

T  
622.25  
5231



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

**“SIMULADOR DE PERFORACION”**

**PROYECTO DE GRADO**

**Previo a la Obtención del Título de:  
INGENIERO EN PETROLEO**

**Presentado por:**

**ALEX S. SANTANDER MONTEVERDE**

---

**Guayaquil, Ecuador**

**1990**

## AGRADECIMIENTO

Al Ing. Freddy Sarmiento,  
por su ayuda y colaboracion  
para la realizaci3n de este  
trabajo.

Al Ing. Daniel Tapia,  
Director del T3pico

INDEX



Ing. Daniel Tapia F.  
Director de Tópico



Ing. José Cabezas  
Miembro del Tribunal



Ing. Francisco Andrade  
Miembro del Tribunal

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este trabajo, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)



Alex Santander Monteverde

## R E S U M E N

El RS1000 es un simulador de perforación avanzado, único en el país. Está desplazado en el Centro de Capacitación Guayaquil ubicado en el nuevo Campus de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Este trabajo consiste en determinar que prestaciones puede ofrecer dicho simulador de perforación. Se suministró información real, de campo, al simulador, a fin de establecer si este respondería satisfactoriamente a los requerimientos establecidos. Se investiga el comportamiento de la tasa de perforación como resultado del cambio de diversas variables que la afectan.

## INDICE GENERAL

	Pág.
	----
RESUMEN .....	VI
INDICE DE ABREVIATURAS .....	IX
INTRODUCCION .....	11
I EL SIMULADOR DE PERFORACION .....	12
1.1 Componentes y funcionamiento del Simulador .....	13
1.1.1 Componentes del equipo .....	13
1.1.2 Funcionamiento .....	14
1.2 Importancia del Simulador de perforación .....	14
1.3 El Simulador RS1000 .....	15
1.3.1 Elementos .....	17
1.3.2 Sonidos generados .....	17
1.3.3 Consola del instructor .....	18
1.3.3.1 Panel de control .....	19
1.3.3.1.1 Indicadores .....	19
1.3.3.1.2 Automodos .....	20
1.3.3.1.3 Controles .....	21
1.3.4 Consola del malacate .....	22
1.3.5 Consola del perforador .....	24
1.3.6 Panel monitor de flujo en piletas .....	27
1.3.7 Panel de control BOP en tierra .....	27
1.3.8 Panel estrangulador remoto .....	28
1.3.9 Múltiple de tubo vertical .....	29
1.3.10 Múltiple de estrangulación .....	29

1.3.11 Sistema computarizado de gráficos .....	30
<b>II PROGRAMA DE PERFORACION AVANZADA Y CONTROL DE POZO</b>	<b>32</b>
2.1 Geometría del pozo .....	32
2.1.1 Geometría del anular .....	32
2.1.2 Sarta de perforación .....	34
2.1.2.1 Tubería de perforación .....	34
2.1.2.2 Lastrabarrenas .....	35
2.2 Características de las formaciones .....	35
2.2.1 Parámetros de perforación de formaciones	35
2.2.2 Parámetros de fluidos de formación .....	36
2.3 Parámetros del sistema .....	37
2.3.1 Bombas del taladro .....	37
2.3.2 Sistema acumulador .....	38
2.3.3 Brocas de perforación .....	38
2.3.4 Parámetros del sistema de lodo .....	39
2.3.5 Sistema de energía .....	40
<b>III APLICACION</b> .....	<b>43</b>
3.1 Datos .....	43
3.2 Resultados .....	50
ANALISIS DE RESULTADOS .....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	57
BIBLIOGRAFIA .....	59

## ABREVIATURA USADA

bb1	barriles.
DCB	desgaste de cojinetes de la broca, en porcentaje.
DDB	desgaste de dientes de la broca, en porcentaje.
EP	espesor perforado, pies.
epm	emboladas por minuto.
form	formación.
fract	fractura.
G.E.	gravedad específica.
Grad	gradiente.
lb	libras.
lpc	libras por pulgada cuadrada.
PC	presión de circulación, lpc
Permb	permeabilidad, milidarcy
PP	peso para perforar, libras.
PPB	pérdida de presión en la broca, lpc
%PPB	porcentaje de pérdida de presión en la broca.
Prof	profundidad, pies.
PSB	peso sobre la broca, libras.
rpm	revoluciones por minuto.
TB	tasa de bombeo, emboladas por minuto.
TP	tasa de perforación, pies por hora.

Torq torque, pie-libra.

Visc viscosidad, centipoise.

VR velocidad de rotación, revoluciones por minuto.

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

El simulador de perforación es un dispositivo que duplica equipos y sistemas de una torre de perforación. El objetivo de este trabajo es determinar la utilidad y prestación que puede ofrecer este simulador.

Se comienza con una descripción de los elementos de los que componen el simulador, en base a esto, el lector se puede imaginar que clase de equipo de perforación duplica este simulador. Se destaca la importancia que cobra el simulador usándolo en la investigación y en el entrenamiento del personal, lo cual es objetivo básico del simulador.

Se investigan las capacidades del simulador, para que de esta manera se tenga idea de la configuración del taladro de perforación que se puede armar.

Por último se da una aplicación del simulador orientada hacia la ingeniería aplicada. Con datos reales de campo, se trata de optimizar el uso de una broca de perforación. La tasa de perforación es función del peso sobre la broca y de la velocidad de rotación principalmente. Se varía el peso sobre la broca para de esta manera determinar la mejor tasa de perforación, también se hace lo mismo con la velocidad de rotación y la presión de circulación.

## C A P I T U L O I

### EL SIMULADOR DE PERFORACION

#### GENERALIDADES

Un simulador es un dispositivo que sirve para duplicar equipos y sistemas reales. Es usado tanto en entrenamiento de personal como para investigación como un medio efectivo de reducir los costos de operación de equipos y sistemas complejos (6).

Con el simulador se pueden representar ambientes de campo en plena operación, es decir, de trabajo, lo cual significa una experiencia valiosa para entrenamiento. Suministrando la información necesaria al simulador, se puede crear una situación deseada de campo, ya sea esta normal o crítica, y dar soluciones prácticas al problema.

El presente trabajo está hecho en base al Simulador Avanzado de Perforación y Control de Pozo Digitran RS1000.

## 1.1. COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO DEL SIMULADOR

### 1.1.1. Componentes del Equipo

- Computadora digital principal PDP-11/73, compuesta de dos unidades de disco flexible y un terminal CTR.
  
- Panel de control del instructor.
  
- Consola del malacate.
  
- Consola del perforador.
  
- Panel de control del Preventor de Reventones.
  
- Panel del estrangulador remoto.
  
- Múltiple de tubo vertical.
  
- Múltiple de estrangulación.
  
- Sistema gráfico a color con monitor.
  
- Panel de flujo en piletas.

### 1.1.2. Funcionamiento

Existe una computadora digital principal y un soporte lógico para cada uno de los procesos que se quieren representar. La computadora principal está conectada a cada uno de los componentes que forman parte del simulador; los cuales pueden ser indicadores, medidores, controles, etc.; que han sido reproducidos en un tamaño conveniente. Las instrucciones e información se las introduce a la computadora principal por medio del teclado o activando una válvula, una palanca, un pulsador, etc. La activación de estos elementos transmite una señal, que en lugar de ser hidráulica, neumática, eléctrica o alguna otra forma de señal real, es una señal digital que desplaza la aguja de un medidor, o produce algún sonido o una representación gráfica en un monitor, o en fin produce cualquier otro efecto como se ve en la realidad (6).

## 1.2. IMPORTANCIA DEL SIMULADOR DE PERFORACION

Se hace imprescindible destacar la importancia que toma el simulador por la relación fundamental que tiene con los aspectos siguientes:

- **ACADEMICO.** El simulador puede ser usado como un medio práctico para propósitos de diseño y demostraciones de procedimientos de operaciones de perforación de pozos.
  
- **ENTRENAMIENTO.** Adiestrar al personal operativo de un taladro de perforación, es uno de los principales objetivos por los cuales se han construido los simuladores de perforación.
  
- **INGENIERIA.** Al simulador se lo puede emplear de una manera muy ventajosa en tratar de lograr optimizaciones de los parámetros y componentes del equipo, también en diseños de programas de perforación en una forma ágil.
  
- **SEGURIDAD.** Tiene la ventaja de no poner en riesgo la integridad personal de el/los usuario/s. Tampoco de los equipos.
  
- **DEMOSTRATIVO.** Con el simulador se pueden demostrar las graves consecuencias cuando se realizan malas operaciones de manejo de los equipos y soluciones no correctas de problemas, así como del control del pozo en condiciones anormales.

El RS1000 es un simulador avanzado, el cual puede simular a un equipo de perforación grande que puede ser usado para proporcionar adiestramiento para perforación, control de pozo, prevención de reventones y operación del equipo mismo.

El simulador consiste de:

- ***Paneles de control:*** cada panel contiene un micro-computador digital que está programado para actuar de igual manera que el panel que duplica. Todos los paneles están interconectados para distribuirse información entre sí. La mayoría de estos paneles están reproducidos casi o a la misma escala que los que duplican y son los más popularmente usados en las torres de perforación actuales.
- ***Consola del Instructor:*** está compuesta por un terminal CTR (tubo de rayos catódicos) y el teclado, un panel de control de pulsadores, el computador principal es el Digital Equipment Corporation PDP-11/73, usado como el cerebro del simulador. El panel de control de pulsadores y el teclado pueden ser usados para controlar las funciones del simulador.
- ***Soporte lógico de simulación:*** está compuesto prin-

principalmente por el programa de simulación "Programa Avanzado de Perforación y Control de Pozo", PAPCP, y otros programas como el diagnóstico, programas de aplicación.

### 1.3.1. Elementos

El simulador RS1000 está compuesto básicamente por los siguientes elementos:

- Consola del instructor
- Panel de control del perforista
- Panel de datos de perforación
- Panel monitor de flujo en piletas
- Panel de control BOP en tierra
- Panel estrangulador remoto
- Múltiple de tubo vertical
- Múltiple de estrangulación
- Panel acumulador inserto
- Sistema gráfico color con monitor

### 1.3.2. Sonidos generados

Muchos de los paneles están equipados con un computador que genera efectos de sonido, lo cual da mayor realismo al simulador, como una torre de perforación verdadera. Todos los

efectos de sonido están sincronizados con las acciones que hace el usuario de las consolas del simulador. Los sonidos más importantes generados por el simulador son:

- Motores
- Motor del malacate
- Freno del malacate
- Embrague neumático del malacate
- Embrague neumático de la mesa rotaria
- Motor de la mesa rotaria
- Bomba del acumulador
- Alarma de flujo
- Alarma de piletas
- Bombas de lodo
- Reventón
- Flujo de gas, etc.

### 1.3.3. Consola del Instructor

La consola está compuesta por un terminal CTR y teclado, un panel de control de pulsadores, el computador principal, y las unidades de disco. Todas las acciones de control del instructor se pueden hacer desde el teclado o desde el panel de control de pulsadores.

### 1.3.3.1. Panel de Control

El panel de control está constituido por una serie de pulsadores, cada uno de estos tiene su función específica.

#### 1.3.3.1.1. Indicadores

**Error** - Indica que el usuario ha cometido un error de operación de alguna clase. Por ejemplo: se da rotación con el kelly o vástago de transmisión removido.

**Desactivar pérdida de circulación** - Indica que el gradiente de fractura en el asiento del revestidor ha sido excedido (por más del 25 %), y por lo tanto el pozo ha sido fracturado en esa zona, que es la más débil.

***Presión de bomba excedida***

La presión en la tubería de perforación es mayor que la presión límite pre-asignada.

***Presión del revestidor***

***excedida*** - Indica que la presión en el lado anular del pozo ha excedido el rango del múltiple de estrangulación o del conjunto preventor de reventones.

**1.3.3.1.2. Automodos**

***Desactivar amago de reventón*** - Previene que cualquier fluido de surgencia imprevista adicional entre al pozo.

***Desactivar pérdida de circulación*** - Previene que las presiones del pozo fracturen la forma-

ción y que el fluido del pozo entre a la formación.

**Malacate automático** - Hace que el simulador perfora automáticamente, manteniendo el peso sobre la broca constante, y agrega tubos automáticamente a la sarta de perforación.

**Estrangulador automático**

#### 1.3.3.1.3. Controles

**Parar (Halt)\*** - Es la manera de "congelar" al simulador. Se descongela el simulador presionando el pulsador **Correr (Run)\***.

**Imprimir**

---

\* Palabra escrita en el pulsador.

*Rápido (Fast)*\* - El simulador puede operar en tiempo real o con un multiplicador de tiempo el cual puede ser hasta 20 veces el tiempo real.

#### 1.3.4. Consola del Malacate

El malacate se ha llamado a menudo el centro de control de fuerza de la torre de perforación, porque en él se encuentran colocados los controles requeridos para el trabajo del equipo.

El simulador tiene un panel de malacate estilo Continental-Emsco que es típico en torres de perforación. Este es el principal panel de control del perforador, con este puede controlar el malacate, las bombas de lodo de perforación, la mesa rotaria y los generadores. El panel está formado por siete controles manuales con las siguientes funciones:

---

\* Palabra escrita en el pulsador.

1. Malacate en poder/desengranado/freno
2. Malacate en alta/baja
3. Tambor en alta/baja
4. Freno auxiliar
5. Embrague de tenazas
6. Embrague de rotaria
7. Freno y acelerador de pedal para motor de malacate

Este panel también tiene cuatro controles de la planta de fuerza, para taladros diesel-eléctricos, aquí se escoge con cuales generadores se quiere trabajar. Con los controles se indica el modo de actividad de los generadores, marchando/marcha mínima/apagado. También tiene una parada de emergencia.

Este panel también tiene seis pulsadores o botones especiales que activan las funciones del manejo de la tubería que es hecha por la cuadrilla en el piso del taladro, estos botones simulan el trabajo de los operarios. Las funciones de los botones son:

- Instalar el kelly
- Remover el kelly
- Enroscar acoplamiento

- Desconectar acoplamiento
- Ajustar tubería
- Desajustar tubería

En la parte superior del panel se encuentran los controles de la unidad SCR (Rectificador de Silicio Controlado), el cual es usado solamente para taladros eléctricos. Este panel de control simula la generación de energía eléctrica y el sistema de distribución con límites de poder, fallas y alarmas. También contiene controles para los cuatro motores eléctricos principales, bomba de lodo 1, bomba de lodo 2, malacate y mesa rotaria.

#### 1.3.5. Consola del perforador

La consola del perforador estilo Martin-Decker, es la fuente de información del perforador de las variables que intervienen durante la perforación. A continuación se dan los indicadores con su respectivo rango de operación y unidades que incluye este panel:

- Carreras de bomba 1, 0 a 200 epm
- Carreras de bomba 2, 0 a 200 epm

- Carreras de bomba de cemento, 0 a 200 epm
- Velocidad de rotaria, 0 a 200 rpm
- Torque de rotaria, 0 a 10000 pie-lb (6944 máx.)
- Indicador de peso sobre la broca/carga al gancho, 0 a 800000 lb

Este panel también incluye registradores para los siguientes parámetros:

#### **Registrador 1 y 2**

- tasa de penetración, 0 a 100 pies/hora
- carga al gancho, 0 a 1000000 lb
- velocidad de rotaria, 0 a 200 rpm
- posición del estrangulador

#### **Registrador 3 y 4**

- desviación de presión en el fondo del hueco, 0 a 20000 lpc
- presión del revestidor, 0 a 3000 lpc
- presión de tubería de perforación, 0 a 3000 lpc
- ganancia/pérdida en piletas

Este panel también incluye un monitor del cual se tiene información instantánea a cerca de la perforación o cuando se realiza un

viaje. Los parámetros que se pueden leer en el monitor son los siguientes:

Perforación	Viajes
-----	-----
Perforación total	Profundidad de broca
Tasa de penetración	Carga al gancho
Carga al gancho	Peso sobre la broca
Peso sobre la broca	Presión de bomba
Presión de bomba	epm de bomba 1
epm de bomba 1	epm de bomba 2
epm de bomba 2	Carreras totales
rpm de rotaria	Volumen de piletas
Torque de rotaria	Gan./pérd. piletas
Volumen de lodo	Línea de flujo
Gan./pérd. piletas	Emboladas de llenado
Línea de flujo	Volumen de llenado
Lodo que entra	Paradas acomodadas
Lodo que sale	Paradas fuera pozo
Unidades de gas	Velocidad del bloque
Tiempo de perforación	Lodo que entra
Tiempo del sistema	Lodo que sale
	Unidad de gas

Todos los parámetros mencionados arriba son actualizados constantemente.

### 1.3.6. Panel monitor de flujo en piletas

Este panel es estilo Martin-Decker. Tiene visualizadores para los siguientes parámetros:

- Medidor de flujo saliente, 0 a 100% (750 gpm)
- Medidor de ganancia/pérdida en piletas,  $\pm$  50 bbl
- Medidor de volumen de viaje, 0 a 100 bbl
- Medidor de volumen total de lodo, 0 a 2000 bbl
- Visualizador digital de emboladas
- Visualizador digital de emboladas/minuto
- Visualizador digital de emboladas de llenado

### 1.3.7. Panel de control BOP en tierra

Este panel es estilo NL Shaffer. El arreglo de los arietes del BOP puede fácilmente ser cambiado por el usuario a cualquier configuración práctica que desee. Este panel incluye 4 medidores para los siguientes parámetros:

- Presión del anular, presión suministrada al preventor del anular por el acumulador.

- Presión del acumulador, presión para energizar todas las acciones de apertura y cierre del BOP.
- Presión del múltiple.
- Presión neumática del taladro, presión usada para enviar señales neumáticas desde el panel de control al acumulador.

El panel también incluye un regulador de presión del anular, y las cuatro válvulas de operación listadas a continuación:

- Línea de matado abierta/cerrada
- Línea de estrangulación abierta/cerrada
- Desviación del múltiple
- Suministro manual de aire maestro

#### 1.3.8. Panel estrangulador remoto

El panel duplica a un panel Super Estrangulador SWACO el cual incluye los siguientes medidores y controles:

##### Medidores

---

Presión de tubería de perforación

Presión del revestidor

Posición del estrangulador

Visualizador digital de emboladas por minuto

Visualizador digital contador de emboladas

#### ----- Controles

Estrangulador abierto/cerrado

Tasa de ajuste del estrangulador

Restaurador de contador de emboladas

Selector de bomba 1-2

Selector de estrangulador 1-2

#### 1.3.9. Múltiple de tubo vertical

El múltiple de tubo vertical de este simulador incluye lo siguiente:

- Línea de bomba 1/cemento
- Línea de bomba 2
- Línea de llenado completo
- Línea de matado
- Tubo vertical doble

#### 1.3.10. Múltiple de estrangulación

El múltiple de estrangulación estándar de este simulador incluye lo siguiente:

- Válvula desviadora
- Estrangulador manual y válvulas (2)
- Estrangulador hidráulico y válvulas (2)

#### 1.3.11. Sistema Computarizado de Gráficos

El simulador está equipado con el sistema computarizado de gráficos a color Digigraphics (TM) que exhibe todas las funciones del manejo de la sarta de perforación en un monitor a color.

Además de la representación visual de la sarta de perforación, el sistema computarizado de gráficos muestra el conjunto preventor de reventones, las piletas de lodo de perforación, el niple de campana y la línea de flujo. Todos los elementos son completamente animados en respuesta a las acciones que el usuario da al simulador.

Otra particularidad importante es que se puede visualizar las condiciones hueco abajo en la pantalla del monitor. El pozo es mostrado en un corte transversal a escala exacta, con la sarta de perforación, el revestidor superficial, los fluidos del pozo son

mostrados en la posición exacta que ocupan en el pozo. En caso de haber fracturas, estas aparecen en el punto donde se ocasionó el fracturamiento.

## C A P I T U L O    I I

### PROGRAMA DE PERFORACION AVANZADA Y CONTROL DE POZO

El software es un conjunto de programas y ayudas de programas que se utilizan en una computadora para facilitar al usuario una operación eficiente del equipo.

El programa que utiliza el simulador de perforación es el "Programa Avanzado de Perforación y Control de Pozo", PAPCP, (Advanced Drilling and Well Control Program, ADWCP). Con dicho programa el usuario tiene la capacidad de configurar su equipo de perforación y programar su pozo.

#### 2.1. GEOMETRIA DEL POZO

##### 2.1.1. Geometría del anular

Comprende el revestidor superficial, revestidores auxiliares\*, y el hueco abierto.

El programa PAPCP permite dos secciones de tubería de revestimiento auxiliar.

Los datos que hay que suministrar para definir la geometría del anular son los siguientes:

#### **Sarta de revestimiento superficial**

*Longitud:* medida desde la superficie hasta el asiento.

*I.D.:* diámetro interno.

#### **Revestidor auxiliar\* # 1**

*Longitud:* extendida desde el fondo de la tubería de revestimiento superficial.

*I.D.:* diámetro interno.

#### **Revestidor auxiliar\* # 2**

*Longitud:* extendida desde el fondo del revestidor auxiliar # 1.

*I.D.:* diámetro interno.

#### **Hueco abierto**

*Longitud:* medida desde el asiento del revestidor último.

---

\* Traducción de palabra en inglés "Liner".

**Tamaño de la broca**

Se refiere al diámetro del hueco que es hecho por la broca.

**2.1.2. Sarta de Perforación****2.1.2.1. Tubería de Perforación**

El programa PAPCP permite usar una sarta de la tubería de perforación ahusada, es decir, la tubería de perforación puede estar compuesta por dos secciones.

**Tubería de perforación superior**

*Longitud:* extendida desde la superficie.

*O.D.:* diámetro externo.

*I.D.:* diámetro interno.

*Peso:* peso de tubería por pie de longitud.

*Delta de presión*

**Tubería de perforación inferior**

*Longitud:* extendida desde la parte inferior de la tubería de perforación superior.

*O.D.:* diámetro exterior.

*I.D.:* diámetro interior.

*Peso:* peso de la tubería por pie de longitud.

*Delta de presión*

#### 2.1.2.2. Lastrabarrenas

*Longitud:* medida desde la parte inferior de la tubería de perforación hasta la broca.

*O.D.:* diámetro exterior.

*I.D.:* diámetro interior.

*Peso:* peso de lastrabarrena por pie de longitud.

En esta misma página de definición del pozo se puede cambiar el peso del bloque viajero y el peso del kelly.

## 2.2. CARACTERISTICAS DE LAS FORMACIONES

El programa permite introducir hasta diez formaciones diferentes, cada formación puede tener un espesor máximo de 9999 pies.

### 2.2.1. Parámetros de Perforación de Formaciones

Hay cinco diferentes parámetros que se necesitan definir para cada formación. Estos parámetros son los siguientes:

- Espesor de la formación
- Perforabilidad
- Exponente de velocidad de rotación
- Abrasividad
- Peso para perforar

Perforabilidad es un número sin unidad entre 1 y 100; donde 100 representa una alta perforabilidad y números bajos representan una baja perforabilidad (lutita dura, arena cementada)

Abrasividad es un número entre 1 y 10 usado para determinar el desgaste en la broca; a mayor número la broca se desgastará más rápidamente.

Peso para perforar es el peso mínimo que debe ser aplicado sobre la broca para que se pueda perforar. Si el peso sobre la broca aplicado es menor el simulador no perforará.

### 2.2.2. Parámetros de Fluidos de Formación

Los parámetros de fluido de formación que pueden ser definidos son los siguientes:

- Tipo de fluido; este puede ser gas, petróleo o agua
- Gradiente de presión de formación
- Permeabilidad de la formación
- Viscosidad del fluido de formación
- Gravedad específica del fluido
- Gradiente de fractura de la formación

### 2.3. PARAMETROS DEL SISTEMA

En esta etapa configuramos el taladro de perforación.

#### 2.3.1. Bombas del Taladro

El programa permite dos bombas de lodo y una bomba de cemento. Los parámetros que hay definir para cada bomba son los siguientes:

- Forro; diámetro interno de la camisa del cilindro.
- Carrera; longitud de la carrera del émbolo.
- Diámetro de varilla, diámetro del vástago, solamente cuando se trata de una bomba

duplex.

- Tipo, triplex o duplex.
- Eficiencia Volumétrica.
- Límite de presión, es la presión máxima que puede dar la bomba. Si la bomba excede esta presión se daña.
- Diámetro del estrangulador de orificio.

### 2.3.2. Sistema Acumulador

El software del sistema acumulador le permite fijar el sistema acumulador. Esto determinará cuanta presión el sistema puede proporcionar al preventor de reventones. El volumen para abrir y cerrar y segundos para abrir y cerrar pueden ser pre-asentados para duplicar diversos tipos de preventores de reventones.

### 2.3.3. Brocas de Perforación

La selección precisa de la broca ayuda a asegurar la perforación más rápida y libre de problemas.

Para seleccionar el tipo de broca el programa permite entrar el código IADC. También existe otra manera de seleccionar el tipo de broca,

la cual consiste en escoger un número entre 0 y 9, donde 1 representa a una broca para formaciones suaves y 9 representa una broca para formaciones duras.

Entre los parámetros de la broca están: tamaño de los jets (hasta 4 jets), P, Q, C1, C2, factor de torque, constante de cojinete, factor de vida del cojinete, perforabilidad óptima. Todos estos parámetros pueden ser cambiados por el usuario. El programa tiene almacenados modelos de brocas.

#### **2.3.4. Parámetros del Sistema de Lodo**

Los parámetros del sistema de lodo que pueden ser cambiados son el peso, viscosidad plástica y el punto cedente. El programa automáticamente calcula la viscosidad plástica y el punto cedente cuando se ingresa el peso del lodo, ya que son funciones de este. Se puede trabajar con viscosidad plástica y punto cedente diferentes al proporcionado por la computadora ingresando los nuevos valores.

En esta misma página se define el fluido inicial en el estrangulador y líneas de

matado.

### 2.3.5. Sistema de Energía

La planta motriz es el corazón de la torre de perforación. La energía producida por la planta motriz del equipo de perforación se usa principalmente para operaciones, (1) rotación, (2) elevación (malacate), y (3) circulación del fluido de perforación (bombas).

La fuerza para una torre de perforación es suministrada normalmente por máquinas de combustión interna y electricidad o una combinación de estas plantas.

Casi todas las torres utilizan motores de combustión interna para la mayor parte de su energía.

Una torre dependiendo de su tamaño y el tamaño del hueco que tiene que perforar, puede tener 2 o 4 motores. Mientras más grande sea la torre, más profundo puede hacer el hueco y más energía utiliza.

Para seleccionar adecuadamente las diferentes partes del equipo, se debe tener un conocimiento completo de los requerimientos de energía para elevación, rotación y circulación.

El sistema Diesel-eléctrico tiene un número de ventajas sobre los sistemas mecánicos. Este sistema elimina la transmisión por cadenas y la transmisión compuesta que son tan complicadas y pesadas.

Hay que definir el rango de potencia de cada generador. Son cuatro generadores iguales.

También el rango de potencia y eficiencia de los motores para:

- bomba de lodo # 1
- bomba de lodo # 2
- bomba de cemento
- mesa rotaria
- malacate (paralelo)

Por último, hay que dar la capacidad de levantamiento en cada una de las cuatro marchas del malacate. Estas marchas son las

siguientes:

- tambor baja y malacate baja
- tambor baja y malacate alta
- tambor alta y malacate baja
- tambor alta y malacate alta

## C A P I T U L O    I I I

### A P L I C A C I O N

#### 3.1. DATOS

##### REVESTIDOR SUPERFICIAL

Longitud:                    2015 pies  
Diámetro interno:        10.75 pulgadas

##### HUECO ABIERTO

Longitud:                    6945 pies

##### TAMAÑO DE LA BROCA

Diámetro de broca:        9.875 pulgadas

##### TUBERIA DE PERFORACION

Longitud:                    8402 pies  
Diámetro externo:        4.50 pulgadas  
Diámetro interno:        3.833 pulgadas  
Peso:                        16.6 libras/pie  
Delta de presión:        5000 lpc

**LASTRABARRENAS**

Longitud: 558 pies  
 Diámetro externo: 7 pulgadas  
 Diámetro interno: 2.8125 pulgadas  
 Peso: 90 libras/pie  
 Delta de presión: 2000 lpc

**BLOQUE VIAJERO**

Peso: 50000 libras

**KELLY**

Peso: 10000 libras

**PARAMETROS DE LA BROCA**

Diámetro boquilla #1: 13/32avo pulgada  
 Diámetro boquilla #2: 13/32avo pulgada  
 Diámetro boquilla #3: 12/32avo pulgada  
 Número de modelo: 6  
 Factor de torque de broca\*: 1  
 Perforabilidad óptima de foramción\*: 40.00  
 Constante del cojinete\*: 2  
 Factor de vida del cojinete\*: 1.2  
 P(.5-2.5)\*: 1.20  
 Q(.2-1.1)\*: 0.522

---

\* Dato proporcionado por el simulador pero puede ser modificado por el usuario.

C1(2 - 7)*:	4.00
C2(.7-2.)*:	1.2

### BOMBAS DEL TALADRO

#### Bomba de Lodo #1:

Diámetro cilindro:	6 pulg
Carrera:	10 pulg
Tipo:	Triplex
Eficiencia volumétrica:	95%
Volumen de producción:	0.0831 bbl
Presión límite:	3500 lpc

#### Bomba de Lodo #2:

Diámetro cilindro:	6 pulg
Carrera:	10 pulg
Tipo:	Triplex
Eficiencia volumétrica:	95%
Volumen de producción:	0.0831 bbl
Presión límite:	3200 lpc

#### Bomba de cemento:

Diámetro cilindro:	2 pulg
Carrera:	4 pulg
Tipo:	Triplex

---

\* Dato proporcionado por el simulador pero puede ser modificado por el usuario.

Eficiencia volumétrica: 100%  
Volumen de producción: 0.0039 bbl  
Presión límite: 10000 lpc

#### PARAMETROS DE LAS FORMACIONES

Solamente se describirá la litología de las formaciones de interés.

Formación número 5: tiene una profundidad de 7480 pies; espesor de 1482 pies; compuesta de arcilla, capas delgadas de arenisca y lutita. Se le asignó una perforabilidad de 75 y una abrasividad de 3. Ver Tabla I.

Formación número 6: profundidad igual a 8962 pies; espesor de 1036 pies; compuesta por areniscas, lutitas y calizas. Se le asignó una perforabilidad de 40 y una abrasividad de 4. Ver Tabla I.

#### PARAMETROS DE FLUIDOS EN FORMACIONES

Ver Tabla II.

#### SISTEMA DE LODO

Peso: 9.4 libras/galón  
Viscosidad plástica: 6 cp  
Punto cedente: 12 lb/100 pie<sup>2</sup>

#	Espesor form (pies)	Prof form (pies)	Perfora- bilidad	Exponente velocidad rotación	Abrasividad	PF (lb)
1	2015	0	99	0.6	1	0
2	3602	2015	80	0.6	1	0
3	491	5617	60	0.6	1	0
4	1372	6108	45	0.6	1	0
5	1482	7480	75	0.5	3	10000
6	1036	8962	40	1.0	4	15000
7	143	9998	40	0.8	4	20000

TABLA I PARAMETROS DE LAS FORMACIONES

#	Espesor form (pies)	Prof form (pies)	Fluido form	Grad form	Permb form (md)	Visc (cp)	G.E.	Grad fract
1	2015	0	ninguno	9.0	0.0	0.0	0.0	13.0
2	3602	2015	ninguno	9.0	0.0	0.0	0.0	13.2
3	491	5617	ninguno	9.0	0.0	0.0	0.0	13.5
4	1372	6108	ninguno	9.0	0.0	0.0	0.0	13.5
5	1482	7480	ninguno	9.0	0.0	0.0	0.0	14.0
6	1036	8962	ninguno	9.5	0.0	0.0	0.0	15.0
7	143	9998	ninguno	10.0	0.0	0.0	0.0	16.0

TABLA II PARAMETROS DE FLUIDOS EN FORMACION

**PLANTA DE FUERZA**

Rango de potencia de cada generador (KVA): 750

Motor de:	Rango de Potencia (KW)	Eficiencia
Bomba de lodo #1	550	85%
Bomba de lodo #2	550	85%
Bomba de cemento	550	85%
Mesa rotaria	225	85%
Malacate	4000	70%

**CAPACIDAD DE LEVANTAMIENTO DEL MALACATE**

Malacate baja - tambor baja: 1636100 libras

Malacate alta - tambor baja: 916803 libras

Malacate baja - tambor alta: 521158 libras

Malacate alta - tambor alta: 292147 libras

**ACUMULADOR**

Tamaño del sistema acumulador: 288

Presión inicial del acumulador: 3000 lpc

	Volumen abrir	Volumen cerrar	Segundos abrir	Segundos cerrar
Esférico	29.5	29.5	10	10
Ariete	5.9	5.9	5	5
Válvula	0.5	0.5		

### 3.2. RESULTADOS

En la Tabla de resultados solamente constarán aquellos parámetros que estén directamente relacionados con el propósito de este trabajo.

Ver Tabla III para detalles.

Prof	PSB	VR	TB	TP	DCB	DDB	Torq	PC	PPB	%PPB	EP
8960.4	28870	65.7	131	10.1	0	0	743.6	1741	1323	76.0	0.4
8960.6	29577	65.7	131	10.5	0	0	761.2	1726	1312	76.0	0.6
8980.1	29510	66.2	130	36.5	3	5	493.5	1732	1315	75.9	20.1
8994.2	29461	66.2	130	35.6	5	7	493.0	1730	1313	75.9	34.2
8960.2	35028	63.9	129	13.3	0	0	879.2	1692	1283	75.8	0.2
8964.8	35011	64.5	129	50.7	1	1	556.2	1692	1283	75.8	4.8
9000.1	34865	64.5	128	48.0	5	7	554.6	1681	1272	75.7	40.1
9062.5	34612	64.5	129	44.4	12	15	551.9	1696	1283	75.6	102.5
8960.3	44925	62.6	130	18.3	0	0	1125.4	1700	1296	75.8	0.3
8962.9	45175	65.7	130	78.2	1	1	718.4	1709	1296	75.8	2.9
9000.1	44978	65.8	130	74.8	5	5	716.2	1710	1296	75.8	40.1
9060.0	44664	65.8	130	70.4	11	12	712.2	1712	1296	75.7	100.0
8960.1	25217	49.0	100	7.1	0	0	487.2	1065	774	72.7	0.1
8964.4	25202	49.4	100	19.8	1	2	324.7	1065	774	72.7	4.4
9000.2	25097	49.4	100	18.2	6	10	324.1	1066	774	72.6	40.2
9060.0	24923	49.4	100	16.3	14	21	323.0	1067	774	72.5	100.0
8960.2	45004	50.5	100	16.6	0	0	910.2	1065	774	72.7	0.2
8963.8	44985	51.2	100	59.8	1	1	557.7	1065	774	72.7	3.8
9001.4	44787	51.2	100	57.8	5	5	555.7	1066	774	72.6	41.4
9060.1	44481	51.2	100	55.1	11	11	552.7	1068	774	72.5	100.1

TABLA III RESULTADOS DEL SIMULADOR

## ANALISIS DE RESULTADOS

La broca de perforación tiene un diámetro de 9.875 pulgadas, por lo que el peso que se debe aplicar sobre ella para que opere más eficientemente debe estar comprendido entre 29625 - 49375 libras. Este es el rango de operación para dicha broca.

Se realizó una corrida en el simulador RS1000, con un peso sobre la broca de 25000 libras promedio, menor que el rango de operación descrito anteriormente, y resultó que el desgaste de dientes y cojinetes fue muy elevado para un intervalo perforado de solamente 100 pies, 21 y 14% respectivamente. Manteniendo constantes la velocidad de rotación igual a 49.4 rpm aproximadamente y la tasa de bombeo igual a 100 epm, se volvió a perforar el mismo intervalo pero con un peso sobre la broca de 45000 libras promedio, obteniendo un desgaste de la broca más bajo que el anterior, 11% tanto para dientes como para cojinetes. Lo que demuestra que para alargar la vida útil de la broca tenemos que mantenernos dentro del rango de operación de la misma.

Otra prueba se realizó manteniendo la velocidad de rotación y la tasa de bombeo constantes, 65 rpm y 130 epm promedio respectivamente. Se varió el peso sobre la broca de 29000 a 35000 y a 45000 libras, lo cual está dentro

del rango de operación aconsejable, como se puede apreciar en la Tabla III. Encontrándose que a mayor peso sobre la broca el desgaste de la misma en general disminuye, y la tasa de perforación aumenta considerablemente, ver Gráficos I y II.

Manteniendo el peso sobre la broca de 45000 libras constante, pero disminuyendo la velocidad de rotación de 65 a 50 rpm aproximadamente y la tasa de bombeo de 130 a 100 epm, se puede observar que ocurre una disminución en la tasa de perforación y el desgaste de la broca es casi igual. A la velocidad de rotación y a la tasa de bombeo se las redujo en un 23% aproximadamente, y se encontró que la tasa de perforación también decrece en alrededor de ese porcentaje.

El alto grado de desgaste de la broca, para todos los casos en general, puede también deberse en gran parte a la abrasividad de la formación.

Es de notar que algo curioso ocurre en la formación 5. Esta tiene una perforabilidad de 75, siendo una formación más suave que la formación 6 que tiene una perforabilidad de 40. La tasa de perforación es mucho menor en la formación 5, esto es debido a que la broca se embolada en la formación suave.

rpm=65 epm=130

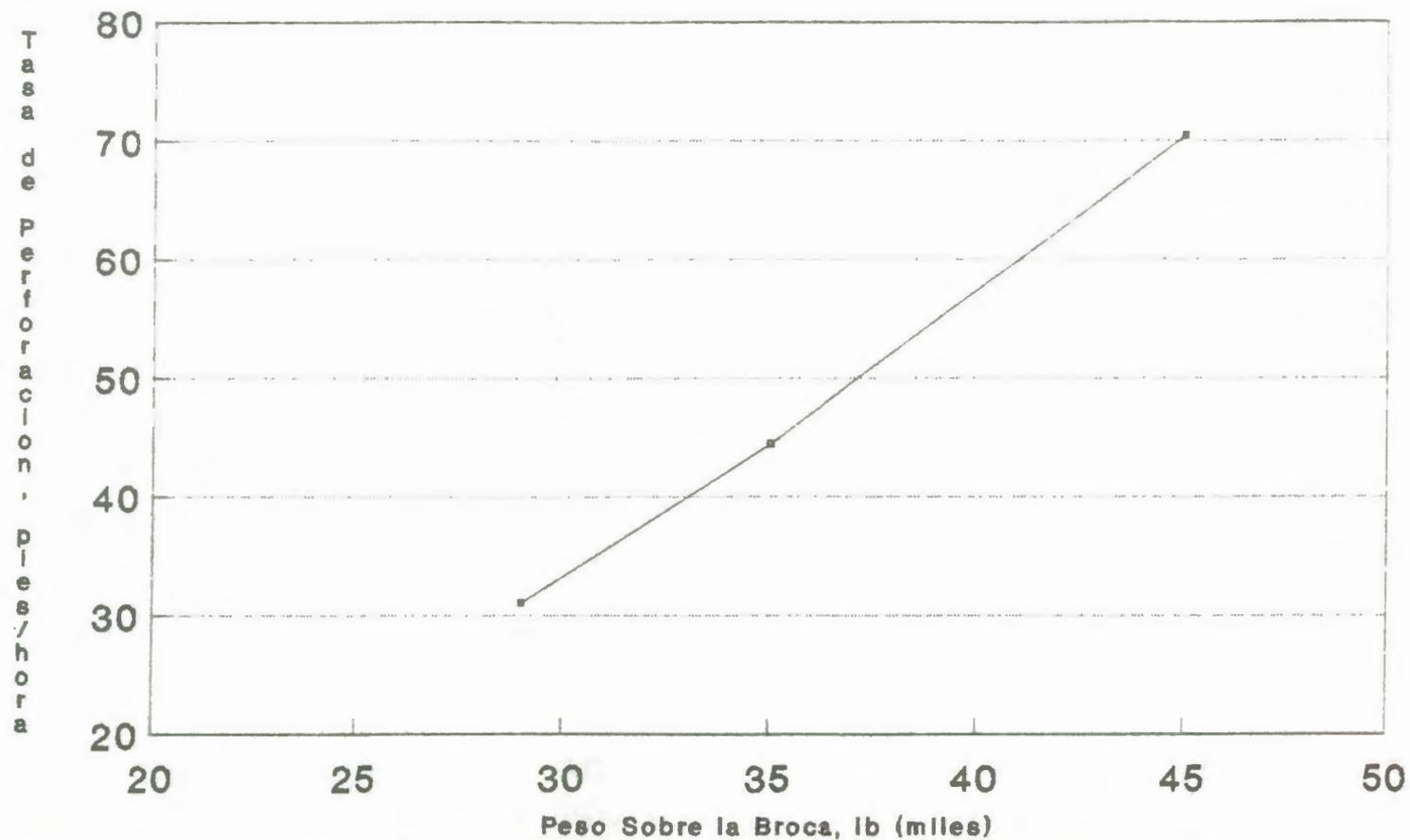


GRAFICO I Efecto del Peso sobre Broca en Tasa Perforacion

rpm=50 epm=100

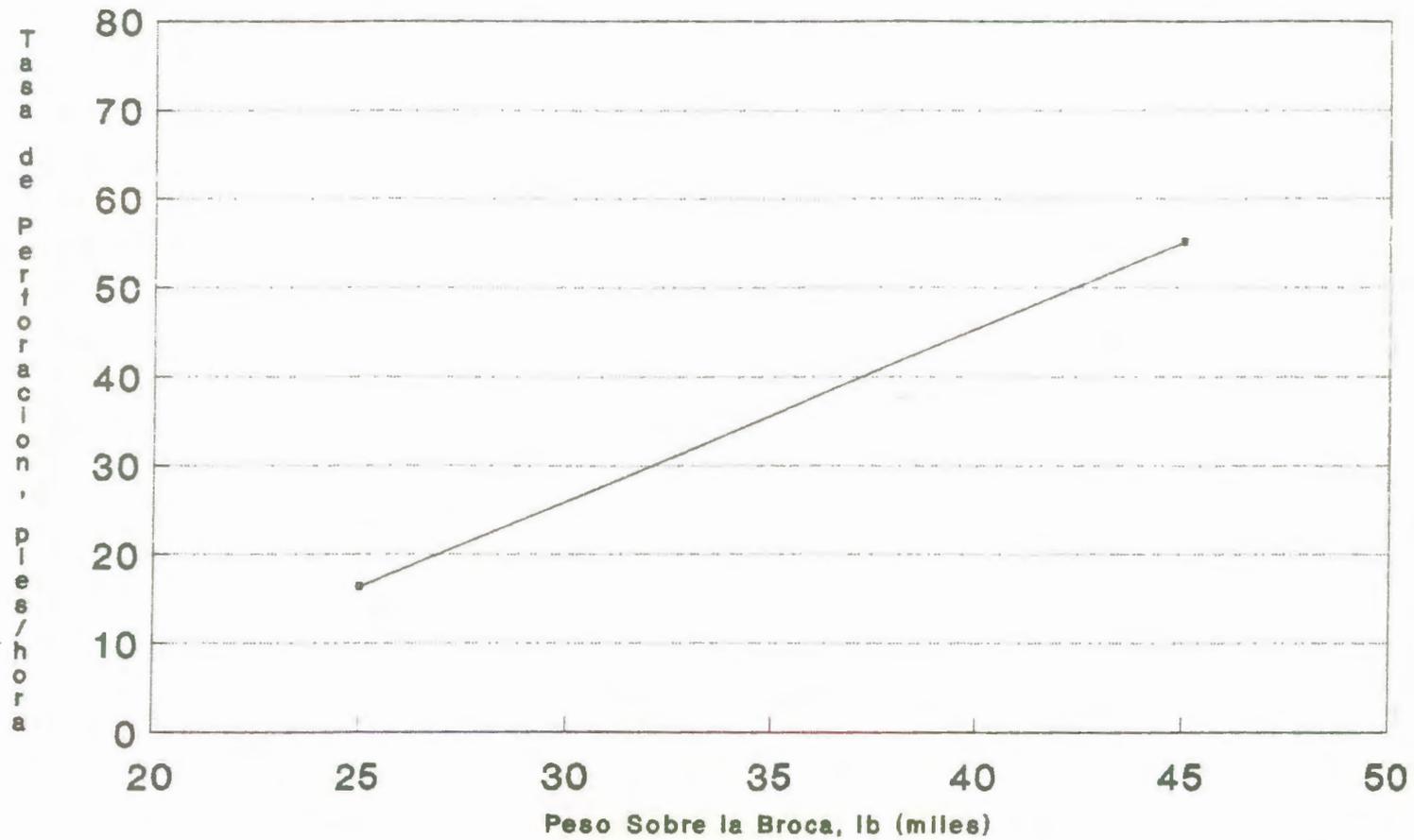


GRAFICO II Efecto del Peso sobre Broca en Tasa Perforacion

Vale la pena mencionar que el porcentaje de caída de presión en la broca para este ejemplo es muy elevado, nos dió como resultado alrededor del 75% cuando la tasa de bombeo es de 130 epm, y del 72% cuando la tasa de bombeo es de 100 epm. Como regla se tiene que para una buena hidráulica la caída de presión en la broca debe estar entre 50 a 60% de la presión en superficie. En estudios posteriores se puede tratar de optimizar esto.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La tasa de perforación generalmente se incrementa cuando se aumenta el peso sobre la broca, dentro del rango de operación aconsejado. Esto ocurre en formaciones clasificadas como duras.
- 2.- El desgaste de la broca es mayor cuando se perfora con un peso sobre la broca en el límite inferior del rango de operación.
- 3.- La tasa de perforación se incrementa con el aumento de la velocidad de rotación.
- 4.- Cuando se perfora con pesos sobre la broca fuera del rango de operación aconsejable, el desgaste de esta es demasiado elevado.
- 5.- El tiempo de vida de la broca es muy corto a estas condiciones de operación. Se obtienen tasas de perforación elevadas, pero se sacrifica la vida útil de la broca. Para esta formación, el número de modelo de broca 6 podría dar mayor tiempo de trabajo, variando los parámetros peso sobre la broca, velocidad de rotación, presión de circulación, así como las propiedades del lodo de perforación, reduciendo posiblemente tiempo de viajes por cambio de broca, lo cual conlleva a ahorro de costos.

- 6.- Se recomienda que los programas de perforación de pozos sean corridos primero en el simulador antes de pasarlos al campo para su ejecución. Es posible que se puedan optimizar dichos programas.
- 7.- Se recomienda que la ESPOL haga un convenio con PetroEcuador para que permita el uso del simulador de perforación RS1000 como Laboratorio, lo cual beneficiaría a los futuros profesionales y por ende al País.
- 8.- Se recomienda que el Centro de Capacitación Guayaquil adquiera software (y otros accesorios) opcional de tecnología avanzada de lodo de perforación para el simulador RS1000. El propósito es de trabajar en forma conjunta el Laboratorio de Lodos de Perforación de la ESPOL y el simulador de perforación. Se podrían realizar cálculos hidráulicos, volumétricos, etc, así como observaciones de columnas hidrostáticas.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Cardozo N., Nelson E.: "Metodología para analizar y resolver problemas de perforacion", Universidad del Zulia, Venezuela, 1980, pp 35-234.
- 2.- "Drilling Engineering", Volume I, NL Career Development Center/NL Industries Inc.
- 3.- "Manual del Operador", DIGITRAN RS1000 Rig Floor Simulator.
- 4.- McCray, Arthur W.; Cole, Frank W.: "Tecnología de la perforación de pozos petroleros", C.E.C.S.A., México, 1970.
- 5.- Mendieta, Mario: "Análisis de lodo base agua, bajo contenido de sólidos y no disperso usado por el consorcio CEPE-TEXACO en la región oriental" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, ESPOL, 1988).
- 6.- Sarmiento G., Freddy: "Introducción al Control de Fluidos de Perforación", Centro de Capacitación Guayaquil, Seminario, 1989.