



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGIA,
MINAS Y PETROLEO**

**"ANALISIS DE LODO BASE AGUA, BAJO
CONTENIDO DE SOLIDOS Y NO DISPERSO
USADO POR EL CONSORCIO CEPE - TEXACO
EN LA REGION ORIENTAL"**

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO EN PETROLEO

PRESENTADO POR:

MARIO FRANCISCO MENDIETA VILLALVA

**GUAYAQUIL - ECUADOR
1988**



**BIBLIOTECA FIC:
ESPOL**

DECLARACION EXPRESA

BIBLIOTECA



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

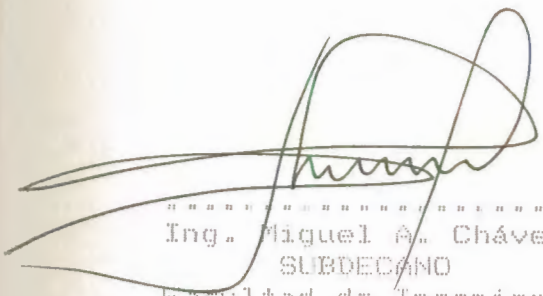
"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reclamo de Exámenes y Titulos Profesionales de ESPOL).

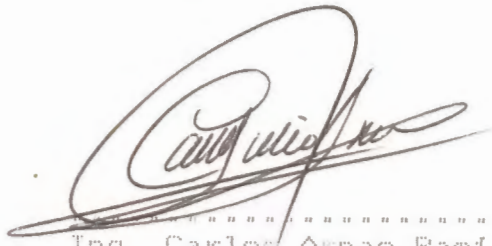


BIBLIOTECA FIC1
ESPOL


.....
MARIO FRANCISCO MENDIETA VILLALVA



.....
Ing. Miguel A. Chávez
SUBDECANO
Facultad de Ingeniería en
Geología, Minas y Petróleo



.....
Ing. Carlos Arnau Ramirez
DIRECTOR DE TESIS



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**



.....
Ing. Kléber Malavé
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....
Ing. José Cabezas
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

AGRADECIMIENTO



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
A "CONSORCIO CEPE-TEXACO"
A "MILPARK DRILLING FLUIDS"

RESUMEN

El Consorcio CEPE-TEXACO produce alrededor de 220.000 BPD de crudo de 14 campos. Se ha perforado unos 260 pozos y se perforan actualmente cerca de 12 por año.

Las formaciones productoras se encuentran en el intervalo de los 8.000-10.000 pies de profundidad. El lodo que comúnmente se usa es de base agua fresca, bajo contenido de sólidos y no disperso.

Las arcillas de formación ingresan al sistema de circulación del lodo de una manera significativa, debido a que el equipo de control de sólidos usado en la torre de perforación no cumple a cabalidad su objetivo, dando paso a un incremento de sólidos no recomendado para este tipo de fluido.

Durante mi etapa como estudiante de la ESPOL he podido realizar algunas prácticas en el Oriente y conocer de cerca los métodos y problemas de la perforación en el Consorcio CEPE-TEXACO. De aquí nació la idea de hacer esta tesis la cual presenta un estudio de los diferentes parámetros que intervienen en la hidráulica de perforación y el control de sólidos.

Con el uso de el modelo de la Ley Exponencial estudiamos el comportamiento del fluido en el espacio anular y con este modelo pueden obtenerse valores altos y bajos de n y



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

K, los cuales dependen de las propiedades reológicas del fluido y otros parámetros de superficie. Se obtienen también valores de caídas de presión, limpieza del pozo, un análisis hidráulico en la broca, etc. Analizando los valores anteriores en conjunto se presenta una alternativa para optimizar la perforación en el Oriente.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XI
INTRODUCCION	14
I GENERALIDADES	15
1.1 Condiciones geológicas de la cuenca Noro- riental Ecuatoriana	15
1.2 Lodos base agua, bajo contenido de sólidos y no disperso	20
1.3 Control de sólidos	22
1.3.1 Clasificación de los sólidos	23
1.3.2 Efecto de los sólidos en las propie- dades reológicas	27
1.3.3 Técnicas de control de sólidos	27
1.4 Aparatos mecánicos	28
1.4.1 Zaranda	28
1.4.2 Principio de los hidrociclones	31



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



	Fág.
1.4.3 Desarenador	35
1.4.4 Desarcillador	38
1.4.5 Limpia-lodos (Mud-cleaner)	39
1.4.6 Centrifuga	42
 II ANALISIS DEL PROBLEMA DE HIDRATACION DE LAS ARCILLAS EN EL LODO QUE USA EL CONSORCIO CEPE- TEXACO	 46
2.1 Cálculo de las arcillas activas dentro de un lodo de perforación	49
2.2 Una alternativa para solucionar el problema de incorporación de sólidos en el lodo	52
 III INFLUENCIA DE LOS SOLIDOS EN EL CONTROL HIDRAU- LICO	 54
3.1 Revisión del modelo hidráulico de la ley Exponencial	56
3.2 Efecto de los valores n y K en las propie- dades reológicas	62
3.2.1 Aplicaciones de campo de n y K	65
3.3 Programa computacional del modelo hidráulico de la ley Exponencial	69

ANALISIS DE RESULTADOS

PÁG.

78

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

82

ANEXOS

84

BIBLIOGRAFIA

123



FACULTAD DE CIENCIAS
EN CIENCIAS DE LA TIERRA



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
1 FORMACIONES Y PROFUNDIDADES ATRAVEZADAS EN EL POZO GUANTA 6	21
2 CONTENIDO DE SOLIDOS	25
3 TIPOS DE ZARANDA	30
4 ESQUEMA DE UN HIDROCICLON	32
5 RANGOS DE OPERACION DEL CICLON	34
6 DESCARGA DE ASPERSION	37
7 DESCARGA A CHORRO	37
8 ESQUEMA DE UN LIMPIADOR DE LODO	40
9 SECCION TRANSVERSAL DE UNA CENTRIFUGA	43
10 TENSION DE CORTE vs VELOCIDAD DE CORTE PARA UN LODO TIPICO	59
11 COMPARACION ENTRE LOS MODELOS PLASTICO DE BINGHAN Y LEY EXPONENCIAL CON UN LODO TIPICO	60
12 GRAFICO LOG-LOG PARA CALCULOS DE n Y K	61
13 PERFIL DE LA VELOCIDAD	63
14 VARIACION DE n Y K A BAJA VELOCIDAD DE CORTE	66



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

INDICE DE TABLAS

		Pág.
I	PROPIEDADES DEL LODO EN EL INTERVALO DE 5500-8000 PIES	86
II	PROPIEDADES DEL LODO EN EL INTERVALO DE 8000-PT PIES	86
III	DATOS DE LABORATORIO	87
IV	DIAMETROS DE LAS GEOMETRIAS DEL POZO	88
V	TIEMPO DE HIDRATACION Y RENDIMIENTO DE LA ARCILLA	89
VI	DIAMETROS DE LAS GEOMETRIAS DEL POZO	89
VII	LONGITUDES DE LAS GEOMETRIAS DEL POZO	90
VIII	DATOS TOMADOS EN EL CAMPO	91
IX	DATOS TOMADOS EN EL CAMPO	92
X	VALORES ALTOS Y BAJOS DE TENSION DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 1, 2, 3, 4, 5 Y 6	93
XI	VALORES ALTOS Y BAJOS DE TENSION DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 7, 8, 9, 10, 11 Y 12	94



**BIBLIOTECA FIC1
ESPOL**



XII	VALORES ALTOS Y BAJOS DE TENSION DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 13, 14, 15, 16, 17 Y 18	95
XIII	REGIMENES DE FLUJO Y CAIDAS DE PRESION PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DUURANTE LOS DIAS 1, 2, 3, 4, 5 Y 6	96
XIV	REGIMENES DE FLUJO Y CAIDAS DE PRESION PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 7, 8, 9, 10, 11 Y 12	97
XV	REGIMENES DE FLUJO Y CAIDAS DE PRESION PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 1, 2, 3, 4, 5 Y 6	98
XVI	LIMPIEZA DEL POZO PARA CADA GEOMETRIA DEL MISMO Y CAIDA DE PRESION TOTAL EN EL ESPACIO ANULAR PARA LOS DIAS 1, 2, 3, 4, 5 Y 6	99
XVII	LIMPIEZA DEL POZO PARA CADA GEOMETRIA DEL MISMO Y CAIDA DE PRESION TOTAL EN EL ESPACIO ANULAR PARA LOS DIAS 7, 8, 9, 10, 11 Y 12	100
XVIII	LIMPIEZA DEL POZO PARA CADA GEOMETRIA DEL MISMO Y CAIDA DE PRESION TOTAL EN EL ESPACIO ANULAR PARA LOS DIAS 13, 14, 15, 16, 17 Y 18	101

	Pág.
XIX ANALISIS HIDRAULICO DE LA BROCA	102
XX ANALISIS HIDRAULICO DE LA BROCA	103
XXI DATOS TOMADOS EN EL CAMPO	104
XXII VISCOSIDAD PLASTICA Y DIAMETROS INTERNOS DE LA TUBERIA DE PERFORACION	105
XXIII CAIDAS DE PRESION EN EL INTERIOR DE LA TUBERIA DE PERFORACION	106
XXIV ANALISIS TOTAL DE LAS CAIDAS DE PRESION	107



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 CONDICIONES GEOLOGICAS DE LA CUENCA NORORIENTAL ECUATORIANA

A continuación se realiza detalladamente, por intervalos de profundidad, una revisión de los tipos de formación encontrados y brevemente se explica las condiciones del lodo que se utiliza.

1.- Intervalo de 0 - 2.500 pies

Al inicio de la perforación se atraviesa zonas que corresponden a edades recientes del Pleistoceno, compuestas de arenas saturadas de agua, arcillas y conglomerados.

El lodo esta compuesto de agua, bentonita y cáustica, manteniéndose propiedades adecuadas de viscosidad y pH. La viscosidad de embudo se encuentra en un rango de 30-32 seg y el pH se lo mantiene en 10.

Debido a la alta tasa de penetración, el equipo de control de sólidos debe funcionar a toda su capacidad, debiéndose mantener una dilución constante, de tal manera que se impida el aumento excesivo de sólidos en el lodo. Los sólidos deben de

¿Esto es geología?

ser mantenidos en un rango de 3 a 4%.

2.- Intervalo de 2.500 - 5.000 pies

Esta zona corresponde al Mio-plioceno no dividido, compuesta principalmente de arcillolitas multicolores predominando de rojo a café, siendo también amarilla y gris, todas suaves. Se encuentran en esta zona pequeñas intercalaciones de arcillas y anhidritas.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

El lodo se encuentra muy influenciado por las arcillas nativas, las cuales se incorporan significativamente elevando la viscosidad y proporcionando mayor arrastre de ripios. La densidad del lodo se mantiene en un rango de 8.9 a 9.1 promedio, por medio de dilución y mediante el uso de aparatos de control de sólidos. El porcentaje de sólidos se trata de mantener en los valores más bajos posibles, generalmente alrededor del 4%.

Hay que indicar que en este intervalo, al lodo no se le agrega arcilla comercial, pues solo se abastece de la arcilla nativa que encuentra a su paso. Los problemas que se observan en esta zona son frecuentes, debido a que no se ejerce en el lodo ningún control del filtrado que ingresa a la formación, con la siguiente hidratación de las formaciones y posteriores derrumbes.

Con el paso del tiempo el problema se torna más severo, pues las formaciones desprotegidas absorben más agua tornándose peligrosa la continuación de la perforación. Para corregir en algo el problema del derrumbe, cuando se reinicia la perforación luego de haberla paralizado por un cambio de broca, se aconseja circular el lodo por espacio de 1 a 2 horas, tratando de limpiar el pozo.

3.- Intervalo de 5500 - 8000 pies

Esta zona corresponde a las formaciones **BIBLIOTECA ACT**
ESPOL
Tiyuyacu y parte de Tena. En la formación Orteguala predomina una arcilla medianamente firme que va de color rojo a gris. En la parte media hay lutitas grises semiduras. En la parte inferior está formada por arcillolitas rojas y grises con predominio de limos y limolitas de color rojo, café y grises medianamente firmes.

La formación Tiyuyacu está compuesta en su parte superior de arcillolitas calcáreas de color rojo a café. además hay presencia de limos y limolitas. En su parte media se presentan capas de chert de color negro y café, arcillolitas, así como también areniscas de color claro.

Finalmente, la formación Tena compuesta de arcillolitas suaves y lutitas de color gris a café y



en la base areniscas de color gris.

En este intervalo se trata de reducir la hidratación de las arcillas, disminuyendo el volumen de filtrado que invade la formación, así como elevar el punto cedente y la viscosidad plástica para tener mayor arrastre de ripios.

El problema de invasión de filtrado, se lo soluciona con el uso de los aditivos Starlose y Drispac, éste último es también un viscosificador el cual con la ayuda de la arcilla comercial eleva la viscosidad.

La tabla 1 muestra algunas propiedades del lodo usado en este intervalo.



4.- Intervalo de 8000 pies-PT

**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Debido a que en este intervalo se encuentran las arenas productoras G-2, U y T de la formación Napo y la formación HOLLIN, se debe enfatizar en el control de sólidos para evitar el daño a las formaciones productoras. Así mismo se baja el volumen de filtrado que invade las formaciones para obtener una información confiable con los registros eléctricos.

La formación Napo está compuesta en su parte superior de lutitas gris oscuro, calizas blancas y

grises (caliza A). En su parte media e inferior se encuentran las arenas G-2, U y T saturadas de hidrocarburos. Son arenas bien consolidadas de color gris a café con separaciones de lutitas y calizas (caliza B).

La formación Hollín está formada de una arenisca gris y un café bien claro y bien consolidado, además se encuentran saturadas de hidrocarburos. La densidad del lodo para estas zonas debe ser incrementada a valores que estén en el rango de 9.8-10.2 lpg. El propósito de aumentar la densidad del lodo final de perforación es el de mantener la estabilidad de las formaciones y prevenir cualquier presión anormal. El punto cedente se lo mantiene en un valor alrededor de los 15 lbs/100 pie.

Para el control del volumen de filtrado ya no se usa Starlose debido a que éste almidón es afectado por la temperatura por lo que existiría el riesgo de no cumpla sus funciones. El filtrado se controla con Drispac y bentonita comercial.

La tabla 2 muestra los rangos de valores entre los que se mantienen ciertas propiedades del lodo para esta zona.

Para completar el resumen sobre la litología de la cuenca Nororiental, se presenta a continuación un



BIBLIOTECA FIGT.
ESPOL



BIBLIOTECA FICT

esquema gráfico sobre la litología del **ESPOL** Lanta
#6 perforado en dicha cuenca. Ver figura 1.

1.2 LODOS BASE AGUA, BAJO CONTENIDO DE SÓLIDOS Y NO DISPERSOS.

El fluido de perforación usado es un lodo constituido de agua más bentonita (arcilla) y otros aditivos. La fase líquida es el agua, la fase coloidal es la bentonita, la fase inerte es barita y la fase química los aditivos usados como el Starlose, Drispac, cáustica, paraformaldehído y unical.

La fase líquida o agua fresca (menor a 200 ppm cl) que se usa para la preparación del lodo, es debido a que el agua es un excelente fluido de perforación y permite alcanzar altas tasas de penetración. El lodo de "Bajo contenido de sólidos", significa un contenido de alrededor del 6% de sólidos en volumen. El bajo contenido de sólidos facilita el control de las propiedades del fluido de perforación y no afecta a la tasa de penetración.

Se usa el lodo no disperso (agregados), con preferencia al disperso, ya que éste último incorpora los sólidos perforados al sistema, dando como resultado un incremento de sólidos, siendo más difícil su extracción y ocasionando una baja a la tasa de penetración. En cambio el lodo no disperso utiliza aditivos como el

FIG. 1 FORMACIONES Y PROFUNDIDADES ATRAVEZADAS EN EL POZO GUANTA 6

GUANTA Nº 6 RTE 2034'			
PROFUNDIDAD	LITOLOGIA	FORMACION	OBSERVACIONES
5500'			TODOS LOS COLORES
5617 (-4636)			
6000'		ORTEGUAZA	VERDE CLARO
6108 (-5127)			
6500'			VERDE
		TIYUYACU	CON
7000'			CONGLOMERADOS
7480 (-6499)			
8000			
8500		TENA	RO
8962 (-7981)			
9000			
9500		NAPO	NEGRO
9998 (-9017)			
10050 (-8900)		HOLLIN	BLANCO
10141 (-9150)			
10500'			



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

almidón (Starlose) o cualquier otro polímero (Drispac) los cuales aumentan la viscosidad junto con la bentonita y sirven como floculantes para los sólidos arcillosos haciendo fácil su remoción y manteniendo una tasa de penetración constante.

1.3 CONTROL DE SÓLIDOS

La acumulación de sólidos de perforación en el sistema causa la mayor parte de gastos de mantenimiento del lodo, incrementando el costo total de la perforación de un pozo.

Un programa adecuado de control de sólidos ayuda enormemente a mantener un lodo en óptimas condiciones, de manera que sea posible obtener velocidades de penetración adecuadas con un mínimo de deterioro para las bombas y demás equipo encargado de circular el lodo.

El no diseñar y ejecutar un programa adecuado de control de sólidos podría ocasionarnos graves problemas durante la perforación como los que a continuación se exponen.

- a.- Dificultad de mantener óptimas condiciones reológicas.
- b.- Aumento de la frecuencia de pegamientos diferenciales.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

- c.- Reducción de la velocidad de penetración.
- d.- Reducción de la vida útil de la broca y un aumento en el desgaste de la bomba de lodo.
- e.- Aumento en las presiones de pistoneo, especialmente durante los viajes para cambio de broca, lo cual puede contribuir a problemas de control de presión.

Aunque es imposible remover todos los sólidos perforados, con un equipo de superficie y las prácticas más adecuadas, es posible controlar el tipo y cantidad de aquellos a un nivel que permita una adecuada perforación.

1.3.1 CLASIFICACION DE LOS SOLIDOS

Los sólidos se pueden clasificar en tres categorías dependiendo de:

- a.- Gravedad específica.

Los sólidos en un lodo de perforación de acuerdo a su Gravedad específica se los clasifica de alta y baja gravedad específica respectivamente.

Sólidos de alta Gravedad específica son aquellos que su gravedad es de 4.25 o similar, por ejemplo la barita que se agrega al



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

lodo para incrementar su densidad.

Los sólidos de baja Gravedad específica son aquellos en los que esta propiedad varía en un rango de 1.1 como los lignitos a 2.9, como la cal. Sin embargo, la Gravedad específica promedio de estos sólidos es de 2.6.

En un fluido de perforación que tenga sólidos de alta y baja Gravedad específica el contenido total de sólidos está afectado por ambas y varía de acuerdo a la figura 2.

b.- Tamaño.

Debido al tamaño tan pequeño de los sólidos en el sistema de lodo, estos se miden en micrones. El micrón es una unidad que representa la milésima parte de un milímetro o la millonésima parte de un metro. La clasificación API de acuerdo a su tamaño es:

- 1.- Cortes: partículas que separa la zaranda.
- 2.- Arena API: más de 74 micrones.
- 3.- "Silt": de 2 a 74 micrones.
- 4.- Coloides: 2 micrones o menos.

El 97% de la barita debe de ser menor de 74



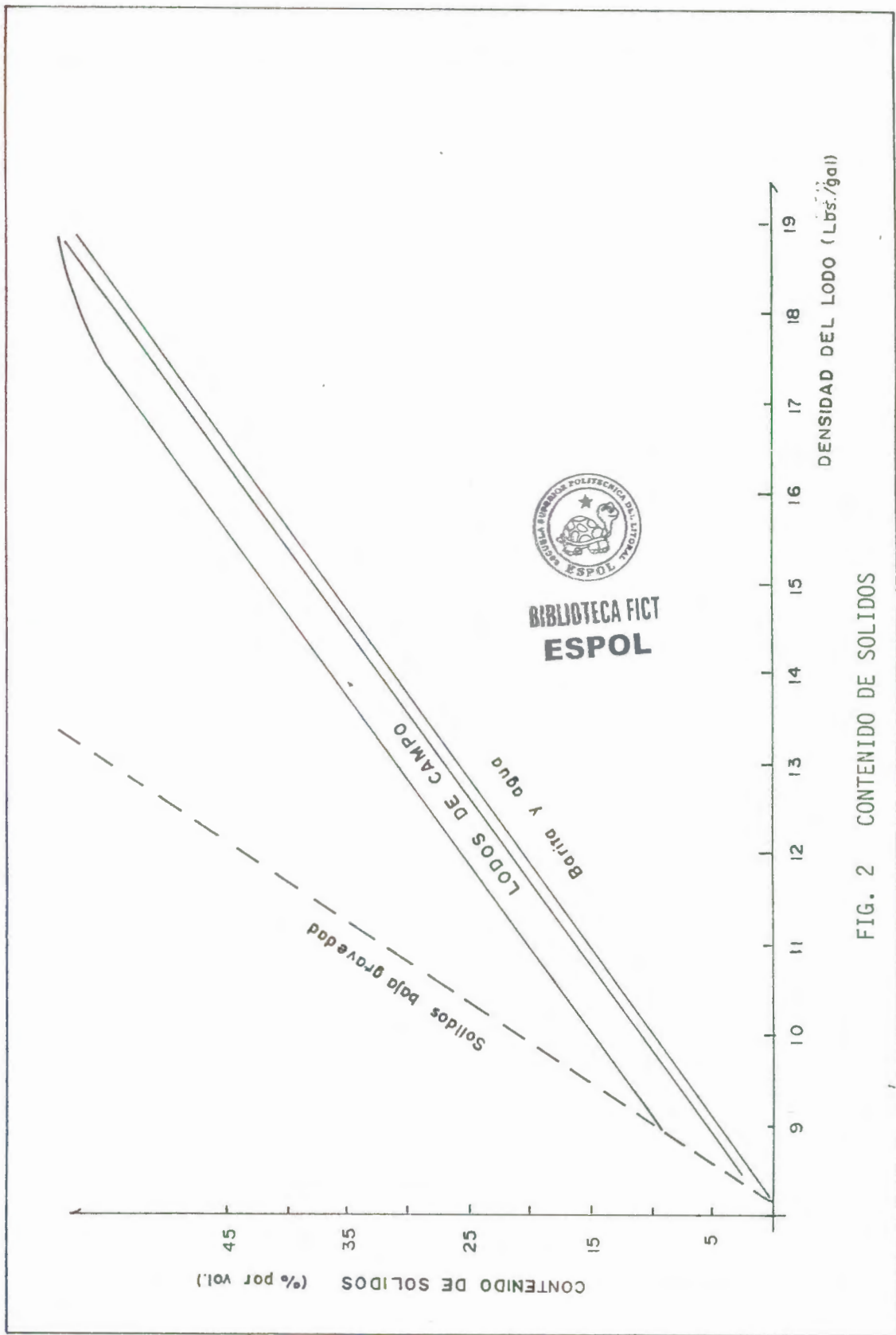


FIG. 2 CONTENIDO DE SOLIDOS



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

micrones y aproximadamente el 100% mayor de 2 micrones, para así satisfacer las especificaciones API que la clasifica como "Silt". Las bentonitas comerciales están formadas por partículas menores de 2 micrones o coloides. El tamaño de los sólidos de perforación varía entre el 80% mayor a 178 micrones en el hueco de superficie, y el 80% menor a 178 micrones con brocas de diamante y a mayor profundidad. Sin embargo la desintegración de los mismos en partículas más pequeñas ocurre rápidamente, por lo que es muy importante sacar la mayor cantidad en la primera circulación.



c.- Actividad eléctrica

**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Los sólidos inactivos o inertes de carga eléctrica alguna, entre ellos se puede incluir barita, arena, material de pérdida de circulación.

Los sólidos activos incluyen la bentonita comercial y algunas formaciones cuyas arcillas contienen alto grado de motmorillonita. Estos sólidos tienen cargas eléctricas que tienden a unir o flocular las partículas, lo cual da como resultado un aumento

-dilución

-aparatos mecánicos

La eliminación por asentamiento se aplica esencialmente a lodos de baja viscosidad y peso, y necesita un área relativamente grande y tiempo para que las partículas se asienten.

La dilución reduce la concentración de sólidos aumentando el volumen total. Este método es el

más caro, ya que una vez diluido el lodo existirá

mayor precipitación de sólidos en los cuales

se encontrará también arcilla comercial, barita,

y químicos, que luego deberán ser repuestos al

sistema. El uso de los aparatos de control de

sólidos evita tener que diluir el sistema.



**BIBLIOTECA FICA
ESPOL**

1.4 APARATOS MECANICOS

El equipo de superficie que se utiliza para extraer los sólidos es muy similar en casi todos los taladros convencionales, siendo los más usados los siguientes:

1.4.1 ZARANDA VIBRATORIA.

La zaranda vibratoria es el primero y más importante de los dispositivos para el control mecánico de sólidos. Es un separador vibratorio constituido por tamices que se emplea para remo-

ver los rípios grandes arrastrados por el lodo. En la figura 3 se ilustra los distintos tipos de zarandas de doble-malla y de triple-malla, que permiten el uso de mallas finas en niveles inferiores, de manera que se puedan remover rípios de pequeño tamaño aún a tasas de flujo elevadas.

A menudo la selección de un tamiz está basada en experiencias anteriores. La malla de un tamiz se define como el número de orificios por pulgada lineal, medidos desde el punto medio de un alambre. Ejemplo: una malla de 70x30, tendrá 70 orificios por pulgada en una dirección y 30 orificios por pulgada en dirección perpendicular a la primera. Una malla cuadrada de 30x30 tiene 30 orificios por pulgada en ambas direcciones.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

bien es cierto que el tamaño de malla puede preferido por un operador individual y la calidad de las mallas pueden variar, la selección del tamiz depende de las condiciones que se observan en la localización. Si el volumen que se hace circular excede la capacidad de los tamices que se emplean, la zaranda empezará a botar el exceso de lodo que no procesa, debiendo ensayarse otra combinación.

El lodo de retorno debe extenderse sobre la

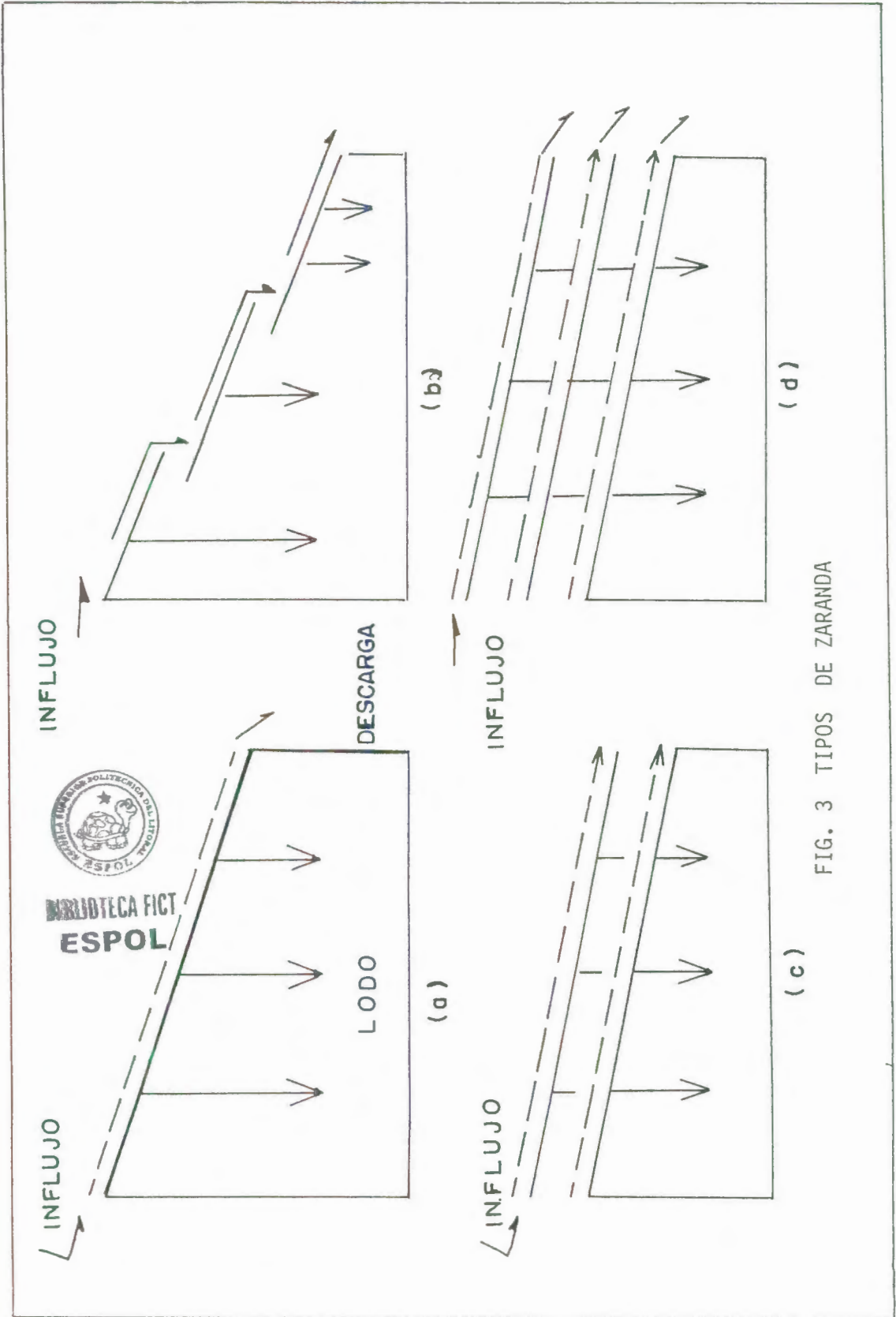


FIG. 3 TIPOS DE ZARANDA

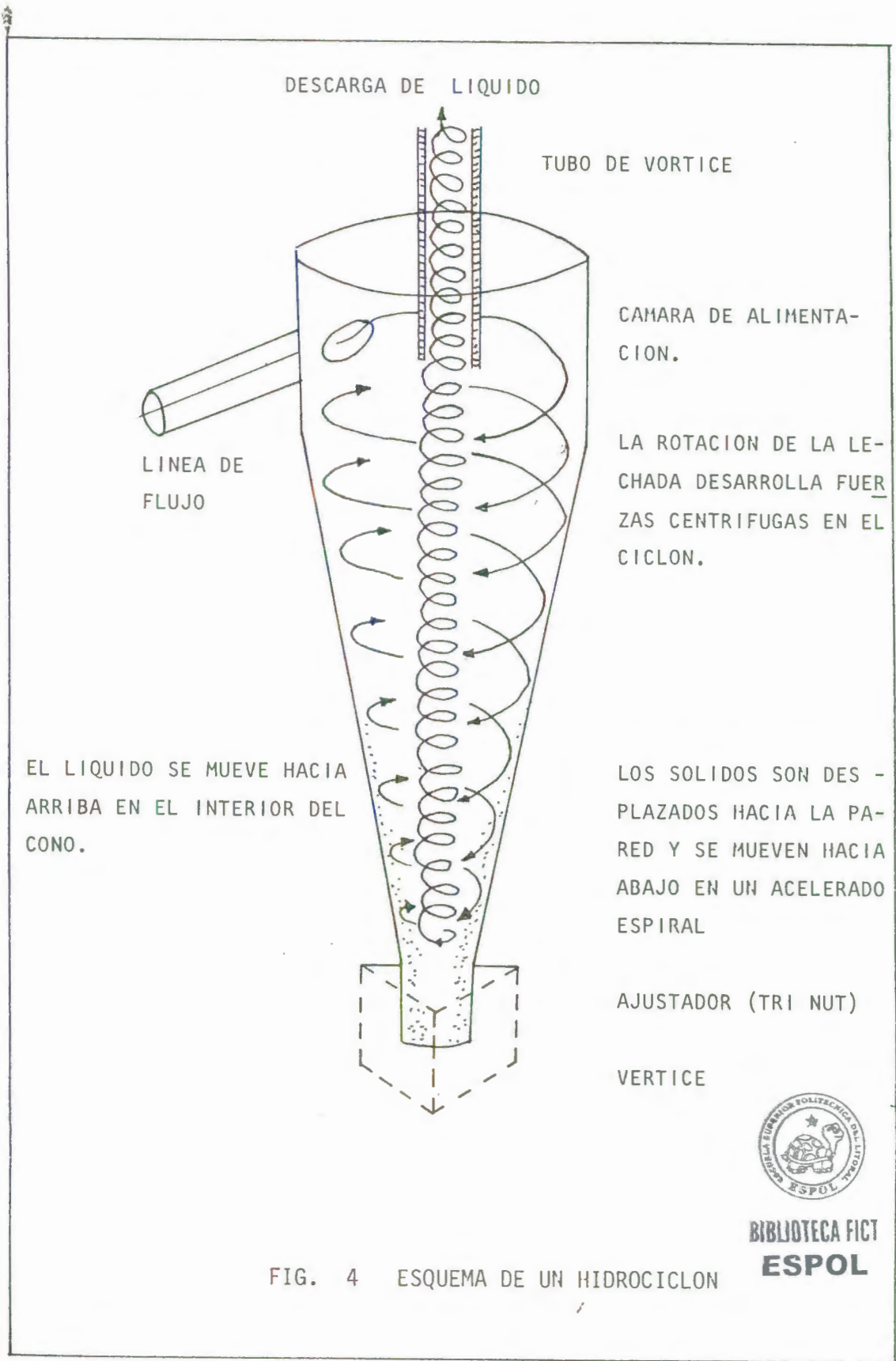
mayor parte posible de la superficie del tamiz empleado, para ello están las compuertas del control de alimentación ubicadas entre el "falso vientre" (possum belly) y la superficie del tamiz. La inclinación óptima del tamiz vibratorio es la que procese la mayor cantidad de partículas. Idealmente, el lodo de retorno debería llegar dentro de un pie del extremo del tamiz. Se deben realizar ajustes del ángulo del tamiz, ellos afectan la velocidad de marcha del lodo y el tiempo de retención. Pequeñas disminuciones del ángulo del tamiz reducirá velocidad de avance del lodo y aumentarán el tiempo de retención. Ligeros aumentos de la inclinación acelerarán la velocidad y reducirán el tiempo de retención del lodo. Los ajustes del ángulo del tamiz deben de intentarse antes de decidir sobre el uso de un tamaño de malla. Un tamiz dañado o cortado debe de ser reemplazado inmediatamente.

1.4.2 PRINCIPIO DE LOS HIDROCICLONES

En la figura 4 se muestra una sección transversal de un hidrociclón, o separador centrífugo de tipo ciclón. Los hidrociclones son recipientes de forma cónica en los cuales la energía de presión es transformada en fuerza centrífuga. Todos los separadores de tipo como funcionan



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

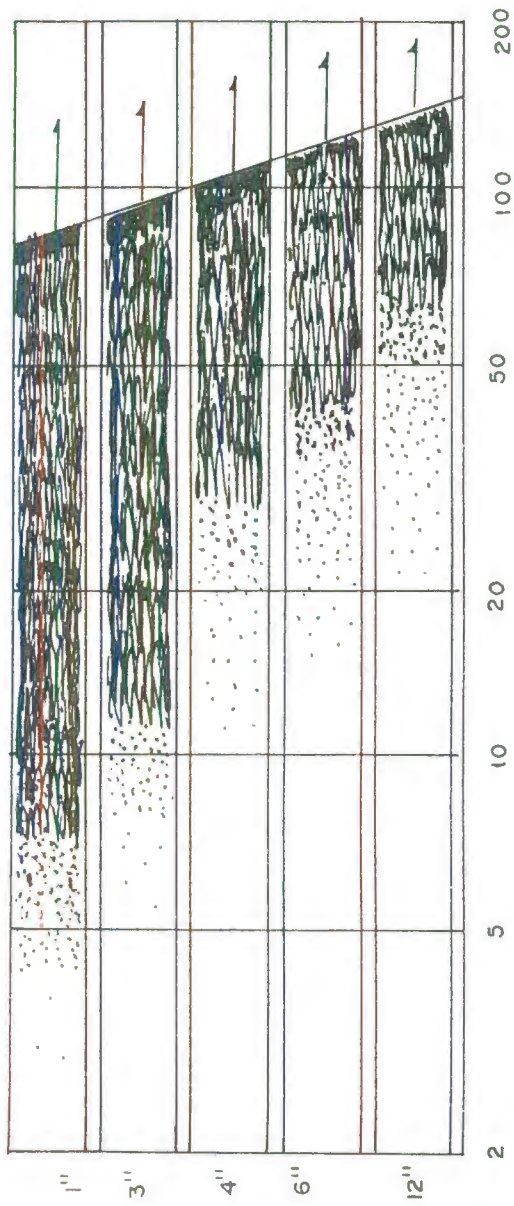


sobre la base del mismo principio. El lodo se alimenta, por medio de una bomba centrífuga, a través de una entrada que lo envía tangencialmente en la cámara de alimentación. Una tubería corta llamada el tubo de vórtice (vortex finder) se extiende hacia abajo en el cuerpo del cono y fuerza a la corriente en forma de remolino a dirigirse hacia abajo en dirección del vértice, es decir, hacia el extremo delgado del cono. Las fuerzas centrífugas que se desarrollan en esas circunstancias multiplican la velocidad de sedimentación del material más pesado (los sólidos y líquidos más densos) forzándolos hacia afuera contra la pared del cono. Las partículas más livianas se dirigen hacia adentro y arriba como un vórtice espiralado que las lleva hacia el orificio de la descarga superior o del efluente.

Los diámetros de los conos y la presión de la bomba determinan el tamaño de partícula que se separa. Menores presiones dan como resultado una separación más gruesa y una capacidad reducida. La figura 5 muestra el tamaño equivalente de la partícula en micrones que los conos de diferentes diámetros pueden separar. La descarga inferior debe ser tomada en consideración para conseguir la operación más eficiente de un hi-

FIG. 5 RANGOS DE OPERACION DEL CICLON

(PULG.)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



TAMAÑO EQUIVALENTE DEL RIPIO (MICRONES)

drociclón. La descarga debe ser una aspersión fina con una ligera succión en el centro. Por el contrario, no es deseable una descarga en forma de "chorro" sin succión de aire, ver figuras 6 y 7. Sin embargo, cuando se perfora rápido, en un pozo de gran diámetro, la alimentación puede a menudo encontrarse sobrecargada, con el resultado de una descarga en chorro. Puede ser necesario el tolerar esta situación, puesto que sería peor tener que desconectar la unidad y no tener ninguna clase de control de sólidos. Si un hidrociclón descarga en forma de vértice puede ser ajustado para que dé una descarga de aspersión por medio del ajustador (tri-nut) o por algún otro dispositivo similar. Si la presión de alimentación está dentro del rango correcto y la descarga en forma de chorro no puede cambiarse a descarga de aspersión por medio de este ajuste, usualmente se trata de que la capacidad de los conos es demasiado pequeña para el trabajo de remoción que se debe hacer.

1.4.3 DESARENADORES

Con el propósito de separar la arena se elige generalmente un cono de 6 pulgadas o más diámetro interno. Los conos desarenadores tienen la ventaja de manipular volúmenes más grandes de



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

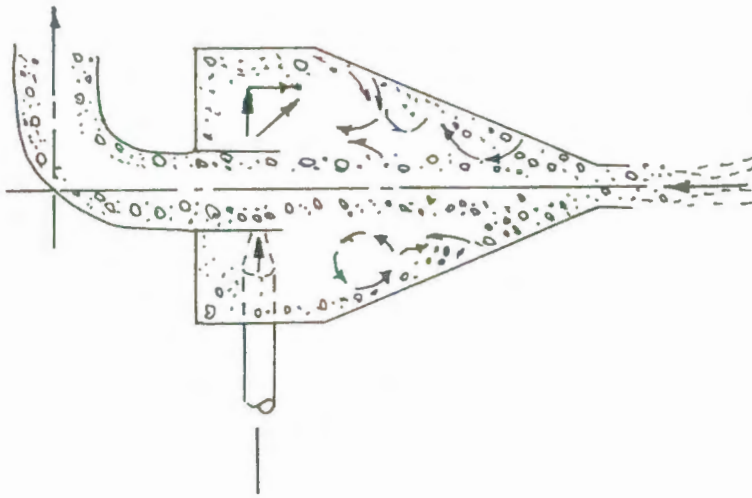


FIG. 7 DESCARGA A CHORRO

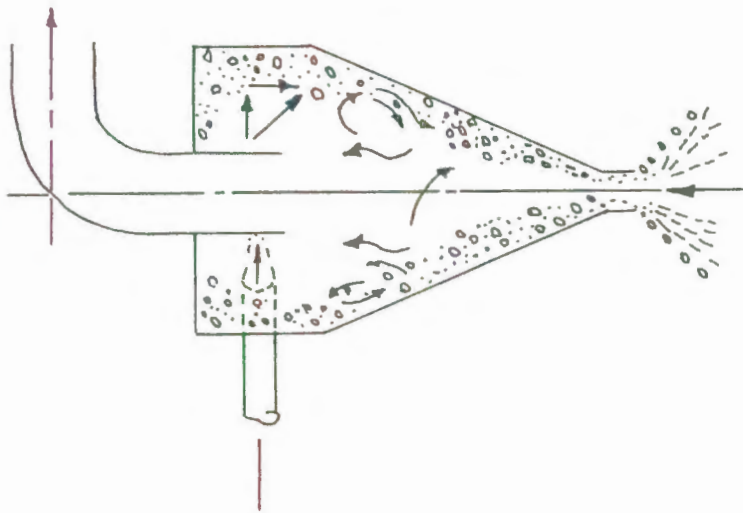


FIG. 6 DESCARGA DE ASPERSION



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

lodo por cada cono, pero tienen la desventaja de separar solo partículas de tamaño grande. Para obtener resultados eficientes, un desarenador debe ser instalado adecuadamente. El desarenador es necesario fundamentalmente para evitar la sobrecarga de los desarcilladores.



1.4.4 DESARCILLADORES

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Para eliminar el limo se usa generalmente un cono de 4 pulgadas. El número de conos varía con el volumen de lodo que se hace circular. Se requiere tener la capacidad de entrada a los conos por lo menos igual a la velocidad de circulación, y se recomienda que tal capacidad esté mejor entre 20 y 50 por ciento más arriba. En un cono de 4 pulgadas bien diseñado, el tamaño de partícula separado es de 15 a 20 micrones. Dado que la barita está en el mismo rango de tamaño de partícula que el limo, aquella también se separará del lodo. Normalmente, los lodos densificados son demasiado altos en contenido de sólidos (porcentaje por volumen) como para permitir la separación eficiente de limo por medio de hidrociclones (con descarga de aspersión). Por consiguiente, los desarcilladores se usan raramente para el tratamiento de lodos por arriba de 12,5 lpg. Toda aplicación

de desarcilladores a lodos densificados requiere un extremo cuidado para evitar una reducción no deseada en el lodo.



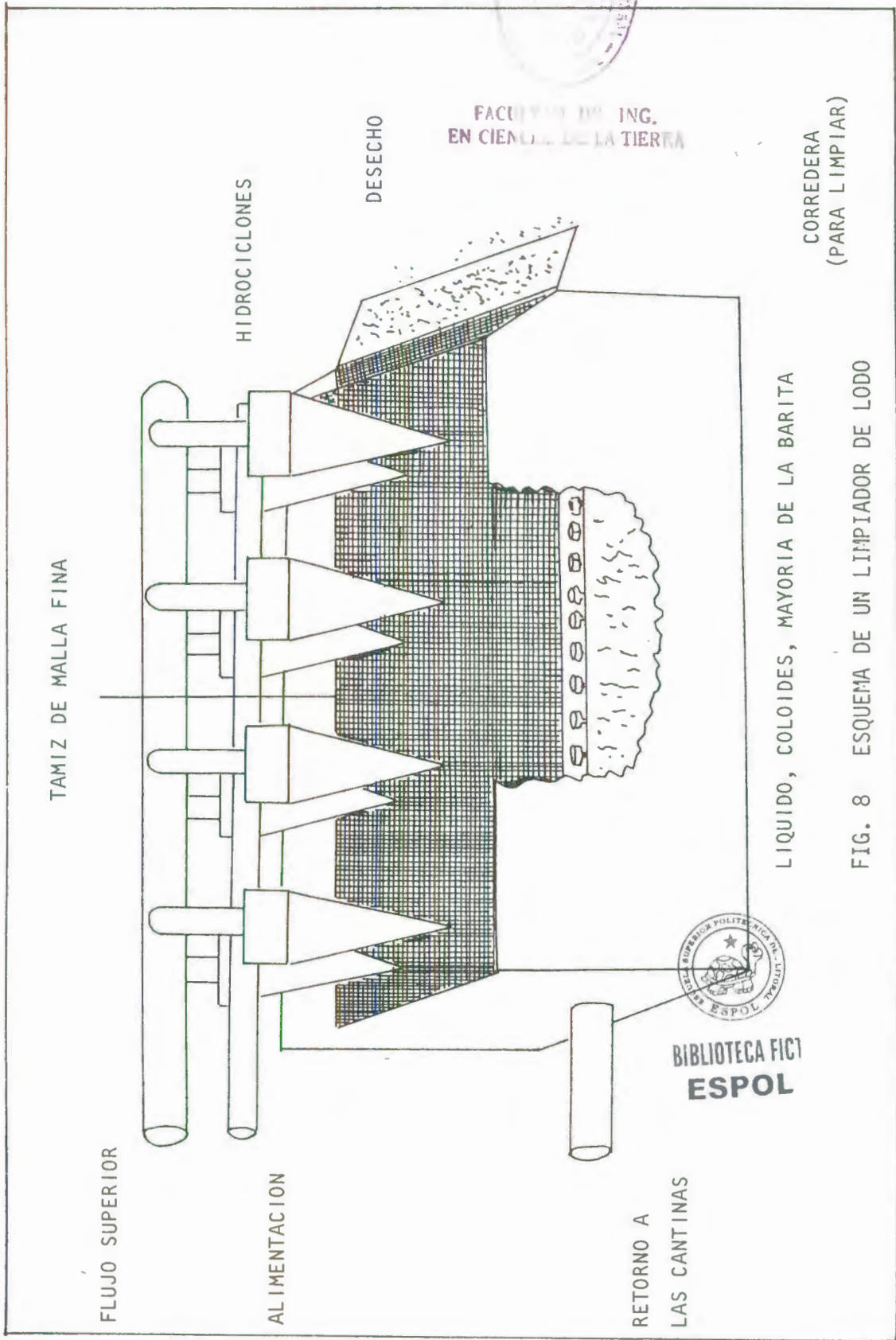
1.4.5 LIMPIA-LODOS

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Los limpia-lodos (mud-cleaner) constituyen el equipo más reciente que ha entrado en uso para la remoción de sólidos. Consisten en una batería de conos desarcilladores generalmente ocho conos de 4 pulgad, colocadas por encima de un tamiz de malla fina y alta vibración. Ver figura 8.

Los hidrociclones remueven los sólidos de tamaño de arena, los que luego caen sobre el tamiz vibratorio de malla fina. El lodo y los sólidos que atraviesan el tamiz son recuperados y los sólidos retenidos sobre el tamiz se descartan. Dado que el 97 por ciento de la barita es, de acuerdo con las especificaciones API, de un tamaño inferior a 74 micrones, una gran parte de ellas será descargada por los hidrociclones. La barita atravesará luego el tamiz y volverá al sistema. Un limpia-lodos es, en la práctica, un equipo que desarena un lodo densificado.

El tamaño de malla de los tamices de los limpia-lodos varía entre 120 y 325. Si el limpia-lodos ha de trabajar continuamente se considera gene-



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

CORREDERA
(PARA LIMPIAR)

LIQUIDO, COLOIDES, MAYORIA DE LA BARITA

FIG. 8 ESQUEMA DE UN LIMPIADOR DE LODO

BIBLIOTECA FICT
ESPOL





BIBLIOTECA FICT ESPOL

ralmente que una malla 150 puede mantener limpio el sistema de lodo con eficiencia. Hay sin embargo, situaciones especiales que requieren el empleo de algunas de las mallas menores. Entre ellas debe incluirse el uso de un limpia-lodos para un lodo de base petróleo o para cualquier lodo con una fase líquida de alto costo.

Si bien el flujo total del sistema de lodo nunca alcanza el tamiz, hay aún una tendencia al tapomamiento del tamiz. Algunas unidades tienen incluido su propio mecanismo de limpieza. Una variante de método de limpieza consiste en hacer caer un trozo de cadena sobre el tamiz, dejando una parte de la cadena colgando sobre el costado hasta el suelo. La cadena se mueve por todas partes del tamiz removiendo las partículas que han quedado encajadas en las mallas. Esta cadena debe retirarse después de unos 10 minutos y el método no debe emplearse más que cuando es necesario. No se recomienda lavar el tamiz con un fino rocío de agua; este procedimiento se debe evitar decididamente, ya que no es eficaz ni en un 30%.

Si bien la remoción de sólidos de perforación y la recuperación de la barita son los usos más comunes de los limpia-lodos, la recuperación de

fases líquidas costosas (petróleo, KCl, etc) junto con la barita, puede ser sumamente ventajosa. Otra ventaja es que el material descartado del tamiz vibratorio es notablemente más seco.

El limpia-lodos debe utilizarse conjuntamente con otros procedimientos de remoción de sólidos. Cuando es usado correctamente, puede prestar una útil contribución para el control efectivo de sólidos en lodos densificados.

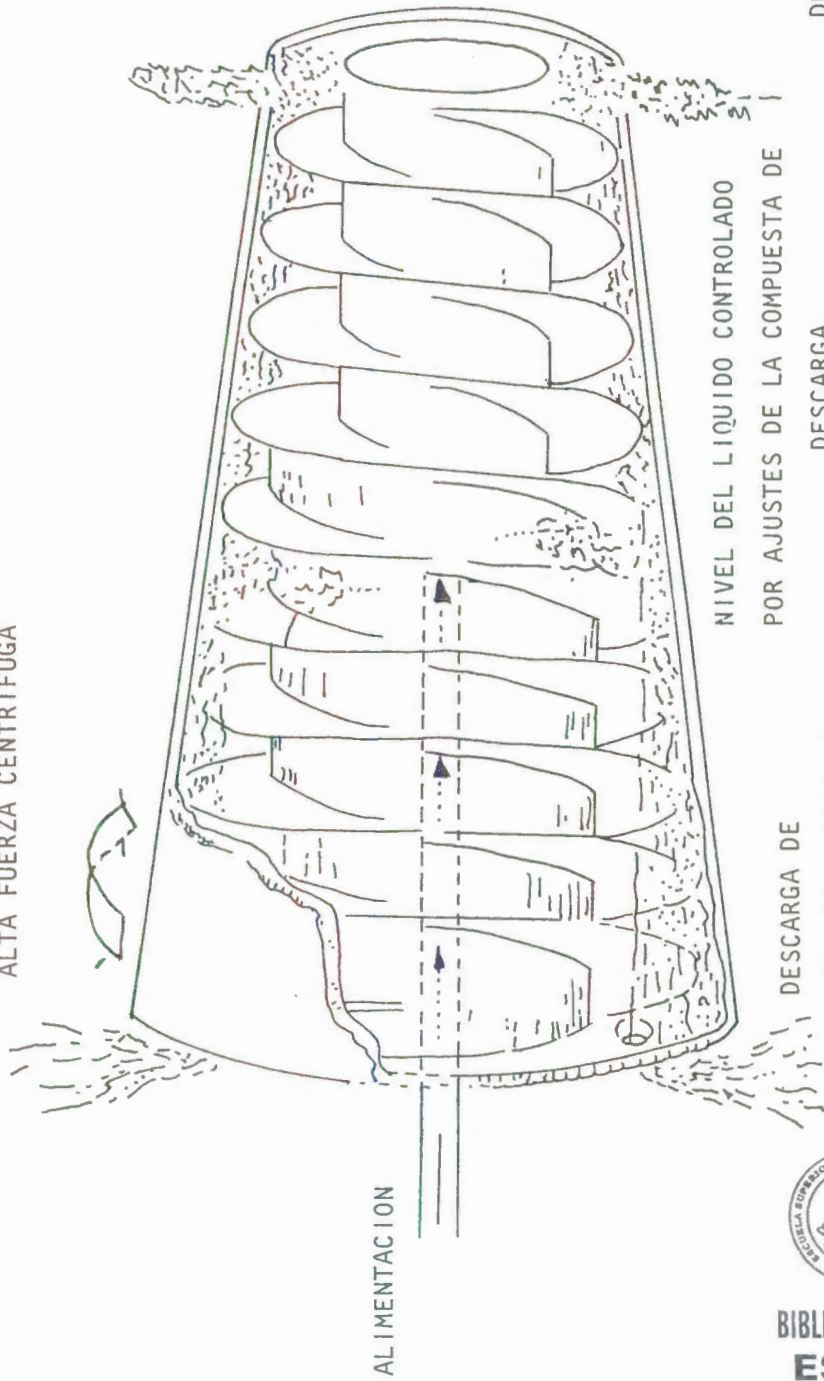


1.4.6 CENTRIFUGAS

BIBLIOTECA FICT

Igual que los hidrociclones, las centrifugas de decantación aumentan la velocidad de sedimentación de los sólidos mediante el reemplazo de la débil fuerza de gravedad, por la fuerza centrífuga. La centrifuga de tipo decantación, ver figura 9, consiste de una cámara cónica horizontal de acero, que rota a alta velocidad con un doble transportador de tipo tornillo en su interior. Este transportador rota en la misma dirección que la cámara externa pero a una velocidad ligeramente inferior. Se inyecta lodo en el eje hueco del transportador, desde donde el lodo es lanzado hacia las paredes internas del cono, cerca del anillo de lodo denominado el estanque ("pond"). El nivel de este estanque es

TAMBOR ROTA CREANDO
ALTA FUERZA CENTRIFUGA



DESCARGA DE
LIQUIDO Y ARCILLA

NIVEL DEL LIQUIDO CONTROLADO
POR AJUSTES DE LA COMPUESTA DE

DESCARGA
DE SOLIDOS GRUESOS

FIG. 9 SECCION TRANSVERSAL DE UNA CENTRIFUGA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

determinado por la altura de las compuertas de salida del líquido en el extremo mayor, de la cámara cónica.

La lechada corre entonces hacia los orificios, a través de dos canales formados por las hojas del transportador, mientras los sólidos se sitúan contra la pared interna de la cámara. A medida que estas partículas sedimentan hacia la pared, las hojas del transportador las empujan a lo largo de la cámara hacia el extremo más pequeño. Finalmente los sólidos salen del estanque a través de un área seca (la playa) donde quedan desprovistos de todo el líquido libre, para salir por los orificios de descarga en el extremo más pequeño de la centrifuga.

Generalmente cuanto más alta es la viscosidad del lodo original, mayor es la dilución necesaria (se recomienda de 2 a 4 galones por minuto). La viscosidad del efluente debe ser de 35 a 37 seg para que la operación sea eficiente. Si la viscosidad está por arriba de 37 seg, la eficiencia disminuye debido a la menor velocidad de sedimentación. Si la viscosidad está por debajo de 35 seg, se está añadiendo agua en exceso, lo que causará turbulencia en la cámara, por lo tanto la eficiencia disminuirá. Deben

seguirse con sumo cuidado las recomendaciones de los fabricantes con respecto a las tasas de alimentación y a la velocidad de la cámara.

Los aumentos de viscosidad y de resistencia de gel en el lodo, son las mejores indicaciones que deben emplearse en una centrifuga en un sistema de densificado.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CAPITULO II

ANALISIS DEL PROBLEMA DE HIDRATACION DE ARCILLAS EN EL LODO QUE USA EL CONSORCIO CEPE-TEXACO

En la región oriental ecuatoriana el lodo usado para la operación de perforación es de bajo contenido de sólidos, no disperso y de base agua dulce, además se usa como aditivo de control de pérdida de filtrado y viscosificante el polímero DRISFAC. Este aditivo a parte de cumplir las funciones indicadas, también recubre la partícula tratando de que en su trayecto no se rompa, para así lograr su remoción por medio de los distintos métodos de extracción de sólidos. Sin embargo, los pozos en la región oriental presentan problemas de derrumbes en las paredes del hueco, debido a muchos factores como son mala hidratación de la bentonita en la superficie y las formaciones que se atraviesan son poco consolidadas en algunos casos.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La fase sólida de los lodos de base agua tiene dos componentes: arcillas y materiales inertes. Los efectos de materiales densos como la barita son bien conocidos, ya que son de composición relativamente simple y además inertes. Los efectos de las arcillas son menos entendibles *debido a la complejidad de su estructura química.*

Durante la perforación, las arcillas se incorporan al lodo de 2 maneras:

- a.- La fuente más importante es la adición en la superficie, para obtener viscosidad y control de pérdida del fluido.
- b.- La otra fuente está constituida por las arcillas perforadas que se incorporan, las cuales contribuyen a elevar la viscosidad excesivamente, a pegar tuberías y a otras inestabilidades del hueco.

La temperatura, las condiciones climáticas y la presencia de materiales activos al combinarse, determinarán el material específico en el cual se convierte la arcilla por un proceso ambiental.

La lutita se define como aquella arcilla de grano fino, terroso el cual se clasifica como una roca sedimentaria, con la característica de tener laminaciones. La composición es sustancialmente la misma para las lutitas como para las arcillas. Las lutitas están compuestas en parte de partículas de arcillas minerales. El análisis químico de las lutitas demuestra que se componen esencialmente de sílice, aluminio y agua, con cantidades de hierro, álcalis y hierros alcalinos.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

La bentonita es la arcilla usada para la preparación de los lodos en la superficie, teniendo como principal componente la montmorillonita mineral. Esta proporciona características de viscosidad y pérdida de agua que son vitales para los lodos de agua dulce. Este aspecto de la bentonita

*pre-hidratada por
menos 48 horas antes de
usarla como fluido
de perforación.*

se debe a su habilidad de aumentar su tamaño original hasta 8 o 10 veces en los lodos de agua dulce. Para mantener una bentonita bien hidratada es necesario ponerla en contacto con el agua no menos de 48 horas, antes de ser usada como fluido de perforación. Este proceso llamado Prehidratación muchas veces no es llevado a efecto durante las operaciones de campo y cuando ingresa al sistema de circulación no alcanza su grado óptimo de absorción de agua o hinchamiento, pues solo ha estado en contacto con el agua pocas horas (2-6 horas generalmente). Es esta una razón por la que el lodo no cumple a cabalidad su función de arrastre de partículas permitiendo que los cortes más pequeños se queden en el fondo, siendo difícil su remoción, dando como resultado cualquiera de los siguientes problemas:

BIBLIOTECA

-malas cementaciones ✓

-huecos demasiado estrechos ✓
(agrandado, esp. zona de Luffa Napo)

-atascamiento de tubería ✓
(embolamiento de lodo con piezas parciales de anillo hidratado en tubería)

-acumulación de derrumbe después de meter y sacar tubería ✓
(idem Luffa Napo)

-aumento de los sólidos en el fluido de perforación ✓
(Si especialmente en Pozo #2, sin presencia de KNO₃ como inhibidor de aceites expansible).

-aumento de costos ✓
(Si por tiempos de perforación mayor a lo usual)

En los pozos perforados en la región Oriental se tiene el tipo de problemas antes mencionado, el cual en el peor de



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

EN CIENCIAS DE LA TIERRA

los casos produce la pérdida del pozo.

¿Que hacen

2.1 ~~CAPÍTULO~~ LAS ARCILLAS ACTIVAS DENTRO DE UN LODO DE PERFORACION?

Las arcillas activas de un fluido de perforación son las que producen distintos tipos de intercambio iónico y la consecuente hidratación. La principal arcilla activa es la bentonita mezclada al lodo en superficie, la arcilla de perforación y en especial las lutitas, las cuales también son activas en alguno de los casos en mayor o menor grado unas que otras.

*Para el cálculo de las arcillas activas fue necesario realizar la prueba de azul de metileno (MBT), la cual se explica a continuación.

La prueba de azul de metileno es usada para determinar la cantidad de sólido activo en el fluido de perforación, basado en la capacidad de cambio catiónico de estas partículas sólidas. En esta prueba, el material orgánico presente en la muestra de lodo es primeramente oxidada con peróxido de hidrógeno y luego se agrega una cantidad de azul de metileno para teñir, luego se agita vigorosamente para permitir que las partículas bentoníticas presentes en la muestra se tñan. Cuando la presencia de color libre (azul oscuro) en la muestra es detectado, se suspende la adición. El volumen de azul de metileno usado para la prueba es la



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

que se
va agregando

capacidad de absorción de las partículas bentoníticas y como el volumen de la muestra de lodo es conocido se procede a calcular la concentración de partículas bentoníticas en función de la concentración de equivalente de bentonita en libras/barril de lodo.

Los lodos de perforación frecuentemente contienen otras sustancias, además de la bentonita que absorben el azul de metileno. Durante la prueba se usa peróxido de hidrógeno para inhibir los efectos que producen los materiales orgánicos tales como: (poliacrilatos), ligno-fulfonatos y lignitos. Para el cálculo de la cantidad de arcilla (bentonita) reactiva se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de azul de metileno} = \frac{\text{cm}^3 \text{ de azul de metileno}}{\text{cm}^3 \text{ de lodo}}$$

Con el uso de la retorta Baroid se obtienen resultados de % por volumen de agua, petróleo y sólidos individualmente. Para el caso de nuestro pozo el porcentaje por volumen de petróleo es igual a cero en todas las pruebas, ya que cuando se perforó la zona de hidrocarburos sólo se presentaron trazas de este dentro del lodo, debido al buen control de presión estática que se realizó.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Con los parámetros que se han obtenido procedemos a realizar los siguientes cálculos:

- 1) Gravedad específica promedio de los sólidos.

$$SGS = [0.12MW - (V_w + V_b * 0.83)] / V_s$$

- 2) Porcentaje por volumen de barita.

$$V_b = V_s (SGS - 2.6) / 1.65$$

- 3) Porcentaje por volumen de sólidos de baja gravedad específica.

$$V_l = V_s - V_b$$

- 4) Libras de barita por barril de lodo.

$$LPBB = V_b * 1470$$

- 5) Libras de sólido de baja gravedad específica por barril de lodo.

$$LPBL = V_l * 907.2$$

- 6) Libras de bentonita (arcilla) reactiva por barril de lodo.

$$MBT = AR$$

- 7) Libras de arcilla no reactiva por barril de

$$ANR = LPBL - AR$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

En la tabla 3 se exponen los resultados de las pruebas y cálculos que se realizaron durante los 18 días en que se tomaron dichas pruebas.

2.2 UNA ALTERNATIVA PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA DE INCORPORACION DE SOLIDOS EN EL LODO

Como ya se estableció existen 2 fuentes de ingreso de arcillas para los lodos. La arcilla que se adiciona en superficie que es la bentonita comercial y los sólidos de perforación que generalmente son las lutitas.

En el laboratorio de fluidos de perforación de la ESPOL, se realizaron distintos ensayos para calcular el rendimiento de la bentonita comercial Mil-gel usada por el consorcio CLPE-TEXACO en la perforación de pozos. Para los ensayos se usó la misma bentonita, pero a distintos tiempos de hidratación. Los rendimientos obtenidos nos indican que a mayor tiempo de hidratación de la bentonita mayor es su valor, llegando a estabilizarse cuando el tiempo de hidratación llega a las 48 horas. En la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos.

Para el caso de las lutitas que se adhieren al lodo durante la perforación del pozo, si la recomendación anterior no da como resultado una buena limpieza del pozo y la extracción de los sólidos de superficie no es la adecuada, es recomendable un tratamiento químico, que puede ser con cloruro de potasio que es la sal preferida para reducir la hidratación de las lutitas. Otro tipo de tratamiento recomendado es



BIBLIOTECA FIGI
ESPOL

el encapsulamiento de los sólidos de perforación con un material orgánico como el polímero DRISPAC, que recubre la partícula tratando que la hidratación y el rompimiento de la misma sea nulo.

El tratamiento con polímeros es el usado por el Consorcio CEPE-TEXACO, el cual da resultados algo satisfactorios cuando se combina con el adecuado uso de los aparatos mecánicos para extracción de los sólidos de perforación. Una de las principales recomendaciones es que los aparatos mecánicos funcionen las 24 horas del día y se tengan suficientes repuestos para cualquier emergencia que se presente, ya que durante mi permanencia en el taladro, se pudo observar que los desarenadores, desarcilladores y zaranda se dañan a diario y no se los podía reparar debido a la falta de repuestos.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CAPITULO III

INFLUENCIA DE LOS SOLIDOS EN EL CONTROL HIDRAULICO

La hidráulica se ocupa de los efectos interrelacionados de la viscosidad, caudal y la presión de circulación sobre el desempeño en sus varias funciones.

Las propiedades de flujo deben ser controladas si se pretende que se comporten en forma apropiada en sus varias funciones. Los sólidos que se encuentran en un fluido son los que básicamente describen las propiedades reológicas. A continuación se da la definición de tres propiedades reológicas básicas como son la viscosidad plástica, el punto cedente y la fuerza de gel.

La viscosidad plástica es la resistencia que el fluido pone a fluir debido al roce entre partículas, dependiendo principalmente del tamaño, forma y concentración de sólidos en el lodo. La tendencia de este parámetro a subir con el transcurso de los días puede indicar un aumento en la concentración de sólidos y la necesidad de tomar medidas necesarias.

a fluir.
El punto cedente es la resistencia que el fluido pone a fluir, debido a la atracción interna de sus partículas.

La fuerza de gel o fuerza de gelificación representa una medida de las propiedades tixotrópicas de un sólido y denota la fuerza de floculación bajo condiciones estáti-



BIBLIOTECA FICT.
ESPOL

cas.

El punto cedente y la fuerza de gel indican el grado de atracción que existe entre las partículas del sistema. Un aumento de estos parámetros generalmente requiere un tratamiento químico. Sin embargo, la dilución o la separación mecánica de sólidos también disminuye aquello, puesto que las fuerzas de atracción son sensitivas a la distancia. Serios problemas con los sólidos pueden suceder si hubiere un aumento en el área de la superficie de las partículas a medida que son molidos en el sistema. Durante la perforación las propiedades reológicas deben ser controladas a fin de que el fluido cumpla con su propósito con el mínimo de dificultad. La viscosidad, punto cedente y fuerza de gel sean lo suficientemente bajo para:

- OK ✓ -Permitir que los sólidos se separen y el gas escape a la superficie.
- OK ✓ -Tener baja presión de bombeo para circular y romper circulación.

Sin embargo la viscosidad no debe ser tan baja para que permita una remoción de los rípidos y evitar que se asienten. Se puede decir que cuando la viscosidad plástica, punto cedente y fuerza de gel sean demasiado altas las causas son:

- OK ✓ -Alto contenido de sólidos. ✓



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Contaminación.

(por consecuencia)



3.1 REVISION DEL MODELO HIDRAULICO ^{FACULTAD DE ING} ~~EN LA LEY DE LA TIERRA~~ ^{EXPONENCIAL}

El procedimiento clásico para definir el comportamiento de los fluidos de perforación en los pozos de petróleo ha sido basado en el modelo PLASTICO DE BINGHAN. El modelo EXPONENCIAL se lo introduce, como un metodo supuestamente más apropiado para las evaluaciones reológicas y calculos de predicciones de pérdida de presión.

Los conceptos de velocidad de corte, tensión de corte, flujo laminar y flujo turbulento son aplicados a todas las secciones, dentro del sistema de circulación. La velocidad de corte depende de la velocidad promedio del lodo en la sección que está atravesando en ese momento. Un cambio en la velocidad de la bomba afectará las velocidades de corte en todo el sistema. La tensión de corte depende de la velocidad de corte. Una velocidad de corte mayor encontrará una fuerza de resistencia mayor o una tensión de corte mayor. Por consiguiente, las tensiones de corte dentro de la sarta son mayores que las del anular por mayor velocidad que existe.



Para los fluidos Newtonianos, la tensión de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte, lo

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

que nos indica que su viscosidad es constante. A los fluidos de perforación se los considera como no-Newtonianos por su complejidad en cuanto a la relación tensión de corte-velocidad de corte.

La gráfica de la relación de tensión de corte-velocidad de corte para un fluido dado recibe el nombre de "Reograma". La figura 10 es un reograma de un lodo típico graficado en coordenadas rectangulares.

No hay una ecuación matemática que describa precisamente la reología de todos los lodos, pues son muy variados y complejos. En cambio, se han propuesto varias ecuaciones que se aproximan en cierto grado a la relación tensión de corte-velocidad de corte, llamándose a estas ecuaciones Modelos Reológicos.

Un buen modelo reológico debe tener las siguientes propiedades:

1.- Debe aproximarse estrictamente a la relación verdadera entre tensión de corte - velocidad de corte.

2.- Debe basarse en mediciones que puedan realizarse en el campo en forma rutinaria.

3.- Debe ser suficientemente simple de modo que los cálculos y los resultados del modelo puedan aplicarse en el campo.



BIBLIOTECA TÉCNICA
ESPOL

Para aplicar el modelo de la ley Exponencial se necesita del uso de un viscosímetro de 6 velocidades y si es mejor usar uno de múltiples velocidades. Si los datos que se obtienen de tensión de corte y velocidad de corte son graficados en coordenadas rectangulares, se puede comprobar que no hay una curva simple que conecte estos puntos, un ejemplo es el mostrado en la figura 10.

Por cierto, la recta que pasa por los puntos de las lecturas de 600 y 300 RPM (lectura que utiliza el modelo plástico de Bingham) no se acerca a los puntos graficados en las velocidades de corte inferiores como se muestra en la figura 11.

Sin embargo si se emplea papel log-log para graficar los datos, se comprueba que la recta que pasa por las lecturas de 600 y 300 RPM pasa muy cerca de los restantes puntos. Figura 12.

Una línea recta en papel log-log se denomina "CURVA EXPONENCIAL" y corresponde a una ecuación algebraica de la forma:

$$T = K (Vc)^n$$

Luego el modelo reológico se conoce como la Exponencial y sus parámetros son n y K, donde:

$$T = \text{Tensión de corte} \quad \left(\frac{\text{Dinas}}{\text{cm}^2} \right)$$



**BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL**

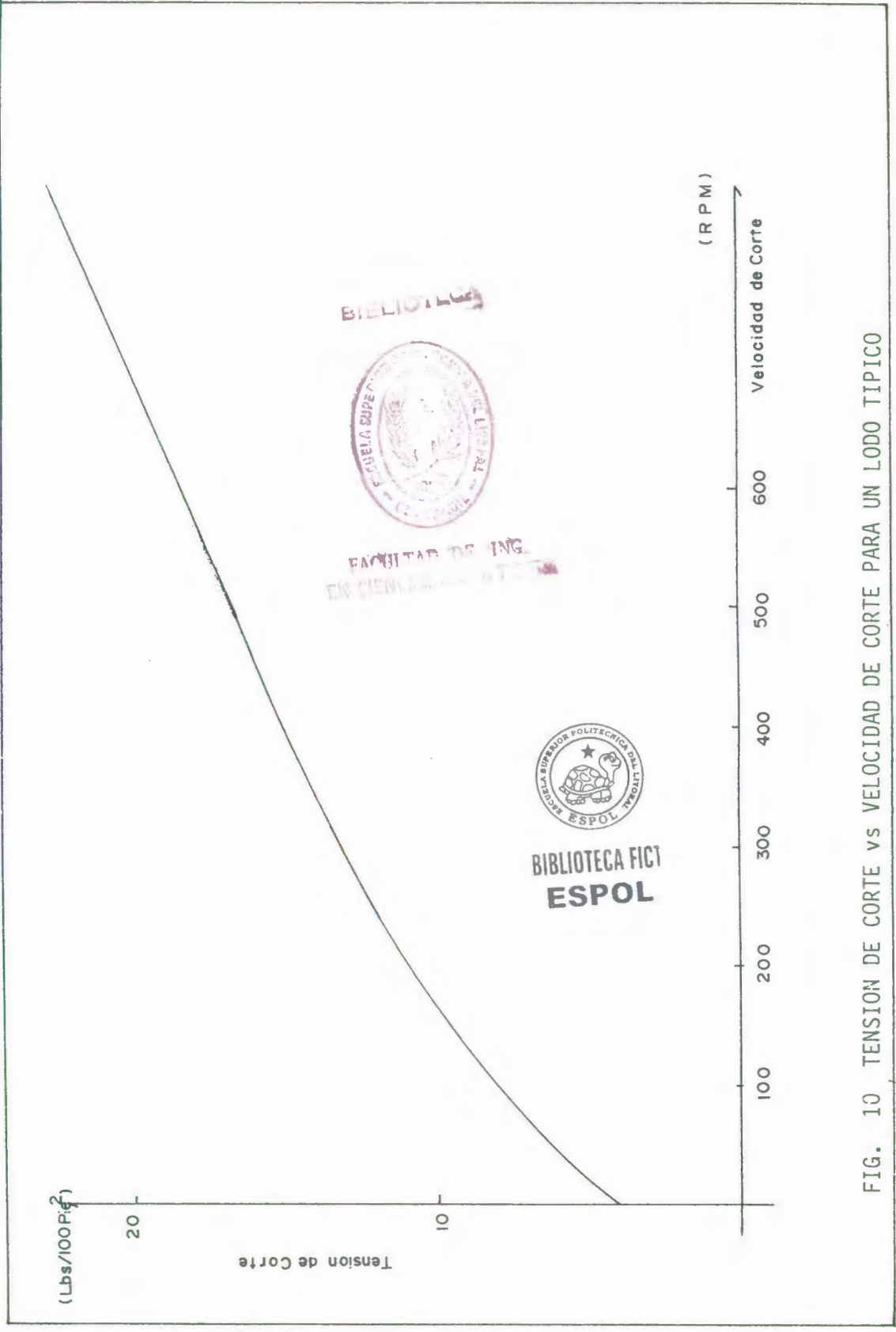
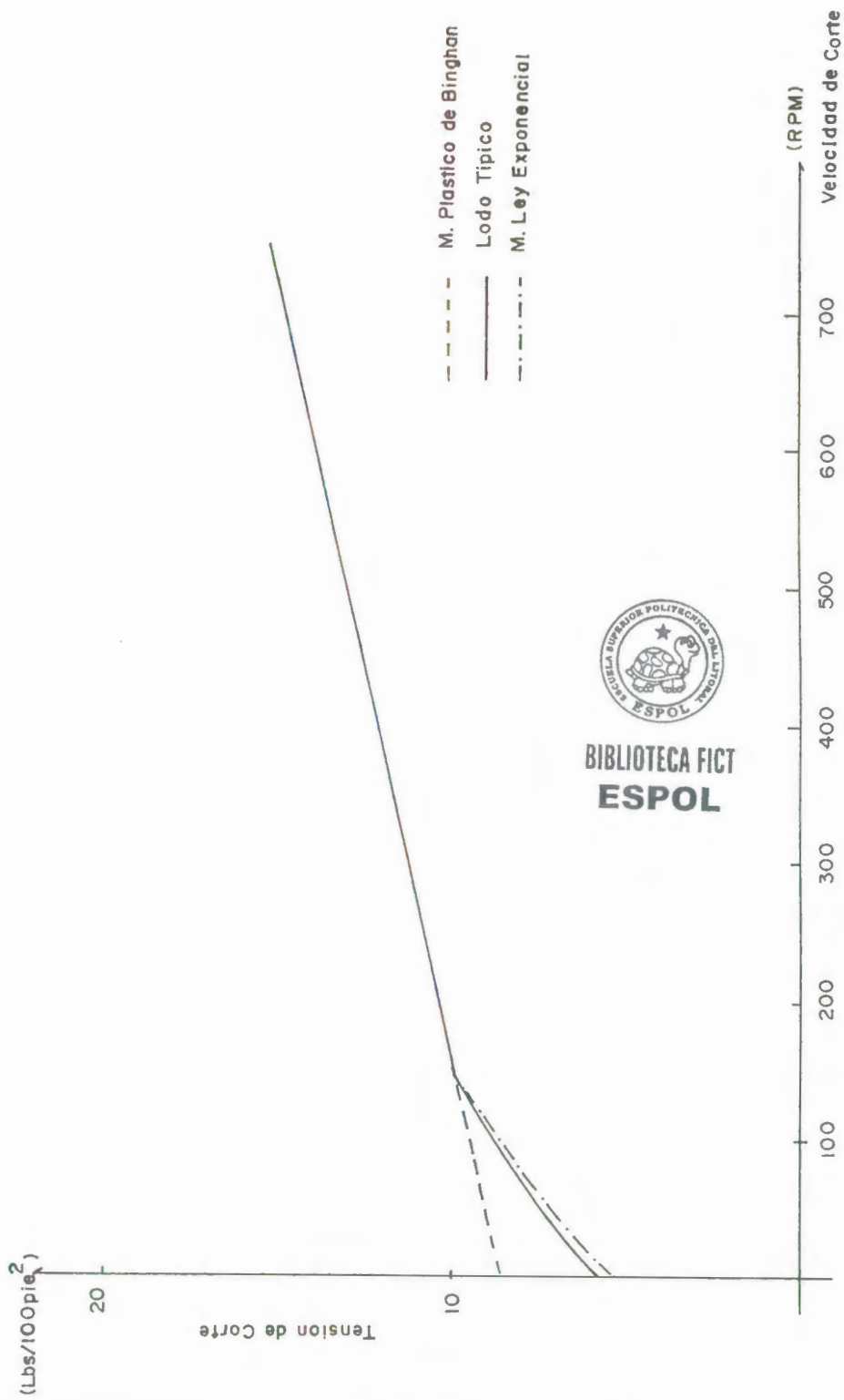


FIG. 10 TENSION DE CORTE VS VELOCIDAD DE CORTE PARA UN LODO TIPICO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

FIG. 11 COMPARACION ENTRE LOS MODELOS PLASTICOS DE BINGHAM Y LEY EXPONENCIAL CON UN LODO TIPICO.

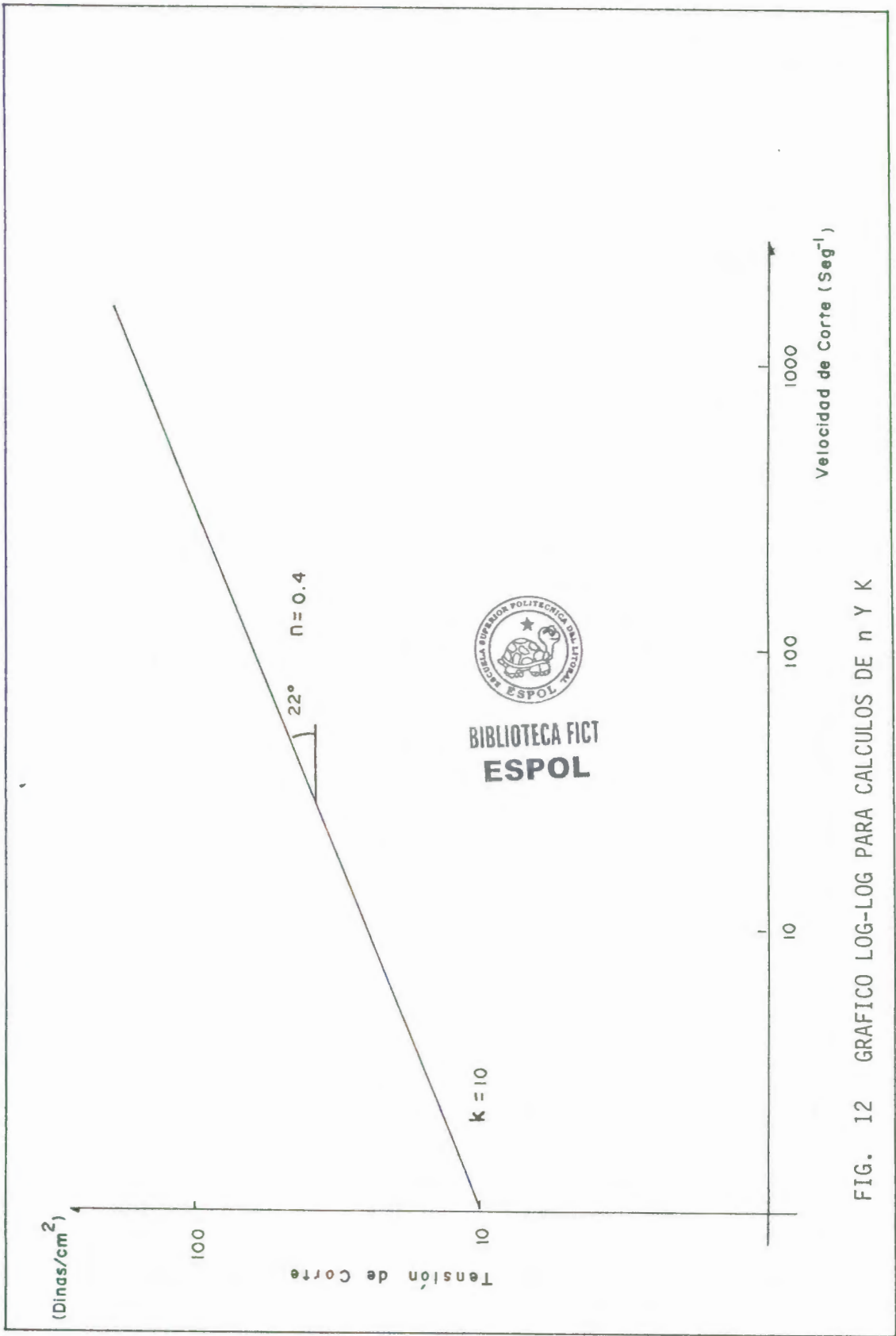


FIG. 12 GRAFICO LOG-LOG PARA CALCULOS DE n Y K

$$\frac{\text{Dinas}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{Dinas} \cdot \text{seg}^{-n}}{\text{cm}^2} \quad \left(\frac{1}{\text{seg}} \right)$$

- K=índice de consistencia (Dinas $\text{seg}^{-n} / \text{cm}^2$)
- Vc=velocidad de corte (seg⁻¹)
- n=índice de comportamiento (adimensional)
de la ley Exponencial



Del gráfico log-log nos damos cuenta que el valor de "K" corresponde al valor de la tensión de corte para una velocidad de corte de 1 seg⁻¹ en la gráfica de tensión vs velocidad. "n" es la inclinación de la línea.

3.2 EFECTO DE LOS VALORES n Y K EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS

El valor n indica el grado del comportamiento no-Newtoniano que un fluido tiene sobre un rango de velocidad crítica definida. Fluido Newtoniano como el agua, diesel y glicerina tienen un valor de n=1. La práctica a demostrado que estos fluidos tienen una capacidad de limpieza del hueco muy pobre. Cuando el valor de n es menor que la unidad el fluido se vuelve más "seudo plástico", aumentando su habilidad de limpieza y de suspensión de partículas. Esto se debe al aplanamiento o achatamiento del perfil de velocidades como se ilustra en la figura 13.

Del gráfico podemos notar que el perfil de velocidad es más parabólico para fluidos Newtonianos (n=1), por

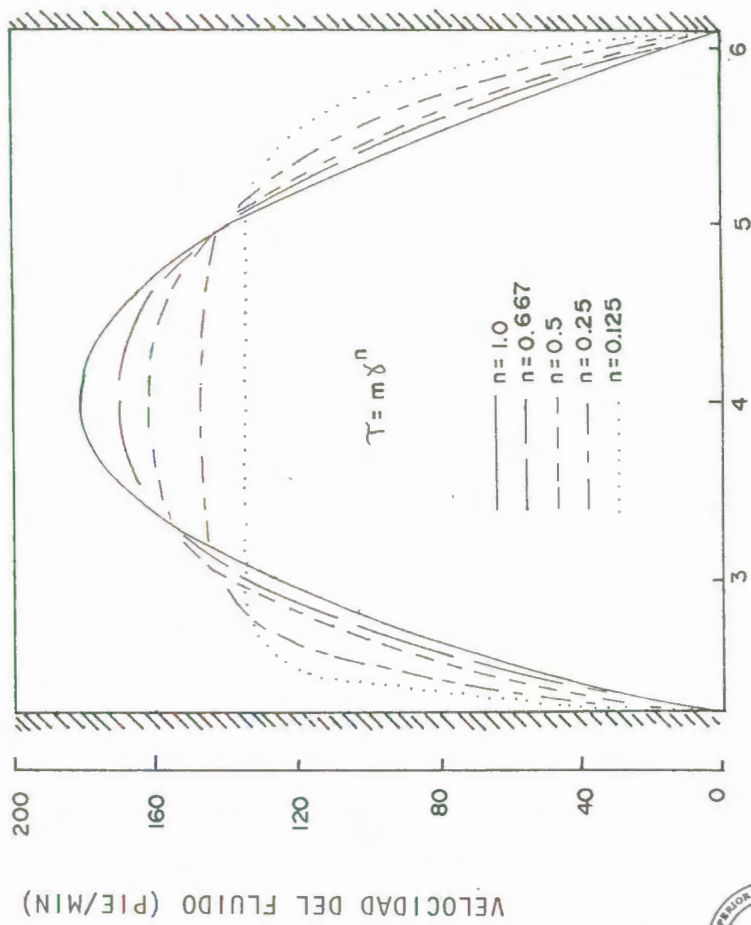


FIG. 13 PERFIL DE VELOCIDAD RADIO (PULG.)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

consiguiente produce un efecto de rotación sobre los cortes tendiendo a empujarlos hacia las paredes del hueco disminuyendo su velocidad dando como resultado final un "resbalamiento" de partículas y una pobre eficiencia de limpieza de hueco. Al reducir el valor de n , tenemos como resultado una disminución de la velocidad de corte, lo cual puede explicarse por la relación de $T = K (VC)^n$. En este caso la relación disminuye rápidamente en la parte de la sección transversal, lo que produce el "atachamiento" del perfil de velocidades dando como resultado una disminución sustancial del efecto de resbalamiento y una mejor limpieza del hueco.

Para los lodos no dispersos n está usualmente entre 0.4 y 0.7, para los lodos altamente dispersos n está generalmente entre 0.7 y 0.9. Cuanto más bajo es el valor de n , menos Newtoniano es el lodo.

Para la mayoría de los fluidos de perforación los cuales tienen un comportamiento similar al de la ley Exponencial, el valor de K , índice de consistencia del flujo laminar, puede ser encontrado gráficamente siendo numéricamente igual a la tensión de corte por extrapolación de la tangente de una curva reológica hasta su intersección con el eje vertical para $Vc = 1$. Por lo tanto cuando se tiene un incremento de la viscosidad, también se incrementará la tensión de

Copie de
Manual
de
MCO

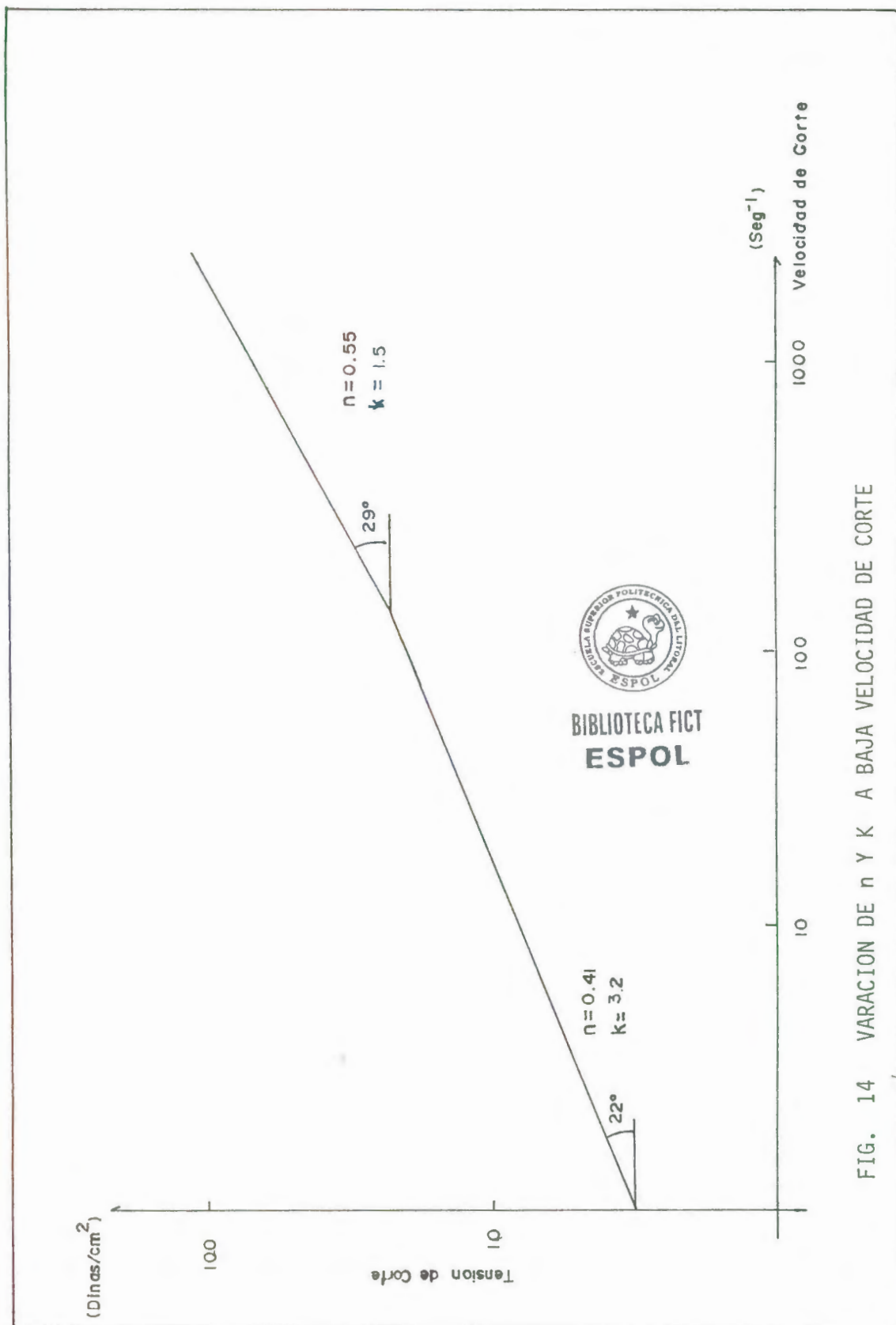


FIG. 14 VARACION DE n Y k A BAJA VELOCIDAD DE CORTE

Este capítulo, se realizaron cálculos de n y k a altas y bajas Velocidades de corte. Del gráfico se puede notar que cuando la curva pierde inclinación, es decir cuando nos encontramos en el rango de velocidad de corte baja, el valor de n disminuye mientras que el valor de k aumenta. Se aconseja tener el valor de " n " en un rango de 0.2 - 0.5, para tener las características típicas de un fluido pseudoplástico o reductor de viscosidad por corte (Shear Thinning).

El índice de consistencia k , es directamente proporcional a la viscosidad. Según como k aumenta el valor de la viscosidad a través de la broca también aumenta, dando como resultado final el incremento de la presión de inyección del fluido. Por lo tanto el valor de k debe ser lo más bajo posible manteniendo un valor bajo de n . Reglas de campo establecen que con una reducción de n no se logra la limpieza deseada en el hueco, k debe ser aumentada en un 20 - 30% en ese momento.

Es muy difícil dar un tratamiento adecuado para un todo sin conocer los materiales utilizados para el diseño de éste, sin embargo, a continuación se presentan soluciones como una ayuda para bajar n y elevar k .



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

COMO BAJAR EL VALOR DE "n"

"n" puede disminuirse agregando materiales como:

- 1.- Kelzan xc - polimeros o materiales equivalentes.
- 2.- Bentonita previamente hidratada-floculada con sales.
- 3.- Algunas bentonitas expandidas en ambientes de agua fresca.
- 4.- Remover los valores altos de n por dilución o aparato mecánicos.

Es necesario tener presente que entre los materiales que elevan el valor de n se encuentran:

- 1.- Sólidos de perforación.
- 2.- Bentonita dispersa.
- 3.- Almidón, CMC, HEC, Guargun, etc.
- 4.- Atapulqita.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Estos materiales hacen que la velocidad de corte no responda instantáneamente al esfuerzo que se aplica sobre un fluido y la relación entre esfuerzos y velocidades se vuelve además no lineal y complica una representación matemática adecua-

da.

COMO ELEVAR EL VALOR DE "K"

A.- Normalmente se desea bajar n y elevar k al mismo tiempo, por lo tanto, se debe agregar,

1.- Kelzan XC - polimero. (goma xantica)

2.- Bentonita prehidratada-floculada con sales.

3.- Sales al sistema si la bentonita en agua fresca está presente.

B.- Para elevar " k " solamente sin un cambio de " n ".

1.- Barita.

2.- Arcillas inertes.

3.- Bentonita.

4.- Kelzan xc polimeros si n está muy bajo.



BIBLIOTECA FIC:
ESPOL

3.3 PROGRAMA COMPUTACIONAL DEL MODELO HIDRAULICO DE LA LEY EXPONENCIAL.

Como se establecia al inicio de este capitulo, la hidráulica se ocupa de los efectos interrelacionados de la viscosidad el caudal y las presiones de circulación sobre el desempeño del lodo de perforación.

Lamentablemente las propiedades de flujo que serían ideales para cumplir cierta función, son frecuentemente perjudiciales para otras. Por lo tanto, las propiedades seleccionadas deben representar una transacción o acuerdo.

El lodo debe ser lo suficientemente viscoso y de flujo rápido en el anular como para proveer una adecuada limpieza del pozo es decir, el levantamiento de los cortes por el anular hasta la superficie. También debe ser lo suficientemente viscoso para suspender la barita y otros sólidos densificantes que contiene. De lo contrario, el material sólido se acumulará en el anular causando aumento de torsión y de presión hidrostática. Entre las posibles consecuencias, puede señalarse la falla de tubería, tubería aprisionada, velocidades de penetración reducidos y pérdidas de circulación.

En el primer tramo de la perforación de un pozo en Oriente se utiliza agua fresca para lo cual es necesario bombear con suficiente velocidad para llevar los recortes a superficie. Sin embargo las velocidades requeridas producirán turbulencia en el anular. Este flujo turbulento puede tener efectos indeseables, tales como el lavado del pozo, altas presiones de circulación y una mayor invasión del filtrado hacia las zonas permeables.

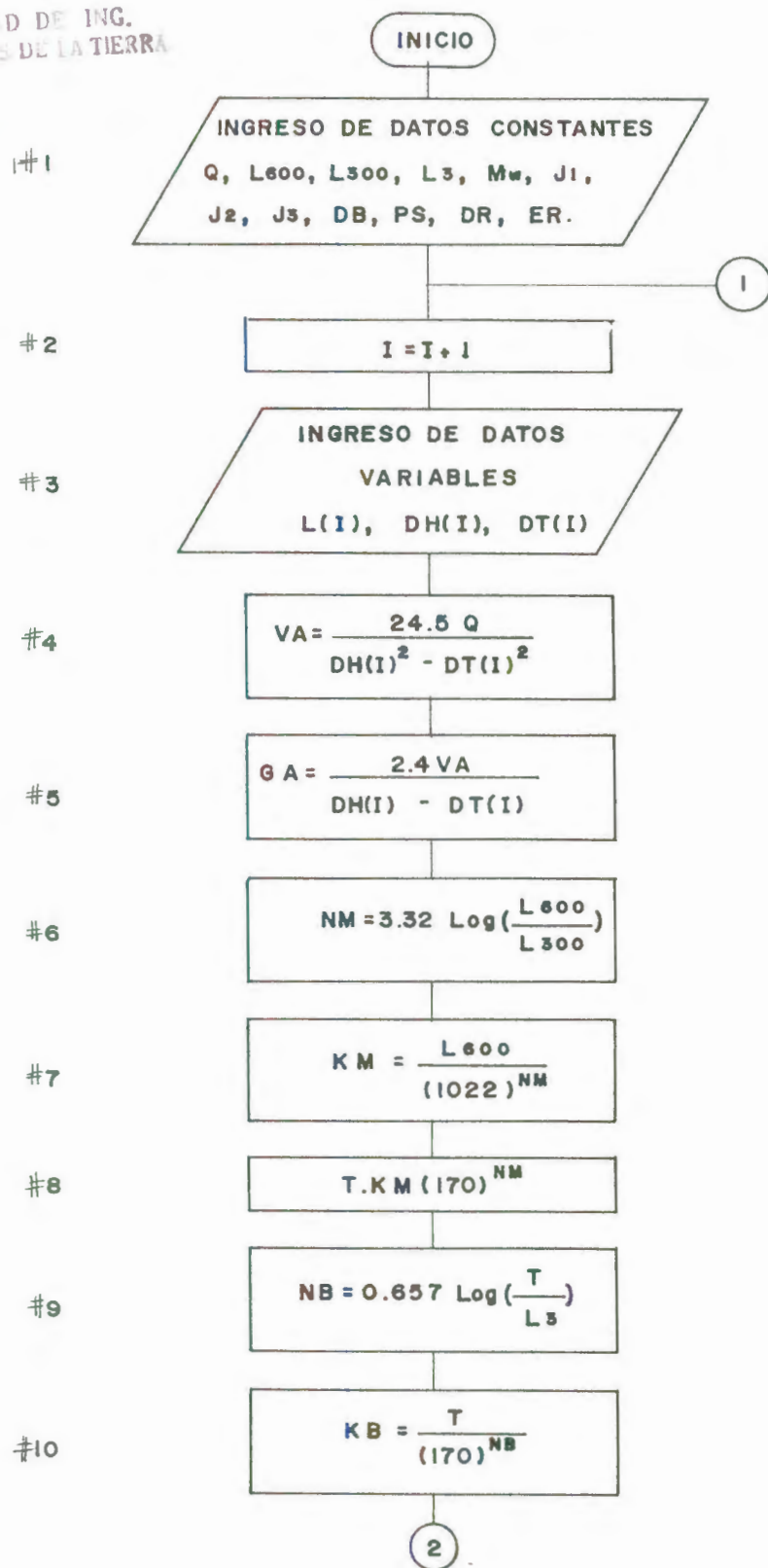


BIBLIOTECA FICT
ESPOL

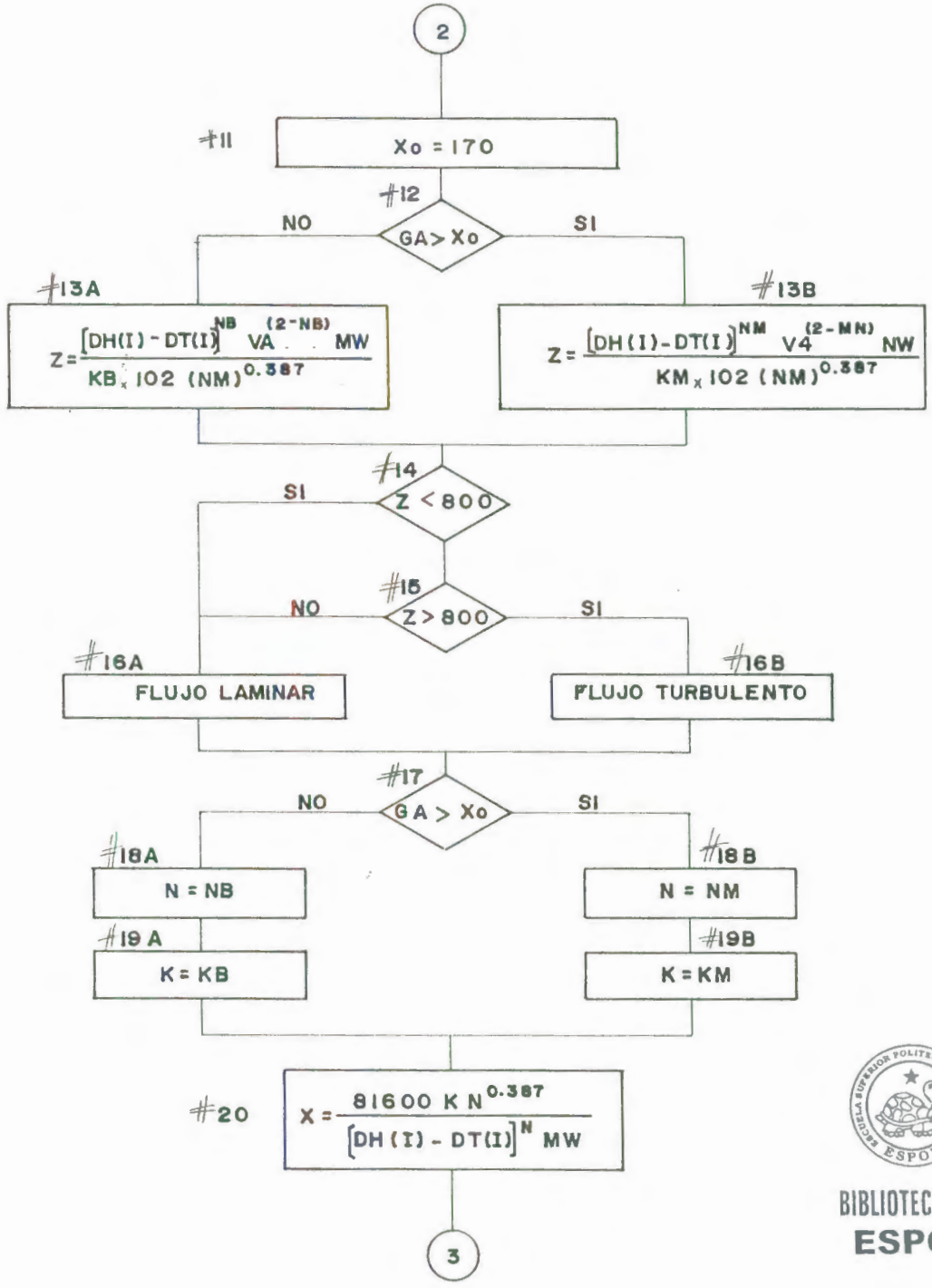


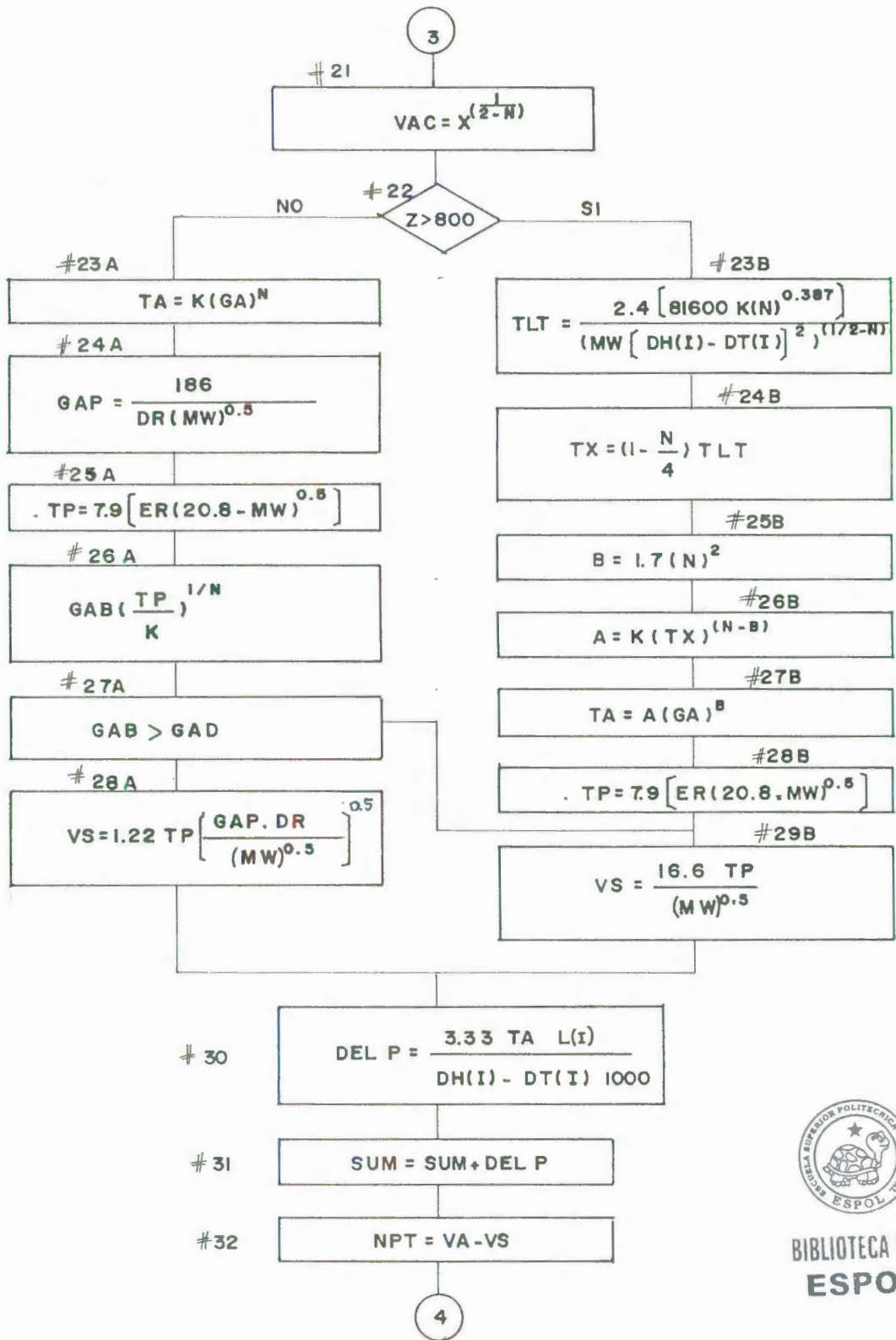
FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

DIAGRAMA DE FLUJO

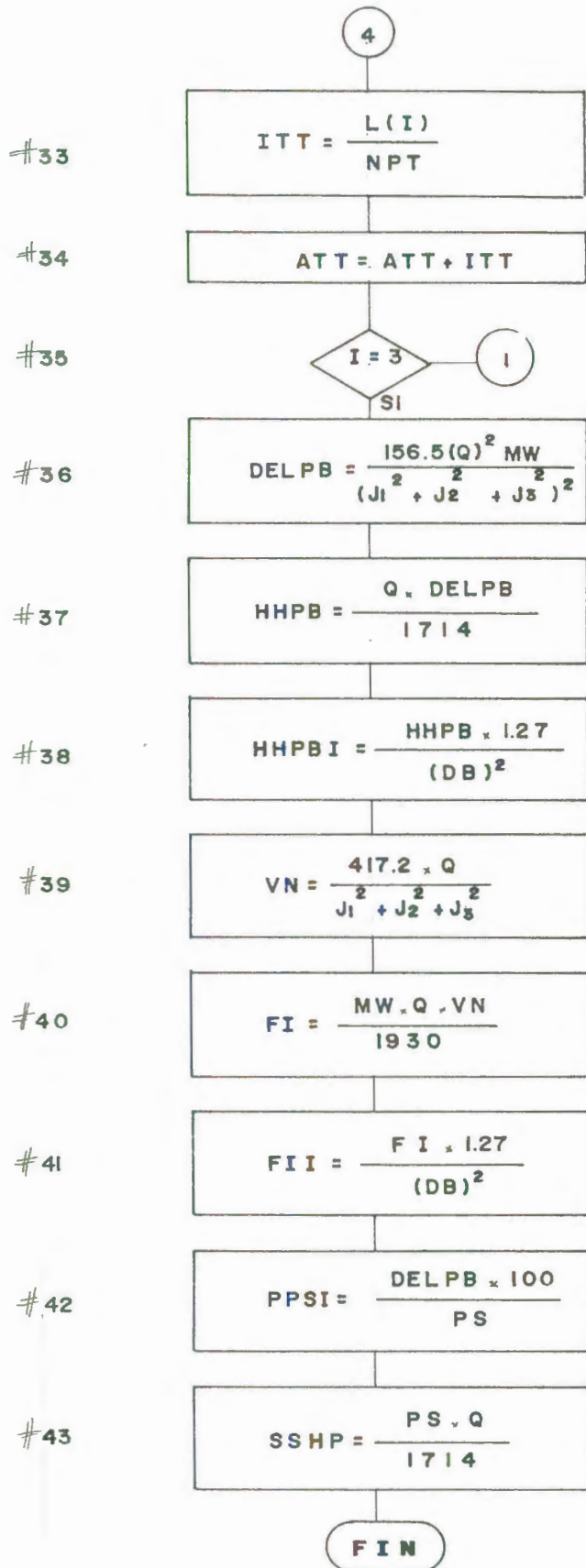


BIBLIOTECA FICT
ESPOL





BIBLIOTECA FICT
ESPOL



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

```

10 REM ingreso de datos
20 INPUT "Q= ";Q
30 INPUT "1600= ";L600
40 INPUT "1300= ";L300
50 INPUT "13= ";L3
60 INPUT "mw= ";MW
70 INPUT "i1= ";J1
80 INPUT "j2= ";J2
90 INPUT "j3= ";J3
100 INPUT "db= ";DB
110 INPUT "ps= ";PS
120 INPUT "dr= ";DR
130 INPUT " er= ";ER
140 I=I+1
150 INPUT "l(i)=";L(I)
160 INPUT "dh(i)=";DH(I)
170 INPUT "dt(i)=";DT(I)
180 VA=24.5*Q/(DH(I)^2-DT(I)^2)
190 GA=2.4*VA/(DH(I)-DT(I))
200 NM=3.32*.4343*LOG(L600/L300)
210 KM=L600/1022^NM
220 T=KM*170^NM
230 NB=.657*.4343*LOG(T/L3)
240 KB=T/170^NB
250 LPRINT TAB(20);" va= ";USING"#####.###":VA
260 LPRINT TAB(20);" ga= ";USING"#####.###":GA
270 LPRINT TAB(20);" nm= ";USING"##.###":NM
280 LPRINT TAB(20);" km= ";USING"##.###":KM
290 LPRINT TAB(20);" nb= ";USING"##.###":NB
300 LPRINT TAB(20);" kb= ";USING"##.###":KB
310 LPRINT TAB(20);" t= ";USING"###.###":T;
320 X0=170
330 Z=(((DH(I)-DT(I))^NB)*(VA^2-NB)*MW)/(KB*102*(NB)^.387)
340 GOTO 360
350 Z=(((DH(I)-DT(I))^NM)*(VA^2-MN)*MW)/(KM*102*(NM)^.357)
360 IF Z<800 GOTO 380
370 IF Z>800 GOTO 420
380 LPRINT "flujo laminar"
390 LPRINT
400 LPRINT TAB(20);"z= ";USING"#####.###":Z;
410 GOTO 450
420 LPRINT "flujo turbulento"
430 LPRINT
440 LPRINT TAB(20);" z= ";USING"#####.###":Z;
450 IF GA>X0 THEN 490
460 N=NB
470 K=KB
480 GOTO 510
490 N=NM
500 K=KM
510 X=(81600!*K*(N)^.387)/(((DH(I)-DT(I))^N)*MW)
520 VAC=(X^(1/(2-N)))
530 IF Z>800 THEN 660
540 TA=K*(GA^N)
550 GAB=186/(DR*(MW)^.5)

```



BIBLIOTECA FIC
ESPOL


```

560 TP=7.9*(ER*(20.8-MW))^.5
570 GAP=(TP/K)^(1/N)
580 IF GAP>GAB THEN GOTO 740
590 VS=1.22*TP*((GAP*DR)/(MW)^.5)^.5
600 LPRINT "velocidad critica"
610 LPRINT "vac= ";USING"#####.###";VAC
620 LPRINT
630 LPRINT"vs= ";USING"#####.###";VS
640 GOTO 780
650 LPRINT
660 LPRINT
670 LPRINT "vac= ";USING"#####.###";VAC
680 TLT=2.4*((81600!*K*N^.387)/(MW*(DH(I))^2))^^(1/(2-N))
690 TX=(1-(N/4))*TLT
700 B=1.7*(N)^2
710 A=K*(TX)^(N-B)
720 TA=A*(GA)^B
730 TP=7.9*((ER*(20.8-MW))^).5)
740 VS=(16.62*TP)/MW^.5
750 LPRINT
760 LPRINT
770 LPRINT VS
780 DELP=(3.33*TA*L(I))/((DH(I)-DT(I))*1000)
790 SUM=SUM+DELP
800 NPT=VA-VS
810 ITT=L(I)/NPT
820 ATT=ATT+ITT
830 LPRINT DELP
840 LPRINT NPT
850 LPRINT ITT
860 LPRINT ATT
870 IF I=3 THEN 890
880 GOTO 140
890 LPRINT SUM
900 LPRINT
910 LPRINT
920 LPRINT
930 DELPB=(156.5*Q^2*MW)/((J1^2+J2^2+J3^2))^2
940 HHPB=(Q*DELPB)/1714
950 HHPBI=(HHPB*1.27)/(DB)^2
960 VN=(417.2*Q)/(J1^2+J2^2+J3^2)
970 FI=(MW*VN*Q)/1930
980 FII=(FI*1.27)/DB^2
990 PPSI=(DELPB*100)/PS
1000 SHHP=(PS*Q)/1714
1010 LPRINT DELPB
1020 LPRINT HHPB
1030 LPRINT HHPBI
1040 LPRINT VN
1050 LPRINT FI
1060 LPRINT FII
1070 LPRINT PPSI
1080 LPRINT SHHP
1090 END

```

BIBLIOTECA



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La prueba de azul de metileno realizada en el campo durante la perforación, indica que el 50 % de los sólidos que ingresan al pozo, pertenecen a sólidos de perforación que no fueron removidos durante el ciclo de extracción. En la Tabla IV del Anexo se presentan los resultados de sólidos activos y de perforación obtenidos día a día en la perforación del pozo Guanta 6.

El fluido de perforación tiene un elevado contenido de sólidos debido a que los aparatos mecánicos de control de sólidos no trabajan en su totalidad, ya sea por razones de desgaste o falta de repuestos.

Si se pone a funcionar un ciclón desgastado, éste empezará a tener una descarga a chorro, lo cual es inadecuado debido a que en ella se expulsa demasiada barita. Los operadores del taladro cuando tienen este problema, optan por usar el ciclón haciéndolo trabajar por intermitente, razón por la que éste no cumple su función de extracción.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La operación petrolera debe ser lo suficientemente ágil para dotar de repuestos a los equipos, tan pronto como sea posible. El costo de los repuestos es generalmente insignificante frente al costo del sistema de lodos total. Ciclones en buen estado absorberán costos de materiales en forma sustancial. Por otro lado los trabajadores deben de

ser instruidos para que el sistema de control de sólidos trabaje siempre que sea necesario.

En los laboratorios de la ESPOL se procedió a realizar ensayos de rendimiento de la bentonita usada en la perforación del pozo. Después de un sinnúmero de ensayos, se elaboró la Tabla V de Rendimiento vs Tiempo de Hidratación. Esta tabla muestra valores promedios de rendimiento, pero la dispersión para cada resultado no es mayor del 2 %, de tal forma que los resultados que muestra dicha tabla pueden utilizarse con alto grado de confiabilidad.

Se observa en la misma Tabla V, que la bentonita alcanza su máximo rendimiento a las 48 horas de hidratación, tiempo después del cual el rendimiento ya no varía. En la operación, el lodo ingresa al pozo generalmente antes de las 3 horas de haberse preparado con un valor de la viscosidad más elevada mientras está circulando, llegando a valores no programados y consecuentemente deberá luego realizarse un tratamiento posterior con el incremento del costo respectivo.

En los cálculos hidráulicos se establecen claramente dos tipos de valores para n y K , indicándose que la curva exponencial que se grafica en coordenadas logarítmicas sufre una desviación en los valores bajos de velocidad de corte (Ver Tablas XI, XII y XIII).

El régimen de flujo en el espacio anular es descrito para todas las geometrías que en él ocurren, manteniéndose turbulento entre el lastrabarrena y la pared del hueco para casi todos los días de la perforación. (Ver Tablas XIV, XV y XVI). Es prácticamente imposible mantener flujo laminar en esta zona. Para realizar aplicaciones de campo en este modelo, fue necesario utilizar los valores bajos de n y K para régimen laminar y los valores altos para régimen turbulento.

Los cálculos de limpieza del pozo mostrados en las Tablas XVI, XVII y XVIII indican que los rípios son sacados a superficie en un tiempo promedio de :

- 1.- Entre 5000 pies y 9000 pies, 120 minutos.
- 2.- Entre 9000 pies y 9700 pies, 200 minutos.
- 3.- Entre 9700 pies y PT, 160 minutos.



BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL

En el primer intervalo el tiempo de limpieza es menor debido a que las formaciones Orteguzaza, Tiyuyacu y Tena son relativamente suaves y como no contienen hidrocarburos, la broca usada es de alta velocidad de rotación permitiendo una alta tasa de penetración, para lo cual es necesario una limpieza rápida.

En el segundo intervalo se atraviesa la parte superior de la formación Napo la cual es más dura, debiéndose utilizar una broca de inserto que a la vez es de baja velocidad de

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La lutita que se adhiere al lodo no es activa, pues la prueba del azul de metileno (MBT) indica que la arcilla del lodo, el 50 % corresponde a bentonita comercial agregada en superficie y el otro 50 % a lutita de formación incorporada al sistema.
- 2.- No usar el limpia lodos (Mud Cleaner) debido al bajo contenido de sólidos del fluido de perforación en estudio. Si un limpia-lodos es puesto a funcionar en el ciclo de limpieza del lodo, este empezará a expulsar toda la barita, produciendo una baja en la densidad del lodo.
- 3.- Cuando se grafican los resultados de las pruebas de laboratorio efectuados, se observa que para valores bajos de velocidad de corte existe un incremento de K no detectado en las lecturas altas. Se concluye que se necesitan los valores bajos de tensión de corte y velocidad de corte para describir en forma apropiada el verdadero comportamiento del fluido en el espacio.
- 4.- Se recomienda el uso de un tanque hidratador o cantina para prehidratar la bentonita comercial por 48 horas. Su capacidad puede ser de 60 a 80 barriles, para así suministrar al lodo la arcilla hidratada. Además, mantener los aparatos mecánicos de control de sólidos trabajando las 24 horas.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

A N E X O S



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

A N E X O D E T A B L A S



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

RANGO	DE	PROPIEDADES	DEL	FLUIDO
DENSIDAD		9.0-9.3		Lbs/gal
VISCOCIDAD MARSH		35-40		seg
VISCOCIDAD PLASTICA		5-8		cp
PUNTO CEDENTE		10-16		Lbs/100pie ²
PH		10		
VOLUMEN DE FILTRADO		< 16		c.c.
% DE SOLIDOS		4-6		%

TABLA I PROPIEDADES DEL LODO EN EL INTERVALO DE
5500-8000 PIES

RANGO	DE	PROPIEDADES	DEL	FLUIDO
DENSIDAD		9.3-10.2		Lbs/gal
VISCOCIDAD MARSH		40-45		seg
VISCOCIDAD PLASTICA		5-10		cp
PUNTO CEDENTE		12-16		Lbs/100pie ²
PH		10		
VOLUMEN DE FILTRADO		10-11		c.c.
% DE SOLIDOS		6-8		%

TABLA II PROPIEDADES DEL LODO EN EL INTERVALO DE
8000-PT PIES



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

días	MW	Vw	Vs	Ar (MBT)	SGS
1	9.3	0.94	0.06	14.5	2.93
2	9.3	0.94	0.06	19.0	2.93
3	9.3	0.94	0.06	20.0	2.93
4	9.3	0.94	0.06	21.0	2.93
5	9.3	0.94	0.06	21.5	2.93
6	9.3	0.93	0.07	21.5	2.66
7	9.3	0.94	0.06	22.0	2.93
8	9.3	0.94	0.06	22.5	2.93
9	9.3	0.94	0.06	23.0	2.93
10	9.3	0.94	0.06	23.5	2.93
11	9.4	0.93	0.07	23.5	2.83
12	9.4	0.93	0.07	23.0	2.83
13	9.4	0.93	0.07	24.0	2.83
14	9.5	0.93	0.07	23.5	3.00
15	9.6	0.92	0.08	24.0	2.90
16	9.7	0.92	0.08	25.0	3.05
17	9.9	0.91	0.09	25.5	3.09
18	9.9	0.91	0.09	25.0	3.09

TABLA III DATOS DE LABORATORIO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

dias	Vb	Vl	LPBB	LBBL	ANR
1	0.01	0.05	17.82	43.44	28.94
2	0.01	0.05	17.82	43.44	24.44
3	0.01	0.05	17.82	43.44	23.44
4	0.01	0.05	17.82	43.44	22.44
5	0.01	0.05	17.82	43.44	21.94
6	0.00	0.07	3.56	61.30	39.80
7	0.01	0.07	17.82	43.44	21.44
8	0.01	0.07	17.82	43.44	20.94
9	0.01	0.07	17.82	43.44	20.44
10	0.01	0.07	17.82	43.44	19.94
11	0.01	0.06	14.25	54.71	31.21
12	0.01	0.06	14.25	54.71	31.71
13	0.01	0.06	14.25	54.71	30.71
14	0.02	0.05	24.95	48.11	24.61
15	0.01	0.07	21.38	59.38	35.38
16	0.02	0.06	32.07	52.78	27.78
17	0.03	0.06	39.20	57.46	31.96
18	0.03	0.06	39.20	57.46	32.46

TABLA IV CANTIDAD DE ARCILLA ACTIVA EN EL LODO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

TIEMPO DE HIDRATACION horas	RENDIMIENTO DE LA BENTONITA barriles de lodo/1 tonelada de bentonita
0	45
6	75
12	85
24	90
48	95
60	95

TABLA V TIEMPO DE HIDRATACION Y RENDIMIENTO DE LA ARCILLA

DIAMETRO	PULGADAS
DH(1) 1	10.00
DP(1) 1	7.00
DH(1) 2	10.00
DP(1) 2	4.5
DH(1) 3	10.75
DP(1) 3	4.50

TABLA VI DIAMETROS DE LAS GEOMETRIAS DEL POZO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	L(I)	L(I)	L(I)	L(I)tal
1	558	2534	2015	5626
2	558	3638	2015	6211
3	558	4041	2015	6614
4	558	4327	2015	6900
5	558	4667	2015	7240
6	558	4967	2015	7540
7	558	5337	2015	7910
8	558	5517	2015	8090
9	558	5918	2015	8491
10	558	6257	2015	8830
11	558	6457	2015	9030
12	558	6771	2015	9344
13	558	7067	2015	9640
14	558	7132	2015	9705
15	558	7162	2015	9735
16	558	7277	2015	9850
17	558	7417	2015	9990
18	558	7507	2015	10080

TABLA VII LONGITUDES DE LAS GEOMETRIAS DEL POZO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	Q	L600	L300	L3	J1	J2	J3
1	400	16	11.5	3	11	12	12
2	370	18	12	4	11	12	12
3	330	18	13	4	12	12	12
4	330	20	14	5	12	12	12
5	300	21	14	4	12	12	12
6	300	23	16	4	12	12	12
7	300	23	16	5	12	12	13
8	300	20	14	3	12	12	13
9	300	19	12	3	12	12	13
10	300	19	13	4	12	13	13
11	300	20	14	4	12	13	13
12	300	20	13	4	12	13	13
13	300	21	14	4	12	13	13
14	300	22	15	4	12	13	13
15	261	23	16	4	12	13	13
16	261	24	18	6	13	13	13
17	240	25	20	6	13	13	13
18	242	26	20	5.5	13	13	13

TABLA VIII DATOS TOMADOS EN EL CAMPO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	MW	DB	PS	DR	ER
1	9.3	9.875	2600	0.2	0.1
2	9.3	9.875	2100	0.2	0.1
3	9.3	9.875	1800	0.2	0.1
4	9.3	9.875	1800	0.2	0.1
5	9.3	9.875	1600	0.2	0.1
6	9.3	9.875	1600	0.2	0.1
7	9.3	9.875	1600	0.2	0.1
8	9.3	9.875	1600	0.2	0.1
9	9.3	9.875	1600	0.2	0.1
10	9.3	9.875	1600	0.2	0.1
11	9.4	9.875	1600	0.2	0.1
12	9.4	9.875	1600	0.2	0.1
13	9.4	9.875	1600	0.2	0.1
14	9.5	9.875	1600	0.2	0.1
15	9.6	9.875	1500	0.2	0.1
16	9.7	9.875	1500	0.2	0.1
17	9.9	9.875	950	0.2	0.1
18	9.9	9.875	1000	0.2	0.1

TABLA IX DATOS TOMADOS EN EL CAMPO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS		VA	GA	NM	KM	NB	KB
1	Ia	192.2	153.7	0.590	0.234	2.038	6.811
1	Ib	122.9	53.6	0.590	0.234	2.038	6.811
1	Ic	102.8	39.5	0.590	0.234	2.038	6.811
2	Ia	177.8	142.2	0.585	0.313	0.130	3.236
2	Ib	113.7	49.0	0.585	0.313	0.130	3.236
2	Ic	95.1	36.5	0.585	0.313	0.130	3.236
3	Ia	158.5	126.8	0.469	0.697	0.189	2.939
3	Ib	101.4	44.2	0.469	0.697	0.193	2.939
3	Ic	84.8	32.6	0.469	0.697	0.193	2.939
4	Ia	158.5	126.8	0.513	0.567	0.132	4.029
4	Ib	101.4	44.2	0.513	0.567	0.132	4.029
4	Ic	84.8	32.6	0.513	0.567	0.132	4.029
5	Ia	144.1	115.3	0.585	0.365	0.174	3.012
5	Ib	92.2	40.2	0.585	0.365	0.174	3.012
5	Ic	77.1	29.6	0.585	0.365	0.174	3.012
6	Ia	144.1	115.3	0.523	0.612	0.231	8.997
6	Ib	92.2	40.2	0.523	0.612	0.231	8.997
6	Ic	77.1	29.6	0.523	0.612	0.231	8.997

TABLA X VALORES ALTOS Y BAJOS DE TENSION DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 1, 2, 3, 4, 5 Y 6



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	VA	GA	NM	KM	ND	NK
7 Ia	144.1	115.3	0.523	0.612	0.168	3.804
7 Ib	92.2	40.2	0.523	0.612	0.168	3.804
7 Ic	77.1	29.6	0.523	0.612	0.168	3.804
8 Ia	144.1	115.3	0.514	0.567	0.278	1.906
8 Ib	92.2	40.2	0.514	0.567	0.278	1.906
8 Ic	77.1	29.6	0.514	0.567	0.278	1.906
9 Ia	144.1	115.3	0.663	0.193	0.188	2.209
9 Ib	92.2	40.2	0.663	0.193	0.188	2.209
9 Ic	77.1	29.6	0.663	0.193	0.188	2.209
10 Ia	144.1	115.3	0.547	0.429	0.165	3.058
10 Ib	92.2	40.2	0.547	0.429	0.165	3.058
10 Ic	77.1	29.6	0.547	0.429	0.165	3.058
11 Ia	144.1	115.3	0.514	0.567	0.196	2.905
11 Ib	92.2	40.2	0.514	0.567	0.196	2.905
11 Ic	77.1	29.6	0.514	0.567	0.196	2.905
12 Ia	144.1	115.3	0.621	0.270	0.141	3.176
12 Ib	92.2	40.2	0.621	0.270	0.141	3.176
12 Ic	77.1	29.6	0.621	0.270	0.141	3.176

TABLA XI VALORES ALTOS Y BAJOS DE TENSION DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 7, 8, 9, 10, 11 Y 12



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	VA	GA	NM	KM	NB	KB
13 Ia	144.1	115.3	0.585	0.365	0.174	3.012
13 Ib	92.2	40.2	0.585	0.365	0.174	3.012
13 Ic	77.1	29.6	0.585	0.365	0.174	3.012
14 Ia	144.1	115.3	0.552	0.479	0.204	2.869
14 Ib	92.2	40.2	0.552	0.479	0.204	2.869
14 Ic	77.1	29.6	0.552	0.479	0.204	2.869
15 Ia	125.4	100.3	0.523	0.612	0.231	2.743
15 Ib	80.2	35.0	0.523	0.612	0.231	2.743
15 Ic	67.1	25.8	0.523	0.612	0.231	2.743
16 Ia	125.4	100.3	0.415	1.355	0.183	4.450
16 Ib	80.2	35.0	0.415	1.355	0.183	4.450
16 Ic	67.1	25.8	0.415	1.355	0.183	4.450
17 Ia	115.3	92.2	0.322	2.689	0.243	4.040
17 Ib	73.7	32.2	0.322	2.689	0.243	4.040
17 Ic	61.7	23.7	0.322	2.689	0.243	4.040
18 Ia	116.2	93.0	0.378	1.890	0.250	3.661
18 Ib	74.4	32.2	0.378	1.890	0.250	3.661
18 Ic	62.2	23.9	0.378	1.890	0.250	3.661

TABLA XII VALORES ALTOS Y BAJOS DE TENSION DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 13, 14, 15, 16, 17 Y 18



BIBLIOTECA FICT
ESPOL.

DIAS	T	Z	FLUJO	VAC	VS	DELP	
1	Ia	6.811	3728	TURBU	161.2	46.2	3.29
1	Ib	6.811	1757	TURBU	148.9	46.2	7.39
1	Ic	6.811	1268	TUBU	146.4	46.2	4.97
2	Ia	6.307	2262	TURBU	146.1	46.2	3.27
2	Ib	6.307	1000	TURBU	140.1	46.2	11.30
2	Ic	6.307	712	LAMIN	138.3	46.2	5.55
3	Ia	7.758	1829	TURBU	170.4	46.2	3.85
3	Ib	7.758	839	TURBU	160.0	46.2	14.21
3	Ic	7.758	602	LAMIN	157.8	43.6	6.10
4	Ia	7.951	1439	TURBU	165.8	46.2	4.16
4	Ib	7.951	637	LAMIN	158.8	43.9	17.43
4	Ic	7.951	454	LAMIN	157.4	43.9	6.86
5	Ia	7.359	1498	TURBU	164.1	46.2	3.66
5	Ib	7.359	681	LAMIN	158.2	46.2	16.18
5	Ic	7.359	487	LAMIN	157.0	46.2	5.83
6	Ia	8.997	1569	TURBU	188.7	46.2	4.33
6	Ib	8.997	738	LAMIN	174.3	30.3	19.39
6	Ic	8.997	532	LAMIN	171.4	30.3	6.45

TABLA XIII REGIMENES DE FLUJO Y CAIDAS DE PRESION PARA
 CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR
 DURANTE LOS DIAS 1., 2., 3., 4., 5 Y 6



BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

DIAS	T	Z	FLUJO	VAC	VS	DELP
7	Ia	1195	TURBU	182.5	46.2	4.57
7	Ib	541	LAMIN	172.6	28.8	22.93
7	Ic	387	LAMIN	170.6	28.8	7.21
8	Ia	2213	TURBU	178.1	46.2	3.68
8	Ib	1071	TURBU	161.5	46.2	17.26
8	Ic	777	LAMIN	158.2	38.7	5.25
9	Ia	2012	TURBU	144.9	46.2	2.80
9	Ib	922	TURBU	136.0	46.2	15.20
9	Ic	661	LAMIN	134.5	46.2	4.50
10	Ia	1492	TURBU	160.3	46.2	3.60
10	Ib	674	LAMIN	145.3	46.2	21.28
10	Ic	482	LAMIN	143.0	46.2	5.73
11	Ia	1535	TURBU	172.3	45.7	3.90
11	Ib	707	LAMIN	161.4	39.9	23.43
11	Ic	508	LAMIN	159.1	39.9	8.06
12	Ia	1501	TURBU	150.0	45.7	3.35
12	Ib	669	LAMIN	148.3	45.7	21.95
12	Ic	477	LAMIN	145.1	45.7	5.51

TABLA XIV REGIMENES DE FLUJO Y CAIDAS DE PRESION PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 7, 8, 9, 10, 11 Y 12



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS		NPT	ITT	ATT	SUM
1	Ia	146.0	3.82	3.82	
1	Ib	76.7	33.03	36.85	
1	Ic	56.7	35.57	72.42	15.64
2	Ia	131.6	4.24	4.24	
2	Ib	67.5	53.90	58.14	
2	Ic	48.9	41.18	99.31	20.11
3	Ia	112.4	4.97	4.97	
3	Ib	55.2	73.01	77.98	
3	Ic	41.3	48.83	126.81	24.15
4	Ia	112.4	4.97	4.97	
4	Ib	57.5	75.23	80.20	
4	Ic	41.0	49.20	129.39	28.44
5	Ia	98.0	5.70	5.70	
5	Ib	46.0	101.47	107.17	
5	Ic	30.9	65.12	172.29	25.67
6	Ia	90.0	5.70	5.70	
6	Ib	61.9	80.29	85.99	
6	Ic	48.8	43.04	129.03	30.17



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

TABLA XVI LIMPIEZA DEL POZO PARA CADA GEOMETRIA DEL MISMO
Y CAIDA DE PRESION TOTAL EN EL ESPACIO ANULAR
DURANTE LOS DIAS 1, 2, 3, 4, 5 Y 6

DIAS	I	NPT	ITT	ATT	SUM
7	IaI	98.0	5.70	5.70	
7	IbI	63.3	84.28	89.98	
7	IcI	48.3	41.74	131.72	34.60
8	IaI	98.0	5.70	5.70	
8	IbI	46.0	120.00	125.65	
8	IcI	38.4	52.43	178.08	26.18
9	IaI	98.0	5.70	5.70	
9	IbI	46.0	128.67	134.37	
9	IcI	31.0	65.12	199.49	22.47
10	IaI	98.0	5.70	5.70	
10	IbI	46.0	136.04	141.74	
10	IcI	31.0	65.12	206.86	30.58
11	IaI	98.4	5.67	5.67	
11	IbI	52.3	123.42	129.09	
11	IcI	37.3	54.07	183.16	33.39
12	IaI	98.4	5.67	5.67	
12	IbI	46.4	145.81	151.48	
12	IcI	31.4	64.19	215.67	30.80

TABLA XVII LIMPIEZA DEL POZO PARA CADA GEOMETRIA DEL POZO Y CAIDA DE PRESION TOTAL EN EL ESPACIO ANULAR DURANTE LOS DIAS 7, 8, 9, 10, 11 Y 12



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS		NPT	ITT	ATT	SUM
13	IaI	98.4	5.67	5.67	
13	IbI	46.4	152.18	157.85	
13	IcI	31.4	64.19	222.04	33.99
14	IaI	98.8	5.65	5.65	
14	IbI	55.8	127.90	133.55	
14	IcI	40.7	49.49	183.04	36.43
15	IaI	80.5	6.93	6.93	
15	IbI	51.4	139.50	146.40	
15	IcI	38.3	52.67	199.07	37.58
16	IaI	111.2	5.02	5.02	
16	IbI	66.0	110.30	115.32	
16	IcI	52.9	38.10	153.42	52.69
17	IaI	104.24	5.32	5.32	
17	IbI	62.68	118.33	123.69	
17	IcI	50.64	39.79	163.48	59.94
18	IaI	70.69	7.68	7.69	
18	IbI	61.43	122.20	129.88	
18	IcI	49.29	40.88	170.75	54.63

TABLA XVIII LIMPIEZA DEL POZO PARA CADA GEOMETRIA DEL MISMO Y CAIDA DE PRESION TOTAL EN EL ESPOL ANULAR DURANTE LOS DIAS 13, 14, 15, 16,



DIAS	DEPB	HHPB	HHPBI	VN
1	1392	325	4.23	408
2	1191	257	3.35	377
3	849	164	2.13	319
4	849	164	2.13	319
5	702	123	1.60	290
6	702	123	1.60	290
7	627	110	1.43	274
8	627	110	1.43	274
9	627	110	1.43	274
10	564	99	1.26	260
11	570	100	1.30	260
12	570	100	1.30	260
13	570	100	1.30	260
14	576	101	1.31	260
15	441	67	0.87	226
16	402	61	0.80	215
17	347	49	0.63	198
18	353	50	0.65	199

BIBLIOTECA



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA

TABLA XIX ANALISIS HIDRAULICO DE LA BROCA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	FI	FII	PPSI	SHHP
1	786	10.2	53.5	607
2	673	8.8	56.7	453
3	507	6.6	47.2	347
4	507	6.6	47.2	347
5	419	5.5	43.9	280
6	418	5.5	43.9	280
7	396	5.2	39.2	280
8	396	5.2	39.2	280
9	396	5.2	39.2	280
10	375	4.9	35.2	280
11	379	4.9	35.6	280
12	379	4.9	35.6	280
13	379	4.9	35.6	280
14	384	5.0	36.0	280
15	293	3.8	29.4	228
16	282	3.7	26.8	228
17	243	3.2	36.5	133
18	247	3.2	35.3	141

TABLA XX ANALISIS HIDRAULICO DE LA BROCA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	Q	d1	d2	MW
1	400	3.826	2.8125	9.3
2	370	3.826	2.8125	9.3
3	330	3.826	2.8125	9.3
4	330	3.826	2.8125	9.3
5	300	3.826	2.8125	9.3
6	300	3.826	2.8125	9.3
7	300	3.826	2.8125	9.3
8	300	3.826	2.8125	9.3
9	300	3.826	2.8125	9.3
10	300	3.826	2.8125	9.3
11	300	3.826	2.8125	9.4
12	300	3.826	2.8125	9.4
13	300	3.826	2.8125	9.4
14	300	3.826	2.8125	9.5
15	261	3.826	2.8125	9.6
16	261	3.826	2.8125	9.7
17	240	3.826	2.8125	9.9
18	242	3.826	2.8125	9.9

TABLA XXI DATOS TOMADOS EN EL CAMPO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	Up	f1	f2
1	4.5	0.0053	0.005
2	6	0.0057	0.0054
3	5	0.0056	0.0053
4	6	0.00575	0.00535
5	7	0.006	0.00565
6	7	0.006	0.00565
7	7	0.006	0.00565
8	6	0.0059	0.0056
9	7	0.006	0.00525
10	6	0.0059	0.0056
11	6	0.0058	0.0055
12	7	0.0061	0.00565
13	7	0.0061	0.00565
14	7	0.006	0.00565
15	7	0.0062	0.00585
16	6	0.0059	0.0057
17	5	0.0058	0.0055
18	6	0.006	0.00565

TABLA XXII VISCOSIDAD PLASTICA Y DIAMETROS INTERNOS DE LA
TUBERIA DE PERFORACION



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

DIAS	La	Lb	Pa	Fb	Ptotal
1	3991	1116	246	305	551
2	5095	1116	291	281	572
3	5488	1116	245	219	464
4	5784	1116	265	222	487
5	6124	1116	251	194	446
6	6424	1116	255	194	449
7	6794	1116	268	194	462
8	6974	1116	272	192	464
9	7365	1116	292	180	470
10	7714	1116	301	192	493
11	7914	1116	307	190	497
12	8228	1116	335	196	531
13	8524	1116	347	198	545
14	8589	1116	348	198	546
15	8619	1116	275	157	432
16	8734	1116	268	154	422
17	8874	1116	231	128	359
18	8964	1116	243	134	377

TABLA XXIII CAIDAS DE PRESION EN EL INTERIOR DE LA TUBERIA
DE PERFORACION



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAS	Ptotal	DEPB	SUM	SCP	PS	PS-SCP
1	551	1392	15.64	1958.64	2600	641.36
2	572	1191	20.11	1783.11	2100	316.89
3	464	849	24.15	1337.15	1800	462.85
4	487	849	28.44	1364.44	1800	435.56
5	446	702	25.67	1173.67	1600	426.33
6	449	702	30.17	1182.17	1600	417.83
7	462	627	34.60	1127.60	1600	472.40
8	464	627	26.18	1117.18	1600	482.82
9	470	627	22.46	1119.46	1600	480.54
10	493	564	30.58	1087.58	1600	512.42
11	497	570	33.99	1100.99	1600	499.01
12	531	570	30.80	1131.80	1600	468.20
13	545	570	33.99	1148.99	1600	451.01
14	546	576	36.43	1158.43	1600	441.57
15	432	441	37.58	910.58	1500	589.42
16	422	402	52.69	876.69	1500	623.31
17	359	347	59.94	765.94	950	184.06
18	377	353	54.63	784.63	1000	215.37

TABLA XXIV ANALISIS TOTAL DE LAS CAIDAS DE PRESION



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

ANEXO DE EXPLICACION DEL
DIAGRAMA DE FLUJO



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

EXPLICACION DEL DIAGRAMA DE FLUJO PARA CALCULOS HIDRAULICOS.

- Paso #1.- Ingreso de datos fijos (Q, L600, L300, L3, MW, J1, J2, J3, DB, Ps, DR, ER).
- #2.- Contador (I).
- #3.- Ingreso de datos variables dependiendo de la geometria que se está utilizando siendo estos: hueco-lastrabarrena, hueco-tuberia de perforación v casing superficial - tuberia de perforación [L(I), DH(I), DT (I)].
- #4.- Cálculo de la velocidad anular para cada geometria.
- #5.- Cálculo de la velocidad de corte para cada geometria.
- #6.- Cálculo del valor n a alta Velocidad de corte, este valor se lo denomina n medio.
- #7.- Cálculo del valor k a alta velocidad de corte, este valor se lo denomina k medio.
- #8.- Cálculo de la Tensión de corte a 170 usando, los valores de n y k medios.
- #9.- Cálculo del valor n a baja velocidad de corte, el cual se lo denomina n baja.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- #10.- Cálculo del valor k a baja velocidad de corte, el cual se lo denomina k baja.
- #11.- Se asigna a X_0 el valor de 170 seg^{-1} .
- #12.- Se pregunta si el valor de la velocidad de corte es mayor a 170 seg^{-1} , pues si esto ocurre nos encontramos con los valores altos de velocidad de corte y si no es así estamos en valores bajos de velocidad de corte.

Para definir el tipo de régimen de flujo se realiza el cálculo del valor Z el cual es adimensional. Así mismo n define para cada geometría este valor de Z .

- #13A.- Cálculo de Z con valores de n y K bajos.
- #13B.- Cálculo de Z con valores de n y K medios.
Si $Z > 800$ el flujo es turbulento para cualquier geometría, $Z < 800$ el flujo es laminar.
- #14.- Se pregunta si $Z < 800$
- #15.- Se pregunta si $Z > 800$
- #16A.- Flujo laminar.
- #16B.- Flujo Turbulento.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

A continuación se realizará un cambio variable

para simplificación del programa.

#17.- Se pregunta si $GA=Xp$ como en el paso #12.

#18A.- $N=NB$

#19A.- $K=KB$

#18B.- $N=NM$

#19B.- $K=KM$

#20.- Cálculo X porque es un valor intermedio usado para el cálculo de velocidad anular de corte.

#21.- Cálculo de la velocidad anular de corte.

#22.- Se pregunta si $Z > 800$ para establecer el tipo de régimen de flujo y continuar con los cálculos para flujo laminar y flujo turbulento respectivamente.

#23A.- Se calcula la tensión de corte para flujo laminar.

#24A.- Cálculo del límite de la velocidad de corte usando el diámetro de la partícula y la densidad del lodo.

#25A.- Cálculo de la tensión de corte desarrollada por la partícula usando el espesor y la

BIBLIOTECA



FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

densidad del lodo.

#26A.- Cálculo de la velocidad de corte desarrollada por la partícula.

#27A.- Determinarse cual ecuación debe usarse para calcular la velocidad de deslizamiento de la partícula.

#28A.- Cálculo de la velocidad de deslizamiento a la partícula por un flujo laminar.

#23B.- Cálculo de la turbulencia laminar en el punto de transición de la velocidad de corte, usando el peso del lodo, el diámetro anular equivalente y los apropiados valores de n y K .

#24B.- Calcular el valor intermedio de la velocidad de corte usando la turbulencia laminar antes calculada.

#25B.- Cálculo del valor B .

#26B.- Cálculo del valor A .

#27B.- Cálculo de la tensión de corte para turbulento.

#28B.- Cálculo de la tensión de corte desarrollada por la partícula usando el peso del



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

lodo y el espesor de la partícula.

#29B.- Cálculo de la velocidad de deslizamiento de la partícula para flujo turbulento.

#30.- Usando el cálculo de tensión de corte, el intervalo de longitud y el diámetro efectivo, calcular la caída de presión para ese intervalo.

#31.- En este paso se totaliza caída de presión ocurrido en todo el intervalo anular.

PARA DETERMINAR UNA LIMPIEZA EFECTIVA DEL HUECO

#32.- Cálculo del transporte neto de la partícula usando la velocidad en el anular y la velocidad de deslizamiento de la partícula.

#33.- Cálculo del tiempo transporte para un intervalo se usa el respectivo transporte neto de partícula.

#34.- Cálculo del tiempo neto de transporte anular, realizando la sumatoria de los intervalos de tiempo de tránsito.

#35.- Cierre del contador una vez que se ha introducido los datos de las tres geometrías en el programa.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- #36.- Esta ecuación calcula la cantidad de presión circulante que se pierde en la broca. REGLA: buenas hidráulicas resultan cuando se pierde en un rango de 50-60% de presión de superficie en la broca.
- #37.- Cálculo total de caballos de fuerza hidráulica por la broca.
- #38.- Cálculo del total de caballos de fuerza hidráulica por pulgada cuadrada usada por la broca. REGLA: para optimizar la perforación un buen rango de este parámetro es de 2.5-5.0.
- #39.- Cálculo de la velocidad del fluido en las boquillas de la broca. REGLA: se usa de 250 a 450 pie/seg para la mayoría de las operaciones de perforación.
- #40.- Cálculo del total en libras de fuerza empleada a la cara de la formación por el flujo de fluido a través de las boquillas. REGLA: el 50% de la presión de se extiende a la broca, esto es la máxima fuerza de impacto.
- #41.- Cálculo de la fuerza de impacto por pulgada cuadrada.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

#42.- Cálculo del % de la presión de superficie que se expande en la broca, este parámetro es complementario al calculado en el paso

#43.- Cálculo del total de caballos de fuerza hidráulica expandidos a través del sistema de circulación entero.

NOTA: el % de caballos de fuerza hidráulica expandidos en la broca es igual al % de pérdida de presión en la broca.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

A N E X O D E A B R E V I A T U R A S



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

ABREVIATURA USADA

DATOS CONOCIDOS QUE INGRESAN AL PROGRAMA EN CADA CORRIDA DEL MISMO.

DH(I) diámetro exterior del hueco dependiendo de cada geometría (pulg).

DR diámetro del ripio (pulg).

DT(I) diámetro exterior de la tubería dependiendo de cada geometría (pulg).

ER estesor del ripio (pulg).

J1 diámetro de la primera boquilla (32avo de pulg).

J2 diámetro de la segunda boquilla (32avo de pulg).

J3 diámetro de la tercera boquilla (32avo de pulg).

L600 lectura del viscosímetro a 600 RPM (Lbs/100pie)².

L300 lectura del viscosímetro a 300 RPM (Lbs/100pie)².

L3 lectura del viscosímetro a 3 RPM (Lbs/100pie)².

MW densidad del lodo (LPG).

Q caudal de la broca (GPM).

Xo punto límite entre la velocidad de corte baja la velocidad de corte alta siendo Xo=170seg⁻¹.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

VARIABLES QUE CALCULA EL PROGRAMA

A valor recalculado del índice de consistencia
 n ²
(Lbs/seg /100pie).

ATT tiempo de transporte anular (min).

B valor recalculado del índice de la ley exponencial
(adimensional).

DELP caída de presión en la sección anular para cada
 2
geometria (Lbs/pulg).

DELPB caída de presión en la broca (Lbs/pulg)².

FI fuerza de impacto del fluido fluyendo de la broca
(Lbs).

FII fuerza de impacto por pulgadas cuadradas de el área de
 2
la broca (Lbs/pug).

GA velocidad de corte del lodo (seg)⁻¹.

GAB velocidad de corte en el límite seco (seg)⁻¹.

GAP velocidad de corte generada por las partículas a
 -1
traves de lodo (seg).

HHPB caballos de fuerza hidráulicos de la broca (HP).

HHPBI caballos de fuerza hidráulicos por pulgadas cuadradas de el área de la broca (HP/pulg)².



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- ITT tiempo de transporte para un intervalo (min).
- KB índice bajo de consistencia (adimensional).
- KM índice medio de consistencia $(\text{Lbs}/\text{seg}^2/100\text{pie})$.
- NB índice bajo de la ley exponencial (adimensional).
- NM índice medio de la ley exponencial (adimensional).
- NPT transporte neto de la partícula en el anular
(pie/min).
- PFSI porcentaje de pérdida de presión de circulación en la
broca (%).
- SHHP caballos de fuerza totales del sistema de circula-
ción (HP).
- SUM caída de presión total en el anular $(\text{Lbs}/\text{pulg}^2)$.
- T tensión de corte del lodo a 170 seg $^{-1}$ $(\text{Lbs}/100\text{pie}^2)$.
- TA tensión de corte del fluido en la sección anular
 $(\text{Lbs}/100\text{pie}^2)$.
- TLT velocidad de corte en el punto de transición de flujo
laminar a turbulento para cualquier geometría
 $^{-1}$
(seg).
- TP tensión de corte generada por la partícula
 2
(Lbs/100pie).



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

TX valor intermedio de la velocidad de corte, usado para recalcular la tensión de corte en el régimen turbulento (seg⁻¹).

VA velocidad del lodo en el espacio anular (PPM).

VAC velocidad crítica, es la velocidad a la cual el flujo cambia de laminar a turbulento (pie/min).

VN velocidad del lodo en las boquillas (pie/seg).

VS velocidad de deslizamiento de las partículas con diámetro DR y espesor ER (pie/min).

X valor intermedio para calcular la velocidad anular de corte (seg⁻¹).

Z valor numérico que indica el régimen de flujo de los fluidos de perforación. Valor $Z > 800$ indica flujo turbulento, valor $Z < 800$ indica flujo laminar.

CALCULOS DE ARCILLA ACTIVA

ANR libras de arcilla no cativa por barril de lodo.

AR libras de arcilla no activa por barril de lodo.

LPBB libras de barita por barril de lodo.

LPBL libras de sólidos de baja gravedad específica.

MBT prueba de azul de metileno.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

SGS gravedad específica promedio de los sólidos.

Vb porcentaje por volumen de barita.

Vl porcentaje por volumen de sólidos de baja gravedad específica.

OTROS

BPD barriles por día.

Cl cloro.

cm centímetro.

Cp centipoise.

d1 diámetro interno de la tubería de perforación (pulg).

d2 diámetro exterior del lastrabarrena (pulg).

K potasio.

f1 factor de Fanny para la tubería de perforación (adimensional).

f2 factor de Fanny para el lastrabarrena (adimensional).

La longitud de la tubería de perforación (pie).

Lb longitud del lastrabarrena (pie).

Lbs libras.

LPG libras por galón

BIBLIOTECA



**FACULTAD DE ING.
EN CIENCIAS DE LA TIERRA**



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

min minutos.

P_a caída de presión en la tubería de perforación²
(Lbs/pulg).

P_b caída de presión en el lastrabarrena (Lbs/pulg)².

P_{total} caída de presión total en el interior de la sarta²
de perforación (Lbs/pulg).

SCP suma de caídas de presión en el pozo (Lbs/pulg)².

pulg pulgada.

RPM revoluciones por minuto.

seg segundo.

U_p viscosidad plástica (Cp).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) Holman, W., E. Drilling Fluid Rheology.
- 2) Milchem, Mud Factor-Engineering Handbook (Houston, Milchem, 1963).
- 3) B. Castro, Manual Práctico de Tecnología Aplicada de Perforación (Baroid de Maracaibo, Venezuela, 1980), Capítulos 6, 25, 26
- 4) M.A. Benitez, F. Baraicochea y C. Reyes, Apuntes de Fluidos de Perforación (México, Universidad Autónoma de México, México, 1984), pp, 83-89.
- 5) A. Gallardo, "Selección de un Fluido de Perforación para Analizar la Inestabilidad de las Arcillas del Area del Golfo de Guayaquil" (Tesis, Facultad de Ingeniería Geología, Minas y Petroleos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985).
- 6) N. Romero, Métodos de control de sólidos.
- 7) F. R. Basghaw, Drilling Fluid Rheological Control "n" y "K". Xanco a Division of Kelco Co. 3501 West Alabama Street. Houston, Texas 77027.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL