

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE PETROLEO**

**Programa, Operación y Evaluación de la  
Perforación y Completación de un Pozo  
de 9,500 Pies de Profundidad en el  
Noroeste del Perú**

**TESIS DE GRADO**

**NICOLAS PRUEGER HUSZAK**  
**PROMOCION 1961**

**LIMA - PERU 1964**

## INDICE

	<u>Página</u>
Falsa Portada.....	I
APROBACION.....	II
DEDICACION.....	III
RECONOCIMIENTO.....	IV
INDICE.....	V
<u>INTRODUCCION</u> .....	1

### PARTE I : PROGRAMA

CAPITULO I. <u>ESTUDIO GEOLOGICO PRELIMINAR</u> .....	3
CAPITULO II. <u>TRABAJOS DE PERFORACION Y ESTIMACION DE LOS COSTOS CORRESPONDIENTES</u> .....	6
A. RECOMENDACION DE PERFORACION.....	6
B. TRABAJOS DE LOCACION.....	8
C. PROGRAMA DE PERFORACION.....	8
D. PROGRAMA DE BROCAS.....	9
1. <u>Programas de brocas, desarrollados en tres           pozos vecinos</u> .....	11
2. <u>Cálculo del Programa de Brocas para Muestras-           Testigos en el pozo exploratorio No. 1</u> .....	22
3. <u>Sumario de los Programas para los pozos veci-           nos</u> .....	24
4. <u>Conclusiones sobre el programa de brocas pa-           ra el pozo exploratorio No. 1</u> .....	25
5. <u>Costo de las brocas programadas</u> .....	26
E. PROGRAMA PARA CABLE DE PERFORAR.....	27
- <u>Cálculo de cortes del cable de perforar</u> .....	29
- <u>Deducción de la fórmula Tonelada-Milla en un           viaje completo</u> .....	31

F. PROGRAMA DE LODO.....	35
- <u>Lodo Sódico emulsionado con 15% de Diesel</u> <u>No. 4. - Cálculos.....</u>	36
- <u>Acrecados químicos para mantener las condi-</u> <u>ciones físicas del lodo.....</u>	38
- <u>Costos del lodo.....</u>	39
G. PROGRAMA DE HIDRAULICA.....	40
H. CONDICIONES DE PERFORACION. Velocidad de la me- sa rotaria y Peso sobre la Broca.....	48
I. DESVIACION.....	50
CAPITULO III. <u>TECNICA DE COMPLETACION Y SUS COSTOS.....</u>	52
A. REGISTROS DEL POZO.....	52
- <u>Registro de inducción.....</u>	52
- <u>Costo de los registros.....</u>	53
B. CEMENTACION.....	55
- <u>Cálculo del cemento, agua y aditivos.....</u>	55
- <u>Forros de superficie.....</u>	56
- <u>Volumen de agua a usar.....</u>	56
- <u>Cementación de los forros de 4-1/2".....</u>	56
- <u>Costos de la cementación.....</u>	59
C. DISEÑO DE LA SARTA COMBINADA PARA TUBERIA REVESTIDORA.....	60
- <u>Relaciones matemáticas usadas en el diseño</u> <u>de forros.....</u>	60
- <u>Diseño de la sarta <sup>U</sup>ombinada.....</u>	66
- <u>Esquema del diseño de forros.....</u>	71
- <u>Costo de la sarta combinada y de los forros</u> <u>de superficie.....</u>	72
CAPITULO IV. <u>EQUIPO A USARSE. ESPECIFICACIONES Y COSTOS.....</u>	74
CASTILLO Y BASE PARA MOTORES.....	74
MALACATE.....	74
MOTORES.....	75
TRANSMISIONES.....	75

	BOMBAS DE LODO.....	76
	TANQUES PARA LODO.....	76
	EQUIPO AUXILIAR DE SUPERFICIE.....	76
	MEZCLADOR.....	77
	PLANTA DE LUZ.....	77
	CORONA.....	78
	GANCHO VIAJERO.....	78
	GANCHO.....	78
	SWIVEL.....	79
	"ROLLER KELLY BUSHING".....	79
	INDICADOR DE PESO.....	79
	CASITA DE PERFORAR.....	80
	MESA ROTARIA.....	80
	CONTROLES IMPIDE-REVENTONES.....	80
	CUERPO EMPERNADO.....	80
	COMPRESOR DE AIRE.....	81
	CABLE DE PERFORAR.....	81
	MANGUERA DE PERFORAR.....	81
	MOTORES ELECTRICOS.....	81
	VALOR DEL EQUIPO COMPLETO CON SUS ELEMENTOS AUXILIARES.....	81
CAPITULO V.	<u>RESUMEN DE COSTOS</u> .....	84
	COSTO DIARIO DE OPERACION DEL EQUIPO DE PERFORAR.....	84
	COSTO DEL PROYECTO.....	85

PARTE II : OPERACION

CAPITULO VI.	<u>INSTALACION DEL EQUIPO Y OPERACIONES DE PERFORACION.- COSTOS</u> .....	87
	TRASLADO DEL EQUIPO.....	87
	ARMADO DEL EQUIPO.....	88

	PERFORACION DEL HUECO DE SUPERFICIE Y SENTADO DE FORROS.....	89
	PERFORACION DEL HUECO PRINCIPAL.....	91
	MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE PERFORAR.....	93
CAPITULO VII.	<u>OPERACIONES DE COMPLETACION Y SUS COSTOS.....</u>	96
	REGISTROS DEL POZO.....	96
	ACONDICIONAMIENTO DEL LODO Y DEL HUECO.....	97
	BAJADO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO.....	98
	CEMENTACION Y ANCLAJE DE LA TUBERIA REVESTIDORA.	98
	<u>DESMANTELAMIENTO Y TRANSPORTE DEL EQUIPO.....</u>	99
CAPITULO VIII.	<u>ESTUDIO COMPARATIVO DE COSTOS.....</u>	101
	<u>CONCLUSIONES.....</u>	103
	<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	104

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

La presente tesis reúne en su texto el íntegro de los trabajos realizados en la ejecución de un pozo perforado por petróleo en un área hipotética del Nor-oeste peruano. Antes de empezar a compilar la información que integra este trabajo el autor acumuló un año de experiencia en la perforación de numerosos pozos; del momento en que inició su estudio hasta terminarlo, pasó otro año de experiencia continuada en la misma actividad de perforación, lo cual permitió corregir y mejorar los conceptos iniciales que eran susceptibles a ello. Un pozo en cierto modo análogo al que describe esta tesis fué primeramente proyectado en detalle, desde su más temprana fase de la prospección geológica hasta su completación, incluyendo los costos de todas las operaciones y maquinaria requerida. Posteriormente se perforó el pozo proyectado, y para los efectos del presente estudio se siguió de cerca su perforación así como los costos de la misma.

Al final de la tesis se compara el proyecto calculado, con la perforación real. La exactitud de los cálculos preliminares es ampliamente satisfactoria, a pesar de un percance de pérdida de circulación. No se pretende indicar que todo pozo debiera ser previamente calculado con tan pequeño error, si bien es cierto que un cálculo cuidadoso siempre dará resultados

cercanos a la realidad, de no ocurrir problemas o accidentes imprevisibles.

El análisis de costos es completo, aunque no sigue la práctica real de las Compañías que operan en el Noroeste peruano por cuanto en dichas Compañías no se perforan pozos a los que se cargue el 100% del costo del equipo usado en la perforación. No se ha tratado de justificar el gasto incurrido en la perforación por la producción del pozo puesto que ése no es el objeto del presente estudio. En todo caso la inversión en la perforación de un solo pozo puede o no pagarse de acuerdo a su productividad, la cual después de cien años de perforaciones aún es tan insegura como en Titusville.

PROGRAMA, OPERACION Y EVALUACION DE LA PERFORACION Y COMPLETACION DE  
UN POZO EXPLORATORIO DE 9,500 PIES DE PROFUNDIDAD EN EL NOROESTE  
DEL PERU

PARTE I : PROGRAMA

CAPITULO I.- ESTUDIO GEOLOGICO PRELIMINAR

El pozo exploratorio No.1, en el área de El Alto, está localizado en el Km<sup>2</sup> R'-11, N 870 m. E 820 m. (Ver Fig. 1).

Este pozo evaluará las perspectivas de la formación Salina en un área donde la información gravimétrica así como la Sismográfica indican una estructura levantada. (Figs. 3 y 4).

Este levantamiento forma parte del levantamiento denominado "El Alto" el cual se muestra claramente en los mapas del subsuelo. El Tope del conglomerado superior de la formación Salina, que es el principal objetivo, se encontraría a la profundidad de 5,570 pies y la sección entera de Salina, incluyendo las lutitas intermedias, sería más o menos de 2,680 pies de espesor (Fig. 5). Como objetivos secundarios están la formación Ostrea considerada con perspectiva potencial y algunos adelgazamientos de la parte inferior de Lagoon/Peña Negra, estos últimos con reservas, pues podrían contener agua meteórica dada su cercanía a la superficie. La Geología de Superficie es oscura, debido a los depósitos recientes del Tablazo. Sin embargo esto no es disculpa, ya que sin la presencia de este tablazo la estructura del subsuelo también se presenta complicada como lo es en toda la región. Los principales rasgos geológicos son mostrados en la Sección A - A' (Fig. 4) la cual en cierta forma interpreta la estructura alrededor del pozo, más a base de geofísica que de la información que se pueda obtener de los pozos vecinos. Sólo perfiles litológicos antiguos se han podido obtener de los pozos vecinos con la desventaja que la perforación en dichos pozos es poco profunda.

El contorno sismográfico (Fig. 3), está preparado en una base regional, y las curvas en la vecindad del pozo exploratorio No. 1 pueden considerarse de bastante ayuda para la interpretación del tope de la formación Salina.

Los conglomerados superior e inferior de Salina son excelentes pro-

ductores en áreas vecinas (3 Kms. al Sur-Este). En los pozos vecinos el promedio de producción inicial obtenido supera los 250 barriles diarios por pozo y su última recuperación sobrepasa de 1/2 millón de barriles por pozo.

El pozo 310 mostrando en la sección transversal tiene gas en gran parte del conglomerado y sirve de base para justificar las posibilidades del exploratorio No. 1 que se muestra en el mismo block, algo más bajo.

Algunos de los pozos en el área mapeada (Fig. 1) penetran solamente una sección corta dentro de la formación Salina. Por ejemplo, los pozos 445, 310 y 442 penetraron sólo entre 150 y 500 pies de Salina.

Ciertamente esto no es suficiente para probar una sección del orden de los 3,000 a 4,000 pies de espesor.

El pozo exploratorio No. 1 podría probar una extensa área de desarrollo de la formación Salina así como comprobar su potencialidad en un programa de exploración hacia el Norte.

La ~~estratigrafía~~ ~~espe~~ ~~Tabla~~ ~~en~~ el pozo propuesto es la siguiente:

200'	-	3760'	Lagoon/Peña Negra
3760'	-	5570'	Ostrea
5570'	-	6930'	Salina - Conglomerado Superior
6930'	-	7700'	Salina Lutitas Intermedias
7700'	-	9250'	Salina Conglomerado Inferior
9250'	-	9500'	Salina Lutitas Inferiores
		9500'	Profundidad total.

## CAPITULO II.- TRABAJOS DE PERFORACION Y ESTIMACION DE LOS GASTOS

### CORRESPONDIENTES.

#### A. RECOMENDACION PARA PERFORAR EL POZO EXPLORATORIO No. 1.

Area: El Alto

Km.<sup>2</sup> : R' - 11

Coordenadas aproximadas medidas desde el ángulo S.O.: N. 870 m;

E. 820 m.

Locación 1320 mts. al Suroeste del pozo 445 y 1480 mts. al este del pozo 445; la elevación aproximada es de 301 mts. (987 pies).

#### Formaciones esperadas

0'	-	200'	Tablazo
200'	-	3760'	Lagoon/Peña Negra : petróleo?
3760'	-	5570'	Ostrea : petróleo
5570'	-	6930'	Salina - Conglomerado Superior : petróleo
6930'	-	7700'	Salina - Lutitas intermedias
7700'	-	9250'	Salina - Conglomerado Inferior : petróleo
9250'	-	9500'	Salina - Lutita inferiores
		9500'	Profundidad total.

Este pozo está programado para probar y evaluar las perspectivas de la formación Salina en un área donde las informaciones gravimétricas y sis-

mográficas indican una estructura levantada favorable.

Como objetivos secundarios están la formación Ostrea, considerada con perspectivas potenciales, y algunos adelgazamientos de la parte inferior de Lagoon/Peña Negra.

Los conglomerados superior e inferior de la formación son excelentes productores en el área vecina 3 Km. al sur-este del Exploratorio No. 1 donde los pozos producen inicialmente un promedio de 250 B/D con una última recuperación que se estima superior al 1/2 millón de barriles por pozo. Los pozos más cercanos sólo han penetrado entre 150' a 500' dentro del primer conglomerado de Salina y aparte de las posibles fallas que se prevén, el espesor total a encontrarse podría ser mayor de 3000 pies pero menor de 4000 pies.

El pozo exploratorio No. 1 podría probar una extensa área de desarrollo de Salina, así como comprobar sus perspectivas en dirección al Norte.

Núcleos: Muestras de pared en las arenas de difícil interpretación del contenido de flúidos.

Pruebas: Pruebas de formación por tubería de perforación en las arenas con dificultad en la interpretación del contenido de flúidos.

Registros: Registro Eléctrico, Micro-Registro con Medidor del Diámetro del hueco, Registro de Desviación (si es necesario) y Registro de Inclinación de los Estratos.

Profundidad final: 9,500 pies.

## B. TRABAJOS DE LOCACION

### I: Trabajos de topografía:

Contratación de un topógrafo y su ayudante para tal trabajo.

La duración del levantamiento topográfico, locación y nivelación de la plataforma es dos días de trabajo. La Presentación de los planos correspondientes dentro de 15 días.

### II: Ejecución de la obra:

1.- Camino de acceso a la plataforma.

2.- Nivelación de la plataforma.

Medidas de la misma: 120 x 100 pies

3.- Excavación del canal de drenaje.

Medidas: 7 pies de ancho por 60 pies de largo con 2% de pendiente.

4.- Dar cobertura de 2 pulgadas de espesor de ripio ó cascajo, a la plataforma.

5.- Excavación de la cantina del pozo y su revestimiento con

tablas de madera de cedro. Medidas 6' x 8' x 3 pies.

Costo total de la locación: U.S. \$ 450.00

## C. PROGRAMA DE PERFORACION

El equipo que va a realizar la perforación será tipo rotativo

por las razones siguientes:

- 1.- La profundidad del pozo. Por el sistema a cable, tomaría mucho tiempo ejecutar el trabajo.
- 2.- Las formaciones a perforar, según los informes geológicos, no son permeables (con poca presión de formación) ni excesivamente duras.
- 3.- Las presiones que posiblemente se encuentran son altas y se controlarán con el peso del lodo de perforar.

#### D. PROGRAMAS DE BROCAS

##### Determinación del diámetro de brocas a usar.

El diámetro de las brocas está determinado por el diámetro de los tubos de revestimiento que se van a usar. Para tubos de revestimiento de 4-1/2" O. D. se debe programar de 7-7/8" O.D. Para el hueco de superficie, los forros serán 9-5/8" O.D., correspondiendo una broca de 12" OD.

##### Tipos de broca a usar:

Las formaciones a perforar determinan los diferentes tipos de brocas que conviene usar. Según la columna estratigráfica y la práctica obtenidas en perforar formaciones iguales ó similares se usarán los siguientes tipos de brocas:

Para el hueco superficial, que tendrá 500 pies de profundidad atravesando la formación "Tablazo y Peña Negra", se usarán

brocas tipo OSC-J ó sus equivalentes en otras marcas de broca.

En las formaciones Lagoon/Peña Negra: brocas tipo OSC3-J, ó sus equivalentes.

En la formación Ostrea: tipo OSC3-J y algunas OWV-J ó sus equivalentes. Brocas tipo OWV sólo se usarán en las partes más compactas de la formación Ostrea cuya ocurrencia es ocasional.

En la formación Salina Conglomerado Superior se usarán brocas tipos W7R-J y OWV-J ó sus equivalentes.

En las formaciones de Lutitas intermedias se usarán brocas tipo OSC3-J.

En las formaciones Conglomerado Inferior se usarán brocas W7R-J y OWV-J en su mayor parte W7R-J (ó sus equivalentes) y en las partes más blandas OWV-J ó sus equivalentes.

En la formación "Lutita Inferior", tipos de broca OSC3-J, y OWV-J ó sus equivalentes.

1.- Programas de Brocas, desarrollados en tres pozos vecinos

POZO "A"

Formaciones suaves.

<u>No. de Broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	OSC3-J	530' - 963'	433'	14.00
2	"	963' - 1535'	572'	18-1/2
3	"	1535' - 1747'	212'	11-3/4
4	"	1747' - 2136'	389'	18-1/2
5	"	2136' - 2365'	229'	12-1/2
6	"	2365' - 2723'	358'	13.00
7	"	2723' - 3009'	286'	13.00
8	"	3009' - 3269'	260'	12-1/2
9	"	3269' - 3563'	294'	15-3/4
10	"	3563' - 3789'	226'	13.00
11	"	3789' - 4073'	284'	13-3/4
12	"	4073' - 4345'	272'	14.00
13	"	4345' - 4674'	329'	16-1/2
14	"	4674' - 4934'	260'	13-1/2
15	"	4934' - 5156'	222'	11-1/2
16	"	5156' - 5327'	171'	9.00

<u>No. de Broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
17	OSC3-J	5327' - 5424'	97'	6-1/2
18	"	6753' - 6984'	231'	11.00
19	"	6984' - 7200'	216'	11-1/4
Total : 19 brocas OSC3-J :			5,341'	249-1/2

Promedio de pies perforados por broca OSC3-J :

$$5341 / 19 = 280 \text{ pies/broca.}$$

Promedio de penetración:

$$\frac{5341}{249.5} = 21.33 \text{ pies/hora}$$

Promedio de hora de duración por broca OSC3-J :

$$280 / 21.33 = 13-1/2 \text{ horas}$$

Formaciones intermedias.

<u>No. de broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	OWV-J	5424' - 5499'	75'	6.00
2	"	5499' - 5653'	154'	9-1/4
3	"	5653' - 5805'	152'	12.00
4	"	5993' - 6129'	136'	11-1/2
5	"	6129' - 6262'	133'	10-1/2
6	"	6262' - 6326'	64'	7-1/2
7	M4N-J	6645' - 6753'	108'	9-3/4
Total : 6 brocas OWV-J y una M4N-J :			822'	66-1/2

Promedio por broca OWV-J :

$$822 / 7 = 117.41 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$822 / 66-1/2 = 12.41 \text{ pies/hora.}$$

Promedio de duración por broca OWV-J :

$$117/12.4 = 9-3/4 \text{ horas}$$

Formaciones abrasivas suaves.

<u>No. de broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	OWS-J	6399' - 6501'	102' 2	10.00
2	"	6501' - 6584'	83'	6.3/4
3	"	6584' - 6623'	39'	4-3/4
Total : 3 brocas OWS-J :			224'	21-1/2

Pies por broca OWS-J :

$$224 / 3 = 73.58 \text{ pies/broca}$$

Pie por hora :

$$224 / 21-1/2 = 10.58 \text{ pies/hora}$$

Duración :

$$73 / 10.6 = 7-1/2 \text{ horas.}$$

Formaciones duras

<u>No. de broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	W7R-J	5805' - 5873'	68'	9.00
2	"	5873' - 5936'	63'	7-1/2

No. de broca.	Tipos Usados.	Intervalo de trabajo de la broca.	Pies Perforados.	Horas Perforando.
3	W7R-J	5936' - 5993'	57'	9.00
4	"	6326' - 6399'	73'	7-1/2
5	"	6623' - 6645'	22'	3-1/2
Total : 5 brocas W7R-J :			283'	36-1/2

Pies por broca W7R-J :

$$283 / 5 = 56.58 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$283 / 36.5 = 7.75 \text{ pies/hora}$$

Duración :

$$56 / 7 = 8 \text{ horas}$$

POZO "B"

Formaciones suaves.

<u>No. de Broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	S3-J	510' - 1286'	776'	17.00
2	YT3-J	1286' - 1869'	583'	12-3/4
3	S3-J	1869' - 2250'	381'	12-1/2
4	"	2250' - 2584'	334'	13-1/2
5	"	2584' - 2846'	262'	11-1/2
6	OSC3-J	2846' - 3176'	330'	11-1/4
7	S3-J	3176' - 3502'	326'	12.00
8	"	3502' - 3746'	244'	10-3/4
9	"	3746' - 4023'	277'	8.00
10	"	4023' - 4347'	324'	11.00
11	"	4347' - 4645'	298'	11-3/4
12	OSC3-J	4645' - 4910'	265'	11-3/4
13	S3-J	4910' - 5129'	219'	10-1/2
14	"	5129' - 5355'	226'	10-1/4
15	"	5355' - 5611'	256'	12-1/2
16	"	5611' - 5774'	163'	11-1/4
17	OSC3-J	6555' - 6650'	55'	9-1/4
18	S3-J	7403' - 7642'	61'	5.00
Total : 18 brocas entre S3-J y equivalentes: 5380'				202-1/4

Pies por broca S3-J :

$$5380 / 18 = 298.88 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$5380 / 202-1/2 = 26.63 \text{ pies/hora}$$

Promedio de duración

$$\frac{298.88}{26.63} = 11.22 \text{ horas}$$

Formaciones abrasivas suaves.

<u>No. de broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	OSC-J	5773' - 5911'	138'	9-1/2
2	"	6460' - 6555'	95'	7.00
3	"	7278' - 7403'	125'	11-3/4
4	"	7926' - 8096'	170'	16-1/2
5	G3C-J	8096' - 8287'	191'	17-3/4
Total : 4 brocas OSC-J y una G3C-J :			719'	62-1/2

Pies por broca OSC-J :

$$719 / 5 = 144 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$719 / 62-1/2 = 11-1/2 \text{ pies/hora}$$

Duración :

$$144 / 11.5 = 12-1/2 \text{ horas}$$

Formaciones intermedias.

<u>No. de broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	M4N-J	5911' - 6017'	106'	8-1/2
2	OWV-J	6017' - 6116'	99'	9-1/2
3	"	6650' - 6761'	111'	10-1/2
4	"	6830' - 6928'	98'	9.00
5	"	6928' - 7009'	81'	9.00
6	"	7009' - 7079'	70'	8.00
7	M4N-J	7079' - 7160'	81'	8-1/4
8	"	7160' - 7278'	118'	10-1/2
9	"	7478' - 7562'	84'	9.00
10	"	7562' - 7665'	103'	10-3/4
11	"	7724' - 7818'	94'	9.00
12	"	7818' - 7926'	108'	11-1/4
Total : 7 brocas M4N-J y 5 brocas OWV-J :			1153'	113-1/4

Pies por broca M4N-J (OWV-J) :

$$1153 / 12 = 96 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$1153 / 113-1/4 = 10 \text{ pies/hora}$$

Duración :

$$96 / 10 = 9-1/2 \text{ horas.}$$

Formaciones duras

No. de broca.	Tipos Usados.	Intervalo de trabajo de la broca.	Pies Perforados.	Horas Perforando.
1	W7R-J	6761' - 6830'	69'	7-3/4
2	"	7665' - 7701'	36'	6-3/4
3	"	7701' - 7724'	23'	6-1/4
Total : 3 brocas W7R-J :			128'	20-3/4

Pies por broca W7R-J :

$$128 / 3 = 42.33 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora. :

$$128 / 21 = 6 \text{ pies/hora}$$

Duración :

$$42 / 6 = 7 \text{ horas}$$

POZO "C"

Formaciones suaves.

<u>No. de broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	OSC3-J	520' - 1433'	913'	20-1/4
2	"	1433' - 1791'	358'	14.00
3	"	1791' - 1935'	144'	7-3/4
4	"	1935' - 2250'	315'	17-1/4
5	TT3-J	2250' - 2586'	336'	12-3/4
6	S3-J	2586' - 2813'	227'	10-1/2
7	YT3-J	2813' - 3141'	328'	12-3/4
8	S3-J	3141' - 3473'	332'	12-1/4
9	"	3473' - 3701'	228'	12-1/4
10	"	3701' - 3902'	201'	12-1/2
11	"	3902' - 4064'	162'	12.00
12	"	4064' - 4209'	145'	10-1/2
13	"	4209' - 4423'	214'	12.00
14	"	4423' - 4633'	210'	11-1/2
15	"	4633' - 4832'	199'	12.00
16	"	4832' - 4996'	164'	11-3/4
17	"	4996' - 5141'	145'	10-1/4
18	"	5141' - 5296'	155'	11-1/4
19	"	5296' - 5352'	56'	5.00

No. de broca.	Tipos Usados.	Intervalo de trabajo de la broca.	Pies Perforados.	Horas Perforando.
20	S3-J	6278' - 6453'	175'	11-1/2
21	"	6453' - 6549'	96'	8-3/4
Total : 21 brocas S3-J y equivalentes :			5103'	248.00

Pies por broca S3-J :

$$5103 / 21 = 243 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$5103 / 248 = 20.5 \text{ pies/hora}$$

Promedio de durabilidad :

$$243 / 20 = 12 \text{ horas}$$

Formaciones intermedias.

No. de broca.	Tipos Usados.	Intervalo de trabajo de la broca.	Pies Perforados.	Horas Perforando.
1	M4N-J	5352' - 5455'	103'	10-3/4
2	"	5455' - 5555'	100'	11-3/4
3	"	5555' - 5657'	102'	10-3/4
4	"	5714' - 5850'	136'	11-1/2
5	"	5850' - 5916'	66'	7.00
6	"	6044' - 6081'	37'	4.00
7	"	6140' - 6278'	138'	13-1/2
Total : 7 broca M4N-J :			682'	69-1/4

Pies por broca M4N-J :

$$682 / 7 = 98 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$682 / 69-1/4 = 10 \text{ pies/hora}$$

Promedio de durabilidad :

$$98 / 10 = 9-3/4 \text{ horas}$$

Formaciones duras.

<u>No. de broca.</u>	<u>Tipos Usados.</u>	<u>Intervalo de trabajo de la broca.</u>	<u>Pies Perforados.</u>	<u>Horas Perforando.</u>
1	W7R-J	5657' - 5714'	57'	9-1/2
2	"	5916' - 5968'	52'	7-3/4
3	"	5968' - 6044'	76'	10-1/2
4	"	6081' - 6140'	59'	9-1/4
Total : 4 brocas W7R-J :			244'	37.00

Pies por broca W7R-J :

$$244 / 4 = 61 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$244 / 37 = 6-1/2 \text{ pies/hora}$$

Promedio de durabilidad :

$$61 / 6.6 = 9.25 \text{ horas}$$

2. Cálculo del Programa de Brocas para Muestras-Testigos en el pozo Exploratorio No. 1.

<u>No. de broca.</u>	<u>Marca de la broca.</u>	<u>Tipo de broca.</u>	<u>Pies Cortados.</u>	<u>Horas Trabajando.</u>
1	Hughes	J	8	6.00
2		J	16	6.00
3		J	18	5-1/2
4		J	15	5-1/2
5		J	21	8.00
6		J	19	5-3/4
7		J	15	5-1/2
8		J	20	5.00
9		J	25	8.00
10		J	18	7-1/2
11		J	13	7.00
12		J	19	7-1/4
13		J	19	7-1/4
14		J	27	6-3/4
15		J	9	6-1/4
16		J	23	6.00
17		J	29	8.00
Total : 17 brocas J :			314	111.00

Pies por broca J :

$$314 / 17 = 18.5 \text{ pies/broca}$$

### 3. Sumario de los programas de brocas para los pozos vecinos

Promedio de las brocas tipo suave

(Hughes OSC3-J o sus equivalentes)

Número de brocas por pozo :

$$( 19 + 18 + 21 ) / 3 = 19 \text{ brocas/pozo}$$

Pies por broca OSC3-J :

$$( 243 + 297 + 280 ) / 3 = 273 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$( 20 + 24 + 21 ) / 3 = 22 \text{ pies/hora}$$

Duración promedio por broca OSC3-J :

$$( 12 + 12 \frac{1}{2} + 13 \frac{1}{2} ) / 3 = 12\text{-}3/4 \text{ horas.}$$

Promedio de las brocas tipo medio

( Hughes OWV-J o sus equivalentes)

Número de brocas por pozo :

$$( 7 + 12 + 2 ) / 3 = 7 \text{ brocas/pozo}$$

Pies por broca OWV-J :

$$( 98 + 96 + 117 ) / 3 = 104 \text{ pies/broca}$$

Pies por hora :

$$( 10 + 12 + 10 ) / 3 = 10.6 \text{ pies/hora}$$

Duración promedio por broca OWV-J :

$$( 10 + 9 \frac{1}{2} + 9\text{-}3/4 ) / 3 = 9\text{-}3/4 \text{ horas.}$$

Promedio de las brocas tipo suave abrasivo

( Hughes OSC-J o sus equivalentes)

Número de brocas por pozo :

$$5/3 = 1.66 = 2 \text{ brocas/pozo}$$

Pies por broca OSC-J : 166 pies/broca

Pies por hora :

11.4 pies/hora

Duración promedio por broca OSC-J 12 1/2 horas.

Promedio de las brocas tipo duro ( Hughes W7R )

Número de brocas por pozo :

$( 4 + 3 + 5 ) / 3 = 4$  brocas/pozo

Pies por broca W7R-J :

$( 42 + 56 + 61 ) / 3 = 53$  pies/broca

Pies por hora :

$( 6 + 7.8 + 6.6 ) / 3 = 6.8$  pies/hora

Duración promedio por broca W7R-J :

$( 7 + 8 + 9 ) / 3 = 8$  horas

Profundidad promedio de los pozos vecinos :

$( 8287 + 7186 + 6549 ) / 3 = 7340.66$  pies

Gran total promedio de las brocas usadas :

$( 34 + 32 + 39 ) / 3 = 35$  brocas

#### 4. Conclusiones sobre el programa de brocas para el pozo exploratorio

##### No. 1.

Para las formaciones esperadas, se usarán las siguientes brocas:

2 brocas para formación suave, de 12", para el hueco de superficie.

24 brocas para formaciones suaves, de 7-7/8" (OSC3-J o sus equivalentes)

12 brocas para formaciones intermedias (OWV-J o sus equivalentes)

11 brocas para formaciones duras (W7R-J o sus equivalentes)

5 brocas para formaciones abrasivas suaves (C3C-J) o sus equivalentes)

24 brocas de 7-7/8" para núcleos-testigos en total de 400 pies.  
(Brocas J).

5. Costo de las Brocas Programadas

2 brocas de 12"	U.S. \$ 270.00 c/u	540.00
24 " " 7-7/8"	" 240.00 "	5,760.00
12 " " "	" 240.00 "	2,880.00
11 " " "	" 240.00 "	2,640.00
5 " " "	" 240.00 "	1,200.00
24 brocas de 7-5/8" para núcleos-testigos.		
	260.00 c/u	6,240.00
1 broca especial de 7-7/8" "Para Rimar"		
	1,900.00 c/u	1,900.00
Gran total :		21,160.00

E. PROGRAMA PARA CABLE DE PERFORAR :

Según las recomendaciones del API-Práctica 9 B, y usando las tablas del fabricante del cable de perforar "Wire Rope Corporation of America Inc.", con un factor de seguridad 3, se escoje el cable de acuerdo a los pesos que soportará.

Peso de la columna de perforar.

8690 pies de cañería de 5" OD x peso de la cañería 19.5 lb/pie:

Total, en aire : 196,455 libras.

10 pies de botellas de 6-1/4" OD y 2-7/8" ID. Peso de la botella 82 lb/pie : Total en aire 66,420 libras.

Peso de la sarta en lodo de 12 lb/gal. usando la fórmula :

$$W_{cm} = W_{ca} \left( 1 - \frac{7.48B}{489} \right)$$

$$= W_{ca} (1 - 0.01533 B)$$

donde :  $W_{cm}$  = peso de cañería en lodo.

$W_{ca}$  = peso de cañería en aire.

B = densidad del lodo en lb/gal.

$235875 (1 - 0.01533 \times 12) = 191.494$  l más el peso del gancho viajero, grampa, swivel y el kelly del conjunto superficial : 25,000 lb.

El peso total será  $191.494 + 25.000 = 216.494$  lb.

216.494 lb.

Para este peso se recomienda (con un factor 3) un cable de diámetro 1-1/8 6 x 19 IP IWRC, cuando se usan ocho vueltas en las poleas.

No convendría usar cable más delgado con 10 vueltas en el gancho viajero porque se perdería bastante tiempo en los cambios de broca, lo que no compensaría el ahorro en la compra del cable de perforar más delgado. Además la longitud de cable a usar debiera ser mayor y la frecuencia con que se tendría que cortar el cable también sería mayor. Para programar los cortes y determinar la longitud de cable de perforar hay que guiarse por el programa de brocas ya que no hay una forma matemática que podría determinar la vida del cable de perforar.

Se han desarrollado varias formas matemáticas pero la de mejores resultados en la práctica es la forma matemática llamada "Ton-Miles". La mejor revisión del cable de perforar es la inspección ocular, que decide, sobre todo cálculo, el corte de cable. En otras palabras: se se efectúa el cálculo y se proyecta el programa de cortes de cable, pero además se debe hacer una continua inspección ocular del cable la cual decidirá si es necesario hacer cortes antes del tiempo calculado. Si la inspección ocular no detectase fallas, los cortes se efectuarán según los tiempos calculados.

### Cálculo de cortes del cable de perforar.

El trabajo principal del cable de perforar consiste en:

- 1.- Mantener el peso sobre la broca y mover la sarta de perforar en las operaciones de perforación del pozo.
- 2.- Hacer los viajes para cambiar las brocas gastadas.
- 3.- Bajar los tubos revestidores del pozo.
- 4.- Trabajos varios como perforar y sacar testigos, trabajos de pesca, etc.

### Cálculo "Toneladas Milla" (Tom-Miles)

Para determinar el número de T. M. en una operación normal es necesario analizar y determinar cada movimiento del trabajo. Considerando las operaciones (después de perforar toda la longitud del kelly) estos movimientos son :

- 1.- Levantar la sarta de perforar todo el largo del kelly, más unos pocos pies. En el peso se incluye el gancho viajero, swivel y kelly.
- 2.- Entornillar el nuevo tubo, levantar el kelly, swivel y el nuevo tubo.
- 3.- Entornillar a la sarta y bajarlo al pozo el nuevo tubo.
- 4.- Perforar la longitud del kelly.
- 5.- Levantar la longitud del kelly toda la sarta de perforar (Como en 1).
- 6.- Rimar el hueso recién abierto (En todos estos movimientos interviene el peso total del gancho viajero y el swivel.)

Analizando estos movimientos se llega a las siguientes conclusiones :

Los puntos 1 y 4 constituyen un viaje de la sarta de perforar.

Los puntos 5 y 6 constituyen otro viaje a la sarta de perforar.

El punto 3 constituye medio viaje.

El punto 2 es insignificante y se podría despreciar ya que mueve poco peso e implica relativamente poco movimiento. En total son 2-1/2 viajes. De acuerdo a la recomendación de A.P.I. Práctica 9 B el trabajo de perforación en T. M. es tres veces el trabajo en un viaje a la profundidad en que se perfora, lo cual es cierto especialmente en pozos profundos. Por lo tanto el punto 2 también se considera como medio viaje. La suma de viajes "equivalente" es, por todo esto, igual a 5.

En lugares donde las formaciones son duras y no es necesario rimar el hueco, los términos 5 y 6 son eliminados, por lo tanto el T. M. de perforación será sólo el doble del T. M. de viaje correspondiente.

Dado que el presente caso es un pozo exploratorio se siguen las recomendaciones del API.

$$T_D = T_{TD}$$

donde  $T_D$  = T. M. de perforación de todo el pozo

$T_{TD}$  = T. M. de viajes completos de todo el pozo

Esta fórmula se obtiene sumando las partes de los trabajos.

$$T_D = 3 T_1 + 3 (T_2 - T_1) + 3 (T_3 - T_2) + (T_4 - T_3) + (T_{TD} - T_{TD} - 1)$$

donde  $T_D = 3 (T_{TD} - T_{TD} - 1)$

$$T_D = 3 T_{TD}$$

$T_1$  = T. M. del primer viaje

$T_2$  = " " " segundo viaje

$T_3$  = " " " tercer viaje

$T_4$  = T.M. del cuarto viaje

$T_{TP}$  = T. M. de la profundidad total del pozo

Deducción de la fórmula Tonelada-Milla en un viaje completo.

En general los movimientos de una sacada de cañería de perforar y su arreada con broca nueva son los siguientes:

1.- Levantar la sarta de perforar a la altura del kelly.

En este movimiento interviene todo el peso de la sarta incluyendo swivel, kelly, y gancho viajero.

2.- Destornillar el kelly y bajarlo dentro de la ratonera. En este movimiento interviene una pequeña parte del peso del kelly, el swivel, y el gancho viajero.

3.- Levantar la sarta a la altura de una barra. Interviene el peso de la sarta y el gancho viajero.

4.- Bajar nuevamente el gancho viajero y engramparlo a la cañería.

El peso que interviene es sólo el peso del gancho viajero.

5.- Los movimientos 3° y 4° se repiten hasta sacar completamente la sarta de perforar.

En la arreada se repite la misma operación pero en sentido contrario. Analizando estos puntos se lleva a la conclusión que el recorrido que hace el cable de perforar al sacar la cañería es igual al doble de la profundidad del pozo; igual recorrido hace el cable al arrear la cañería.

En total cuatro veces la profundidad del pozo. El trabajo del cable de perforar será, sin considerar el peso de la cañería, cuatro veces la profundidad del pozo por el peso del gancho viajero.

El T. M. para levantar y bajar el conjunto del gancho viajero será:

donde

$$T_b = \frac{4}{5,280} \frac{DM}{\text{ft/milla}} \times 2000 \text{ lb/ton.}$$

$T_b$  = T. M. para mover el conjunto del gancho viajero

$D$  = profundidad del pozo, en pies.

$M$  = Peso total del conjunto del gancho viajero.

El trabajo en T. M. para sacar la cañería de perforar es igual a la expresión matemática :

$$(1) T_t = \frac{Ls n Ws + Ls (n-1) Ws + Ls (n-2) Ws + \dots + Ls (n - (n-1)) Ws}{5,280 \times 2,000}$$

donde

$Ls$  = longitud de una barra de perforar, en pies

$n$  = número de barras en el pozo

$Ws$  = peso de una barra, en libras

La ecuación (1) se puede expresar en la siguiente forma :

$$(2) T_t = \frac{Ls \times n \times W_{avg}}{5,280 \times 2000} \quad \text{donde} \quad : \quad L \times n = D_1$$

$W_{avg}$  = peso promedio a levantar, en libras

El peso promedio es igual a la mitad de la suma del peso inicial más el peso final.

En caso de levantar tubería, el peso final es el peso de una barra, corregido por el efecto de flotación; y el peso inicial es el peso total de la cañería de perforar corregido también por el efecto de flotación.

En el caso de arrear tubería ambas definiciones se alteran.

$$W_{avg} = 1/2 (Ws + nWs)$$

En general el peso de la cañería de perforar que se usa está expresado en lb/pie, por eso en la fórmula :

$$W_{avg} = 1/2 (L_s W_m + L_{sn} W_m)$$

donde

$W_m$  = peso efectivo por pie de cañería, corregido por el efecto de flotación.

Se supone que el kelly pesa una barra y que en la sacada la fricción de la cañería con la pared del pozo es compensada con la fricción en la arreada.

El T. M. de un viaje será :

$$T_p = \frac{2 \times 1/2 \cdot (L_s W_m + L_{sn} W_m) D}{5,280 \times 2000}$$
$$= \frac{D W_m (L_s + D)}{5,280 \times 2000}$$

Esta fórmula sólo corresponde el manipuleo de la cañería de perforar. A las botellas se les considera como peso extra o sea como un trabajo extra.

$$T_e = \frac{2 \times C \times D}{5,280 \times 2000}$$

donde

$T_e$  = T. M. del movimiento de las botellas y broca.

$C$  = peso total de botellas y broca, en libras

$D$  = profundidad del pozo, en pies.

El trabajo total realizado por el cable de perforar será la suma de los tres trabajos ya mencionados.

$$T_t = T_b + T_p + T_e$$

$$= \frac{4 DM}{5,280 \times 2000} + \frac{DWm (Is + D)}{5,280 \times 2000} + \frac{2 CD}{5,280 \times 2000}$$

$$= \frac{D (Is + D) Wm}{10,560000} + \frac{D (M + 0.5C)}{2,640000}$$

Con esta fórmula como base se han hecho los cálculos de trabajos de cable de perforar y la recomendación del fabricante de cortar 50 pies cada 1200 T. M. Considerando lo anterior se ha elaborado el programa de cable.

Los cálculos se ajustaron al programa de brocas. Programadas las brocas se conoce el número de brocas a usar y por lo tanto el número de viajes a las profundidades a que se van a penetrar las brocas. Las brocas de sacar testigos se usarán en las formaciones que recomienda el estudio geológico. De esta manera el proyecto de cortes de cable se ajusta al trabajo que se espera realizar en condiciones normales.

## F. PROGRAMA DE LODO

Para elegir el tipo de lodo que se va a usar hay que considerar las formaciones por perforar y las ventajas de los diferentes tipos de lodo. Las formaciones según los informes geológicos con grandes secciones de arena, no dan mayores problemas. Pero la formación "Lutitas intermedias" es una lutita muy deleznable que fácilmente absorbe el agua, se hincha y derrumba.

En general ésta es una característica de todas las lutitas en el N.O. del Perú.

El conglomerado inferior está severamente fracturado en diversos sentidos así que es de esperar pérdida de circulación. Con estos antecedentes se pueden programar los diferentes lodos.

Los varios tipos de lodos para este caso serían: Lodo de agua salada, lodo cálcico, y lodo de emulsión (aceite-en-agua) El lodo de agua salada es muy práctico ya que abunda agua de mar cercana; pero los aditivos químicos son caros, tanto que un lodo de agua salada resulta 3 veces más caro por pie perforado que un lodo de agua dulce por base.

El lodo cálcico es técnicamente ideal para estos casos, pero su costo es sumamente alto. (Aproximadamente 9 dólares por pie perforado en un pozo de 10,000 pies).

El lodo emulsionado tiene varios tipos, todos casi con las mismas características; sólo el costo y las condiciones físicas varían.

En el presente caso el recomendado es el lodo de base de agua dulce de baja acidez; lodo bentonítico con baritina como elevador de peso. emul-

sionado con diesel No. 4. de 10 a 15% en volumen. (no con aceite crudo). El diesel tiene la ventaja que permite a los geólogos interpretaciones claras en las muestras, y en los registros eléctricos. Este lodo tiene peso específico mediano, y su costo es barato. El lodo emulsionado con diesel no necesita tratamiento especial, su control es fácil y por todo ello es conocido por los trabajadores de perforación del lugar.

Sus ventajas: bajo filtrado, costra delgada, reduce la fricción entre la sarta de perforar y la pared del pozo, lubrica la broca, y se obtiene mayor rendimiento. En general su costo aproximado es de un dólar por pie perforado.

Lodo sódico emulsionado con 15% de diesel No. 4. - Cálculos

Volumen final.

Para la tubería revestidora superficial de 9-5/8" :

$$\frac{9.473 \times 520}{100} = 49.2596 \approx 49.26$$

Hueco con broca : 7-7/8" de diámetro  $\frac{6.24 \times 8980}{100} = 540.955$

Se usará un factor de seguridad de 1.5 para tomar en cuenta posibles pérdidas de circulación y los aumentos del hueco por derrumbes. También se deben sumar los 85 bbls. de lodo que desaloja la sarta de perforar, y que no entran en los cálculos en sí.

$$49.26 + 540.96 = 590.22 \times 1.5 = 885.33 \text{ bbl.}$$

Más 500 barriles, que es la capacidad de las cantinas de lodo, dan un volumen final en la cisterna igual a 1,385 Bbls.

Sobre este volumen se calculan todos los aditivos.

Para la preparación de lodo base que tenga 38-40 seg. API. de viscosidad

se necesita 1.79 lbs. de Bentonita por galón de agua (Bentonita Nacional)  
 Según las pruebas Piloto realizadas en el laboratorio, la bentonita necesaria para la preparación de los primeros 500 Bbls. de lodo es :

$$500 \times 42 \times 1.19 = 24,990 \text{ lbs. } \text{ ó sea } 250 \text{ sacos de Bentonita Nacional, (cada saco pesa 100 lbs.)}$$

Porcentaje de bentonita en el lodo :

$$A = \frac{585 P}{167 - P} \text{ donde } A = \text{Número de sacos de bentonita de 100 lb c/u.}$$

P = porcentaje

585 y 167 son factores de conversión.

sea 100 bbl. la unidad de preparación.

$$50 = \frac{585 P}{167 - P} \text{ y } 50 (167 - P) = 585 P$$

$$8350 - 50 P = 585 P$$

$$P = \frac{8350}{635} = 13.14$$

$$P = 13.14 \%$$

El peso inicial se considera natural o sea sin baritina.-

$$\text{Peso inicial : } W_1 = \frac{1390}{167 - P} ; W_1 = \frac{1390}{167 - 13.14}$$

$$W_1 = 9.04 \text{ lb/gal. ; } W_2 = 9.0 \text{ lb/gal.}$$

Total de baritina para los 1,385 bbls. de lodo con peso final 12 lbs/gal.-

Para 100 Bbls.

$$x = \frac{350 S (W_2 - W_1)}{8.033 S - W_1} \text{ De donde } S = 4.3$$

$$W_2 = 12 \text{ lb/gal.}$$

S = peso específico de la Baritina

W = 9 lb/gal.

W = peso del lodo antes de subirlo

W<sub>2</sub> = peso final del lodo

$$x = \frac{1505 (12-9)}{35.8 - 9} = 182 \text{ sacos de baritina / 100 Bbls de lodo}$$

$$182 \times 13.85 = 2520.70 = 2,521 \text{ sacos de baritina en total.}$$

Volumen del diesel a usar :

El volumen de diesel a usar será 15% del volumen:  $1,385 \times 0.15 = 207.75 \approx 208$  Bbls. de Diesel, que es el volumen requerido.

Agregados químicos para mantener las condiciones físicas del lodo.

Acido Tánico (Mangle), Soda Cáustica; y Kirkose (sustancia orgánica para reducir el filtrado)

El uso máximo de agregados diarios será de tres tanques 10:8 (10 galones de mangle y 8 galones de Soda Cáustica) y un saco de Kirkose, según los promedios de práctica en N. O. del Perú.

El pozo está proyectado para 47 días de perforación

$$47 \times 90 = 4230 \text{ galones de Mangle en total.}$$

$$47 \times 72 = 3384 \text{ galones de Soda Cáustica en total.}$$

$$47 \times 1 = 47 \text{ sacos de Kirkose, en total.}$$

En el caso de una posible pérdida de circulación se deben tener listos un mínimo de 50 sacos de semilla de algodón de 50 lbs. c/u. y 250 sacos de bentonita.

Costos del Lodo.

2,521 sacos de baritina :	c/u : \$ 1.15	\$ 2,899.15
500 sacos de bentonita :	" 0.92	460.00
47 sacos de kirkose :	" 40.00	1,880.00
50 sacos de semilla de algodón "	0.50	25.00
208 Bls. de diesel : 0.0\$ = c/bbl. : 3,696		768.69
9,830 bls. de agua : 100 bbls. 16.59		1,630.80
4,230 galones de mangle : c/gal. : 0.345		1,459.35
3,384 galones de Soda cáustica : c/gal. : 0.15		<u>507.60</u>
Sub - total :		9,630.59
Transporte al pozo :		101.40
		<hr/>
Total :		9,731.99

G. PROGRAMA DE HIDRAULICA

Para el programa de hidráulica se dispone de bombas National tipo: G-350 y lodos al 10% de emulsión con aceite.

Para las diferentes profundidades se tiene las siguientes características físicas :

<u>Profundidad.</u>	<u>Densidad.</u>	<u>Viscosidad.</u>	<u>Long. de botella.</u> 6-1/4 OD 2-7/8 OD
0' - 1000'	9.0	38 sec. API.	450 ft.
1000' - 2000'	9.5	38-40	540
2000' - 3000'	10.	40-42	540
3000' - 4000'	10.5	40-42	720
4000' - 5000'	11.0	43-45	720
5000' - 6000'	11.0	45	810
6000' - 7000'	11.0	45-47	810
7000' - 8000'	12.0	45-47	810
8000' - 9500'	12.0	45-47	900

Botellas a usar : 6-1/4" OD - 2-7/8" I. D. 82 lbs/ft. Rango 2 (30 pies de longitud) - Tubería de perforar : 5" OD Xtra Hole, 19.5 lb/ft. Rango 2.

Hay varios sistemas para determinar los chorros a usar; en este caso se ha adoptado el cálculo de "Caballaje Hidráulico Optimo".

El caballaje hidráulico expresado matemáticamente es :

$$h_B = \frac{P_B \times Q}{1.74} \quad (1) \text{ en el cual}$$

$P_B$  = caballaje hidráulico en la broca.

PB = caída de presión a través de los chorros de la broca, en  
lb/pg<sup>2</sup>.

Q = régimen de flujo, en gal/min.

1.74 = constante de conversión de unidades, psi y gal/min., a unidades de fuerza hidráulica.

La única diferencia entre la ecuación (1) y el caballaje de superficie es el término correspondiente a la presión.

En un sistema dado con flujo turbulento, la pérdida por caída de presión está en razón directa al régimen de flujo elevado a la potencia 1.84,  $P \propto Q^{1.84}$  ó  $P = KQ^{1.84}$  en donde "K" es una constante de proporcionalidad. Esto indica claramente que cuando decrece el régimen de flujo (Q), las pérdidas de presión en el sistema disminuyen y aumentan los caballos de fuerza disponible en la broca, tanto que cuando el flujo se hace cero, la potencia hidráulica en la broca iguala la de superficie. Por supuesto el flujo cero no es práctico ni efectivo ya que el flujo mínimo está limitado por la velocidad anular que es necesaria para mover los cortes de la broca y acarrearlos a la superficie. Esta velocidad anular mínima que es necesaria para acarrear los cortes a la superficie depende principalmente de las características del lodo.

La densidad es el factor principal ya que en un fluido más denso, los cuerpos menos densos flotan. La densidad del lodo es inversamente proporcional a la velocidad de descenso de las partículas.

Las fórmulas empleadas son :

Para flujo laminar, la fórmula de Stokes :

$$V = \frac{2gd^2(1-PH)}{36u}$$

Para flujo turbulento, la fórmula de Rittinger :

$$V = 9 \frac{d(P_1 - P_2)}{P_2}$$

donde

V = velocidad de descenso, pies/segundo

P<sub>1</sub> = densidad de los cortes, lbs/pie<sup>3</sup>

P<sub>2</sub> = densidad del lodo, lbs/pie<sup>3</sup>

d = diámetro promedio de las partículas, pies.

u = viscosidad del lodo, lb/pie x segundo = centipoises x

0.000672

Según Pigott en la práctica la verdadera velocidad de descenso en los pozos es el 40% de la calculada por las fórmulas.

Con lodos comunes es usual la velocidad anular mínima de 120 pies por minuto, la cual en condiciones normales mantiene el hueco limpio de los cortes de la broca.

La primera limitación práctica es que no se debe tener un flujo inferior a los 120 pies por minuto en el espacio anular.

La segunda limitación es la capacidad de las bombas, que determina la presión y el flujo en la superficie. Según estas condiciones se estima la potencia correspondiente a las bombas.

La máxima eficiencia de la potencia hidráulica en la broca es

$$hps = hpc + hpb \quad \text{en donde}$$

$hp_s$  = potencia en la superficie

$hp_c$  = pérdida de potencia debida a la fricción en el sistema de circulación.

$hp_b$  = potencia en la broca

La fórmula anterior se puede escribir :

$$\frac{P_s Q}{1,714} = \frac{P_c Q}{1,714} + \frac{P_b Q}{1,714}$$

donde

$P_s, P_c, P_b$  son las presiones de superficie ( $P_s$ ), en el sistema, ( $P_c$ , caída de presión por fricción), y en la broca ( $P_b$ ).

Ya se vió que  $P_c = K Q^{1.84}$  ó  $P_c = KQ^{1.84}$

Por consiguiente :

$$hp_B = \frac{P_s Q}{1,714} - \frac{KW^{2.84}}{1,714}$$

A base de esta ecuación se puede hallar la máxima potencia óptima en la broca en función al régimen de circulación, igualando a cero la derivada con respecto a  $Q$ .

$$\frac{d(hp_B)}{dQ} = \frac{P_s}{1,714} - \frac{2.84KW^{1.84}}{1,714} = 0$$

Con la presión superficial está limitada, su valor es fijo y no es función de  $Q$ .

Así :

$P_c = K Q^{1.84}$  de donde  $P_s = 2.84 P_c$ , o sea que la pérdida de presión en el sistema de circulación debe ser el 35% de la presión de superficie para obtener la óptima potencia hidráulica sobre la broca.

Esto indica claramente que el 65% debe usarse en la broca para el óptimo aprovechamiento de la fuerza hidráulica y la potencia superficial.

De lo antedicho resulta la tercera limitación en el cálculo hidráulico para obtener el máximo aprovechamiento de la potencia con la mínima pérdida de energía.

Las limitaciones antes dichas (velocidad anular, capacidad de la bomba y óptimo rendimiento hidráulico) dan la pauta para balancear las tres condiciones con el fin de obtener un rendimiento óptimo económicamente :

1.- La velocidad anular da el valor mínimo. Se pueden usar valores mayores pero no menores.

2.- Las bombas se deben usar (en lo posible) con su capacidad máxima. Entonces la bomba trabaja con máxima eficiencia hasta que la pérdida de presión sea el 35% de la presión de superficie; y cuando se exceda el 35% se reduce el volumen, lo cual disminuye la pérdida por fricción y mantiene la eficiencia de la bomba, siempre y cuando la reducción del flujo de bombeo no dé una velocidad anular menor que la mínima establecida ó sea 120 pies/min.

Las caídas de presión son calculadas a base de las siguientes fórmulas :

$$\text{No. de Reynolds : } Re = \frac{D/12 (17,157 \frac{Q}{D^2}) (7.4805G)}{0.00072 n} = 15,915 \frac{QG}{Dn}$$

Q = flujo de lodo, bbl/min.

G = densidad del lodo, lb/gal.

D = ~~d~~ímetro interior del tubo, pulgadas

$$Rw = \frac{15.915 \text{ } QG}{(D_4 + D_3)^n}$$

n = viscosidad, centipoises

D3 = diámetro exterior del tubo interior, pulgadas

D4 = diámetro interior del tubo exterior, pulgadas

Factor de fricción "Fanning" = f

$$f = \left( \frac{pd}{4L} \right) / \left( \frac{U^2 P}{2g} \right) \quad p = 11.406 \frac{fQ^2 GL}{D^5}$$

p = pérdida de presión, en lb/pie<sup>2</sup>      Q = bbl/min.

d = diámetro de la tubería, en pies      G = lb/gal.

L = longitud de tubería, en pies      ;      L = pies

U = velocidad promedio, en pies/seg.      ;      D = pulgadas

P = densidad del fluido, en lb/pie<sup>3</sup>

g = aceleración de la gravedad = 32.174 pie/seg<sup>2</sup>

En caso de flujo anular

$$P = 11.406 \frac{fQ^2 GL}{(D - D_3)^3 (D_4 + D_3)^2}$$

Substituyendo el número de Reynolds y el factor Fanning se obtienen las siguientes fórmulas para flujo en tubo y en espacio anular respectivamente :

$$P = 0.094 \frac{Q^{1.8} G^{0.8} N_t^{0.2} L}{D^{4.8}}$$

N<sub>t</sub> = viscosidad del flujo turbu  
lento, en centipoises

$$P = 0.094 \frac{Q^{1.8} G^{0.8} N_t^{0.2} L}{(D_4 - D_3)^3 (D_4 + D_3)^{1.8}}$$

Caída de presión a través de los chorros :

$$P_c = 0.1465 (1 + K) \frac{GQ^2}{J^2}$$

G = densidad del lodo, en lb/gal.

Q = flujo de lodo, en Bbl/min.

J = área total de los chorros, en pulgadas cuadradas

Potencia hidráulica =  $PQ/40.8$

Q = bbl/min.

K = factor de la energía cinética desarrollada por los chorros:  
se obtiene de la relación entre las área transversales de  
las botellas y los chorros.

## H. CONDICIONES DE PERFORACION

La velocidad de penetración es directamente proporcional al peso que se aplica sobre la broca. La velocidad de rotación da un aumento de penetración del 50% pero está directamente relacionada con el desgaste de las brocas. Esto quiere decir que si perforando con un peso sobre la broca y con una velocidad rotaria dadas se aumenta la velocidad en 100% y se mantiene el mismo peso sobre la broca, se obtiene una penetración 50% mayor; pero al desgaste de la broca será 100% mayor. El peso sobre la broca también es directamente proporcional al desgaste.

Con la combinación de estos principios básicos y teniendo presente los datos prácticos obtenidos de las zonas cercanas, se puede proyectar un programa de condiciones de perforación en las diferentes formaciones.

En el Nor-Oeste del Perú para las formaciones suaves (gredas) y arenas no consolidadas, el peso más conveniente a usar es 20,000 - 35,000 lbs. con una velocidad de mesa rotaria de 120 - 180 R.P.M. Estas condiciones dan óptimos resultados, ya que dan alta penetración y mínima desviación. Para formaciones de arenas compactas lo óptimo es 35,000 - 45,000 lbs. sobre la broca con una mesa rotaria de 80-40 R.P.M.

Para las formaciones de gredas profundas y compactas : un peso de 35,000 - 40,000 lbs. con una velocidad de 80 - 120 R.P.M.

En el hueco superficial, comenzar con 1000 a 2000 lbs. de peso y con 80 a 120 vueltas de mesa rotaria. Después de 120 pies, aumentar el peso y la velocidad de la mesa (5000 - 10000 lbs. y si hay formaciones más duras velocidad de mesa hasta 180 R.P.M.) Armar dos "rimas", una encima de la broca y otra a 60 pies. Tamaño de las rimas : 12-5/8".

## I. DESVIACION

Teóricamente el pozo debería ser perforado verticalmente ó sea coincidiendo con la dirección de la plomada. Cumplir este requerimiento es imposible, ya que la inclinación de los estratos a perforar, el arqueamiento de la sarta de perforar y la tendencia natural de la broca a avanzar por las partes más blandas, tienden constantemente a desviar el pozo de la vertical.

La desviación es un factor importante en el costo de la perforación porque su control constante requiere tiempo y muchas veces trabajos extras, herramientas especiales, limitación del peso sobre la broca, etc. y puede hacer variar fuertemente el costo del pie perforado.

Los factores que limitan la desviación son : el límite de la concesión, el área posible del reservorio petrolífero, los cambios bruscos de dirección de los estratos, causantes de atascamiento de la sarta de perforar. Estos son los factores primordiales que limitan y fijan las desviaciones máximas permisibles en una perforación.

En el presente caso el límite de la concesión y el informe geológico permiten una desviación del grado por mil pies ó sea que la máxima desviación será  $9-1/2$  grados. La otra limitación, para evitar codos, (dog legs), es que la desviación debe ser menor de 1 pie por 100 pies.

Estas condiciones son factibles económicamente en el área, sin afectar mayormente el costo de la perforación.

El control se realizará con el aparato "TOTCO". Las mediciones se efectuarán en la siguiente forma :

1.- 0 - 510 pies.- Forro superficial. Se efectuará la primera medida

a 30 pies y después de cada 60 pies hasta completar los 510 pies. Las primeras dos mediciones no deben exceder  $1/2^\circ$  y las restantes  $1^\circ$ ,

2.- Intervalo 510 - 3760 pies.- En este intervalo se hará una medición cada 200 pies.

3.- De 3760 pies en adelante se tomarán medidas en cada sacada cuando la profundidad entre las sacadas sea de más de 200 pies. La reducción de la desviación se efectuará con el uso de estabilizadores, con menor peso sobre la broca y con aumento de velocidad de la mesa rotaria. Para determinar el punto de tangencia (punto de contacto) de la sarta con la pared del pozo, usar las curvas y fórmulas de Arthur Lubinsky y ubicar el estabilizador o los estabilizadores según sea necesario.

### CAPITULO III. TECNICA DE COMPLETACION Y SUS COSTOS

#### A. REGISTROS DEL POZO.

Con lodo de emulsión 15% Diesel y con una temperatura de 145°, que es la temperatura general del pozo, se tiene las siguientes resistividades, según los catálogos y recomendaciones de Schlumberger.

$$R_m = 1.3$$

$$R_w = 0.21$$

$$\frac{R_m}{R_w} = \frac{1.3}{0.21} = 6.2$$

Los registros electrónicos convencionales se pueden usar en este caso, pero se obtiene una mejor interpretación con la siguiente combinación de Registros (dado que la relación  $R_m/R_w > 4$ )

#### Registro de inducción :

Este registro permite obtener una lectura directa de la resistividad verdadera de la formación no influenciada por la columna de lodo ni por las capas adyacentes. Debido a su enfoque y mayor penetración se debe usar el Tiro 6 FF4 de Schlumberger.

Sólo son necesarias algunas correcciones menores. Este registro se corre junto con los registros de Potencial espontáneo y normal corto de 16'. Para los efectos de correlación, si el potencial espontáneo no fuera muy bueno a causa de la baja conductividad del filtrado de lodo, será necesario correr un registro de Rayos Gama para determinar las arenas.

Registro de velocidad acústica (Sonic). Permite obtener la porosidad de la formación y por lo tanto el factor de formación que se usa en la interpretación. Este registro se corre junto con un registro de diámetro de hueco (Registro "Caliper Log").

Con estos registros se tienen todos los datos para la interpretación cuantitativa por el método del índice de resistividad. Estos datos son

<u>Nombre.</u>	<u>Símbolos.</u>	<u>Registros.</u>
Resistividad verdadera	Tt	Inducción
Porosidad	$\phi$	Sónico
Factor de formación	F	Fórmula de Humble
Resistividad del agua de formación	Rw	Medida directa ó SP
Índice de resistividad	$R_e/R_w = I$	$R_o = FR_w$
Saturación de agua	Sw	$S_w = (1) (1/n)$
Coefficiente de saturación	$n = 2$	

Costo de los registros.

Profundidad 9,500 pies. Longitud de registros 9,000 pies cada tipo de registro recomendado.

Servicio de Equipo :		\$ 350.00
Registro de Inducción :	0.12 x 9,500	1,140.00
Normal corta de 16' :	0.07 x 9,000	630.00
Registro Sonic :	(0.10 x 9,500 9,000 x 0.16) =	2,390.00
Rayos Gamma :	(0.10 x 9,500 9,000 x 0.07) =	1,580.00

Caliper Log :	(0.10 x 9,500)	(9,000 x 0.05) = 1,400.00
Desviación : (45x3)	(0.10 x 9,500)	(9,000 x 0.06) = 1,490.00
		_____
Total :		₡ 8,980.00

## B. CEMENTACION

Según el informe geológico existe la posibilidad de encontrar formaciones productivas de petróleo en casi todo el horizonte perforado, menos en las formaciones "Lutitas intermedias", lo que sólo es una sección de 770 pies que quedaría reducida a 300 pies si se pone un DV para cementar en dos secciones. Por otra parte el programa futuro de producción prevé fracturamiento de las formaciones. Por lo tanto, se debe cementar toda la sarta revestidora. Pero es muy arriesgado cementar toda la sarta revestidora en una sola etapa, ya que el cemento tiende a canalizarse al perder su velocidad de flujo (flujo turbulento). Por otra razón es justificable el uso de un "DV MULTIPLE SAG". Esta herramienta será colocada a la profundidad aproximada de 5,000 pies en la formación donde existen secciones de gredas entre secciones de arena productiva.

Este proyecto está sujeto a variaciones según las interpretaciones de los registros cuando éstos se obtengan.

### Cálculo del cemento, agua y aditivos :

De los "Caliper Logs" de los pozos existentes en la zona y aplicando una experiencia ganada en los pozos vecinos se llega a las siguientes conclusiones. El aumento de volumen del pozo será el siguiente en las diferentes formaciones :

- 0' - 500' Tablazo y parte de Lagoon, el aumento del hueco es 200% para los forros superficiales.
- 500' - 3760' Lagoon; 40% de aumento promedio.
- 3760' - 5570' Ostrea; 30% en promedio.
- 5570' - 6930' Salina conglomerado superior; 5% en promedio

6930' - 7700' Lutitas Intermedias; 20% en promedio  
7700' - 9250' Salina conglomerado inferior; 5% en promedio  
9250' - 9500' Lutitas Inferiores; 15% en promedio

Forros de Superficie :

0' - 520 con broca 12-1/4" OD, Forros H-40 - 9-5/8" OD - 29.30 lb/pie. El volumen anular entre los forros y la pared del pozo es de 0.3132 pie<sup>3</sup>/pie lineal :

$$0.3132 \times 500 = 156.6 \text{ pie }^3 \approx 157 \text{ pie }^3$$

Considerando que el terreno es deslizante y por lo tanto muy lavado, se aumenta al 200% para tener 314 pies<sup>3</sup>. A este volumen corresponden 368 sacos de cemento Portland nacional.

Para prevenir la contaminación con agua salada y activar el fraguado se utilizará 1 libra de Cloruro de Calcio por saco. En total 350 lbs.

Volumen de agua a usar :

Cada saco de cemento requiere 5.2 gal. de agua.

$$\text{Son } 5.2 \times 368 = 1913.6 \text{ gal} = 46 \text{ bbls.}$$

Para evitar contaminación se bombeará adelante un cojín de 10 bbls. de agua; igualmente, después del cemento se bombearán otros 10 bbls.  
Total : 66 bbls. de agua.

Se utilizará únicamente "zapato flotador".

Cementación de los forros de 4-1/2" :

Dada la profundidad del pozo hay que emplear retardadores de fraguado y otro aditivo para mantener la viscosidad.

El retardador por utilizar es Bentonita ya que tiene doble acción retarda el fraguado y al mismo tiempo reduce el peso de la lechada.

Se utilizará Lignosulfonato de Calcio para mantener la viscosidad. Para obtener una lechada de 13.1 lb/gal. y una fraguada normal a 178° F. y se formará cemento con 8% de Bentonita y 0.27 lbs. de Lignosulfonato por 100 lbs. de cemento.

Las cantidades de lodo, bentonita, agua y retardador a usarse en cada intervalo se muestra en la siguiente tabla :

Costo de cementación.

Gastos del cemento :

1,580 sacos de cemento	\$ 2,180.40
Manipuleo : 1580 x 0.55 = 869.00	869.00
Mezcla : 1580 x 0.40 = 62.00	632.00

Costos de los aditivos :

120 sacos de Bentonita : 120 x 0.92 =	140.40
350 lbs. de Cloruro de Calcio : 350 x 0.33	115.50
335 lbs. de Lignosulfonato de Calcio : 335 x 0.26 =	87.10
437 bbls. de agua a 3.95\$/1000 gal.	72.50

Costo de las herramientas auxiliares :

100 Centralizadores : Tipo Hinge 4-1/2", 19.10 c/u	1,910.00
100 Rascadores : Tipo reciprocante 4-1/2", 8.35 c/u	835.00
1 "DV Tool : 4-1/2" 8rd. thd./Plug set.	500.75
1 Zapato flotador de 9-5/8" 8rd. thd. reg.	137.10
1 Zapato flotador de 4-1/2" 8rd. thd. reg.	63.10
1 Cuello flotador : 4-1/2" 8rd. thd. reg.	66.10
4 Tapones de desplazamiento : (2 de 9-5/8" OD. y 2 de 4-1/2")	22.60
Transporte de cemento y aditivos : Dentro de las operaciones	
Costo de operación : 2 (413 + (4 x 35))	1,106.00

Gran total : \$ 8,254.22

## C. DISEÑO DE LA SARTA COMBINADA PARA TUBERIA REVESTIDORA.

### Relaciones matemáticas usadas en el Diseño de Forros

#### Colapso (Rotura)

En el colapso intervienen principalmente dos fuerzas perpendiculares entre sí o sea biaxiales : la tensión y la presión exterior que actúan en sentidos opuestos.

Mientras la presión exterior tiende romper el tubo, el esfuerzo de tensión debilita la resistencia al colapso de las paredes del tubo.

La ecuación de la elipse resultante de este esfuerzo biaxial es :

$$\frac{s_c^2}{s_o^2} + \frac{s_t^2}{s_c^2} = 1$$

Donde :  $s_o$  = promedio del esfuerzo de corte del material, en p.s.i.

$s_o$  = esfuerzo en la periferia, en p.s.i.

$s_t$  = esfuerzo de tensión, en p.s.i.

Esta ecuación ha sido verificada experimentalmente y se ha encontrado que describe eficazmente la capacidad de la sarta para resistir la deformación, particularmente en la región donde el colapso puede ser causado por la combinación del esfuerzo tensional y la presión externa.

La ecuación resultante del esfuerzo biaxial elíptico puede escribirse en una forma más conveniente :

$$r^2 + rt + t^2 = 1$$

donde

$$r = \frac{s_c}{s_o} = \text{fracción del esfuerzo de colapso.}$$

$$t = \frac{St}{S_o} = \text{fracción del esfuerzo tensional}$$

Esta forma de la ecuación elíptica del esfuerzo biaxial es más conveniente, porque ambas fracciones se pueden expresar en términos cuantitativos comúnmente conocidos. Los fabricantes de tubos revestidores proporcionan tablas de resistencia al colapso para varias medidas, pesos, y grados de tubos revestidores : Los valores de esas tablas son una porción del esfuerzo elíptico, biaxial, y se pueden graficar.

Se grafica el peso suspendido de la sarta revestidora contra la presión externa de colapso.

Con los siguientes substituciones :

$$r = \text{fracción del esfuerzo de colapso} = \frac{C}{K}$$

$$t = \text{fracción del esfuerzo tensional} = \frac{W}{AS_o}$$

donde :

C = resistencia al colapso bajo un cierto esfuerzo tensional, en psi.

K = mínima resistencia al colapso en ausencia del esfuerzo tensional, en psi.

W = peso suspendido de la tubería, en lbs.

A = área transversal del acero del forro, en pulgadas cuadradas.

S<sub>o</sub> = esfuerzo promedio de corte del acero, en psi.

$$\frac{C^2}{K^2} + \frac{CW}{KAS_o} + \frac{W^2}{A^2 S_o^2} = 1$$

Se puede notar que cuando W = 0, C = K.

C, la resistencia al colapso; bajo la tensión de un peso W es :

$$C = \frac{WK}{2AS_0} \left[ \sqrt{4 \left( \frac{AS^0}{W} \right)^2 - 3} - 1 \right]$$

Substituyendo los valores apropiados en esta ecuación, se puede construir una curva para cada diámetro, peso, y grado de forro.

Las características de los forros se encuentran en manuales publicados por varios fabricantes de tuberías revestidoras.

### Esfuerzo de tensión :

Las partes más débiles de una sarta revestidora son las roscas de los coples donde se une un tubo con otro.

Cada cople debe soportar el peso de la sarta revestidora que cuelga debajo de él.

Es cierto que la sarta revestidora se puede bajar sumergiéndola en lodo para luego de cementada, asentarla. En esta forma se reduce el factor de seguridad. También es cierto que en caso de bajar ó levantar la sarta revestidora, la fricción de la sarta con la pared del pozo se desconoce; por lo tanto es conveniente usar factores de seguridad altos, de acuerdo a lo que la práctica y la experiencia indiquen en el lugar.

En este caso es conveniente usar factor de seguridad 2 para sargas sumergidas en el lodo.

Las fórmulas recomendadas por el A.P.I. para determinar las fuerzas de tensión en la sarta revestidora son

Para coples cortos :

$$P = 0.80 \left( C (33.71 - D) \frac{1}{t - 0.07125} + 24.45 \right) A_j.$$

Para coples largos :

$$P = 0.80 \left( C (25.58 - D) \left( \frac{1}{t - 0.07125} + 24.45 \right) \right) A_j.$$

donde :

P = mínimo esfuerzo en el cople, en libras

D = diámetro exterior de los forros, en pulgadas

d = diámetro interior del tubo, en pulgadas

t = espesor de la pared del tubo revestidor, en pulgadas

$$A_j = \text{área bajo la raíz de la última rosca perfecta, en pulgadas cuadradas} = 0.7854 \left[ (D - 0.1425)^2 - d^2 \right]$$

C = constante que varía para los diferentes grados de aceros, según la siguiente tabla :

<u>Grado.</u>	<u>Cople Corto.</u>	<u>Cople Largo.</u>
F - 25	53.5	
H - 40	72.5	
J - 55	96.5	159
N - 80	112.3	185
N - 110	146.9	242

Las fórmulas de arriba están basadas en experimentos de laboratorio.

### Presión interna :

Las altas presiones pueden reventar el tubo revestidor. Esto sin embargo ocurre muy raras veces, ya que en general la sarta es suficiente para resistir las presiones de las formaciones. La parte más afectada es la cercana al tope del pozo ya que en esa parte no hay columna hidrostática que contrarreste, ni cemento ni lodo que ayude a contrarrestar la presión interna. El problema de rotura por presión interna es particularmente serio en pozos gasíferos con altas presiones de formación (ya que el gas tiene una presión hidrostática muy pequeña) y en pozos con flúidos altamente corrosivos. Para tales casos se recomienda factor de seguridad igual a 2, pero en casos no tan extremos se recomienda 1.10 de factor de seguridad. Para hallar la presión interna de rotura, se usa la fórmula de Barlow :

$$P = 0.875 (2 St/D)$$

donde :

P = mínima presión interna de rotura, en psi.

t = espesor de la pared, en pulgadas

S = mínimo esfuerzo de rotura, en psi.

D = diámetro exterior del tubo, en pulgadas

Diseño de sarta combinada

- Profundidad : 9,500 pies  
 Peso de lodo : 12.0 lbs/gal.  
 Factores de seguridad : Tensión : 2.  
 Colapso : 1.125  
 Presión interna : 1.125  
 Tubería revestidora : 4-1/2" OD. (Nominal)

El cálculo parta del fondo del pozo y con el esfuerzo mayor en el fondo, que es el de colapso.

$$\begin{aligned} C &= 0.05844 G h \\ &= 0.05844 \times 12 \times 9,500 \\ &= 6,672 \text{ psi.} \end{aligned}$$

La tubería más cercana que excede esta presión es el forro N-80, 13.5 lbs/pie de 4-1/2" diámetro nominal.

Usando el método de A.P.I. para calcular la sarta combinada, se halla la pendiente de la recta que une las curvas biaxiales de los diferentes grados de forros.

$$\begin{aligned} \text{Pendiente} &= W \frac{17.11}{G} - 0.2623 \\ &= 13.5 \frac{17.11}{12} - 0.2623 \end{aligned}$$

$$= 15.70725 \text{ lb/psi.}$$

$$= 15.71 \text{ lb/psi.}$$

donde

W = peso suspendido de la tubería, en lbs.

G = peso del lodo, en lbs/gal.

Trazando la recta con la pendiente calculada hasta cortar la curva de la siguiente sarta con presión de colapso 5,780 p.s.i., o sea forros N-80 de 11.6 lb/pies, cople corto.

Reemplazando en la fórmula :

$$\begin{aligned} h &= \frac{17.11}{G} C \\ &= \frac{17.11 \times 5.780}{12.00} \\ &= 8,270 \text{ pies} \end{aligned}$$

La longitud de la primera sarta será  $9,500 - 8,270 = 1,230$  pies.

La segunda sarta comienza donde la primera termina.

La pendiente de la segunda sección será :

$$\begin{aligned} S_2 &= W \frac{17.11}{G} - 0.2623 \\ &= 11.6 \frac{17.11}{12.00} - 0.2623 \\ &= 13.5 \text{ lb/psi. ( 13,49660 )} \end{aligned}$$

Trazando la recta con la pendiente calculada hasta cortar la curva de la sarta siguiente en el punto donde la presión de colapso indica 4,000 psi., o sea forros N-80, 11.6 lbs./pie, cople corto.

Para la longitud de la sarta :

$$h = \frac{17.11}{G} C$$

$$h = \frac{17.11 \times 4000}{12} = 5,703.2$$

= 5,703 pies es el tope de la segunda sección.

La longitud de la segunda sarta : 8,270 pies - 5,700 pies = 2,570'.

La tercera sección, en la misma forma que las anteriores.

$$S_3 = W \frac{17.11}{G} = 0.2623$$

$$= 11.6 \frac{17.11}{12} = 0.2623$$

$$= 11.6 \cdot 1.4258 = 0.2623$$

$$= 13.5 \text{ lb/psi.}$$

Corta la curva correspondiente a los forros J-55 - 11.5 lbs/pie en el punto de colapso de 2,700 psi.

El tope de la sección :

$$h = \frac{17.11}{G} C$$

$$h = \frac{17.11 \times 2700}{12}$$

$$h = 3,750 \text{ pies } (: 3,749.66)$$

Longitud de la sección : 5,700 - 3,750 = 1,950 pies.

La tercera sección tendrá 1,950 pies de largo de forros J-55 peso 11.6 lb/pie.

La próxima sección no se calcula por colapso ya que sobrepasa ampliamente el factor de seguridad de 1.125.

Se considera solamente bajo el punto de vista de la tensión, ya que el peso que debe soportar esta parte es mucho mayor que la presión exterior.

El factor de seguridad para el trabajo a tensión es 2.

También se debe tomar en cuenta la flotabilidad del acero ó sea el peso con que se aligera la sarta por desalojar el lodo. Para este caso el factor es:

$$( 1 - 0.01533 \times 12 ) = 0.816$$

Pesos de las secciones :

$$1^{\circ} : 1,230 \times 11.6 \times 0.816 = 13,542.68 \text{ lbs.}$$

$$2^{\circ} : 2,570 \times 11.6 \times 0.816 = 24,326.59 \text{ lbs.}$$

$$3^{\circ} : 1,950 \times 11.6 \times 0.816 = 18,459.55 \text{ lbs.}$$

$$4^{\circ} : 3,750 \times 11.6 \times 0.816 = 35,596.00 \text{ lbs.}$$

$$\text{Sub-total :} \qquad \qquad \qquad 89,925.82 \text{ lbs.}$$

Multiplicado por el factor de seguridad :

$$89,925 \times 2 = 179,850 \text{ lbs.}$$

Las tablas de propiedades físicas de los forros, editadas por los fabricantes según las especificaciones del A.P.I., indican que la máxima tensión de 189,000 lbs. es aplicable a coples largos con forros J-55, peso 11.6 lbs./pies.

Por lo tanto la sarta diseñada satisface las condiciones de seguridad tanto para tensión como para colapso como se ha verificado por los cálculos precedentes.

Presión interna :

Considerando que se trata de proyecto para un pozo exploratorio con posibles trabajos de fracturamientos en el futuro, hay que reconsiderar la cuarta sección de la sarta combinada ya que las especificaciones de

Los fabricantes para tubos de forro J-55 de presión interna señalan 5,350 psi., la cual es una presión insegura (baja) en el tramo no cementado ó sea en la parte de los forros de superficie (que es de 520 pies) más unos 100 pies por posible contaminación o canalización del cemento. Para esta parte la sección será reemplazada por forros N-80 del mismo peso (11.6 lbs/pie) cuyas especificaciones señalan una presión interna de 7,780 psi.

La presión de fracturamiento, en casos máximos, es 1 lb. por pie de profundidad (en pozos hondos).

La máxima gradiente de presión daría en este caso 9,500 psi en el fondo del pozo.

Para la presión de cabeza del pozo :

$$P_c = \rho h + P_b - P_f$$

de donde

$P_b$  = presión en la cabeza del pozo.

$P_f$  = pérdida de presión por fricción es muy pequeña en el momento de fracturamiento ya que en aquel momento el flujo es casi cero.

$\rho$  = peso específico del líquido fracturante.

$h$  = altura de la columna hidrostática.

$P_c$  = presión de fracturamiento.

En general los flúidos usados para fracturamiento con arena tienen 0.4 como mínimo peso específico

$$\begin{aligned} P_b &= P_c + P_f - \rho h \\ &= 9,500 \text{ psi.} + 330 \text{ psi} - 0.4 \times 9,500 \end{aligned}$$

$$= 6,030 \text{ psi.}$$

El Factor de seguridad será :

$$\frac{7780}{6030} = 1.286 \text{ el cual es ampliamente satisfactorio.}$$

Las secciones inferiores no se reconsideran ya que estarán completamente cementadas.

Esquema del diseño de forros

500'	H-40 de 9-5/8" y N-80 de 11.6 lbs/pies - 4-1/2", cople corto (5ª sección)
620 pies	
	J-55 de 4-1/2" OD. - 11.6 lb/pie, Cople largo (4ª sección)
1000'	
1500'	
2000'	
2500'	
3000'	
3500'	
3750 pies	
4000'	
4500'	J-55 de 4-1/2" OD. 11.6 lbs/pie, Cople Corto.
5000'	
5500'	
5,700 pies	
6000'	(2ª sección)
6500'	N-80 de 4-1/2" OD. 11.6 lbs/pie, Cople Corto.

7000'

7500'

8000'

8500' 8,270 pies (1ª sección)

9000' N-80 de 4-1/2" OD. 11.6 lbs/pie, Cople Corto.

9500'

Costo de la sarta combinada y forros de superficie

La sarta combinada de revestidora considerada es 9,500 pies.

La tubería revestidora de superficie será: 520 pies, tipo A.P.I. grado H-40, Rango 2., 9-5/8" de diámetro nominal, peso 29.3 lbs. por pies. Con coples cortos.

5,080 pies de tubería revestidora tipo API., grado J-55, Rango 2, 4-1/2 pulgadas diámetro nominal; peso 11.6 lbs/pie.

4,420 pies de tubería revestidora tipo API., grado N-80, Rango 2, 4-1/2 pulgadas diámetro nominal; peso 11.6 lbs/pie.

Los coples serán :

en 4,420 pies de tubería, coples cortos tipo API., N-80,  
 en 3,130 pies de tubería, coples largos tipo API., grado J-55,  
 en 1,950 pies de tubería, coples cortos tipo API., grado J-55.

Costos.

1.) 520 pies de tubería revestidora API.

H-40 - Rango 2, 9-5/8 pulgadas, diámetro peso 29.3 lbs/pie.

\$ 3.58 por pie            \$ 1,861.60.

17 coples API. grado H-40 - 9-5/8 pulgadas.

20.13 c/u 342.21

2.) 4,420 pies de tubería revestidora API. grado N-80 - Rango 2 -  
4-1/2 pulgadas - 11.6 lbs/pie.

1.73 c/u 7,646.60

147 coples cortos API - grado N-80 - 4-1/2 pulgadas - diámetro -  
tro nominal

8.93 c/u 1,312.71

3.) 5,080 pies de tubería revestidora API. grado J-55 - 4-1/2  
pulgadas - 11.6 lbs/pie.

1.37 c/u 6,959.60

104 coples largos API. grado J-55 - 4-1/2 pulgadas - diámetro -  
tro nominal

6.70 c/u 696.80

65 coples cortos API. grado J-55 - 4-1/2 pulgadas - diámetro -  
tro nominal

4.89 c/u 317.85

En los precios está incluido el transporte puesto en el Puerto de Talara.

Total : 19,137.37

CAPITULO IV. EQUIPO A USARSE - ESPECIFICACIONES Y COSTOS

CASTILLO Y BASE PARA MOTORES

Fabricado por : Lee C. Moore Corporation.

Tipo : 136 pies Moore "Kay" 800,000 lbs. A.P.I.

Especificaciones:

Acero Silicio	800,000 lbs.
Acero Medio	577,000 "
"Starting and running legs" 8 x 8 x 5/8" L	
"Draw - Works Side"	No. 34
Frente	No. 21 Rotary
Lados	2 No. 31
Medida API. No.	18-A
"Gin Pole" No.	2110
Capacidad	800,000 lbs.
Peso aproximado	82,000 lbs.

Ver la descripción completa en el "Composit Catalog" del año 1954 - 55.,  
página 3392.

MALACATE.

Fabricado por : National Supply Company. Tipo : 80 B Rango de profundidad 6,500 pies a 10,000 pies. Requiere 800 HP de potencia.

No. de Serie : 2182 - Dimensiones : 257" x 105" x 96". Peso aproximado : 39,405 lbs. Incluye tambor 25" diámetro y 49" largo.

Freno hidráulico tipo B-1

Control hidráulico para los frenos

Embragues de aire

Protectores de cadenas

Instrumentos de control

Descripción completa : "Composit Catalog", año 1954 - 55., página 3454.

#### MOTORES.

Fabricados por : Davey - Paxman and Co. Ltd.

2 motores para malacate tipo : 12 RPH. Paxman Ricardo 12 cilindros 7" x 7-3/4", motores diesel de cuatro ciclos, 1,200 RPM. con carga máxima.

Máxima potencia con carga continua y, con accesorios.  
400 BHP. (potencia de freno).

Máxima potencia con carga no continua, con accesorios  
400 BHP. (potencia de freno).

Consumo de combustible con carga máxima #0.395#/bl/hr.

Dos motores para la bomba principal.

Tipo : 6 RPH. Paxman Ricardo.

Los cilindros 7 x 7-3/4", 4 ciclos, (motores diesel con 1000 RPM. de máxima carga.

Máxima potencia con carga continua : 325 BHP.

Máxima potencia con carga intermitente : 333 BHP.

Todos estos motores incluyen coples hidráulicos, filtros de aire, filtro de aceite, instrumentos.

#### TRASMISIONES.

Entre motores y bombas de lodo (con embragues de aire) : cadenas dobles, de 2 pulgadas.

Entre motores y malacate : cadena cuádruple de 1-1/2 pulgadas.

Entre malacate y mesa : cadena simple de 3 pulgadas.

#### BOMBAS DE LODO.

Fabricado por : National Supply Company.

Tipo : C-350

Con camisetas cambiables desde 7-3/4 pulgadas de diámetro hasta 5 pulgadas de diámetro, con máxima potencia de 600 HP.

#### TANQUES PARA LODO -("Cantinas")

Dos tanques de lodo marca Nacional de 12 pies de ancho, 30 pies de largo y 4-1/2 pies de alto. El tanque estará circuido en la parte superior por tubería de 4 pulgadas, con dos llaves de 2 pulgadas, y una llave de 4 pulgadas para toma de lodo.

Cada tanque tiene 250 bbls. de capacidad.

#### EQUIPO AUXILIAR DE SUPERFICIE.

##### Cedazo.

Fabricado : Hutchinson Manufacturing Co.

Modelo : 4860 B "Rumba Dual"

Dimensiones : 46 pulgadas de alto, 10 pies 4 pulgadas de largo, 7 pies 2-1/2 pulgadas de ancho. (Medidas de la parte simple).

El cedazo trabaja a 2000 RPM. accionado por motor 2-léctrico de 2 HP.

##### Tanque de Química. Fabricación local

Dimensiones: (en pies)

3 x 3 x 7. Capacidad 470 galones.

Construido con chapas de acero.

Tanques para agua. Fabricación local

Construido con chapas de acero.

Dimensiones Un tanque de 8 pies de alto, 9.2 pies de diámetro.

Capacidad : 95 bbls. con manifold de 2 pulgadas y llave de descarga de 4 pulgadas. El otro tanque de 10 pies de alto, 13 pies de diámetro. Capacidad : 230 bbls.

Con llaves de descarga de 4 y 2 pulgadas y una llave de 4 pulgadas para carga.

Tanques para combustible.

Fabricación local, de chapas de acero.

Dimensiones : 15 pies de largo y 5 pies de diámetro.

Capacidad : 50 bbls. Con llaves de descarga de pulgadas y una llave para carga de 3 pulgadas.

MEZCLADOR.

Fabricación : Texas Iron Works.

Modelo 1569 - C - Con motor eléctrico de 20 HP. Descripción completa :

"Composit Catalog", año 1955 - 56 página 4876.

TENAZA.

Fabricación : Byron Jackson - Tipo : DD.

Descripción : "Composit Catalog", año 1958 - 59 página 1006.

PLANTA DE LUZ.

Fabricación : Caterpillar- Tipo D-315

Dimensiones (en pulgadas) 77 x 29 x 50

Generador trifásico de 1500 RPM. 33 KW, 41.2 KVA, 60 ciclos, 240/480 voltios y 99/49.5 amperios, con motor diesel de 4 cilindros, de 4 ciclos, modelo 4-1/2 pulgadas x 5-1/2 pulgadas, con capacidad para desarrollar 62.5 HP. al nivel del mar y con 1500 RPM.

#### CORONA.

Fabricación Oil Well Supply Division of U. S. Steel.

Modelo : No. 350. Con 350 toneladas de capacidad.

Dimensiones (en pies) : 8 pies x 4-1/4 x 5 pies. Peso : 7655 lbs.

Número de poleas : 6 poleas 46 pulgadas de diámetro para cable de perforar de 1-1/8 pulgadas.

Diámetro del eje central 8 pulgadas con fabricación independiente para cada una de las poleas.

Descripción completa en el, "Catalog Composit", año 1951, página 3859.

#### GANCHO VIAJERO.

Fabricación : Oil Well Supply Division of U. A. Steel Co.

Modelo : Tipo 80 - Capacidad : 350 Toneladas.

Dimensiones (en pies) 9 pies una pulgada de largo x 3 pies 3 pulgadas de ancho.

Peso : 10,080 lbs.

Número de poleas : 5 poleas de 46 pulgadas de diámetro para cable de perforar de 1-1/8 pulgadas. Diámetro del eje central : 8 pulgadas, con lubricación independiente para cada polea.

#### GANCHO.

Fabricación Byron Jackson Co. Tipo 4200 Super Triplex de 200 Toneladas

de capacidad con factor de seguridad igual a 4. La profundidad normal de trabajo es de 10,000 pies, incluye un plato rotativo con ocho posiciones fijables.

Dimensiones (en pulgadas) 130 de largo x 29 de ancho.

Peso : 4,800 lbs.

Descripción completa "Composit Catalog", año 1952 - 53 página 995.

#### SWIVEL.

Fabricación National Suplly Co. (Oweco) Tipo RN, 200 toneladas de capacidad.

Dimensiones : 9 pies 7 pulgadas de largo x 38 pulgadas de ancho.

Diámetro para el paso del fluido : 3 pulgadas.

Conexión de cuello de cisne, rosca 4 API, con tubo de lana con pin 6-5/8 pulgadas API. L H 8 rd. de rosca.

Descripción completa : "Composit Catalog", año 1952 - 53 página 3663.

#### ROLLER KELLY BUSHING.

Fabricación : Ideco Division Dresser Industries Inc.

Tipo : Squarhex, 13-1/2 pulgadas.

Drive Squer, para 3 pulgadas a usar con kelly hexagonal de 5-1/4 pulgadas. Es adaptable a todas las clases de hexagonal; únicamente hay que cambiar los rodillos.

Descripción : "Composit Catalog", año 1961 - 62. páginas 2936.

#### INDICADOR DE PESO.

Fabricación : Martin Decker Corporation. Tipo : D.

Este indicador está en cabina de acero, incluye indicador de presión de lodo, anclaje para cable de perforar de 1-1/8 pulgadas, y trans -

formador de alta y baja presión.

Descripción : "Composit Catalog", año 1954 - 55 página 3038.

#### CASITA DE PERFORAR.

Fabricación : Local. Dimensiones : 10 pies x 6 pies x 6.3 pies alto.

Construido con planchas de acero.

#### MESA ROTARIA.

Fabricación : Ideco Division of Dresser Industries Inc.

Modelo : L-23 - Capacidad de 475 toneladas de peso muerto.

Máxima abertura en la mesa : 23 pulgadas

Relación de giro 8.39 a 1, con rueda dentada de transmisión de tipo API. - 3.

Descripción : "Composit Catalog", año 1960 - 61 página 2935.

#### CONTROLES IMPIDE - REVENTONES ("Blowout preventers")

Fabricación : Hydrill Company. Modelo : GK 12 Serie 900

#### CUERPO EMPERNADO.

Dimensiones en pulgadas 47-1/2 de diámetro x 45-1/2 de alto.

Peso : 8,580 libras.

Diámetro completo de 13-5/8 pulgadas a cero pulgadas con máxima presión de aguante de 3,000 psi.

Fabricación : Cameron Iron Work. Inc.

Modelo : 12 pulgadas Serie 900 Tipo Q R C.

Dimensiones (en pulgadas) 161 x 49 x 34-1/2

Rango de presiones de trabajo : 3000 - 6000 psi.

Para usarse con tuberías desde 9-5/8 pulgadas OD. hasta 4-1/2 pulgadas OD.

Descripción : "Composit Catalog" año 1954 - 55 página 1013.

EQUIPO AUXILIAR.

Compresor Hydril Modelo HP - 17 -80.

CABLE DE PERFORAR.

Fabricación : Brown Inc.

Diámetro de 1-1/8 pulgadas, 6 x 19 I. P. I.W.R.C.

Longitud : 3,800 pies.

MANGUERA DE PERFORAR.

Dimensiones : 3 pulgadas de diámetro I.D. x 55 pies de longitud.

MOTORES ELECTRICOS.

3 motores trifásicos de 10 HP, 50 ciclos, 480 voltios.

3 motores trifásicos de 5 HP, 50 ciclos, 480 voltios.

2 motores trifásicos de 2 HP, 50 ciclos, 480 voltios.

VALOR DEL EQUIPO COMPLETO CON SUS ELEMENTOS AUXILIARES.

U. S. \$ 800,000.00

Adquisición del equipo : amortizable en 10 años, o sea \$ 6,666.66 por mes, lo que significa \$ 222.22 por día calendario.

SARTA DE PERFORAR.

La sarta de perforar tendrá 9,500 pies de longitud total incluyendo las botellas y las juntas de unión.

Las botellas y sus uniones serán de 900 pies de longitud total con las siguientes características : 6-1/4 pulgadas O.D., 82 lbs. por pies, grado D, rango 2, junta "external upset", con las extremidades roscadas para colocar uniones de 4-1/2 pulgadas "Hi - Flu" E. H. 6-1/4 OD, 2-13/16 ID. con recubrimiento de metal duro (hard facing) en las cajas

tipo Reed 390.

La tubería de perforar ("drill pipe") tendrá 8,600 pies de longitud total.

Las características de las tubería de perforar y sus uniones son las siguientes :

5 pulgadas O.D. 19.5 lbs. por pie, grado D, rango 2, junta "internal upset", con los extremos roscados para colocar uniones "Reed Shrink Grips", tipo Extra hole 5 pulgadas x 6-1/4 pulgadas O.D. 3-3/4 pulgadas I.D. con recubrimiento de metal duro, en las cajas tipo Reed No. 390.

Gastos de la sarta de perforar.

870 pies de botellas U.S. \$ 814./30 ft. :	23,606.00
30 pares de uniones que dan un total de longitud de 30 pies : \$ 104./par	3,120.00
30 pares de protectores para rosca : U.S. \$ 4.28/par	128.40
Gastos de instalación de las uniones (pines y cajas) a los extremos de las botellas : 4.17/par	125.10
30 aplicación de metal duro a las cajas tipo Reed No. 390 : 16.00/caja	480.00
8,330 pies de tubería de perforar : 364.50/100 pies	30,363.85
287 pares de uniones que dan un total de longitud de más o menos 270 pies : 81.28/par	23,326.36

CAPITULO V. RESUMEN DE COSTOS

COSTO DIARIO DE OPERACION DEL EQUIPO DE PERFORAR

Costo de operarios :

Incluye todos los sueldos y los gastos directos e indirectos relacionados con el personal :

1 Ingeniero especialista en perforación y lodo.

1 Capataz, 4 perforadores, 12 poceros, 4 engrampadores y un  
mecánico : U. S. \$ 400.00

Mantenimiento de los motores

Todos los gastos relacionados con el mantenimiento de los  
motores : 350.00

Mantenimiento del equipo de perforar :

Todos los gastos relacionados con el equipo de perforar:  
250.00

Mantenimiento del sistema hidráulico

Todos los gastos relacionados con el equipo de lodo :  
110.00

Mantenimiento del equipo auxiliar :

Todos los gastos relacionados con el equipo auxiliar  
90.00

Costo total Diario : \$ U. S. 1,200.00

## COSTO DEL PROYECTO

Compilando los costos de las diversas operaciones se obtiene la siguiente lista :

Costo de la locación	\$ US. 450.00
Costo de las broca :	21,160.00
Costo de cables de perforar (500 de cable 275.43) :	1,928.00
Costo de lodo :	9,731.99
Costo de cementación :	8,254.22
Costo de registros :	8,980.00
Costo de lasarta combinada (Tubería revestidora) :	19,137.37
Costo de amortización del equipo (47 días) :	10,444.34
Costo de transporte del equipo de Talara al lugar del Pozo y de vuelta a Talara :	800.00
Costo de amortización de la sarta de perforar (47 días) :	10,340.00
Costo de operación durante 47 días	56,400.00
Costo del armado del castillo, las bases de los motores, las ranflas para la tubería, y trans - porte de la sarta de perforar :	2,200.00
Costo de la cabeza de producción (Arbol de Navidad ) :	3,938.00
Gran total :	\$ 153,744.52

## PARTE II. OPERACION

En los capítulos anteriores se estudió los cálculos preliminares que precedieron la perforación, así como la evaluación del programa calculado.

En adelante se reporta la experiencia actual de las operaciones de perforación, realizadas de acuerdo a los cálculos previos.

### CAPITULO VI. INSTALACION DEL EQUIPO Y OPERACIONES DE PERFORACION.-COSTOS.

#### TRASLADO DEL EQUIPO.

El armado del castillo, plataforma de los motores y ranfla de tubería de perforar ocupa a una cuadrilla de trabajadores compuesta por un capataz y diez hombres. La construcción se efectuó en 10 días. Dentro de estos diez días también se transportó la sarta de perforar.

El costo total del armado y transporte de la sarta de perforar :  
U. S. \$ 1,100.00.

Para el traslado del equipo se utilizó 18 camiones especiales, y dos camiones pluma según la siguiente distribución

- 4 camiones para los motores
- 2 camiones para el malacate
- 2 camiones para las bombas
- 1 camión para el gancho viajero, mesa rotaria, y accesorios auxiliares.
- 1 camión para los accesorios del sistema de lodo
- 2 camiones para las cantinas de lodo
- 2 camiones para los tanques de agua
- 1 camión para la planta de luz y tanque de combustible
- 2 camiones para los controles y sus accesorios
- 1 camión para diversos materiales
- 2 camiones plumas.

Costo de los camiones : 5 dólares por hora. Duración de uso de los mismos : 4 horas c/u.

Costo total U. S. \$ 400.00

ARMADO DEL EQUIPO :

Primero se ubica y centra el malacate con los mismos camiones y luego se colocan los motores centrándolos según el malacate.

Al mismo tiempo se colocan en sus lugares las cantinas de lodo, mientras una parte de la guardia de perforar instala el anclaje del

extremo muerto del cable de perforar. Luego se ubican las bombas y la guardia una las cadenas de transmisión del malacate y de los motores. Se cuadran los tanques de agua y la planta de luz. Se descarga de los camiones los equipos auxiliares para colocarlos en la plataforma del castillo; los elementos auxiliares del sistema de lodo se sitúan al lado de las cantinas, cerca del lugar de su instalación. Los camiones se retiran y sólo quedan las plumas que ayudan a colocar los elementos pesados en sus respectivos sitios. El mecánico conecta las líneas de aire, arranca los motores y se conectan las líneas eléctricas en sus toma-corrientes. A continuación la guardia arma las líneas de agua y del sistema de lodo, y pasa el cable de perforar. Los camiones - cisternas llenan de agua las cantinas de lodo y los tanques de agua. El armado completo duró 16 horas.

#### Trabajos preliminares de perforación después del armado del equipo.-

Llenadas las cantinas con agua se prepara el lodo base (250 sacos de bentonita) con las siguientes características.

9 bbls./gal. y viscosidad de 50 segundos A.P.I., y con este lodo se perforan el hueco para el kelly y el "hueco de ratón". Se centra el puente y se dispone todo para empezar a perforar el hueco de superficie.

#### PERFORACION DEL HUECO DE SUPERFICIE Y SENTADO DE FORROS

La perforación del hueco de superficie se realizó con broca de 12-1/4 pulgadas O.D. Tipo regular OSC-3, un rima de 12-1/4 pulgadas en cima de la broca y botellas de 6-1/4 pulgadas O.D. hasta un total de

450 pies de longitud. Los 75 pies restantes se perforaron usando tubería de perforar de 5 pulgadas.

Fondo del hueco de superficie : 525 pies. El hueco de superficie fué perforado en las siguientes condiciones.

Profundidad.	Desviación.	Peso sobre la broca.	Presión de bomba.	Rotación de la broca.
a 40'	0°	500 - 1000 lbs.	500 psi.	40 RPM.
a 70'	0°	1000 "	500 "	50 "
a 130'	0°	1000 - 3000 "	500 "	80 "
a 190'	1/4°	3000 - 5000 "	500 "	120 "
a 250'	1/4°	5000 "	500 "	160 "
a 310'	1/4°	5000 "	500 "	180 "
a 370'	1/4°	5000 - 7000 "	500 "	180 "
a 430'	1/4°	5000 - 7000 "	500 "	180 "
a 490'	1/4°	5000 - 7000 "	500 "	180 "
a 520'	1/4°	7000 -10000 "	500 "	160 "

Se utilizaron 2 brocas OSC-3. Una cortó 274 pies en 15 horas y la otra 246 pies en 9-1/2 horas.

Duración de la perforación del hueco de superficie : 24-1/2 horas. Después de perforar la profundidad deseada se circuló en el fondo 1/2 hora para limpiar el hueco. Se bajó tubería revestidora tipo API. grado H-40 - Rango 2 - 9-5/8 pulgadas O.D., hasta 520 pies de profundidad con zapato flotador. La bajada de forros demoró 3 horas y luego se cementó con 368 sacos de cemento Portland nacional, 350 lbs. de Lignosulfonato

de cálcio, y 66 bbls. de agua. Se usaron dos tapones de 9-5/8 pulgadas de diámetro nominal.

Duración de la cementación 1/2 hora.

Costo actual de la operación.

2 brocas de 12-1/4 pulgadas - Tipo OSC-3	540.00
520 pies de tubería revestidora tipo H-40, 29.3 lbs./pie, 9-5/8 pulgadas, con coples cortos	2,203.81
Costo de cementación	1,762.64
Costo	4,506.45

Tiempo de fraguado del cemento : 12 horas. En este tiempo se colocaron los controles, y se acondicionó el lodo de perforar.

PERFORACION DEL HUECO PRINCIPAL

El hueco principal fué perforado según las condiciones detalladas de los cuadros adjuntos. Hubo una pérdida de circulación de 500 bbls. de lodo a la profundidad de 7,850 pies que representó una pérdida de tiempo de 12 horas, 200 sacos de bentonita, 2000 galones de diesel, 950 sacos de baritina, 180 galones demangle, 60 galones de soda cáustica y 20 sacos de cáscara de semilla de algodón. Felizmente no hubo otros problemas aparte de esta pérdida de circulación. Al programa de brocas se le agregó una broca especial Hughes tipo R1-J para rimar hueco estrecho en las partes donde se utilizaron las brocas para núcleos-testigos.

Costo de brocas y del sistema hidráulico para perforar el hueco principal.

---

48 brocas 7-7/8 pulgadas, de 3 conos, tipo jet :	
\$ 240 c/u.	11,520.00
1 broca de 7-7/8 pulgadas, de 3 conos, especial para rimar :	1,900.00
23 brocas de 7-5/8 pulgadas para núcleos-testigos	
\$ 260 c/u.	5,980.00
Sub total :	19,400.00
9,000 barriles de agua : 16.59/100 bbls.	1,493.10
7,500 galones de aceite diesel para el lodo :	
\$ 0.088 gal.	600.00
483 sacos de bentonita : \$ 0.92 c/saco	444.36
2,348 sacos de baritina : \$ 1.15 c/saco	2,700.20
31 sacos de kirkose : \$40.00 c/saco	1,240.00
20 sacos de cáscara de semilla de algodón :	
\$ 0.50 c/saco	10.00
3,795 galones de mangle : \$ 0.345 galón'	1,309.28
1,485 galones de Soda cáustica : \$ 0.15 galón	242.65
Total : ( o sea \$ 8,039.59 en el lodo, más	
\$ 19,000.00 en las brocas ) :	\$ 27,439.59

## MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE PERFORAR

El mantenimiento se refiere forzosamente a todo el equipo que interviene en la perforación y completación del pozo incluyendo desde su instalación hasta su desarmado y traslado.

En los 45 días de funcionamiento continuo del equipo se utilizaron los siguientes materiales para el mantenimiento :

400 libras de grasa gris.

456 galones de aceite de lubricar grado 40 tipo D-3.

53 galones de aceite de lubricar grado 90.

360 galones de aceite de torque, tipo Tarso 40.

55,280 galones de diesel No. 2 para motores.

320 pies de manila de 1-1/2 pulgadas OD.

210 pies de manila de 1 pulgada.

100 pies de manila de 1/2 pulgada.

4 pistones completos (barra y cabeza).

8 cauchos de repuesto para los pistones.

24 empaques de "gland".

4 juegos completos de válvula y asiento.

4 laines (cilindros); Dos de 6-1/2 pulgadas I.D. y dos de 5-3/4 pulgadas I. D.

40 pies de cable de acero flexible de 7/8 pulgadas x 6 x 19 alma de cáñamo.

50 pies de cable de acero flexible de 1/2 pulgada x 6 x 19 alma de cáñamo.

50 pies de cable de acero flexible de  $5/8$  pulgadas x 6 x 19  
alma de cáñamo.

400 dados para las tenazas.

2 juegos de dados de uñas 5 -  $4-1/2$  pulgadas.

2 juegos de dados de uñas para botellas de  $6-1/4$  pulgadas -  
7 pulgadas.

1 malla de alambre de acero inoxidable para el cedazo.

1 juego de caucho para el cedazo.

30 pies de manguera para agua de  $1-1/2$  pulgadas OD.

30 pies de manguera de alta presión (2000 Psi.) de 3 pulga-  
das OD, y 2 pulgadas ID.

100 pies de manguera para agua de 2 pulgadas ID., baja presión.

100 pies de manguera para aire de 1 pulgada ID. de 500 psi.

6 uniones universales de 2 pulgadas.

4 uniones universales de 1 pulgada.

2 llaves de 2 pulgadas, para agua a baja presión.

2 llaves de 1 pulgada, para agua a baja presión.

2 llaves de 2 pulgadas, para lodo, de 5000 psi.

1 llave de 4 pulgadas, para lodo, de 5000 psi.

1 válvula completa, de 3000 psi.

3 repuestos para lenguas de llave de 4 pulgadas, del sistema  
de lodo.

3 cauchos y anillos para llave de 4 pulgadas, del sistema de  
lodo.

1 válvula completa de 3000 psi. de 2 pulgadas.

3 repuestos de lengua para la válvula de 2 pulgadas.  
3 cauchos y anillos para las válvulas de 2 pulgadas.  
60 pies de cadena cuádruple de transmisión de 2 pulgadas.  
90 pies de cadena cuádruple de transmisión de 1-1/2 pulgada.  
20 pies de cadena doble de 1-1/2 pulgada.  
30 pies de cadena API. 3 pulgadas, para la mesa rotaria.  
1 "Wash pipe".  
1 juego de empaque para swivel.  
2 cadenas, usadas para entornillar tubos.  
1 juego de zapatas para los embragues.  
2 uniones de tuerca de 4 pulgadas, tipo universal.  
1 Diafragma de 12 pulgadas para la bomba de la cantina central.  
1 Diafragma de 5 pulgadas de jebe, para las bombas de lubricar.  
4 filtros de aceite.  
4 filtros de combustible.  
1/3 del valor de las bandas de frenos.  
20 pies de tubos de bronce de 3/16 pulgadas.  
3 válvulas de aire.  
2 empaques para tapa de bomba de 10 pulgadas.  
4 empaques para tapa de bomba de 8 pulgadas.  
500 pies de cable de perforar.

Costos de mantenimiento.

El costo total del material antes mencionado más el costo del personal y transporte, representa un total : U. S. \$ 54,000.00

Total :	\$ U. S. 54,000.00
45 días de amortización del equipo	10,000.00
Amortización de la sarta de perforar de	
9,310 pies :	9,900.00
Costo del cable de perforar usado, 1,900 pies :	<u>1,045.00</u>
Total :	\$ U. S. 74,945.00

#### CAPITULO VII. OPERACIONES DE COMPLETACION Y SUS COSTOS

Los registros se efectuaron según lo programado. Se corrieron los siguientes registros :

Registros de Inducción con potencial espontáneo :	
U. S. \$ 0.12 x 9,390	1,126.80
y normal corta de 16 pulgadas :	
U. S. \$ 0.07 x 8,870	620.90
	532.20
Registro Acústico "Sonic" :	
U. S. \$ 0.1 x 9,390    8,870 x 0.16	939.00
	939.00

Rayos Gama	U.S. \$ 0.10 x 9,390	8,870 x 0.7	620.90
Caliper Log	U.S. \$ 0.10 x 9,390		939.00
	0.5 x 8,870		443.50
	45 x 3		135.00
Desviación	: U.S. \$ 0.10 x 9,390		939.00
	0.6 x 8,870		532.20
Servicio de equipo	: U.S. \$ 350		350.00
Costo total	:	U.S.	\$ 8,117.50

El tiempo que emplearon los registros fué de 16 horas.

#### ACONDICIONAMIENTO DEL LODO Y DE HUECO

El acondicionamiento del lodo de perforar es necesario para lograr las propiedades físicas requeridas durante los registros que son : peso 12#/gal., Viscosidad 48" (seg.) API., Vuelta 8, Fuerza 0° de API., 15% de emulsión con Diesel.

El volumen total del lodo, ha requerido :

500 galones de Diesel	: 0.088 \$ c/u	44.00
90 galones de mangle	:	31.05
27 galones de soda cáustica	:	3.05
Total	:	78.10

4 horas de circulación.

Las cuatro horas de circulación se han aprovechado para limpiar el hueco principal de toda clase de derrumbes y cortes.

#### BAJADO DE LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

La sarta combinada de tubería revestidora no sufrió variación en la práctica, ya que la diferencia de fondo de 110 pies que existe entre la profundidad proyectada y la perforada representa exactamente 3 tubos N-80 y tres coples cortos menos que el programa previo.

La bajada de la tubería revestidora se efectuó en 11 horas.

Costo total de la sarta combinada revestidora. U.S. \$ 16,707.54

#### CEMENTACION Y ANCLAJE DE LA TUBERIA REVESTIDORA

##### Cementación :

1,212 sacos de cemento :	\$ 2,823.96
120 sacos de bentonita :	110.40
335 lbs. de lignosulfonato de calcio :	87.88
331 bbls. de agua :	54.10
70 centralizadores :	1,337.00
80 rascadores :	668.00
1 "DV" Tool" 4-1/2 pulgadas 8rd. thd. Plug Set :	500.75
1 zapato flotador :	63.10
1 cuello flotador :	66.10
2 tapones de desplazamiento de 4-1/2 pulgadas OD :	10.00
Costo de la operación :	553.00
Total :	\$ 6,274.29

La operación tomó tres horas de tiempo.

## CABEZA DE POZO

Cameron Tipo API 5000; dimensiones 9-5/8 pulgadas x 4-1/2 pulgadas, x 2-1/2 pulgadas. \$ 3,938.00

## DESMANTELAMIENTO Y TRANSPORTE DEL EQUIPO

Se desconectaron las líneas de agua, el sistema de lodo, se repararon los motores, el malacate, y las bombas, y se preparó todo el equipo auxiliar, para su transporte, empleando en todo esto el tiempo de una guardia y dos mecánicos.

Para el transporte del equipo se utilizó 18 camiones especiales y 2 camiones de pluma con la siguiente distribución :

- 4 camiones para los motores.
- 2 camiones para el malacate.
- 2 camiones para las bombas.
- 1 camión para el gancho viajero, mesa rotaria y accesorios auxiliares.
- 1 camión para los accesorios del sistema de lodo.
- 2 camiones para las cantinas de lodo.
- 2 camiones para los tanques de agua.
- 1 camión para la planta de luz y tanque de combustible.
- 2 camiones para los controles y sus accesorios.
- 1 camión para diversos materiales.
- 2 camiones plumas.

Costo de los camiones 5 dólares por hora.

Duración de uso de los camiones 4 horas.

Costo total : U.S. \$ 400.00

El desarmado del castillo, plataformas de los motores, ranfla de tubería de perforar, así como el transporte de la sarta de perforar, se efectuó en diez días de trabajo con un personal de diez trabajadores y un capataz, demorando el mismo tiempo que tomó el armado del castillo.

El costo total : U.S.\$ 1,100.00

## CONCLUSIONES

El costo por pie perforado se reduce cuando el proyecto abarca varios pozos y el equipo trabaja continuamente. En tales casos se puede utilizar brocas de diámetros para sacar testigos los cuales tienen mucho mayor eficacia reduciendo el tiempo de viaje y mejorando la economía de corte por broca y por pie cortado. La perforación de muestras redondas aumenta considerablemente el costo por pie perforado. Para un solo pozo es mucho gasto comprar brocas de diamantes; para varios pozos el costo por pie es más económico usando brocas de diamantes para cualquier otro tipo convencional de broca.

En la perforación el mayor costo es el mantenimiento de operación del equipo y es tan alto que hay que tener en cuenta también la penetración de la broca, ya que altera el rendimiento económico de una broca que corta más pies en total pero a un ritmo más lento.

El costo por pie perforado bruscamente aumenta después de los 5,500 pies de profundidad.

Es necesario ejercer un control severo sobre el lodo de perforar para evitar mayores consecuencias, que son muy costosas.

## BIBLIOGRAFIA

- Mc Gray, A. W. y Cole, F. W.; Oil Well Drilling Technology, Segunda Edición, 1960.
- Brown, R. W. y Neill, G. H.; "Hydraulic Horsepower Requirements for Well Treatment" The Petroleum Engineer Vol. XXX N° 3, Marzo 1957, página B.53-62.
- Uren, L. Ch.; Petroleum Production Engineering.- Oil Field Development. McGraw-Hill Book Company, Inc. 1956. Cuarta Edición. American Petroleum Institute RP-29; "Recommended Practice for Standard Field Procedure for Testing Drilling Fluids". Universidad de Texas, Austin; Principles of Drilling Mud Control. Rogers, W. F. ; Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids, McGraw-Hill Book Company. Segunda Edición.
- Green, B. Q. ; Training course for Mud Engineers. Publicado por Baroid Division. National Lead Company.
- Baroid Division, National Lead Company; Drilling Mud Reference Manual
- Baroid Division, National Lead Company; Drilling Mud Data Book
- Burdyn, R. F. y Wiener, L. D. ; "Calcium Surfactant Drilling Fluids" Papel presentado a la 31a. reunión anual del Petroleum Branch del A.I.M.E., Los Angeles, Octubre 14-7, 1956.
- Beck, R. W. , Nuss, F. y Dunn, T. H. ; " The Flow Properties of Drilling Muds" A.P.I. Drilling and Production Practice (1947) 9-22.
- Pigott, R. I. S. ; "Mud Flow in Drilling" A.P.I. Drilling and Production Practice (1941) 91-103

- Havenaar, I. ; "The pumpability of Clay Water Drilling Fluids"  
A.I.M.E. Transactions, Vol 201 (1954) página 287 - 93.
- Eckel, J. R. y Bielstein, W. J. ; "Nozzle Design and its Effect on  
 Drilling Rate and Pump Operation" A.P.I. Drilling and  
 Production Practice (1951) 28 - 46
- Mallory, H. E. ; "Improving the Mud Program" The Drilling Contractor,  
 Vol. XIII, N° 3, Abril 1957. página 56 - 57.
- Lubinski, A. : "A Study of the Buckling of Rotary Drilling String"  
A.P.I. Drilling and Production Practice (1950) página 178 -  
 214.
- Lubinski, A. y Wood, H. B. ; "Factor affecting the Angle of Inclina -  
 tion and Dog-Legging in Rotary Bore Holes" A.P.I. Drilling  
 and Production Practice (1953), página 222 - 50.
- Simon, R. ; Collected Reports Research Institute (1949 - 1953)
- Moore, L. Preston ; "Five Factors that affect Drilling Rate" Oil and  
 Gas Journal N° 40, (1958) 56.
- Cunningham, R. A. ; "How High Rotary Speed Shortens Bit Life, Increa -  
 ses Drilling Costs" Oil and Gas Journal N° 28 (1960) 58
- Brantley, J. E. y Clayton, E. E. ; "A Preliminary Evaluation of Fac -  
 tors Controlling Rate of Penetration in Rotary Drilling" Pre -  
 sentado en la octava reunión de mitad de año del A.P.I., New  
 Orleans, 17 de Mayo de 1938.
- Outmans, H. D. ; "The Effect of Some Drilling Variables on the instan -  
 taneous Rate of Penetration" Journal of Petroleum Technology,  
 Junio 1960, página 219 - 137.

Lubinski, A. ; "Maximum Permissible Dog-Legs in Rotary Boreholes"

Pan American Petroleum Corp., Tulsa, 1960.

Speer, John W. ; "A Method for Determining Optimum Drilling Conditions"

A.P.I. Paper N° 936 - 31, February 28, 1958.

Colebrook, Ross W. ; "How to get the Most Hydraulic Power of the

Bottom of the Drilling String in Rotary Drilling" A.I.M.E.,

Paper N° 58 - Pet-6.

Kendall, H. A. ; "Design and Operation of Jet-Bit Programs for Maximum

Hydraulic Horsepower, Impact Force or Jet Velocity".

Petroleum Engineers of A.I.M.E., Boletín N° 6, 1963.