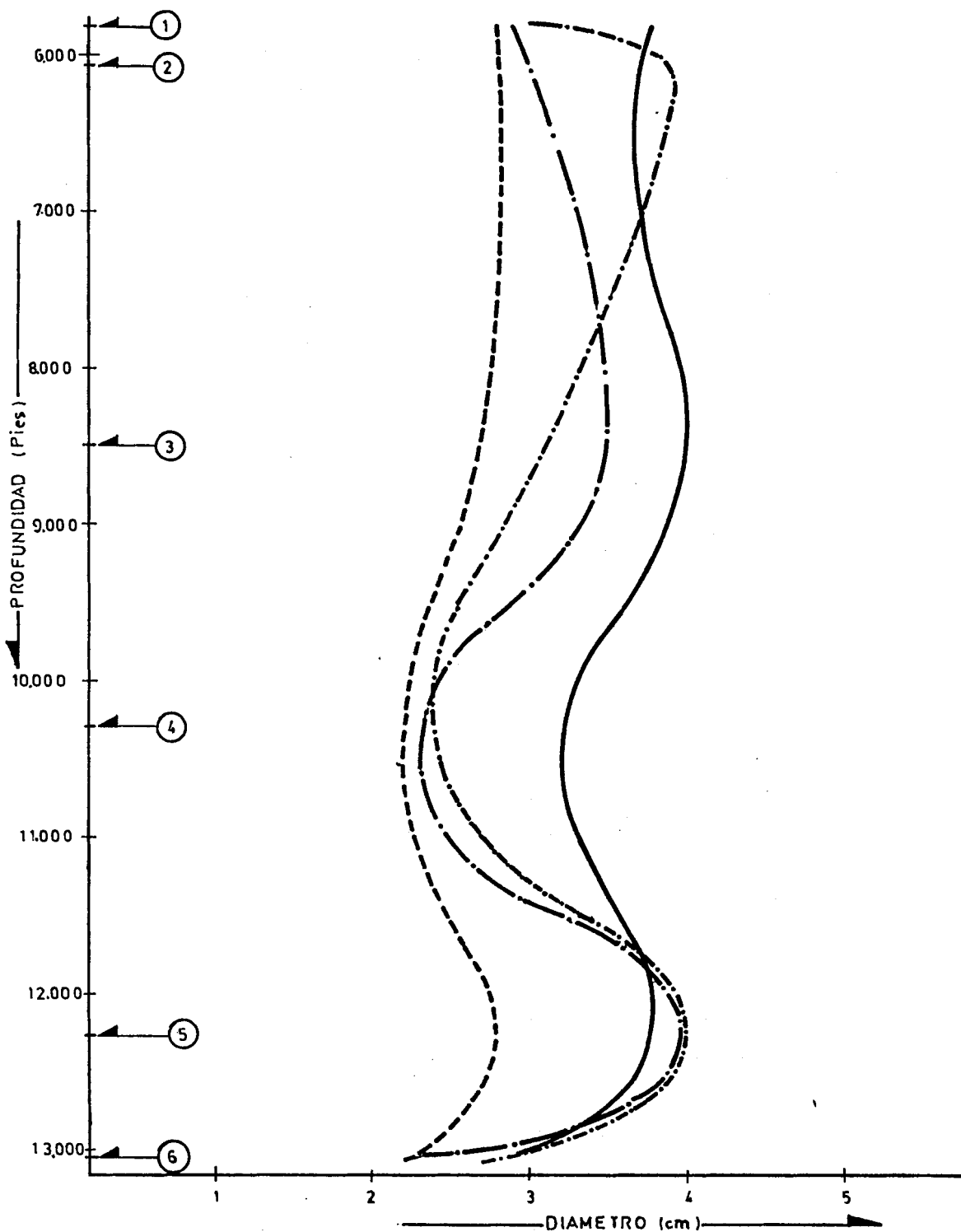


GRAFICO 6 HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA EN LOS FLUIDOS BASE LIGNO-SULFONATO (—), CLNa (—), CLK (— · — · —) Y EMULSION INVERSA (— · — · —), DIAMETRO A LAS 24 HORAS. PROFUNDIDAD (Pies) (VS) DIAMETRO (cm).

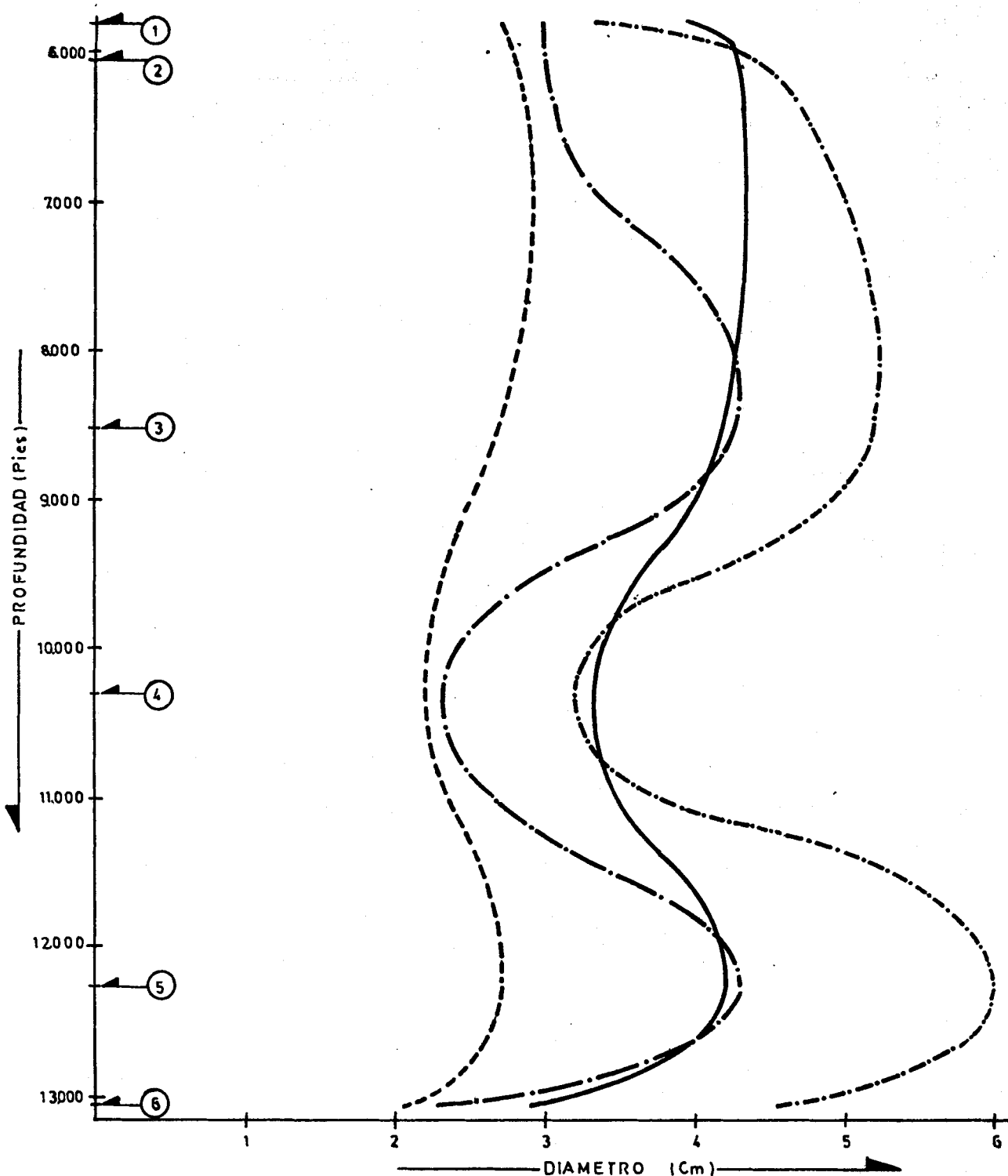
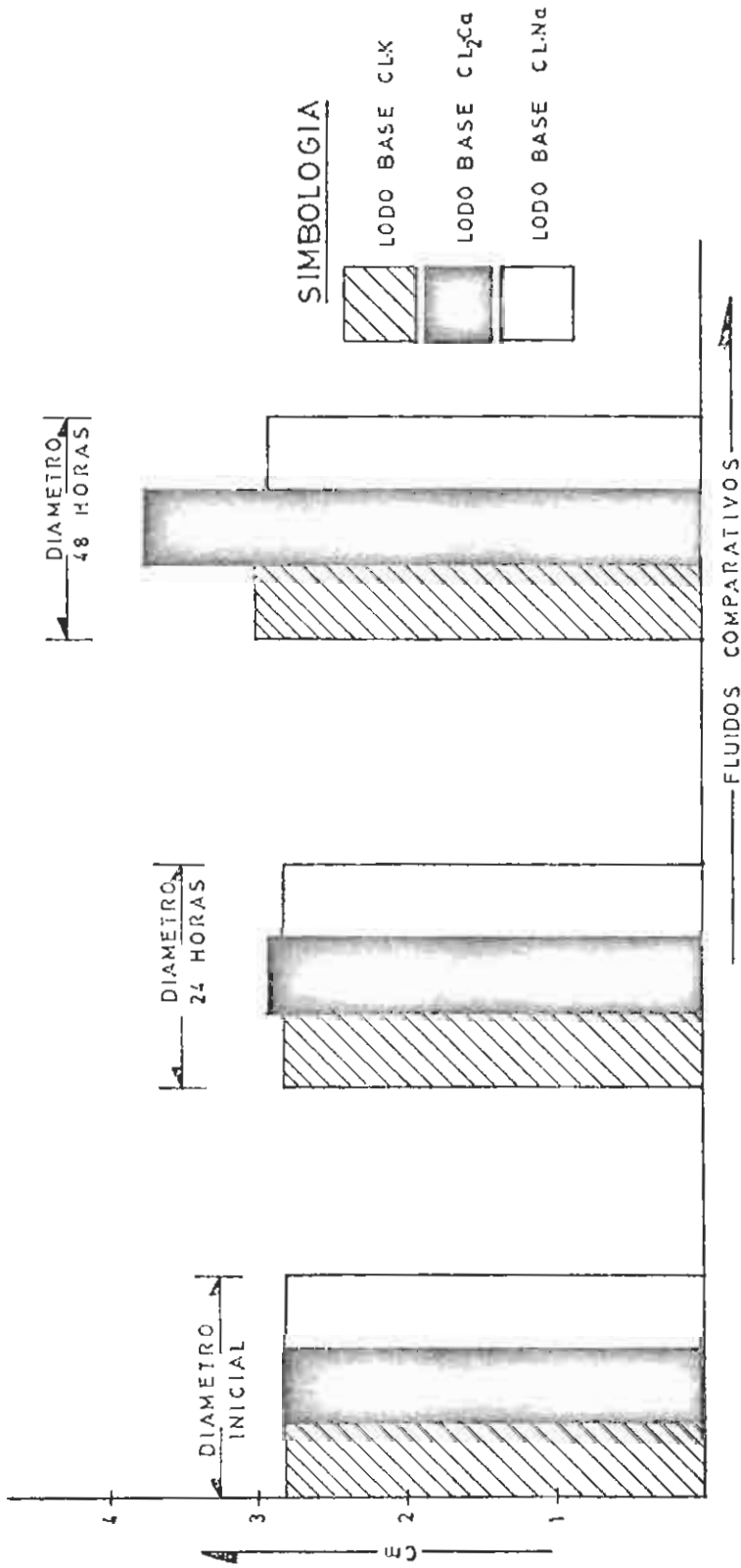


GRAFICO 7 HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA EN LOS FLUIDOS BASE LIGNO-SULFONATO (—), CLNa (—), CLK (—) Y EMULSION INVERSA (----), DIAMETRO A LAS 48 HORAS. PROFUNDIDAD (Pies) (VS) DIAMETRO (cm).



**GRAFICO 8** PRUEBA (2.4) HINCHAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE ARCILLA EN LOS FLUIDOS COMPARATIVOS BASE CLK, CL<sub>2</sub>Ca CL.Na. Cm (VS) FLUIDOS COMPARATIVOS

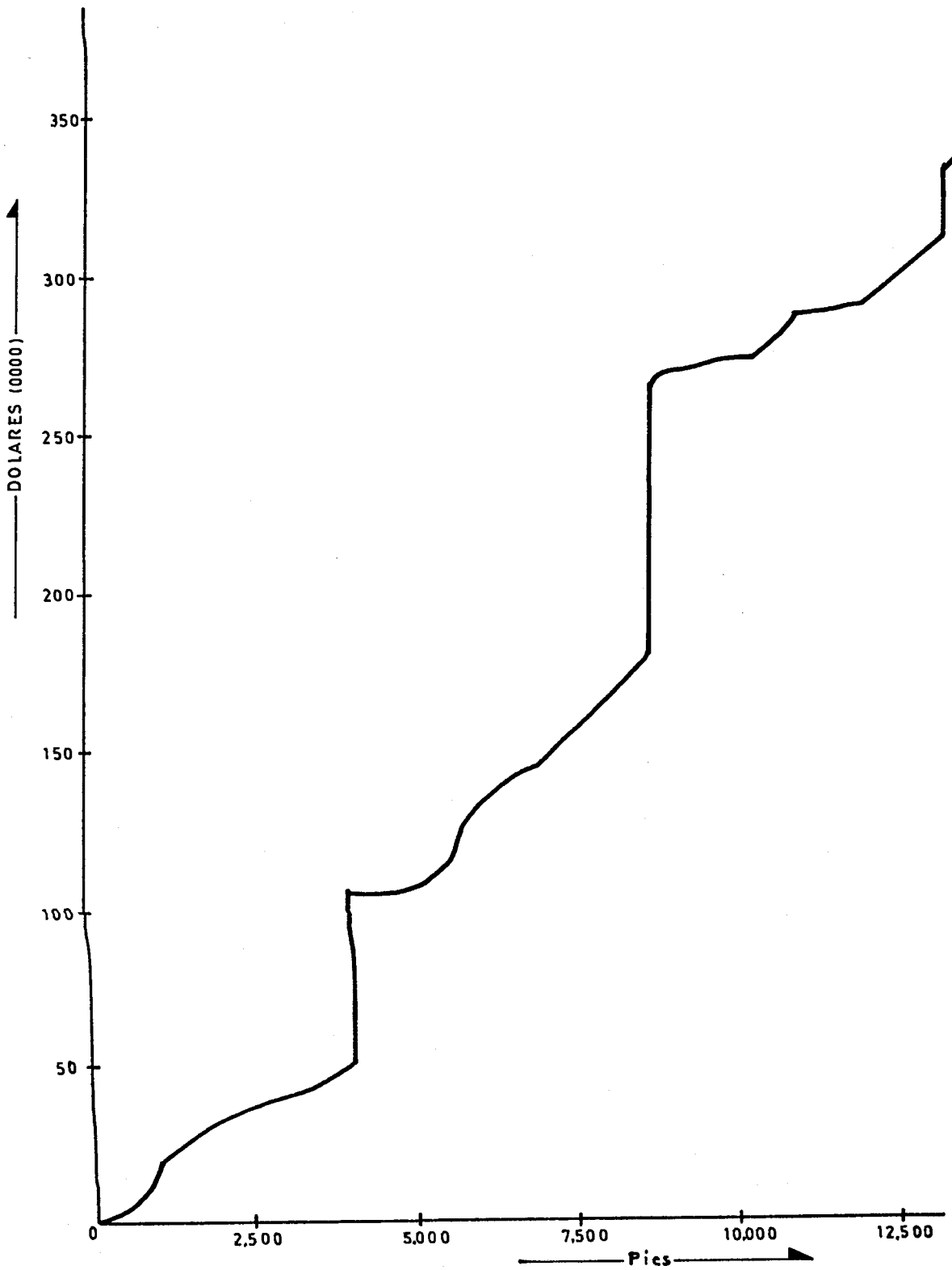


GRAFICO 9 COSTO POR PIE-T #1

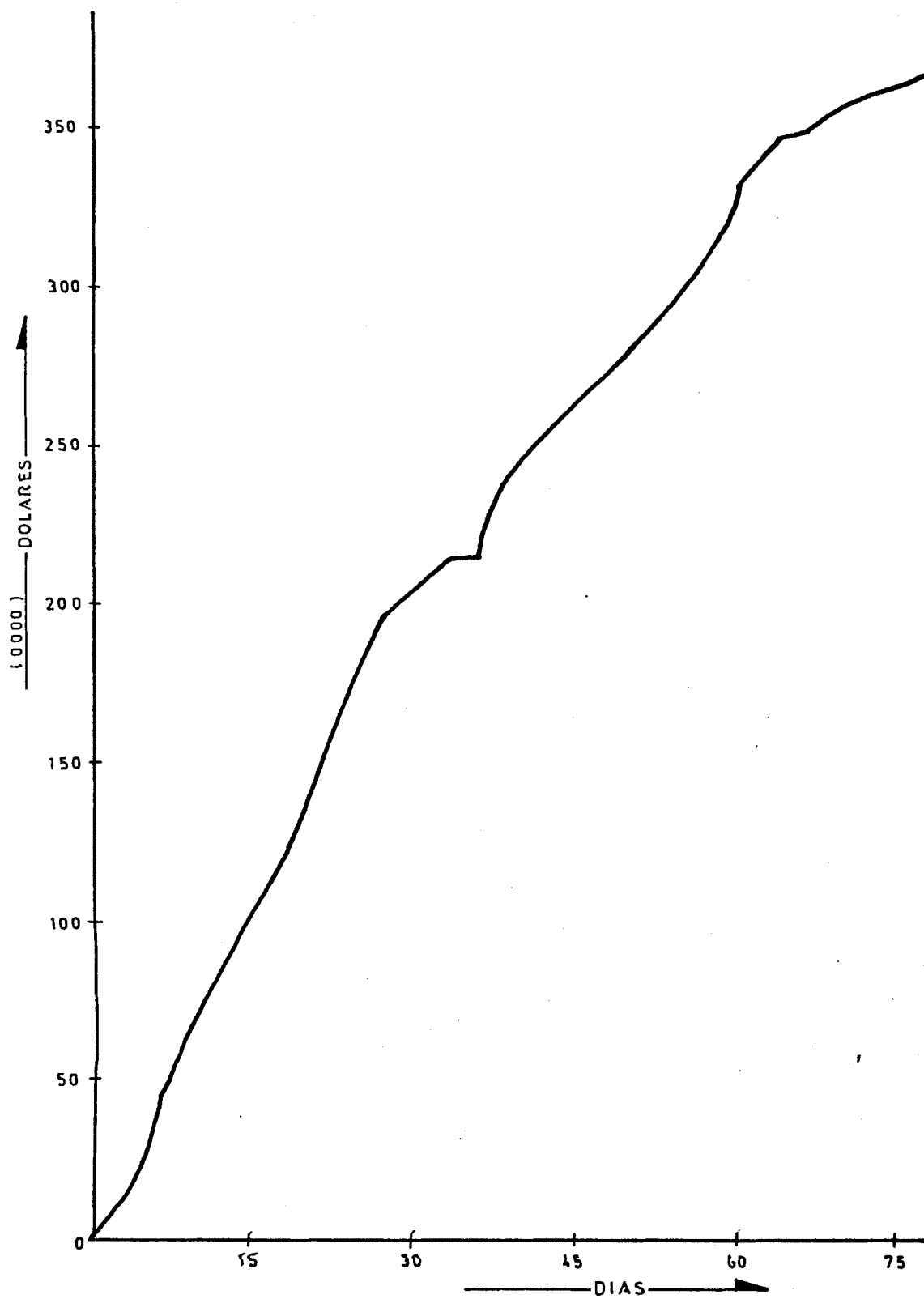


GRAFICO 10 COSTO POR DIA T # 1

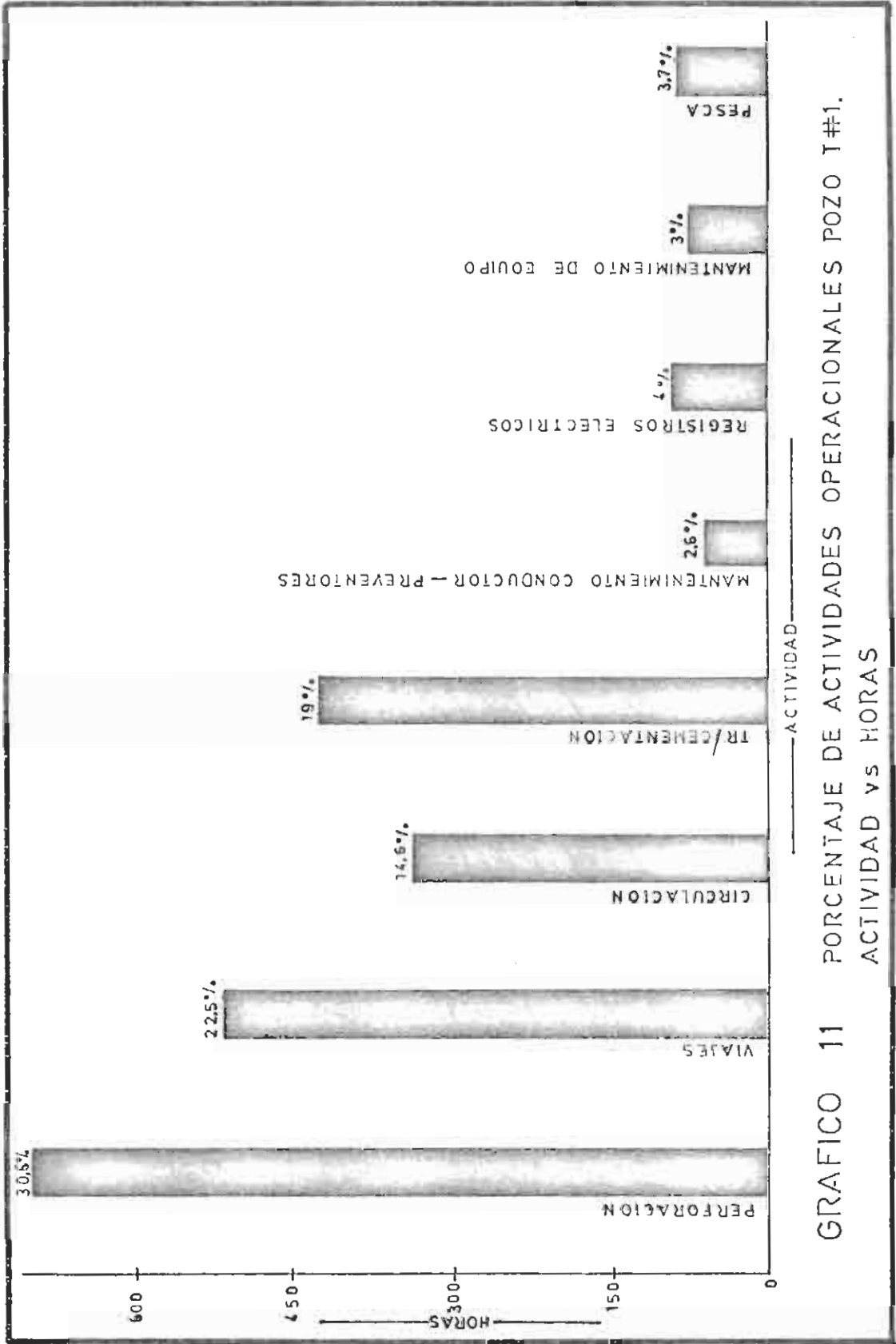


GRAFICO 11 PORCENTAJE DE ACTIVIDADES OPERACIONALES POZO T#1.  
ACTIVIDAD vs HORAS

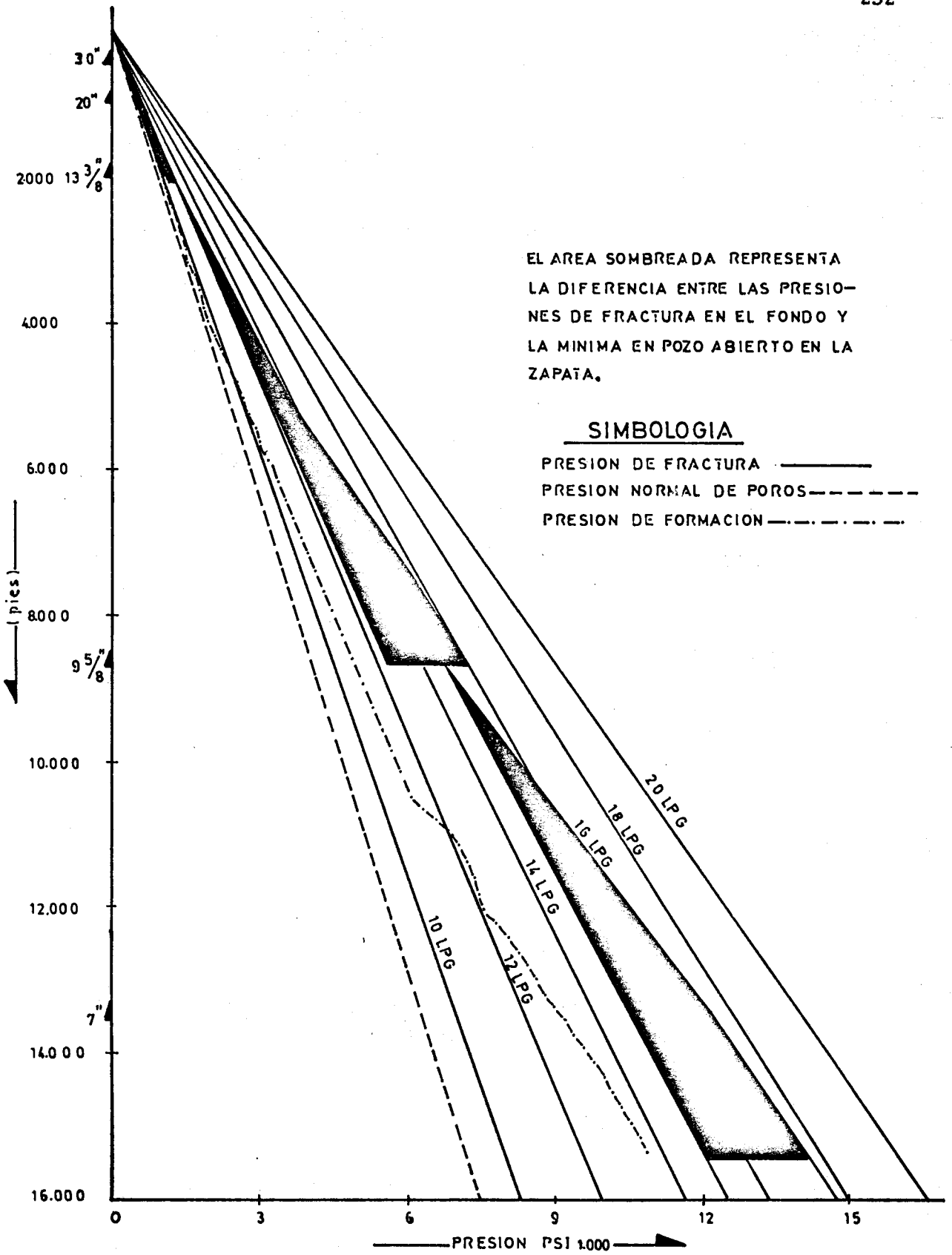


GRAFICO 12 PERFIL DE PRESIONES DEL POZO T # 1.



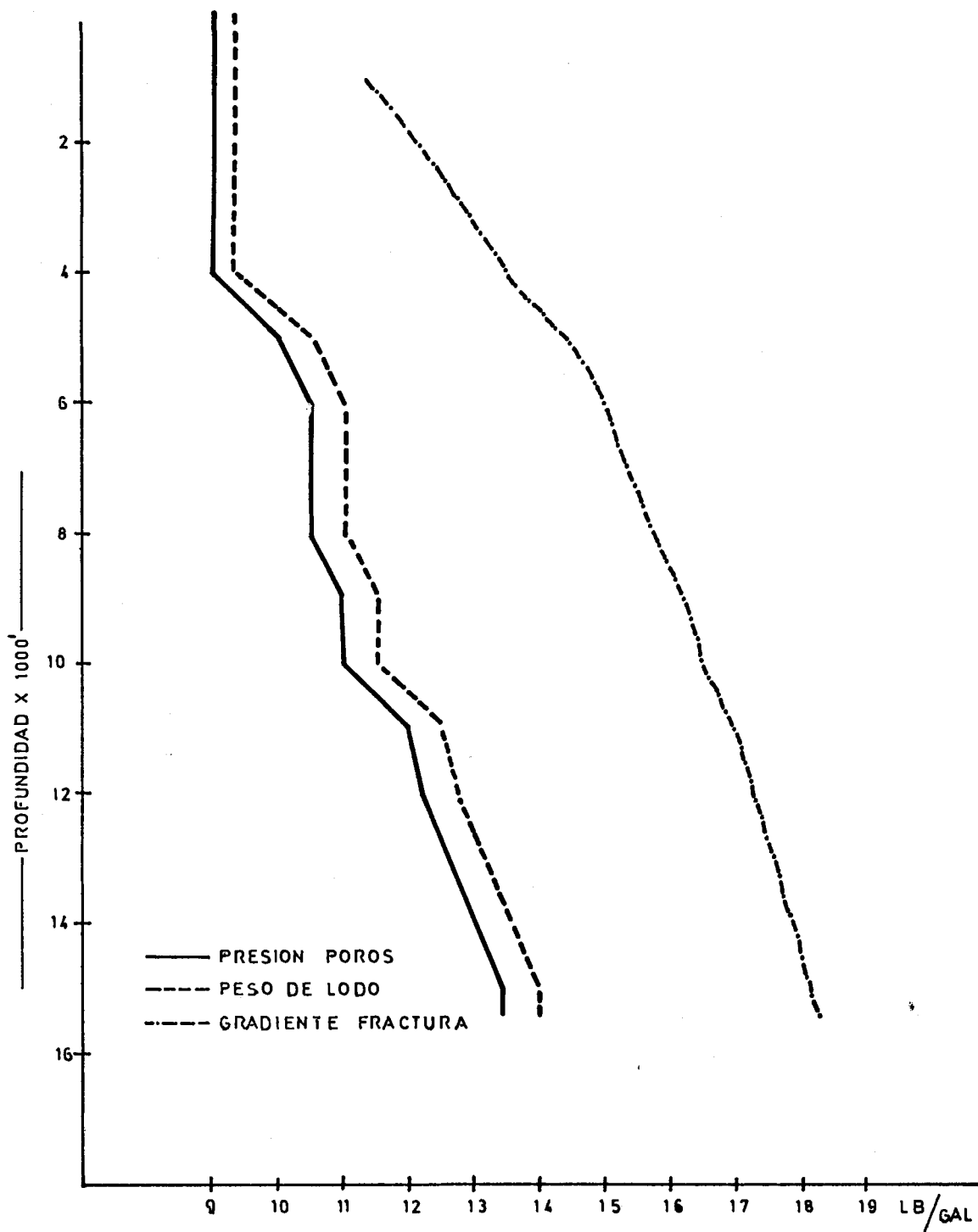


GRAFICO 13 PERFIL DE PRESIONES  
CAMPO T.

POR: ING JOSE CORONEL  
NOV-83

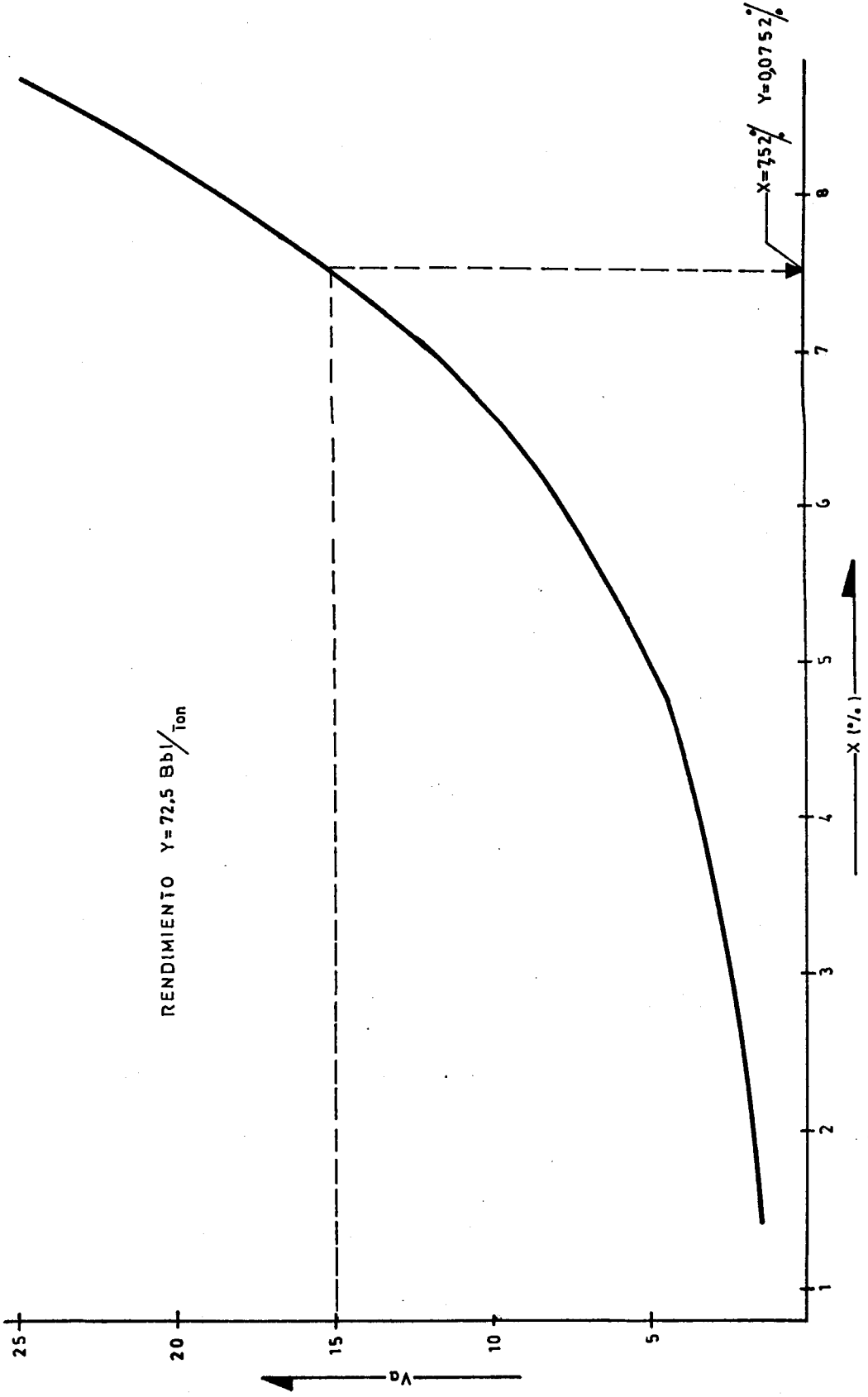


GRAFICO 14 RENDIMIENTO DE LA BENTONITA ( $V_a(v_s) \cdot X\%$ )

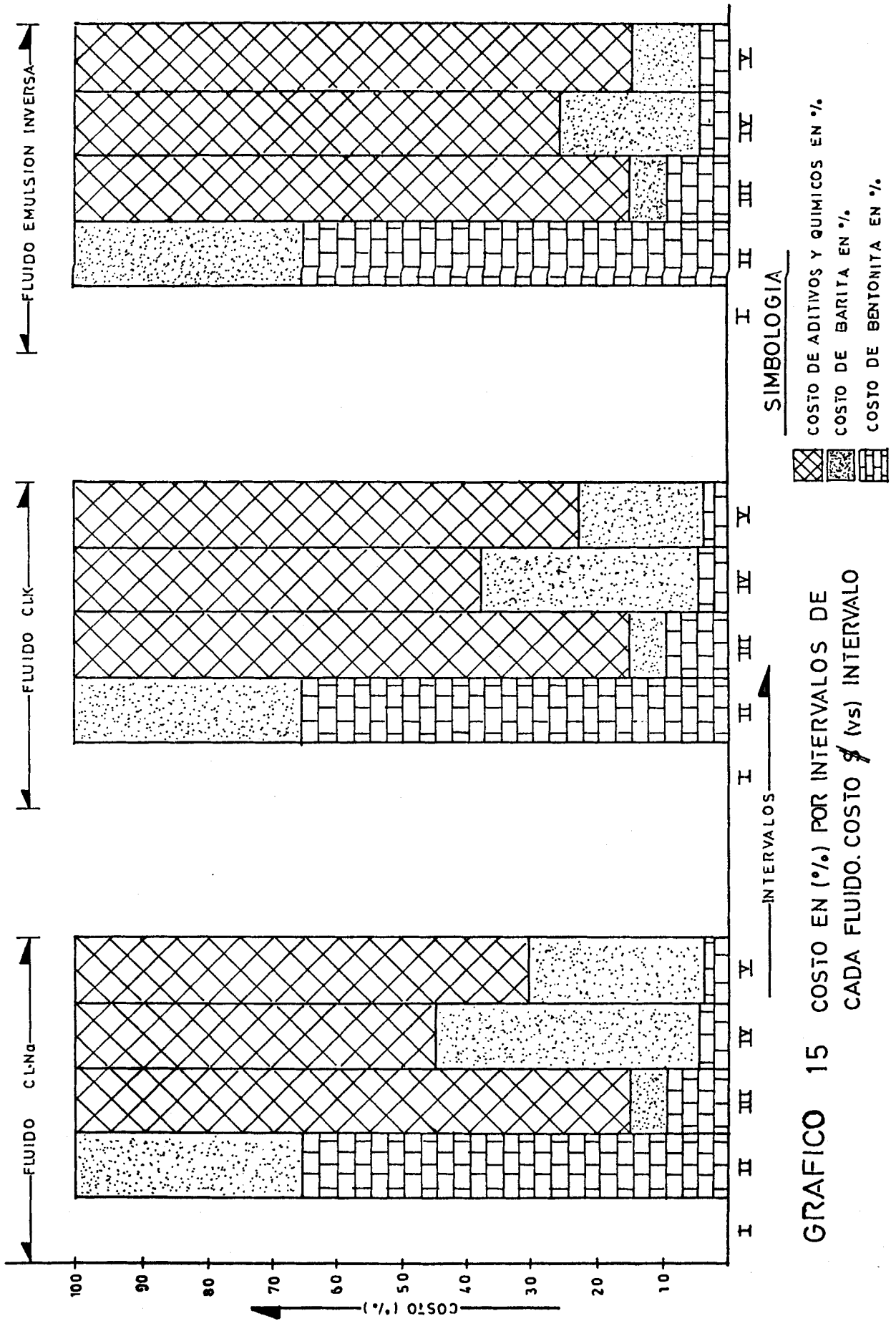





GRAFICO 15 COSTO EN (%) POR INTERVALOS DE CADA FLUIDO. COSTO \$ (vs) INTERVALO

SIMBOLOGIA

-  COSTO DE ADITIVOS Y QUIMICOS EN %.
-  COSTO DE BARITA EN %.
-  COSTO DE BENTONITA EN %.

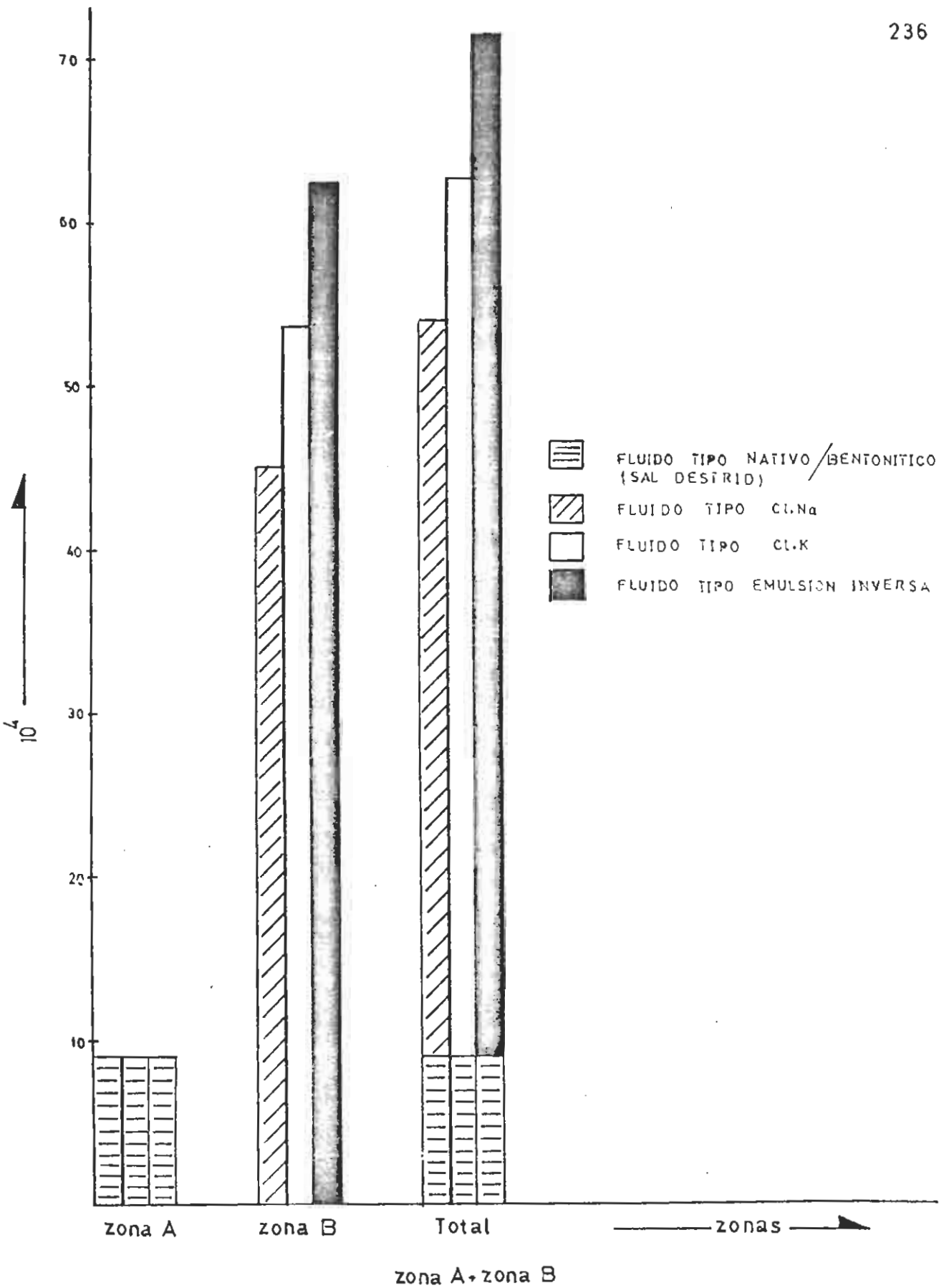


GRAFICO 16 COSTO DE MATERIALES POR ZONAS, DOLARES (vs) ZONAS

## INTERPRETACION DE RESULTADOS

Del análisis experimental realizado con las muestras de arcilla del pozo T. #1 en los diferentes fluidos de perforación se han obtenido diferentes resultados tanto cualitativa como cuantitativamente, los mismos que han sido tabulados y graficados para ser discutidos como a continuación se explica :

- En las Tablas 1 y 2 se resume las muestras entregadas por el Departamento de Geología Regional CEPE-Guayaquil y la obtención de muestra tamizada a diferentes profundidades respectivamente.
- La Tabla 3 se refiere a las diferentes muestras a ser analizadas mediante difracción de rayos -X, para luego en la Tabla 4 y Gráfico 1, indicar cuales son las muestras más representativas a ser experimentadas en los fluidos base agua fresca (lignosulfonato), base agua salada (Cl.K, Cl<sub>2</sub>.Ca y Cl.Na) y base aceite (emulsión inversa) respectivamente.

Cabe mencionar que del análisis de difracción de rayos X hecho a las diferentes muestras de arcilla, en su mayoría se trata de : limolitas , lutitas cuya composición dominante de arcilla, cuarzo, plagioclasa y pirita fueron detectadas.

Arcilla y material amorfo se detecta en un rango de (16-17%).

En la mezcla de estratos arcillosos es dominante la fracción de arcilla en el rango de (45-100%).

Haciendo un análisis más detallado, en el intervalo de (5.000'-13.000') se detecta un gran porcentaje de montmorillonita cálcica, seguido de poco porcentaje de montmorillonita sódica y de otros filosilicatos como: Illita, Cloritas, micas tipo moscovitas, hidromicas y minerales caoliníticos.

- Durante la inspección visual, es claro observar en las Figuras 8 a 12, la hidratación, la poca hidratación y la deshidratación de las muestras (bolas) de arcilla, durante 24 y 48 horas en contacto con su respectivo fluido.

Si observamos detalladamente la Fig. 8, vemos que en el fluido tipo lignosulfonato, la hidratación de las bolas de arcilla es bastante notorio. En cambio en la Fig. 11, existe una total deshidratación dado que se trata de un fluido tipo emulsión inversa.

Debo mencionar que en la Fig. 10, hay una elevada hinchazón de las muestras, especialmente a las 48 horas,

lo cual se debió a una falla involuntaria en el horno eléctrico.

Si se observa detalladamente el comportamiento de la muestra N° ⑤, es precisamente en esta muestra donde se encuentra la mayor cantidad de arcilla expansiva y de ahí su comportamiento caprichoso.

- Durante las siguientes pruebas : Intercambio iónico (catiónico), Tablas 12 a 16, Gráficos 2, 3, 4 y pruebas con los diferentes fluidos, Tablas 32 a 45 al interpretar los resultados vemos claramente que la actividad de las muestras de arcilla se incrementa desproporcionalmente en un fluido base agua fresca (7,5-9,5 Me/100 gr.) no así en los fluidos base agua salada (Cl.K, Cl<sub>2</sub>Ca y Cl.Na) y peor en un fluido tipo emulsión inversa que tan solo alcanza (1-1,4 Me/100 gr.).

También podemos observar la variación que sufren las propiedades físicas y químicas de los diferentes fluidos diseñados, según se muestra en las Tablas 32 a 45 respectivamente.

- De las Tablas 18 a 27 y Gráficos 5 a 8 se analiza que mientras las muestras están expuestas en el fluido durante mayor tiempo, el hinchamiento y dispersión de las

mismas es mayor (3,8-6,0 cm), como también mayor es el cambio sufrido en las propiedades físicas y químicas del fluido, alcanzando el mayor diámetro y dispersión en la muestra N° ⑤.

- El rendimiento de la bentonita (Gráfico 14) con quien se trabajó en la preparación de los fluidos en el laboratorio, dio 72,5 Bbl/Ton., lo cual significa que se trata de una bentonita comercial (aquagel) de buen rendimiento.
- La interpretación del perfil de presiones (Gráfico 12 y 13), nos permite estimar buenos valores de densidad del lodo a medida que vayamos perforando en busca de la (PT). Si miramos la Tabla 46 y Fig. 18 y 19, en éstas se explica detalladamente el diseño estimativo de perforación con su tubería de revestimiento e intervalos respectivos.
- Si se divide la (PT) estimada en dos zonas A y B. La perforación de la zona B, intervalos IV y V (4.200' -PT) se realizará con el fluido recomendado, por tratarse de zona problema de arcillas expansivas. En cambio la zona A, intervalos I, II y III (0' -4.200') será perforada con un fluido similar al utilizado en el pozo T.#1 por haberse atravesado dichos intervalos en condicio-



nes bastante favorables, según se indica en las Tablas 28 y 29 respectivamente.

- Si analizamos detenidamente las Tablas 47 a 54 y Gráfico 15, se puede ver que durante los intervalos IV y V el costo de aditivos incrementa a medida que se atraviesa dicha zona problema en busca de la (PT).

Según el estudio, los días de operación se ven reducidos, mientras más inhibitorio es el fluido de perforación. Pero esto no quiere decir que el fluido que arroje menos días en perforar hasta la (PT) sea el que se recomiende, ya que si se hace un estudio técnico-económico de contaminación del medio ambiente por ejemplo, tal vez resulte no ser el más adecuado.

- Por tal razón en el Gráfico 16, se ve el elevado costo en dólares (\$) que resultaría si se perfora con un fluido tipo emulsión inversa, pero dado que el fluido tipo cloruro de potasio, si reacciona favorablemente con las muestras de arcilla y con la formación, su recomen-  
dación se respalda en el estudio técnico-económico rea-  
lizado con diferentes fluidos preseleccionados incluí-  
do éste.

A P E N D I C E S

EQUIPO DE LABORATORIO USADO	
INSTRUMENTOS	OBJETIVOS
Balanza de lodos	Medir densidad o peso de lodos
Balanza de pesar	Pesar químicos o muestra de arcilla sirven para batir las mezclas
Batidores eléctricos	Sirven para batir las mezclas
Cronómetro	Medir tiempo de pruebas
Equipo para contenido de aren	Mide contenido de arena del lodo
Equipo de análisis químico	Mide: Cloruros, Alcalinidad, Calcio, intercambio catiónico (MBT)
Estabilizador eléctrico Fann (VB)	Mide estabilidad de una emulsión agua-petróleo en lodos base petróleo
Filtro prensa de baja P y T	Medir filtrado del lodo
Filtro prensa de HP y HT	Medir filtrado del lodo a condiciones de alta P y T
Horno eléctrico	Sirven para calentar las muestras de arcilla
Jarros graduados	Sirven para preparar muestras
Medidor PH (papel indicador)	Medir PH del lodo y filtrado
Medidor PH (electrodo de vidrio)	Medir PH del lodo y filtrado
Mortero y mango de porcelana	Sirven para triturar la muestra de arcilla
Retorta	Medir concentración de aceite, agua y sólidos
Tamíz malla 200 Mesh	Separar arcilla plástica de la muestra triturada
Viscosímetro Marsh Funnel	Mide viscosidad (Marsh)
Viscosímetro Fann (115 voltios)	Mide: VP, VP, Geles
Vernier	Medir el diámetro de bolas de arcilla

APENDICE 2

PRINCIPALES PRODUCTOS USADOS EN LA PREPARACION DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION

NOMBRE DEL PRODUCTO	FUNCION PRINCIPAL FUNCION SECUNDARIA													DESCRIPCION	DOSIFICACION	
	Material pesado	Viscosificador	Dispersante	Reductor de filtrado	Material perdida de circulacion	Alcalinidad, control PH	Emulsificador	Surfactante	Inhibidor de corrosion	Antiespumante	Floculante	Bactericida	Lubricante			Remover calcio
AGENTES DENSIFICANTES Y VISCOSIFICANTES																
Aquagel (Bentonita) (100 Lbs/sx)	•	•	•	x											Montmorillonita tipo sódica gravedad especifica 2.7	5 - 25 lb/Bbl según las necesidades
Baroid (Barita) (50 Lbs/sx)	•														Sulfato de Bario en polvo gravedad especifica 4.2	50 - 900 lb/Bbl
Zeogel (50 ó 100 Lbs/sx)	•			x											Atapulguita en polvo	5 - 30 lb/Bbl
AGENTES REDUCTORES DE FILTRADO																
Celler (CMC) (50 Lbs/sx)	•	x	•												Carbometil celulosa de sodio en polvo	0,1 - 1,5 lb/Bbl
Dextrid (50 Lbs/sx)	•	•	•						•						Polvo polisacarido estabilizado parcialmente dextrinizado	0,2 - 5 lb/Bbl
Drispac-Reg (50 Lbs/sx)	•	•	•										•		Polvo de celulosa polianiónico	0,1 - 3 lb/Bbl

APENDICE 2 (continuación)

DISPERSANTES												
Q - BROXIN (50 Lbs/sx)												1 - 20 Lb/Bbl
Polvo de lignosulfonato ferrocromado												
ANTIESPUMIGENO												
ESTEARATO DE ALUMINIO (25 ó 50 Lbs/cart)												1 quart/10 quart (diesel) por circulaac.
Polvo de estearato de aluminio												
PRODUCTOS QUIMICOS COMERCIALES												
CLORURO DE CALCIO (80-100 Lbs/sx)												10-300 Lb/Bbl agua) (1%
Cloruro de calcio Cl <sub>2</sub> .Ca												
CLORURO DE POTASIO (50-100 Lbs/sx)												2-50 Lb/Bbl
Cloruro de potasio Cl.K polvo inorgánico												
SAL (50-80-100 Lbs/sx)												5-125 Lb/Bbl
Cloruro de sodio Cl.Na granular												
SODA ASH (50-100 Lbs/sx)												0,5-2 Lb/Bbl
Polvos de carbonato de sodio Na <sub>2</sub> .CO <sub>3</sub>												
SODA CAUSTICA (50 Lbs/sx)												0,1-3 Lb/Bbl
Hidróxido de sodio Na OH												
PRODUCTOS PARA LODO BASE ACEITE EMULSION INVERSA												
ACEITE (DIESEL) (5-55 gal/tambor)												según necesidad
CARBO-GEL (50 Lbs/sx)												0,5-7 Lb/Bbl
Polvo de arcilla organofílica Co.												
CARBO-TEC-L (5-55 gal/tambor)												
Emulsificador a altas temperaturas lodos base aceite												
CARBO-TROL A-9 (50 Lbs/sx)												2-20 Lb/Bbl
Polvo coloide organofílico												
EZ-MUL (5-55 gal/tambor)												2-15 Lb/Bbl
Aceite soluble surfactante líquido												
LIME (50-100 Lbs/sx)												0,5-8 Lb/Bbl
Polvo de hidróxido de calcio Ca (OH) <sub>2</sub>												

SIMBOLOGIA • Función principal  
 x función secundaria

APENDICE 3

ORDEN DE PREPARACION DEL FLUIDO LIGNOSULFONATO

ORDEN Nº	ADITIVOS Y QUIMICOS Lb/Bbl*	TIEMPO DE BATIDO minutos
1.	Un Bbl* Agua + 30 Lb/Bbl* Bentonita	10
2.	1.+100 Lb/Bbl* Barita	10
3.	2.+1 Lb/Bbl* Soda Cáustica	5
4.	3.+5 Lb/Bbl* Q- Broxin	5
5.	4.+0,2 Lb/Bbl* CMC	5
6.	5.+10 Lb/Bbl* Bentonita	5
7.	6.+105 Lb/Bbl* Barita	5
8.	7.+0,5 Lb/Bbl* Soda Cáustica	5
9.	8.+5 Lb/Bbl* Q - Broxin	5
10.	9.+0,3 Lb/Bbl* CMC	5
11.	10.+0,07 gal/Bbl* Estearato de Al.	3

APENDICE 4

ORDEN DE PREPARACION DEL FLUIDO BASE (Cl.Na)

ORDEN Nº	ADITIVOS Y QUIMICOS Lb/Bbl*	TIEMPO DE BATIDO Minutos
1.	BENTONITA PREHIDRATA+0,5 Lb/Bbl Soda Cáustica	5
2.	1. + 4 Lb/Bbl* Q-Broxin	5
3.	2. +60 Lb/Bbl* Barita	5
4.	3. +0,3 Lb/Bbl* Drispac-Reg	5
5.	4. +0,23 gal/Bbl* Estearato de Al.	3
6.	5. +0,75 Lb/Bbl* Soda Cáustica	5
7.	6. + 3 Lb/Bbl* Q-Broxin	5
8.	7. +10 Lb/Bbl* Barita	2
9.	8. +1,4 Lb/Bbl* Drispac-Reg	5
10.	9. +1 Lb/Bbl* Soda ASH	2
11.	10. +0,23 gal/Bbl* Estearato de Al.	3
12.	11. + 4 Lb/Bbl* Dextrid	5

## APENDICE 5

ORDEN DE PREPARACION DEL FLUIDO BASE (Cl<sub>2</sub>.Ca)

ORDEN Nº	ADITIVOS Y QUIMICOS Lb/Bbl*	TIEMPO DE BATIDO Minutos
1.	BENTONITA PREHIDRATADA + 0,5 Soda Cáustica	5
2.	1. + 3 Lb/Bbl* Q-Broxin	5
3.	2. +50 Lb/Bbl* Barita	5
4.	3. +1,6 Lb/Bbl* C M C	5
5.	4. + 2 Lb/Bbl* Soda ASH	3
6.	5. + 1 Lb/Bbl* Soda Cáustica	5
7.	6. + 4 Lb/Bbl* Q-Broxin	5
8.	7. +20 Lb/Bbl* Barita	3
9.	8. +0,5 Lb/Bbl* Drispac-Reg	5
10.	9. + 2 Lb/Bbl* C M C	3
11.	10. +0,23 gal/Bbl* Estearato de Al.	2



## APENDICE 6

## ORDEN DE PREPARACION DEL FLUIDO BASE (Cl.K)

ORDEN N <sup>o</sup>	ADITIVOS Y QUIMICOS Lb/Bbl*	TIEMPO DE BATIDO Minutos
1.	BENTONITA PREHIDRATADA +0,5 Lb/Bbl* Soda Cáustica	5
2.	1. + 4 Lb/Bbl* Q-Broxin	5
3.	2. +50 Lb/Bbl* Barita	3
4.	3. +0,5 Lb/Bbl* Drispac-Reg	3
5.	4. +0,35 gal/Bbl* Estearato de Al.	3
6.	5. +0,75 Lb/Bbl* Soda Cáustica	5
7.	6. + 2 Lb/Bbl* Q-Broxin	3
8.	7. + 20 Lb/Bbl* Barita	3
9.	8. + 1,0 Lb/Bbl* Drispac-Reg	3
10.	9. + 1,0 Lb/Bbl* Carbonato de Potasio	3
11.	10. +0,23 gal/Bbl* Estearato de Al.	3
12.	11. + 8 Lb/Bbl* Dextrid	5

## APENDICE 7

## ORDEN DE PREPARACION DEL FLUIDO BASE EMULSION INVERSA

ORDEN Nº	ADITIVOS Y QUIMICOS Lb/Bbl*	TIEMPO DE BATIDO Minutos
1.	Se agrega 0,571 Bbl* (Diesel)	
2.	Se mezcla en un recipiente aparte 0,02248 Bbl* Solución (Carbo Tec-L)+5,72 Lb/Bbl* (LIME)	15
3.	Se mezcla en otro recipiente 57,14 Lb/Bbl* (Cl <sub>2</sub> Ca)+0,244 Bbl* (Agua)	15
4.	Mezclar 2. en 1.	10
5.	Mezclar 3. en 4.	10
6.	5. +10 Lb/Bbl* (Carbo Trol A-9)	20
7.	Se hace prueba de estabilidad eléctrica (EE)	
8.	6. +2,86 Lb/Bbl* (EZ-Mul)	10
9.	8. +2,86 Lb/Bbl* (Carbo Gel)	15
10.	9. +304 Lb/Bbl* (Barita)	20
11.	Se mide estabilidad de emulsión (EE)	-

## BIBLIOGRAFIA

1. ARBIZU, A. Control de presiones, Milchem III Congreso de Ingenieros de Geología, Minas y Petróleo. Guayaquil, Julio 1983.
2. ARNAO, C. Perforación Costa Afuera (off-shore). Seminario ESPOL-Guayaquil, Enero-Septiembre 1983.
3. BENITES, E. Morfología y Sedimentos de la plataforma continental del Golfo de Guayaquil, Guayaquil 1975.
4. BENITES, E. Estudio Morfotectónico del sur-oeste ecuatoriano. Mapas año 1983.
5. CASTRO, G. Manual práctico de tecnología aplicada de perforación (A.D.T.), Baroid de Venezuela, S.A., 1980.
6. CEPE. Informe de Fluidos de perforación. Subgerencia Regional CEPE - Guayaquil, Abril 1983.
7. CEPE. Informe geológico del pozo T. #1, Subgerencia Regional, División de Geología, Guayaquil, Febrero 1983.
8. CEPE. Informes diarios de perforación de los pozos G. #1, A.S. #1 y T. #1. Subgerencia Regional, División de Perforación, Guayaquil, Enero 1982-Febrero 1983.

9. CEPE. Stability tests of CEPE, Gulf of Guayaquil N° 1 Formation shale in various mud systems, Ecuador. Subgerencia Regional, División de Perforación, Guayaquil, Agosto 1982.
10. CORONEL, J. Perfil de presiones Campo T. División de Perforación, Subgerencia Regional CEPE, Guayaquil, Noviembre 1983.
11. CORONEL, J. y NUÑEZ, R. Gradiente de fractura del Golfo de Guayaquil, III Congreso de Ingenieros de GMIP, Guayaquil, Julio 1983.
12. COSTALES, J. Como las presiones y arcillas expansibles afectan la perforación en el Golfo de Guayaquil, III Congreso de Ingenieros de GMIP, Guayaquil, Julio 1983.
13. CHARIGUIM, M. M. Geología general - elementos de mineralogía y petrografía, Ediciones Grijalbo, S.A. , 1964 México D.F. pp. 27, 31, 63-66.
14. CHENEVERT, M.E. Shale control with balanceo-activity oil continuous muds. Journal of Petroleum Technology, Oct. 1970, pp. 1309-1316.
15. DARLEY, H.C.H. A laboratory investigation of Borehole stability. Journal of Petroleum Technology (JPT),

July 1969, pp. 883-892.

16. DRILLING SPECIALTIES COMPANY (DSCo). Gufa para ingenieros de lodos. Enero 1979.
17. ESPINOSA, T. Mineralogía parcial del pozo T. #1. Laboratorio Escuela Politécnica Nacional, Quito, Marzo 1984.
18. GRIM, RALPH E. Clay mineralogy (X-Ray diffraction). McGraw-Hill Book Co. 2nd. ed. 1968.
19. IMCO SERVICES. Tecnología de los fluidos de perforación. A Halliburton Company 2400 West Loop South, p. o. Box 22605 Houston Texas 77027 A/C 713-671-4800.
20. IMCO SERVICES. Selection of drilling fluids to minimize shale instability. 1977. Catalog N° 05913 TB-04802 M.
21. IMCO SERVICES. Aditivos Imco para fluidos de perforación. Halliburton de México 6 D.F., 1980
22. MILCHEM. Conversion factors & engineering data. Cortesía revisado Noviembre 1980.
23. MILCHEM. Super shale - Trol SST. Producto Milchem .

Avda. La República N° 1954 p.o. Box 4.143 Quito-Ecuador MW - 076 - 84, Febrero 1984.

24. MONDSHINE, T.C. and KERCHVILLE, J. D. Successful Gumbo - Shale Drilling. Oil and Gas Journal (March 28 , 1966), pp. 194-205.
25. MOORE, P.L. Drilling practices manual. The Petroleum Publishing Co., Tulsa, Okla. 1974
26. NL BAROID. Baroid logging systems mud loggers handbook, traducción: EARL, Fly Jr. Anaco, Venezuela , Mayo 1979.
27. NL BAROID. Tecnología aplicada a la perforación y uso de la Unidad (C.A.D.T.), Seminario Subgerencia Regional CEPE - Guayaquil, Agosto 1982.
28. NL BAROID. How to use the material balance equations. Houston, Texas, 1981.
29. NL BAROID. Baroid drilling mud products. Revisado , Abril 1971.
30. NL BAROID. Drilling mud handbook, Houston, Texas 1982.
31. NL BAROID. Seminario sobre Fluidos de perforación in

hibidos. Denis Karsten, Benjamin Paiuk y Waine Dean.  
ESPOL - Guayaquil, Julio 1984.

32. O'BRIEN, DENNIS E. and CHENEVERT, MARTIN E. Stabilizing sensitive shale with inhibited - potassium -based drilling fluids. Journal of Petroleum Technology, Sept. 1973, pp. 1089-1100.

33. RIOS, L. Lodos de perforación características y aditivos. Venezuela 1957.

34. ROBERTSON RESEARCH (U.S.) INC. Reservoir analysis of the interval 9.711 Feet to 13.351 feet of the T. #1 well, Ecuador, (X-Ray Diffraction). Subgerencia Regional CEPE - Guayaquil, Marzo 1983.

\* 35. ROGERS, W. F. Composition and properties of oil well drilling fluids. Gulf Publishing Co., Houston, Texas, 3rd. ed.

36. ROMERO, N. Química de arcillas. Milchem, Feb. 1984.

37. SARMIENTO, G. Estudio experimental de aplicación de fluidos de perforación base agua salada. Guayaquil, 1981.

38. SIMBALA, C. Estudio de las arcillas de la zona de Charasol (Cañar) para utilización en fluidos de per-

foración, Guayaquil 1981.

39. TAPIA, F. Fluidos de perforación, generalidades teóricas, cuidado y uso del laboratorio. Departamento de IGMP, Seminario, Guayaquil, Octubre 1979.

40. WOODSIDE, P. Posibilidades petrolíferas del Golfo de Guayaquil. Publicación (GEOPET) de la A.E.I.G.M.P. ESPOL N° 1, Guayaquil, Agosto 1978.