

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO

CEMENTACION DE CAMISAS EN POZOS PROFUNDOS

TESIS DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO
DE
INGENIERO DE PETROLEO

POR

FABIAN G. MIÑO O.

GUAYAQUIL-ECUADOR

1979

CEMENTACION DE CAMISAS
EN POZOS PROFUNDOS

DIRECTOR DE TESIS

ING. DANIEL TAPIA F.

AUTOR

FABIAN G. MIÑO O.

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

DEDICATORIA

A mis queridos padres:

SR. DN. POLIVIO MINO ARELLANO

SRA. DNA. ANITA ORBE DE MINO,

quienes me enseñaron, con su constante abnegación, los principios de responsabilidad que guiaron mis ideales para alcanzar la meta señalada.

A mis hermanos, que hicieron realidad mis esperanzas sembradas, por el apoyo desinteresado en la culminación de mis estudios.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica
del Litoral (E.S.P.O.L.)

Mi sincero agradecimiento a la empresa
LAGOVEN, S.A. (Filial de Petróleos de
Venezuela), por la valiosa colaboración
Técnica y Administrativa, que hizo posi-
ble la realización del presente trabajo.

Especialmente deseo manifestar mi eterna
gratitud al Ing^o. Juan A. García, de la
Compañía EXXON, quien no escatimó esfuer-
zo alguno en el asesoramiento de esta
tesis. De igual manera, deseo agradecer
al Ing^o. Pedro Martorano, por las sugere-
ncias técnicas aportadas fruto de su
experiencia, a la Sección de Ingeniería
de Perforación por sus observaciones
oportunas, como también a las Compañías
Halliburton y Texas Iron Works, Inc.,
de Venezuela en las personas del Sr.
Amado Estrada y Robert G. Leary, respec-
tivamente.

Además, quiero resaltar a la
Organización de Administración
Técnica de Lagoven por su efi-
ciencia y gran espíritu de cola-
boración.

RESUMEN

Inicialmente la completación a hueco abierto, fue insuficiente por graves problemas durante la producción, dando origen a completar mediante una camisa ranurada y posteriormente introducir la cementación de una camisa.

El estudio se concentró en pozos exploratorios, de desarrollo y de rehabilitación en el cretáceo del Lago de Maracaibo, Venezuela.

El objetivo principal es analizar los factores que controlan la cementación de una camisa, hacer las recomendaciones respectivas y presentar los resultados en base de los datos de producción.

Para completar este análisis se indica el efecto que tiene la planificación, poniendo especial atención en la mezcla de cemento y en la inspección del equipo.

Finalmente, la cementación de una camisa en la práctica demuestra que por su eficiencia y economía constituye un método óptimo de completación.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	4
REVISION GENERAL	
CAPITULO II	13
CONSIDERACIONES TEORICAS	
II.1. Mayores temperaturas, zonas presurizadas y fluidos corrosivos en muchas áreas.	15
II.2. Espacios anulares reducidos y dificultades para reciprocarse la tubería durante la cementación.	25
II.3. Sistemas de barro pesados.	26
II.4. Factores que contribuyen a obtener fallas en la cementación	36
II.5. Pruebas posteriores a la cementación.	37
II.5.1. Prueba en el tope	38
II.5.2. Prueba en la zapata	39
II.5.3. Prueba diferencial	39
II.6. Forzamiento de cemento	41
CAPITULO III	43
DESCRIPCION DEL EQUIPO	
III.1. Equipo de superficie	
II.1.1. Múltiple y cabezal de cementación	43
II.1.2. Líneas de cementación	45
III.2. Equipo de subsuelo	45
II.2.1. Tubería de perforación	45
II.2.2. Ensamblaje de asentamiento	47
II.2.3. Tipos de colgadores	54

II.2.4.	Típos de camisas	56
II.2.5.	Equipo de flotación	58
II.2.6.	Tapones de cementación	62
CAPITULO IV		66
PLANIFICACION DISEÑO Y CALCULOS		
IV.1.	Diseño y cálculos para la camisa	66
IV.1.1.	Selección de la camisa	66
IV.1.2.	Densidad equivalente de circulación	75
IV.1.3.	Velocidad de corrida	80
IV.2.	Diseño y cálculos para la lechada	92
IV.2.1.	Peso-redimiento-volumen	94
IV.2.2.	Velocidad crítica en el anular	101
IV.2.3.	Tasa de circulación en función de la presión	111
IV.2.4.	Tiempo para realizar la cementación	131
IV.2.4.1.	Mezclado del cemento	131
IV.2.4.2.	Limpieza de las líneas	132
IV.2.4.3.	Desplazamiento de la mezcla	134
IV.2.4.4.	Desconexión y levantamiento de la tubería	134
IV.2.5.	Pruebas de fraguado y compresiva	135
IV.2.6.	Aditivos	150
IV.3.	Planificación durante la corrida y cementación en el pozo	158
IV.4.	Problemas prácticos de aplicación	179
CAPITULO V		208
DISCUSION DE RESULTADOS		

CAPITULO VI	220
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
NOMENCLATURA	222
APENDICES	224

APENDICE A:

Prueba de integridad de presión (P.I.P.)

APENDICE B:

Diseño de un revestimiento de producción y de una camisa

APENDICE C:

Listado de programas para una calculadora T.I. SR-52

APENDICE D:

Programas A.P.I. para determinar la temperatura de circulación.

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Debido al agotamiento de las reservas de Hidrocarburos probadas en los yacimientos con pozos superficiales, se ha dado un gran impulso al desarrollo de nuevas áreas inexploradas, con la perforación de pozos más profundos, los cuales no eran atractivos hace algunos años, pero debido al incremento en los precios del crudo y al incremento de la demanda se justifica plenamente su inversión.

Esto significa que, para alcanzar las altas profundidades (+ 16.000') se requieren mayores controles y procedimientos debido a las operaciones más sofisticadas y complejas, entre ellas la cementación de camisas en pozos profundos, que es la parte principal de esta tesis.

Los primeros pozos fueron completados a hueco abierto, debido a la dificultad para la interpretación de los registros eléctricos sónicos, etc., en las calizas del cretáceo, de tal forma que permitiera seleccionar las zonas productivas, de interés económico.

Este tipo de completación dió origen a problemas durante la producción, debido a taponamiento de la tubería de producción con fragmentos de roca, por la continua erosión de las formaciones.

Posteriormente, la completación a hueco abierto fue sustituida por la instalación de una camisa ranurada. Con este tipo de completación se controlaron los sólidos producidos con el petróleo, sin embargo, los problemas que

se presentaban eran mayores y más severos, como el controlar altas producciones de agua o de gas.

Por consiguiente, como una solución a estos problemas se introdujo como una nueva técnica de completación, la cementación de camisas lisas.

Mediante la utilización de esta completación, se han obtenido mayores ventajas como lo demuestran los resultados de producción de petróleo limpio altamente positivos.

El propósito de este trabajo es hacer un análisis de los principales factores que influyen durante la cementación de una camisa lisa, en pozos profundos.

Además, se describe el equipo utilizado tanto en la superficie como en el fondo, la forma práctica de inspeccionar los colgadores y los procedimientos adecuados para el asentamiento de los mismos.

También se presentan los diseños y cálculos fundamentales para la medida de la camisa y su cementación respectiva.

Se efectuaron en el Laboratorio análisis prácticos de mezclas de cemento, con el propósito de estudiar el comportamiento de las principales propiedades físicas del cemento, bajo condiciones simuladas de presión y temperaturas existentes en el pozo.

La planificación total de la operación de metida y cementación de la camisa se describe completamente, señalando las soluciones recomendadas en caso de posibles fallas durante la cementación.

Se incluyen diversos problemas prácticos de aplicación, realizados en pozos profundos de la Compañía Lagoven, S.A.

La mayoría de los cálculos se realizaron, utilizando cuatro programas computarizados sobre velocidad de corrida, velocidad crítica y densidad equivalente de circulación los cuales son muy prácticos por el ahorro de tiempo que representan.

Para el procesamiento de estos programas, se utilizó una calculadora programable Texas Instrument SR-52.

Finalmente se incluye en este estudio, una discusión de los resultados obtenidos y las conclusiones y recomendaciones que pudieron deducirse del presente análisis.

CAPITULO I

REVISION GENERAL

Las técnicas para la cementación de un revestimiento de producción en pozos profundos en la Compañía Lagoven, han tomado un gran desarrollo a partir de 1965.

Actualmente hay una gran cantidad de pozos profundos, en los cuales se encuentran temperaturas estáticas de fondo, superiores a los 230°F que deben ser considerados factores críticos, porque requieren una selección especial de materiales, técnicas y equipos para la cementación (1).

La mayoría de los pozos profundos, son empezados con un revestimiento de superficie de 13-3/8 a 30 pulgadas y completados con revestimientos de producción o camisas de 4-1/2", 5", 5-1/2" y 7" (2).

En algunos pozos profundos se requieren dos camisas (intermedia y de producción) con el objeto de alcanzar el último objetivo de perforación.

Espacios anulares reducidos y mayores longitudes de hueco abierto en pozos profundos, complican la remoción total del fluido de perforación por lo que el cemento tiende a canalizarse a través del barro y seguir la trayectoria de menor resistencia (3).

Estudios realizados han demostrado que una buena cementación es alcanzada, cuando se emplean altas tasas de desplazamiento, para alcanzar flujo turbulento (4).

La cementación primaria será más eficiente para altas tasas de desplazamiento, pero está limitado a un buen conocimiento de los parámetros como el gradiente de fractura de la formación, perfiles del hoyo por medio de un registro de calibración y las pérdidas de fricción durante la circulación (5).

Se ha comprobado también que un incremento en la densidad del fluido de perforación, puede causar un aumento en la presión diferencial que tiende a forzar la tubería, hacia la costra del barro. Esto puede resultar en un atascamiento diferencial o arrastre friccional, por lo cual se recomienda que las propiedades del barro, punto cedente y viscosidad plástica sean mínimos (6).

Por esta razón, es importante tener un buen acondicionamiento del lodo antes de efectuar la cementación. Para ello, debe circularse hasta obtener uno o dos ciclos completos del lodo de perforación, y comprobar que la viscosidad del barro que retorna esté estabilizada (7).

La práctica ha demostrado que un factor importante durante la cementación es el movimiento de la tubería, ya que esto ayuda a romper los canales o bolsas de barro, obteniendo una capa más uniforme y homogénea de cemento alrededor de la camisa (8).

Las camisas han sido ampliamente usadas para forrar o cubrir una sección de hoyo desnudo, con lo cual se elimina una instalación completa hasta la superficie obteniéndose ventajas técnicas y económicas muy representativas (9).

Las ventajas económicas se reflejan por la facilidad de mantener un me jo r control del pozo porque facilita trabajos posteriores ya que el diámetro interno arriba de la camisa se mantiene más grande, costo más bajo en la tubería, una rápida instalación y además permite probar zonas productoras más profundas a menor costo.

Técnicamente no se podría diseñar un programa de revestimiento para un pozo profundo con una eficiencia óptima que sea compatible con la hidráulica de perforación y aún más por los requerimientos de una alta tensión que exige la tubería de perforación.

Una camisa que es una sección de un revestimiento completo, es necesario durante la perforación de pozos profundos para aislar zonas de pérdida de circulación, intervalos de alta presión (presiones anormales con gradiente mayor de 0.5 Lppc/pie), formaciones suaves o no consolidadas.

En cambio una camisa llamada de producción, es instalada a través de zonas productoras, cuando estos intervalos no deben estar expuestos a barros pesados porque dañan a la formación, además reducen el peso en el cabezal del pozo y permiten utilizar tubería de producción de mayor diámetro, que viene a aumentar la capacidad de flujo.

Las camisas de extensión (TIE-BACK) se utilizan para reparar revestimientos dañados o usados, arriba de una camisa existente como un medio de protección contra la corrosión y presión en los revestimientos intermedios (10).

Por lo tanto, el utilizar una camisa lisa para completar un pozo, representa la manera más eficiente de aislar y estimular selectivamente las zonas productivas ya que una camisa cementada posee todas las ventajas de un revestimiento completo.

Específicamente, por la cantidad de trabajos efectuados en el campo Delaware Basin, Texas, se ha llegado a comprobar que la cementación de camisas a través de formaciones fracturadas ha sido una práctica común durante la perforación, para longitudes comprendidas entre 6000' a 8000' pies ... aquí se determinó que la mezcla de cemento debe ser adecuadamente retardada y que además desarrolle una buena resistencia a la compresión en el fondo y en el tope de camisa, para evitar la entrada de gas, desde la formación debido a un tiempo de fraguado muy prolongado (11).

Una camisa también fue necesario, para sellar formaciones con presiones anormales que ocurren a profundidades de 10000' a 18000' pies, en mucho de los casos se ha requerido hasta dos camisas y por las presiones muy grandes de las formaciones, hubo necesidad de emplear sistemas de barro muy pesados para controlar la entrada del gas, hasta que la formación pueda ser forrada y posteriormente cementada (12). (32).

Cuando un pozo presentaba el nivel de fluido bajo, también se requería cementar una camisa lo cual se conseguía prolongando el tiempo de fraguado de la mezcla de cemento. Para estos casos la técnica empleada exige primero que sea bombeada la mezcla de cemento al hoyo y luego bajar la camisa, esto es conocido en la industria del petróleo como la técnica de larga vida. Esto

implica un máximo control en el laboratorio de las propiedades físicas del cemento durante la prueba de la mezcla antes de efectuar la operación (13).

Varios estudios efectuados sobre los métodos empleados para la cementación de camisas de perforación, el de una sola etapa y el de forzamiento planificado, se encontró que para el primer caso, se requiere de un 30% de exceso de cemento en el espacio anular cuando se considera el registro de calibración del hoyo y 40% sin tomarlo en consideración. Esto asegura una completa circulación, para que el cemento alcance una altura un poco más arriba del tope de la camisa. En cambio el forzamiento planificado necesita de un 70% del volumen anular calculado (14).

La conclusión de varias experiencias de campo, para tener un éxito en la cementación indicaron que depende de un buen conocimiento del área, acondicionamiento óptimo de las propiedades del fluido de perforación, diseño de la camisa y el diseño de la mezcla de cemento. Esta última tiene mayor importancia sobre su comportamiento bajo las condiciones de presión y temperatura presentes en el pozo (15).

El efecto de la temperatura y la presión sobre el tiempo de espesamiento de una mezcla de cemento es el de acelerar la hidratación de los componentes del mismo y esto por lo tanto, disminuye el tiempo de espesamiento (16.17).

Se han realizado investigaciones sobre la resistencia a la compresión del cemento, por medio de un barrido del mismo con aire y con agua y regis-

trándose el comportamiento del cemento seco y saturado con agua respectivamente. En cada caso se tomó la permeabilidad midiéndose los cambios de la misma a medida que se fraguaba el cemento (18).

El efecto de la retrogresión en las mezclas de cemento utilizadas en pozos profundos para un tiempo de curado a temperaturas elevadas y presiones de 3000 Lppc, demostraron retrogresión a temperaturas comprendidas entre 330 °F luego del fraguado, con excepción de las mezclas de material, pozolánico y calhidratada las cuales aumentan la resistencia a la compresión a elevadas temperaturas (19).

Otras propiedades físicas y químicas presentaron muy poco efecto con la pérdida de la resistencia a la compresión, no así con la permeabilidad que indicó una determinada variación, ya que al aumentar la retrogresión de la resistencia la permeabilidad aumentaba (20).

La experiencia del campo demostró que el método de mezclado influye sobre las propiedades de la mezcla del cemento ya que al obtener una mezcla homogénea, las propiedades de flujo son óptimas maximizando el desplazamiento del fluido de perforación (21).

Estudios efectuados sobre la eficiencia del desplazamiento en varias pruebas para algunos tipos de flujo, indicaron que para flujo turbulento se obtiene un mejor desplazamiento del fluido de perforación con una eficiencia del 95%, comparado con el flujo laminar o flujo tapón. Se observó que la viscosidad debía estar comprendida entre un rango de 5 a 11 U.C. (unidades

de consistencia) ya que para un valor más elevado se necesita mayor potencia en las bombas debido al efecto de fricción y para un valor menor de 5 U.C. se necesita un largo tiempo de fraguado debido al alto contenido de agua libre en la mezcla (22).

Se recomienda tener control sobre las pérdidas del fluido, ya que experimentos practicados se encontró que los límites permisibles están comprendidos dentro de un rango de 50 a 100 mililitros durante 30 minutos. Esto garantiza que no se producirá una deshidratación anticipada de la mezcla de cemento (23).

Después de haber discutido los principales parámetros de una mezcla de cemento, es importante mencionar el equipo para asentar las camisas.

Una completa inspección del equipo para colgar y cementar la camisa eliminan problemas operacionales que se puedan presentar y por consiguiente traer desventajas económicas, debido a que el costo total toma un incremento aproximado del 50% del valor estimado de la corrida y cementación, por los trabajos posteriores que se deben efectuar (24).

Los colgadores para asentar las camisas deben ser seleccionados en base al área de paso, longitud y peso de la camisa, resistencia a la presión de colapso y estallido, acondicionamiento en caso de extender la camisa (TIE-BACK), contra la corrosión y finalmente la herramienta de asentamiento que será utilizada con todos sus accesorios (25).

Por lo tanto, esta inspección y prueba, es un medio de asegurarnos que cada una de las partes del equipo son compatibles con el programa establecido para cementar la camisa.

La mayoría de los colgadores utilizados por Lagoven, son del tipo mecánico y se instalan por medio de una herramienta de asentamiento. La camisa es asentada por rotación de la tubería tanto a la izquierda como a la derecha hasta enganchar las cuñas del colgador en el revestimiento existente y dejar libre la herramienta de asentamiento. Esto se comprueba por una disminución en el peso registrado por el indicador en la superficie.

Esto demuestra que el uso efectivo de una camisa requiere un estudio completo de su aplicación, por las limitaciones a que está sometido, como es la restricción en el espacio anular entre la camisa y el hoyo para lo cual, es necesario determinar la habilidad para circular y efectuar la cementación. Además, antes de terminar la perforación del hoyo es importante determinar la densidad equivalente de circulación que el pozo puede resistir y posteriormente calcular la presión que resultaría al circular y cementar la camisa.

En base de estos datos se hacen los cálculos concernientes para encontrar la tasa de circulación óptima durante la cementación, la cantidad de cemento requerido utilizando los registros de calibración del hoyo. El volumen de la mezcla de cemento debe considerar la cantidad suficiente para llenar el espacio anular entre la camisa y el hoyo, el equipo flotador, el espacio anular entre la camisa y el hoyo existente y un exceso equivalente de 200' a 300' pies arri-

ba del colgador con la finalidad de obtener un mejor sello en el tope de la misma, para evitar una posible comunicación de gas o agua desde la formación hacia el pozo, después que ha transcurrido el tiempo suficiente para que el cemento frague y esto se verifica mediante una prueba de integridad de presión.

CAPITULO II

CONSIDERACIONES TEORICAS

Los procedimientos básicos utilizados en la cementación de camisas en pozos profundos, son generalmente los mismos empleados en pozos someros. Sin embargo, las condiciones de hoyo y las condiciones de trabajo encontradas en pozos profundos son más críticas y requieren mayor atención en los diseños de la sarta de revestimiento y la lechada de cemento. Originalmente se producían los pozos a hoyo desnudo, debido fundamentalmente a la poca información de los intervalos productores y por la dificultad en la interpretación de los registros eléctricos para determinar los intervalos comerciales en las formaciones de litología muy compleja.

Posteriormente debido a los problemas de producción de fragmentos de rocas y derrumbes de la formación, se adaptó el uso de camisas ranuradas como un método para resolver estos problemas, aunque en muchos casos se ha preferido seguir utilizando la completación a hoyo desnudo cuando los perfiles indican una evaluación no muy exacta de los intervalos potencialmente productores.

Debido a estos problemas durante la producción de un pozo y por la evolución de las técnicas de evaluación de formaciones a gran profundidad y a temperaturas elevadas, se empleó el método de completación con camisa lisa cementada, en las formaciones productoras.

Este tipo de completación vino a minimizar los problemas que se presentaban a hoyo desnudo, como eran los derrumbes de la formación, producción de fragmentos de rocas, ineficiencia en la estimulación y control de los fluidos en las diferentes formaciones durante la producción.

La completación con camisa ranurada también ocasionó problemas como taponamiento de las ranuras por fragmentos de roca o por la deposición de asfaltenos, producción de partículas de roca, ineficiencia en la estimulación y control en la producción.

Con el propósito de eliminar al máximo estos problemas se introdujo la técnica de cementación de una camisa lisa, que será cañoneada selectivamente de acuerdo a la interpretación de los registros en los estratos productores y comerciales. Las ventajas con este tipo de completación son: un mejor control de los intervalos en producción, una aplicación de mejores procedimientos de estimulación durante la vida del pozo y facilitar los trabajos futuros de reparación.

Por consiguiente el uso efectivo de la utilización de una camisa requiere un estudio completo de las principales condiciones, las mismas que dependen de la profundidad a medida que se alcanzan los estratos más inferiores.

Las condiciones que serán discutidas en el presente capítulo, son las siguientes:

- II.1. Mayores temperaturas, zonas presurizadas y fluidos corrosivos en muchas Areas.
- II.2. Espacios anulares reducidos y dificultades para reciprocarse la tubería durante la cementación.
- II.3. Sistemas de barros pesados.
- II.4. Factores que contribuyen a obtener fallas en la cementación.
- II.5. Pruebas posteriores a la cementación:
 - II.5.1. Prueba en el tope
 - II.5.2. Prueba en la zapata
 - II.5.3. Prueba diferencial
- II.6. Forzamiento de cemento

II.1. Mayores Temperaturas, Zonas Presurizadas y Fluidos Corrosivos en muchas Areas: El comportamiento y desarrollo de una cementación está influida principalmente por estos dos parámetros que son la presión y la temperatura.

La presión y la temperatura son aquellos factores que regulan que tanto tiempo podrá ser bombeada la lechada de cemento y la resistencia

que desarrollará para ser lo suficientemente capaz de soportar la tubería.

El efecto de la temperatura comparada con la presión, es mayor en la calidad de la lechada.

La temperatura aumenta directamente con la profundidad a medida que se perfora un pozo, en cambio la presión actuante sobre la lechada es el resultado del diferencial producido, entre la presión de la columna del fluido y la presión propia del yacimiento.

En cualquier pozo profundo es necesario obtener la temperatura estática del fondo del pozo, la misma que puede ser determinada por distintas pruebas durante la perforación del pozo. En último caso la temperatura estática se determina a partir de un pozo vecino.

El valor de la temperatura estática de fondo puede ser conocido a partir de los registros eléctricos, tomados previamente a la cementación o a su vez por medio de un D.S.T. (Drill-Stem-Test) durante la perforación.

El valor obtenido de la temperatura estática del registro debe ser corregida en función de la profundidad por la Tabla I (26).

La temperatura estática de fondo previamente encontrada sirve para saber la temperatura de circulación que alcanza la mezcla de cemento en el pozo.

TABLA IFACTORES PARA CONVERTIR TEMPERATURAS DE REGISTROS A
TEMPERATURAS ESTATICAS DE FONDO DEL HOYO

<u>PROFUNDIDAD (PIES)</u>	<u>FACTOR</u>
1.000	1.020
2.000	1.035
3.000	1.050
4.000	1.070
5.000	1.085
6.000	1.100
7.000	1.115
8.000	1.130
9.000	1.140
10.000	1.155
11.000	1.160
12.000	1.165
13.000	1.160
14.000	1.150
15.000	1.140
16.000	1.125
17.000	1.105
18.000	1.1085
19.000	1.060
20.000	1.030

La temperatura de circulación que posee una lechada a un determinado tiempo no es más que el resultado de una transferencia de calor desde una fuente infinita, la tierra, a un sistema, la lechada de cemento, durante la operación de cementación.

Mediante un estudio de evaluación realizado en varios pozos profundos ya perforados por Lagoven, se encontró que las temperaturas estáticas oscilan desde los 240°F a 320°F.

Por esta razón es necesario analizar los efectos más predominantes, en función de la presión y la temperatura que se presentan durante la cementación.

Los problemas debido a las temperaturas y presiones elevadas afectan de manera principal a las siguientes propiedades:

1. Tiempo de espesamiento.
2. Resistencia a la compresión.
3. Disminución en la resistencia.
4. Permeabilidad

II.1.1. Tiempo de Espesamiento: Denominado también tiempo de bombeabilidad y es la característica que presenta la mezcla agua-cemento de poder ser bombeada por tuberías y a la vez lograr un buen asentamiento en el anular entre la camisa y la for-

mación, hasta que ésta adquiere una viscosidad de 100 U.C. (100 poises).

El tiempo de espesamiento disminuye a medida que la temperatura aumenta y es debido a la evaporación del agua de la mezcla provocando una deshidratación anticipada.

Por este motivo la mezcla agua-cemento es probada en el laboratorio, por medio de retardadores hasta alcanzar el tiempo necesario, para obtener la bombeabilidad deseada (Fig. 1-2-3).

II.1.2. Resistencia a la Compresión: Es la propiedad que desarrolla la mezcla agua-cemento-aditivos, después que ésta ha sido colocada en el espacio anular. Esto significa que la presión a la cual el cemento fraguado cederá ante un esfuerzo compresivo, después de un razonable tiempo de espera que previamente se ha fijado. Por experiencias de campo en pozos profundos la cementación llega a tener problemas cuando existe un diferencial de temperatura entre el tope y la zapata, para un rango comprendido entre los 100°F a 140°F.

En muchos casos el fondo se encuentra fraguado por las condiciones altas de temperatura y en el tope todavía está suave después de 24 horas de espera; por consiguiente es necesario siempre con tiempo adicional de 12 a 24 horas.

II.1.3. Disminución en la Resistencia: Este fenómeno de retrogre-

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE EL TIEMPO DE BOMBEABILIDAD DEL CEMENTO

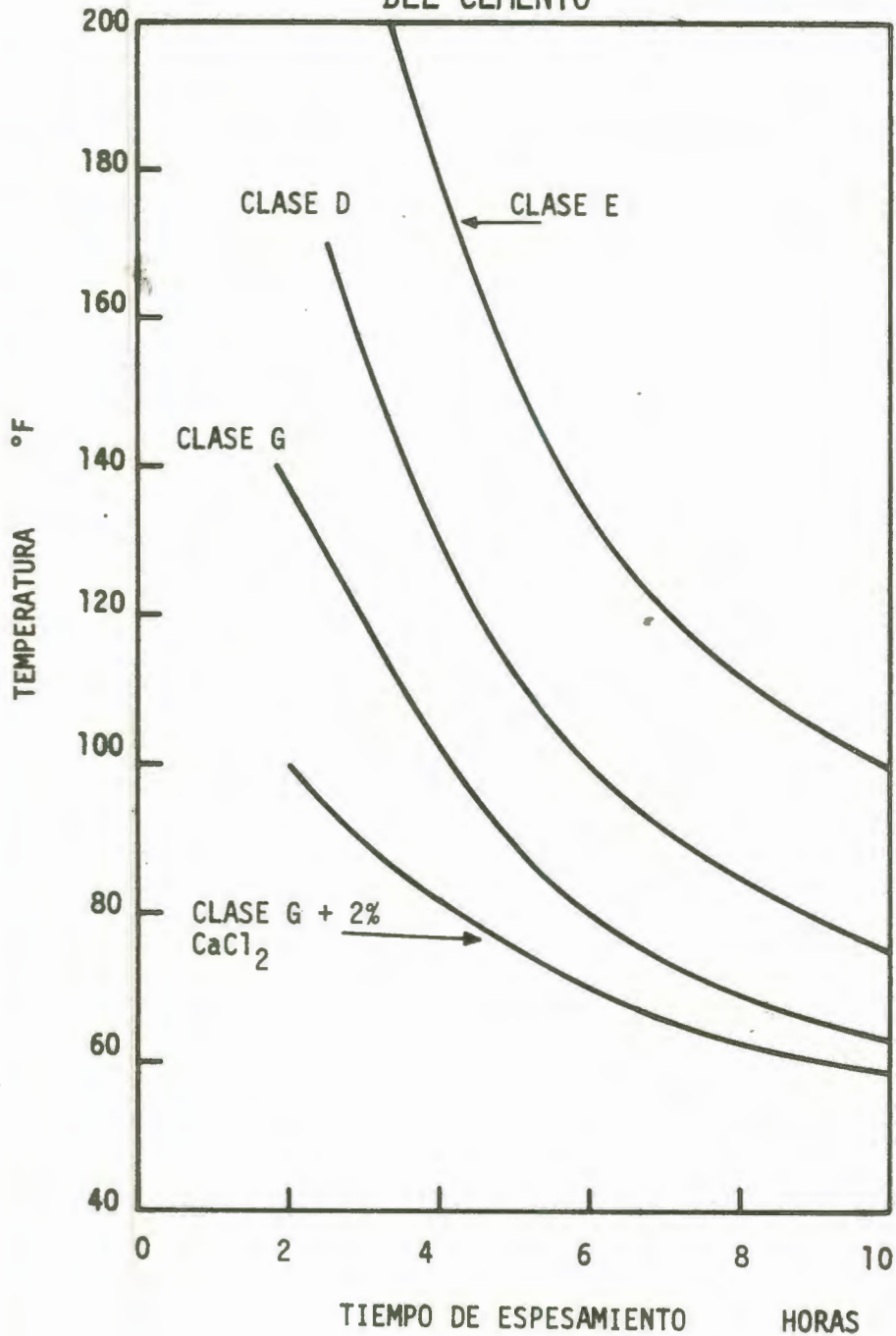


FIG. 1

EFFECTO DE LA PRESION SOBRE TIEMPO DE BOMBEABILIDAD

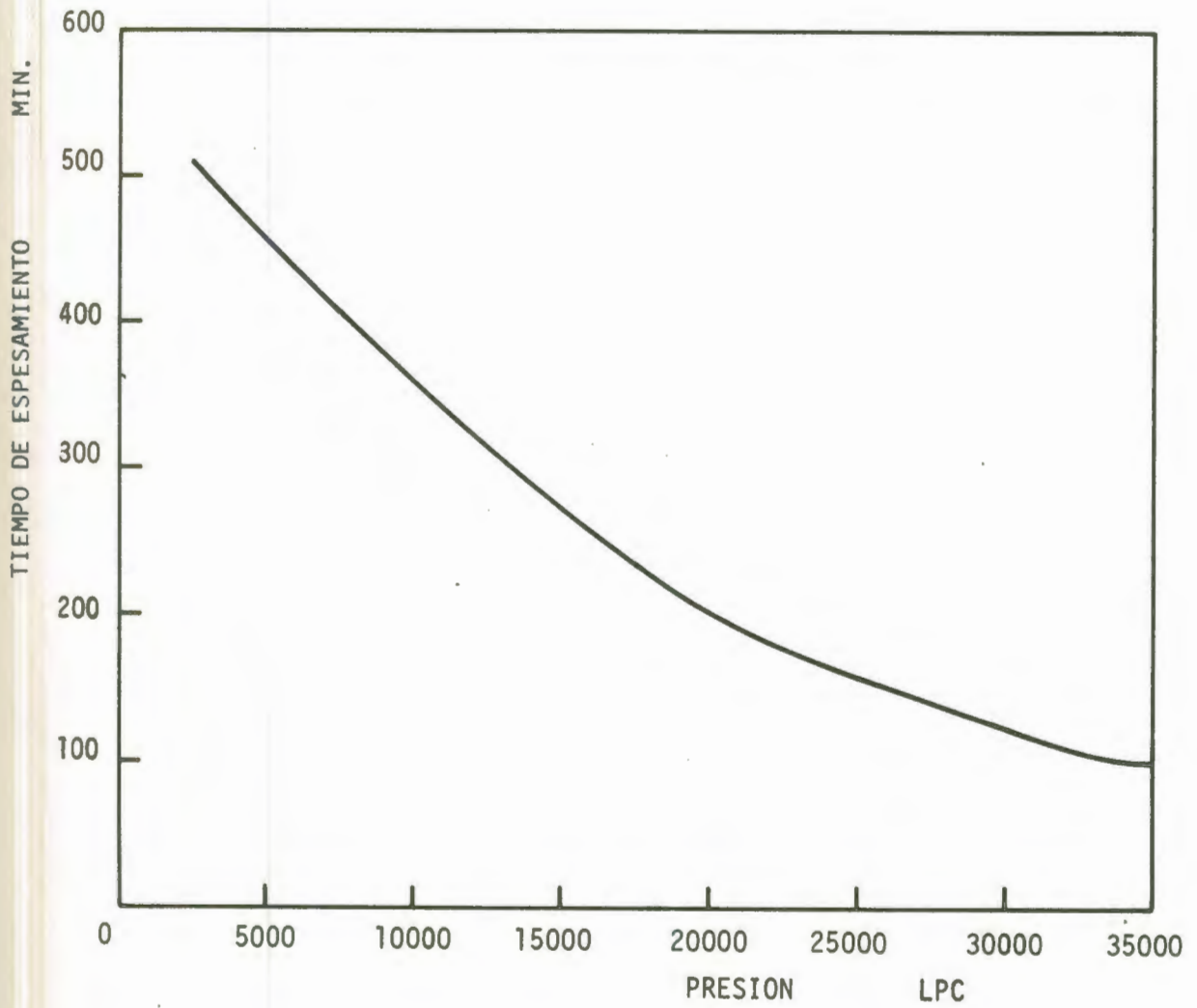


FIG. 2

EFFECTO DE LA PRESION Y
LA TEMPERATURA SOBRE EL
TIEMPO DE ESPESAMIENTO

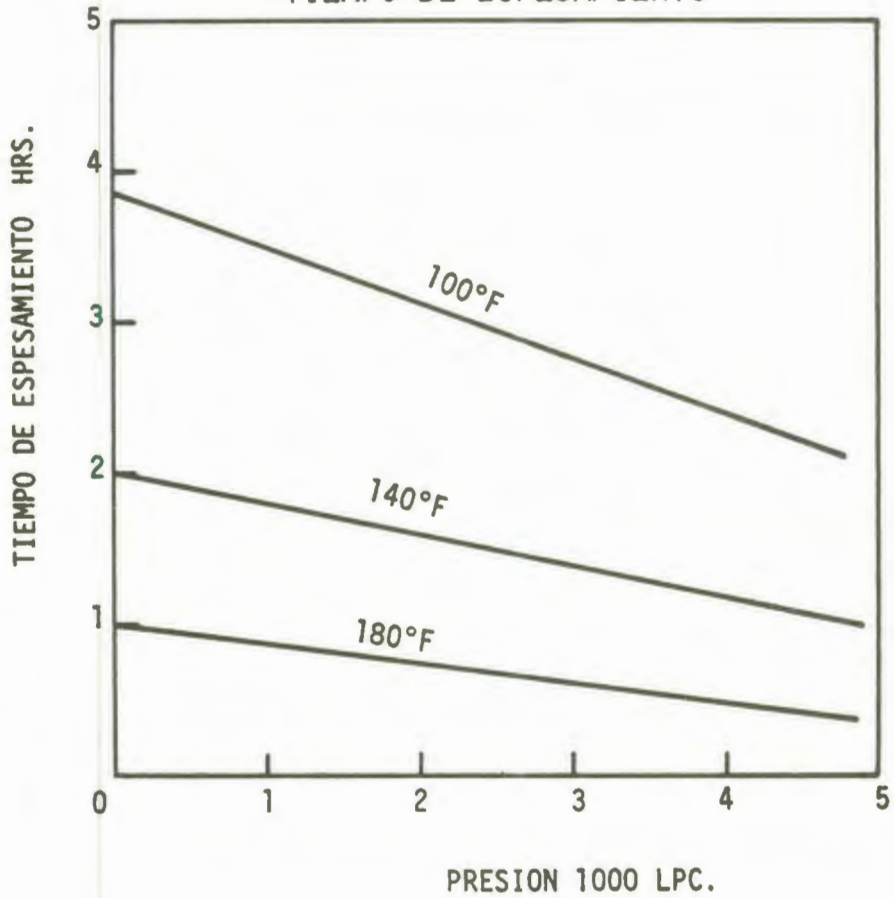


FIG. 3

sión o disminución de la resistencia se presenta en algunas mezclas de cemento, que inicialmente desarrollan una adecuada resistencia a la compresión cuando están expuestas a altas temperaturas, pero después de un determinado período de tiempo decrecerá su resistencia a tal punto de fallar la cementación.

Por lo mismo es necesario tener un conocimiento exacto de la temperatura a la cual toma lugar esta retrogresión para los diferentes tipos de cementos y aditivos que se están utilizando en la mezcla.

11.1.4. Permeabilidad: Es otra de las propiedades físicas del cemento que depende de la presión y la temperatura.

Pruebas de laboratorio lo han demostrado que al aumentar la temperatura aumenta la permeabilidad.

Siendo la impermeabilidad una propiedad importante para lograr un buen sello hidráulico entre los fluidos de diferentes zonas, es necesario obtener una permeabilidad menor de 0.1 md.

Además, diferentes estudios realizados han determinado que la permeabilidad aumenta a medida que se incrementa la retrogresión a la compresión.

TABLA II

RELACIONES TIPICAS ENTRE EL HOYO Y UNA CAMISA

<u>Diámetro de la Camisa Pulg.</u>	<u>Diámetro del Hoyo Pulg.</u>	<u>Diámetro del último Revest. Pulg.</u>	<u>Area Anular Pulg²</u>	<u>Espesor de la Capa de Cemento Pulg.</u>
9-5/8	10-5/8	11-3/4	15.9	7/16
7-3/4	9-1/2	10-3/4	13.0	7/8
7-5/8	9-1/2	10-3/4	14.5	15/16
7-3/4	8-1/2	9-5/8	9.6	3/8
7-5/8	8-1/2	9-5/8	10.4	7/16
7	8-5/8	9-5/8	19.9	13/16
5-1/2	6-5/8	7-5/8	10.7	9/16
5	6-5/8	7-5/8	14.9	13/16
5	6-1/8	7	9.9	9/16
4-1/2	6-1/8	7	13.6	13/16
3-1/2	4-3/4	5-1/2	8.1	5/8

* Referencia (2)

Por experiencias de campo se encontró que para altas presiones diferenciales se presentó altas pérdidas de fluido a la formación, debido a una alta permeabilidad de las zonas, dando como resultado un tiempo de espesamiento menor al diseñado, por la liberación de agua de la mezcla.

Finalmente, el efecto causado por los fluidos corrosivos es grande porque desgastan al revestimiento que logran deteriorarlo, y por lo tanto obliga a instalar un revestimiento o camisa de extensión. Por esta razón es indispensable diseñar que el equipo esté construido con materiales especiales con una alta dureza, capaces de resistir estos ambientes corrosivos.

11.2. Espacios Anulares reducidos y dificultades para reciprocarse la Tubería durante la Cementación: Durante la cementación de camisas en pozos profundos uno de los problemas más grandes es la reducción del espacio anular entre el hoyo y las paredes exteriores del revestimiento.

Este espacio anular muy pequeño crea altas pérdidas de presión durante la circulación, aumentando de esta manera la posibilidad de fracturar la formación y ocasionar una pérdida de circulación.

La pérdida de circulación aún puede provocarse con mayor facilidad, cuando la longitud de hueco abierto que se quiere sellar es grande de

bido a la dificultad para la remoción del barro de perforación (Tabla II). Por esta razón el cemento tiende a canalizarse a través del barro; siguiendo la trayectoria de mínima resistencia.

Las presiones de surgencia que se originan, pueden ser muy altas, lo que obliga a controlar la velocidad de corrida de la camisa para no fracturar las formaciones más débiles o no consolidadas.

Sabemos que durante la cementación de un revestimiento, es recomendable reciprocirlo, con el fin de obtener una mejor distribución de la mezcla de cemento en el anular, pero al cementar una camisa no existe la posibilidad de darle movimiento, puesto que la camisa previamente es asentada con un colgador en el último revestimiento (generalmente 200' pies dentro del revestimiento).

Al cementar la camisa se alcanzará en el hoyo el máximo desplazamiento, cuando las propiedades de flujo; sean las más adecuadas para obtener régimen turbulento.

11.3. Sistemas de Barros Pesados: Las principales consideraciones que se presentan antes de efectuar la cementación son las propiedades del fluido de perforación.

Las más importantes y de las cuales dependerá el máximo desplazamiento del barro con la mezcla agua-cemento-aditivos, son las siguientes:

1. *Densidad*
2. *Propiedades Reológicas:*
 - a. *Viscosidad Plástica*
 - b. *Punto Cedente*
 - c. *Esfuerzo de Gelatinización*

1. *Densidad:* *La densidad del barro en pozos profundos generalmente es de peso elevado con el objeto de controlar las presiones de formación y por consiguiente necesitamos mantener el pozo mediante una columna hidrostática.*

La densidad del barro debe ser suficiente para controlar el pozo, pero un exceso de peso puede fracturar la formación.

En consecuencia debemos tener un control exacto, de cual debe ser la densidad del barro para controlar el pozo y a la vez no fracturar la formación y esto es posible mediante el cálculo de la densidad equivalente de circulación, que será discutida en un próximo capítulo.

La densidad que tiene un barro de perforación dependerá de la cantidad de sólidos que tiene en suspensión y en pesos elevados lógicamente su concentración será mayor, dando lugar a la formación de una costra gruesa en las paredes del hoyo.

La finalidad de un fluido de perforación es por supuesto formar una costra o capa delgada impermeable para evitar la pérdida de fluidos a la formación, pero en la cementación es el factor que impide una buena adherencia entre el cemento y la formación.

Por consiguiente durante la cementación se trata de eliminar al máximo esta costra, creando un flujo turbulento y en la mayoría de los casos se bombea la cantidad de agua necesaria delante de la lechada de cemento, para alcanzar turbulencia, bombeando a una tasa de circulación suficiente para lograr erosionar las paredes del hoyo dentro de los límites de densidad equivalente de circulación, evitando un posible fracturamiento de la formación.

2. Propiedades Reológicas: El comportamiento de flujo del barro depende de las propiedades reológicas y por lo tanto es necesario analizar el efecto que producen para acondicionarlo antes de ser bajada la camisa al hoyo. Con la camisa en el fondo del hoyo, se circula con el fin de obtener una buena limpieza y asegurarse que no existe pérdida de circulación o cortes por gas.

2.a. Viscosidad Plástica: Esta propiedad reológica se define como la resistencia al flujo del lodo, causado principalmente por la fricción existente entre las partículas suspendidas y por la viscosidad de la fase líquida.

La viscosidad plástica que posee un fluido de perforación, creada por la concentración de sólidos presentes, dependerá por supuesto del tamaño y forma de estas partículas.

Durante la cementación el control de la viscosidad debe ser mayor para obtener un valor de viscosidad bajo; con la finalidad de maximizar el flujo turbulento.

En los pozos profundos la tendencia de la viscosidad es a disminuir debido a las altas temperaturas que se encuentran. Sin embargo, dependiendo de las propiedades del lodo, pero esta indicación está sujeta al tipo de lodo que se esté utilizando (Fig. 4).

Punto Cedente: Está definido como la porción de resistencia que presenta un fluido en condiciones dinámicas por efecto de las fuerzas de atracción entre las partículas.

Debido al efecto del punto cedente de incrementar las pérdidas por fricción, es conveniente mantenerlo en los rangos más bajos posibles para minimizar los problemas de desplazamiento del cemento.

Antes de cementar, es conveniente tratar el barro durante la circulación, hasta obtener un valor mínimo, del punto cedente, eliminando la mayor cantidad de sólidos para contro

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD PLASTICA

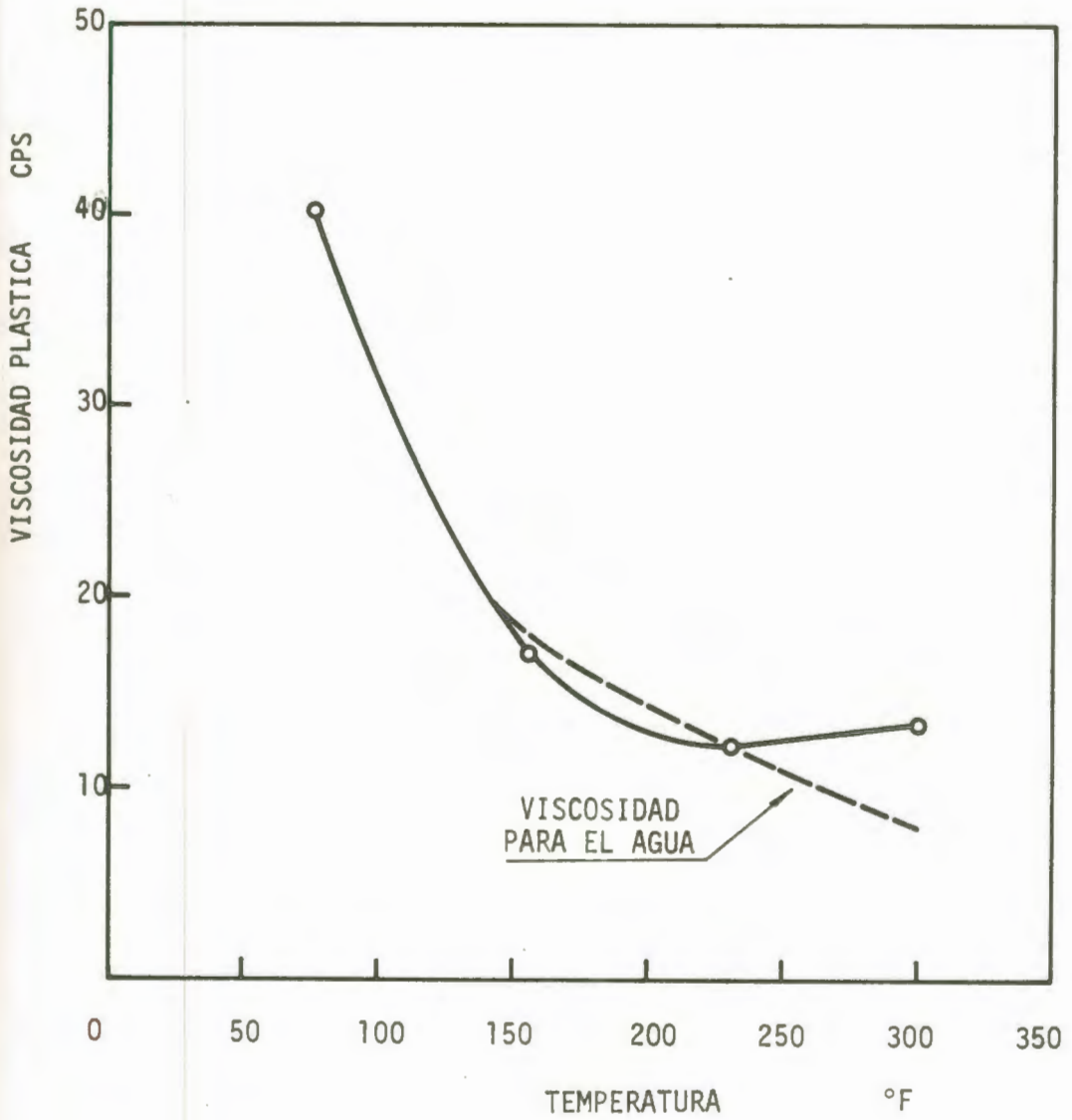


FIG. 4

lar la atracción eléctrica entre las partículas.

Esfuerzo de Gelatinización: Es la medida de las fuerzas de atracción que presentan las partículas en condiciones estáticas, originando una determinada resistencia al momento de iniciar el flujo. Esta estructura rígida formada por las partículas es una función de la cantidad y tipo de sólidos que se encuentran suspendidos, la temperatura y el contenido químico. El valor de la fuerza de los geles es grande cuando el barro se encuentra floculado, aumentando la resistencia de flujo que originan presiones de surgencia. Por esta razón, deben controlarse las fuerzas de gel del barro a los rangos adecuados de flujo.

Finalmente las propiedades de flujo para obtener un eficiente desplazamiento del barro con la mezcla de cemento son:

1. No tixotrópico, con baja viscosidad plástica y punto cedente, para maximizar la eficiencia de desplazamiento y minimizar las presiones de surgencia.
2. Bajo contenido de sólidos y baja pérdida de filtrado, con una costra delgada e impermeable para minimizar el atascamiento de la tubería por presión diferencial.
3. Compatibilidad con las propiedades de la mezcla de cemento. Valores aproximados de las propiedades de flujo, se pueden obtener en función del peso del barro (Figs. 5, 6, 7, 8). (30)

LIMITES SUGERIDOS DE VISCOSIDAD PLASTICA

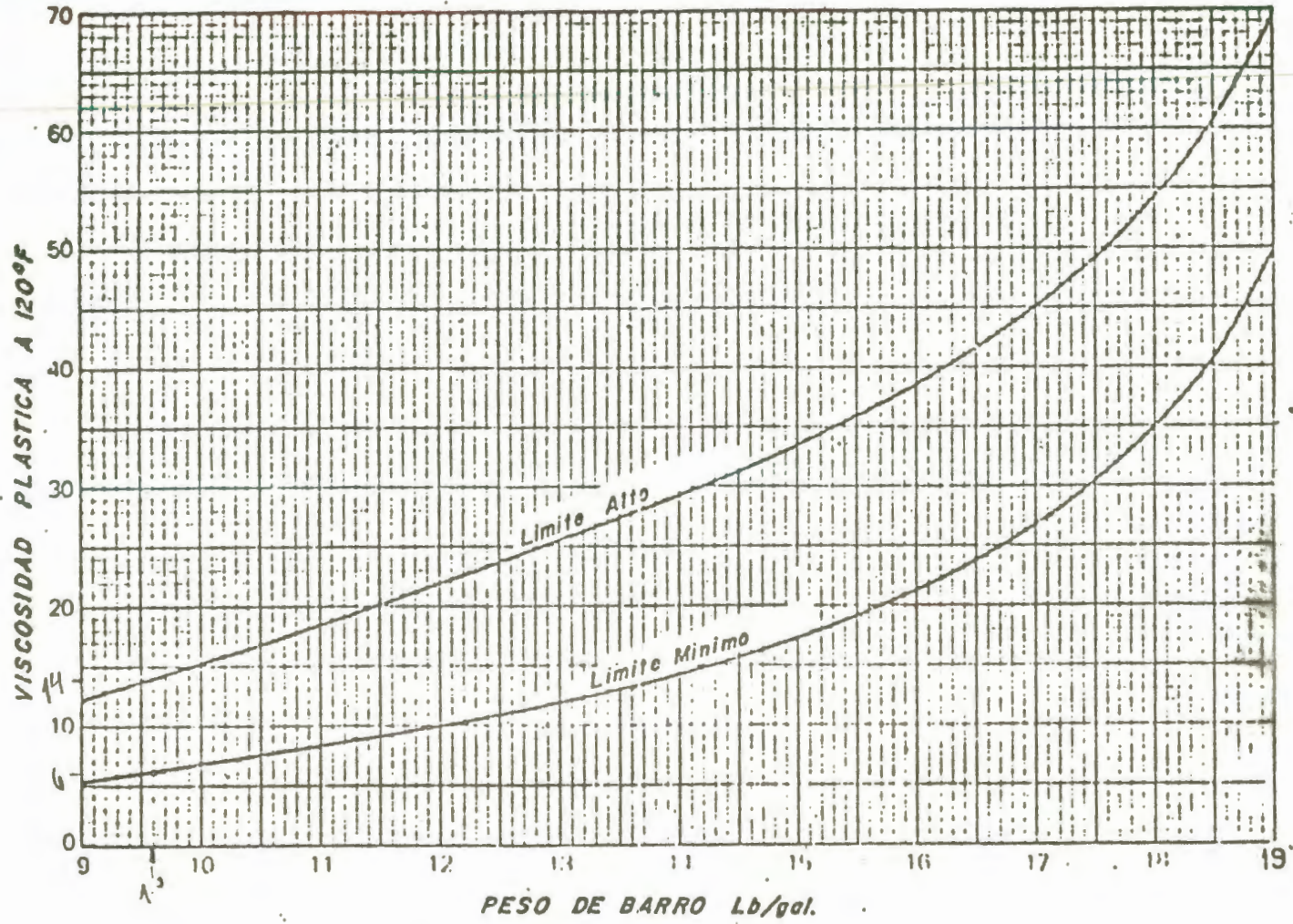


FIG .5

LIMITES SUGERIDOS DEL PUNTO CEDENTE

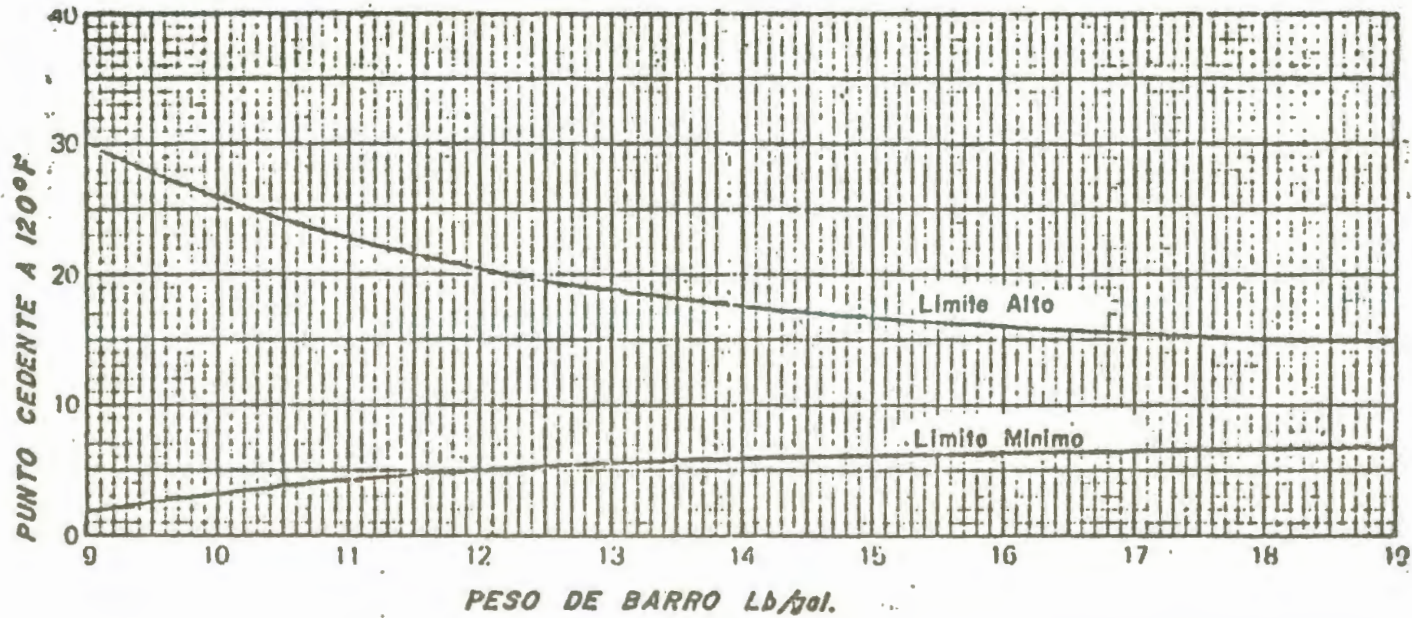


FIG. 56

DE BENTONITA Y SOLIDOS DE PERFORACION

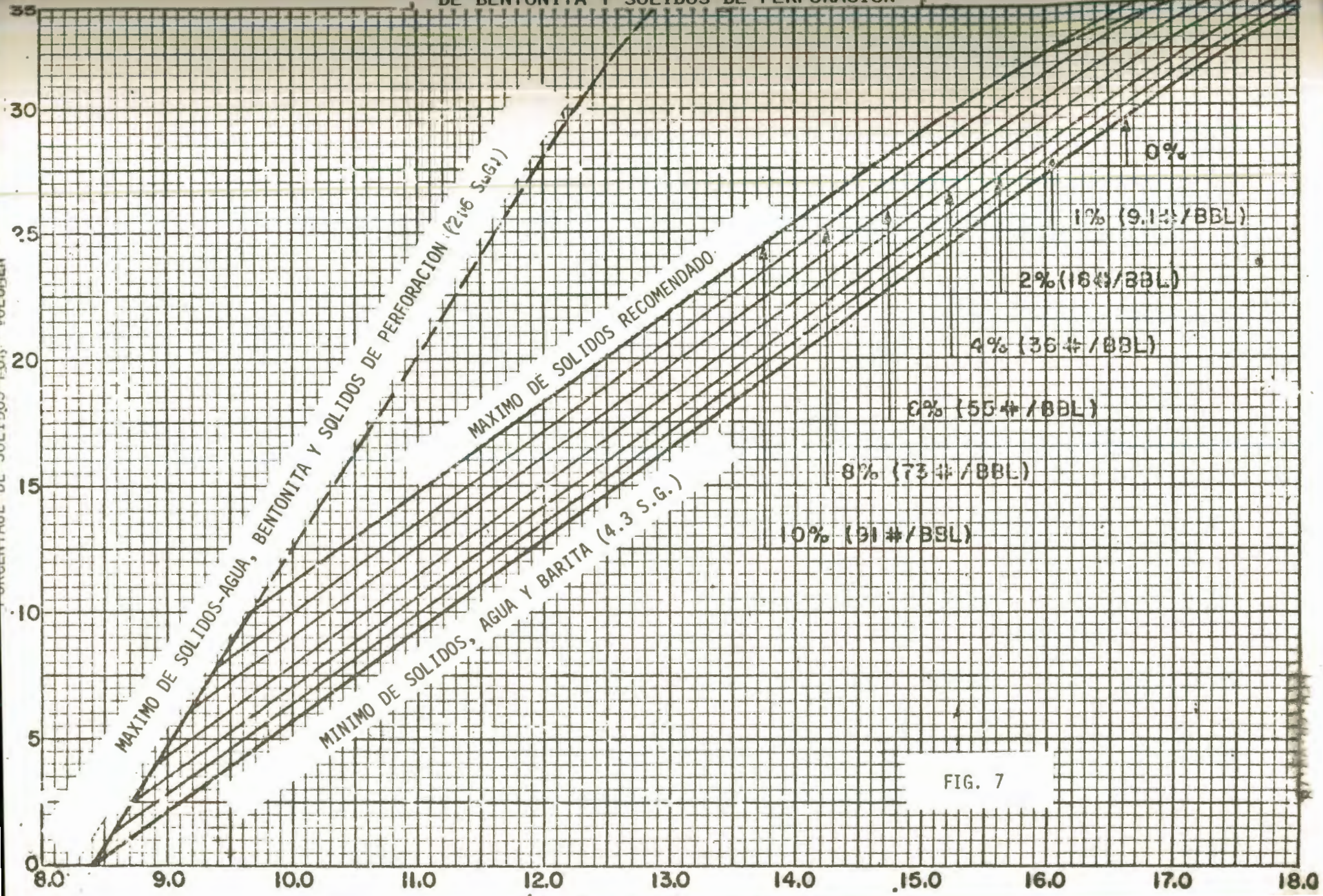
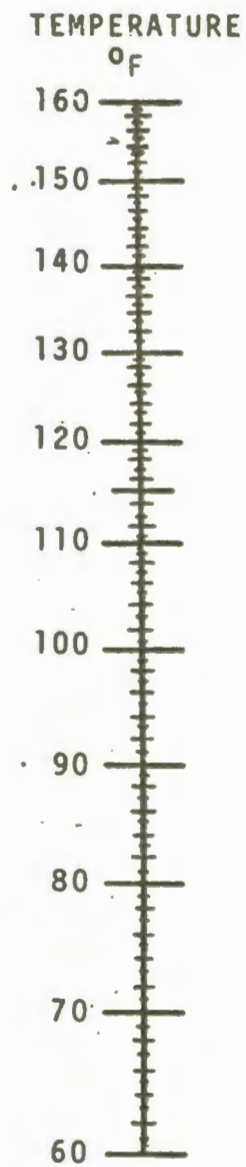
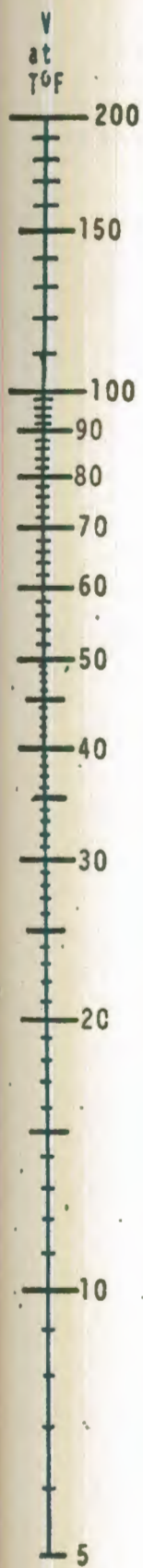


FIG. 7



CORRECCION DE LA VISCOSIDAD
PLASTICA CON LA TEMPERATURA

.FIG. 8

11.4. Factores que contribuyen a obtener fallas en la cementación: Los principales factores que contribuyen a obtener una cementación deficiente en pozos profundos, donde las condiciones del pozo exigen tener mayor cuidado en el diseño de una determinada mezcla agua-cemento-aditivos, son los siguientes:

- a. Fugas de gas en el espacio anular: La cementación falla por la presencia de gas en el anular y es admitido que se debe a lo siguiente:
 1. Presión insuficiente de la columna hidrostática
 2. Coagulación en la interface barro-cemento.
 3. Cemento insuficiente para cubrir las arenas gasíferas
 4. Pérdida del fluido en el cemento.

- b. Canalización: Igualmente la cementación falla por la formación de canales, por estas razones:
 1. Contacto de la tubería con la formación
 2. Propiedades deficientes del barro de perforación
 3. Flujo laminar por tener bajas tasas de desplazamiento o un hoyo muy grande.
 4. El cemento tiende a seguir las líneas de flujo de menor resistencia, que en este caso son cerca del revestimiento.

- c. Mezclado deficiente: El éxito de una buena cementación se alcanza cuando la mezcla es homogénea, pero esta característica no puede ser obtenida, posiblemente debido a una mala operación de mezclado, originado por:
 1. Daños mecánicos en el equipo

2. *Presión o agua insuficiente*
 3. *Problemas en general del equipo y accesorios durante el mezclado.*
- d. Fraguado anticipado del cemento: Este es otro de los factores que necesitan ser estudiado en la cementación de camisas a gran profundidad por las altas temperaturas y presiones que se encuentran en el pozo y que originan cambios en las propiedades físicas de la mezcla de cemento.

El fraguado anticipado del cemento se produce directamente por una de las siguientes razones:

1. *Relación agua-cemento inadecuada.*
2. *Estimado incorrecto de la temperatura*
3. *Aditivos o cementos no apropiados para las condiciones del pozo.*
4. *Mala selección de los espaciadores barro-cemento.*
5. *Deshidratación anticipada debido a presión diferencial, permeabilidad de la formación y al control de la rata de filtrado. Esta condición también contribuye a la migración de gas en un pozo, desde una zona de alta presión a una zona de baja presión.*

11.5 Pruebas posteriores a la cementación: La finalidad de estas pruebas es evaluar la cementación; esto es, la adherencia entre: cemento-camisa y cemento-formación.

Lógicamente estas pruebas se realizan después de un tiempo de fraguado, que previamente se calcula simulando las condiciones de presión y temperatura del pozo.

Debido a los múltiples factores que influyen en la cementación de una camisa, es necesario hacer pruebas pilotos para optimizar la calidad de la cementación tanto en el tope de la camisa como en la zapata y posteriormente durante la prueba diferencial o "seca".

- 11.5.1. Prueba en el tope: Su objetivo es evaluar el grado de adherencia o sello entre el revestimiento existente y la camisa, mediante una prueba de integridad de presión.

Normalmente al cementar una camisa, el colgador siempre está asentado a una distancia apropiada de la zapata del último revestimiento.

La finalidad de este determinado volumen de cemento existente entre el revestimiento y la camisa, es proteger una posible futura migración de gas hacia el pozo. En el caso de una camisa intermedia durante la perforación, se convertirá en una zona de pérdida de circulación.

Procedimiento:

1. Bajar la tubería de perforación con una mecha para limpiar el cemento hasta el tope del colgador.
2. Circular y limpiar el cemento que hay en el hoyo.

3. Levantar la tubería a una altura estimada del colgador.
4. Cerrar el preventor anular. (Es más recomendable utilizar empacadura de prueba en la sarta).
5. Aplicar presión por un determinado tiempo.
6. Si hay flujo persistente del pozo se procederá a remediar la cementación forzando cemento. En caso contrario, se completa el pozo.

II.5.2. Prueba en la Zapata: Igual que en el tope, la zapata es sometida a una prueba de integridad de presión, con el propósito de comprobar el grado de fraguado y resistencia de la tubería al aplicar una fuerza compresiva.

Cuando se trata de una camisa intermedia, una falla en la cementación de la zapata, es detectada por una pérdida o ganancia del volumen de barro en los tanques, respectivamente a una pérdida de circulación y a la presencia de gas.

El procedimiento para comprobar el grado de cementación, es similar como se aplicó en el tope, pero aquí se debe bajar con una tubería de diámetro menor y con mecha para limpiar la camisa hasta el cuello flotador.

II.5.3. Prueba Diferencial: Denominada también prueba seca, consiste en aplicar el principio físico de los tubos comunicantes.

Después de haber realizado con éxito las pruebas en el tope y la za-

pata de la camisa, es necesario realizar la prueba seca, con el propósito de comprobar si se puede completar el pozo con seguridad, sometido a un diferencial de presión considerable de la formación al pozo. Con esta prueba se está evaluando la cementación detrás de la camisa, en las condiciones más severas a que estará sometido el pozo durante su producción.

Una ventaja adicional de la prueba seca es limpiar los canales formados por el lodo que no han podido ser desplazado antes de la cementación. Esto se comprueba al realizar la prueba en el tope, donde el lodo seco se comporta como un tapón que resiste la presión de prueba.

Durante la prueba seca la presión de la formación actúa sobre estos canales y la alta presión diferencial hacia el pozo limpia estos canales debido al flujo a través de ellos. Esto permite realizar un forzamiento en mejores condiciones.

Procedimiento:

1. Meter empacadura de prueba entre las dos sartas de tuberías. La sarta de abajo de menor diámetro, va hasta el cuello de asentamiento de la camisa.
2. Asentar la empacadura sobre el tope de la camisa con la manguita abierta.
3. Desplazar el barro por un fluido liviano (gas-oil) hasta cerca de la manguita.
4. Cerrar la manguita de la empacadura. Desahogar la presión y observar si hay flujo persistente de gas-oil (después de permitir

el retorno normal causado por la expansión térmica).

5. Si la prueba es exitosa, se procede a desplazar el gas-oil por agua circulando al inverso y finalmente sacar la tubería con la empaadura. Si la prueba falla, forzar cemento para remediar la cementación.

11.6. Forzamiento de Cemento: Definido como la presión hidráulica necesaria para forzar o introducir una lechada de cemento, dentro de un vacío en la formación o contra una zona porosa.

Generalmente un forzamiento de cemento es requerido cuando un pozo está produciendo y se desea controlar su alta relación gas-petróleo, aislando las zonas de gas y ayudando a incrementar la producción al sellar las perforaciones del revestimiento, y en caso similar cuando hay alta relación de agua-petróleo, para aislar las arenas saturadas con agua.

Un forzamiento de cemento en una camisa que ha sido cementada, es requerida después de haber detectado fallas en las pruebas realizadas.

Cuando es necesario el forzamiento de cemento en una camisa, generalmente se realiza por el tope de la misma.

La cantidad de cemento se calcula dependiendo de la prueba de inyección realizada para conocer la tasa a la cual recibe la formación.

En muchos casos dependiendo del colgador que se utilizó, puede ser

necesario cañonear a una profundidad justamente abajo del asentamiento del colgador y de esta forma lograr introducir el fluido de cementación, en el espacio anular.

Teniendo los datos de presión y la tasa a la cual se bombeará el cemento, se realiza el forzamiento por etapas hasta alcanzar la presión de forzamiento establecida.

En algunos casos ha sido necesario realizar más de un forzamiento para lograr sellar el espacio anular.

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL EQUIPO

Durante la corrida y la cementación de una camisa en un pozo profundo, se utiliza una serie de equipos, los cuales deben ser revisados minuciosamente con el objeto de alcanzar una operación exitosa.

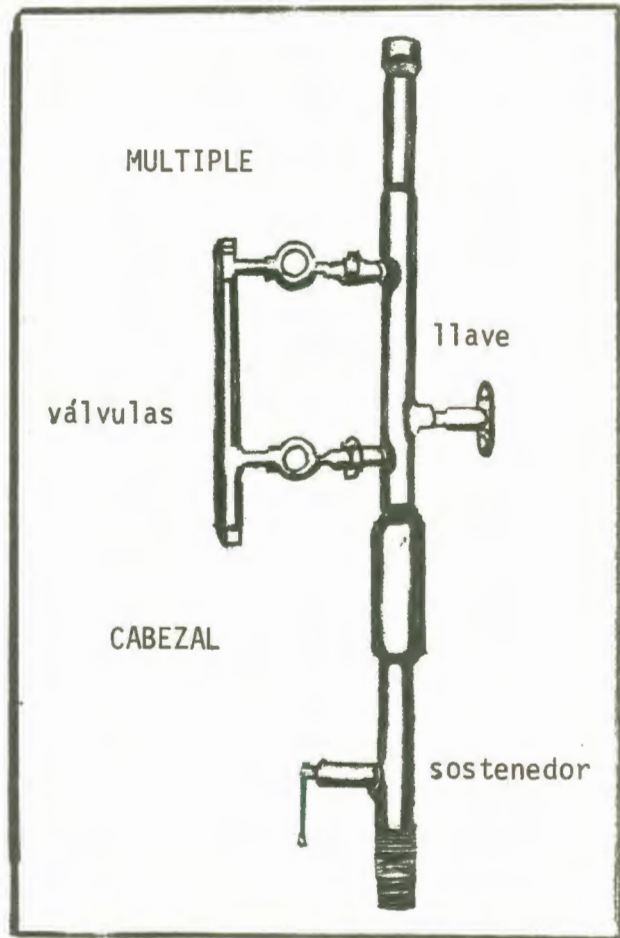
Uno de los principales factores que permitirá obtener una buena operación es el equipo utilizado tanto en la superficie como en el fondo.

En este capítulo se describe cada uno de los principales accesorios, indicando su finalidad, funcionamiento, y los requerimientos técnicos que deben cumplir, logrando así un mejor acoplamiento durante la operación.

III.1. Equipo de Superficie:

III.1.1 Múltiple y Cabezal de Cementación: Es un equipo diseñado, para proveer un medio de bombeo de la mezcla de cemento a la tubería de perforación y luego a la camisa en el fondo del pozo (Fig.9).

El múltiple de cementación, lo constituyen las válvulas superior e inferior. Su principal objetivo es coordinar el circuito de flujo para desplazar el tapón limpiador de la tubería de perforación, después de la mezcla de cemento. En cambio el cabezal de cementación es el dispositivo donde se almacena el tapón que será despla-



MULTIPLE Y CABEZAL

DE CEMENTACION.

FIG. 9

zado, el mismo que está asentado por una llave en el tubo vertical.

Cuando se ha bombeado la mezcla de cemento, se deja caer el tapón abriendo la llave que lo sujeta y luego se desplaza cerrando la válvula inferior y abriendo la válvula superior.

III.1.2. Líneas de Cementación: Las líneas de cementación son el conducto por donde será bombeada la mezcla de cemento, desde los tanques de mezclado hasta el cabezal de cementación. En estas líneas se conectan medidores de densidad y de presión.

El medidor de la densidad nos permite saber en cualquier momento el peso de la mezcla de cemento, es esta la razón por la cual el equipo para mezclar el cemento-agua y aditivos debe tener un circuito de recirculación, que permita obtener una mezcla homogénea con las propiedades físicas del cemento propuestas, antes de ser bombeada al pozo.

Igualmente los medidores de presión nos indican las variaciones de la presión de bombeo por medio de una carta que registra toda la operación de cementación.

III.2 Equipo de Subsuelo:

III.2.1 Tubería de Perforación: La tubería de perforación es una de las partes principales al correr y cementar una camisa. Se extiende desde

FATIGA EN LA TUBERIA DE PERFORACION

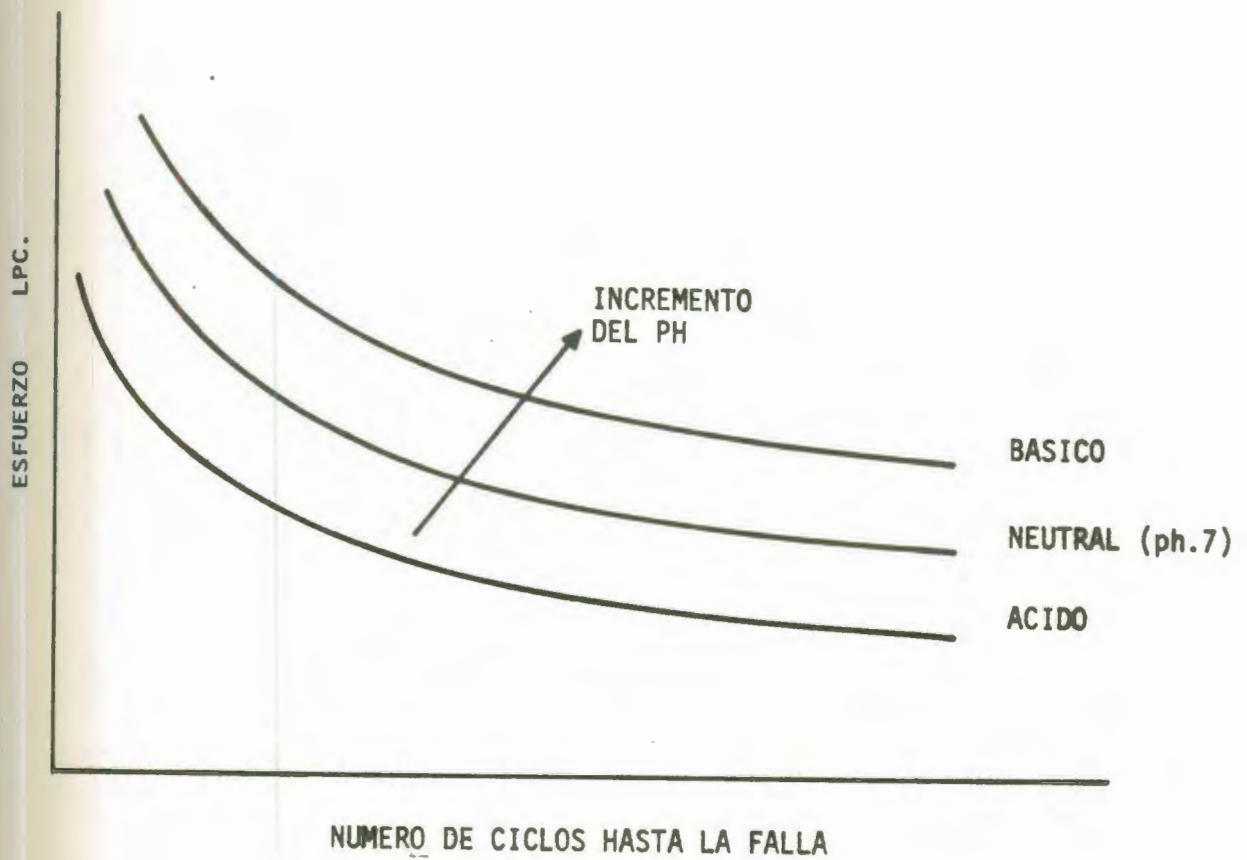


FIG. 10

la herramienta de asentamiento hasta la superficie.

La tubería de perforación debe ser resistente para soportar las cargas por tensión creadas al suspender la camisa y el ensamblaje para colgar la misma.

La fatiga en la tubería de perforación depende del medio ambiente del fluido que circula interna como externamente. Por consiguiente mientras mayor sea el esfuerzo, menor será el número de ciclos para ocasionar la falla. La resistencia del material de la tubería de perforación por la fatiga se reducirá en un ambiente ácido, como se presenta en la Fig. (10). Además la tubería de perforación debe ser calibrada para saber el diámetro interno máximo y comparar con el diámetro exterior del tapón superior, asegurándonos que éste pase libremente.

III.2.2

Ensamblaje de Asentamiento:

III.2.2.1

Herramienta de Asentamiento: Sirve para colgar la camisa cuando el colgador es asentado. Las principales funciones que tiene la herramienta de asentamiento son:

1. Concetar la tubería de perforación a la camisa.
2. Crear una presión para ajustar su conexión dentro del casquillo sellante.
3. Suspender el peso de la camisa.
4. Proveer un accesorio para el tapón inferior o tapón limpiador.

PULGS.		M.M.	
DE.	D.I.	DE.	D.I.
A		a	
B			b
C		c	
D		d	
E		e	
:			
HERRAMIENTA DE ASENTAMIENTO			

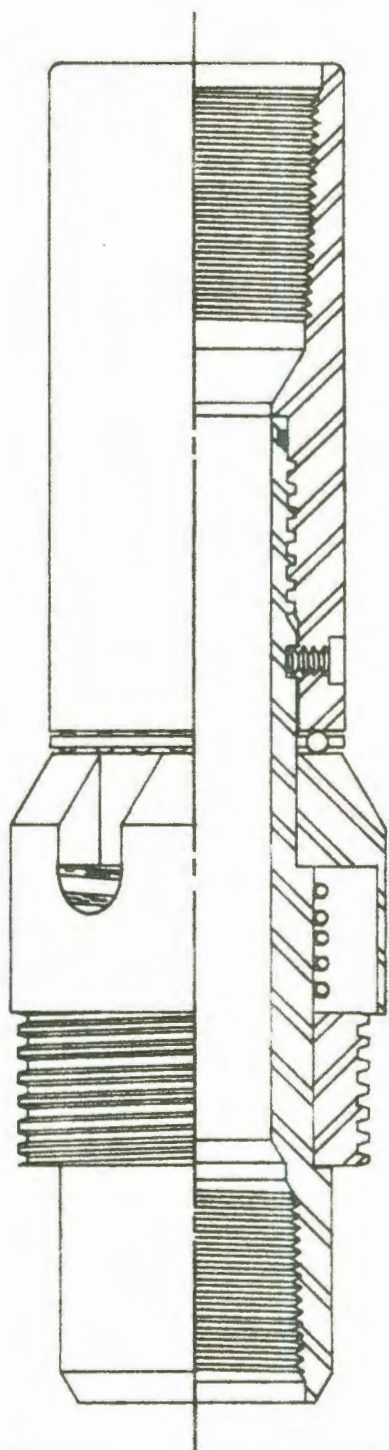


FIG. 11

de la camisa, en la cola de la tubería. La cola de tubería o unión lisa usualmente tiene una longitud de 10 pies a 15 pies y debe ser suficiente para hacer mover libremente la tubería de perforación y lograr desconectar de la camisa, sin mover la unión lisa de los sellos.

La herramienta de asentamiento es usualmente equipada con un ruliman de bola y una rosca de deslizamiento para facilitar su movimiento hacia arriba o abajo del peso neutral.

La rosca de deslizamiento es ajustada a la izquierda y es liberada en superficie por rotación a la derecha. La conexión de la camisa en el tope de la herramienta debe ser resistente con un sobre peso de 100.000 libras (Fig.11).

III.2.2.2 Receptáculo Pulido: (Packer Bore Receptacles) Frecuentemente llamado receptáculo de hueco pulido o receptáculo del tope de la camisa. Son tubos de pared gruesa y con diámetros internos altamente pulidos y que están cubiertos por teflón, para prevenir pegamiento o adherencia de cemento y otra materia extraña, que reducen la fricción de cierre y la corrosión.

El receptáculo pulido provee un hueco muy liso y una superficie de cierre para la inserción de ensamblajes de cierre de producción que corren sobre la tubería de completación para trabajos de estimulación y producción.

Los receptáculos pueden ser instalados en las siguientes posiciones:

Pulg.		MM.	
DE.	DI.	DE.	DI.
A		a	
	B		b
C		c	
	D		d
	E		e



RECEPTACULO PULIDO

FIG. 12

1. En el tope de la camisa de producción.
2. En una tubería de producción, acoplado en el punto de transición.
3. En una tubería de extensión (Tie-Back String).
4. Acoplado en camisas de producción de diferentes diámetros externos.
5. En una combinación de los puntos anteriores para métodos múltiples o alternos de completación.

Los diámetros internos del receptáculo no deben restringir el paso de los equipos de tamaño regular, en la camisa o en el revestimiento inferior. La longitud del receptáculo permite la contracción de la tubería durante la estimulación, causada por efectos de temperatura, presión y densidad. (Fig. 12).

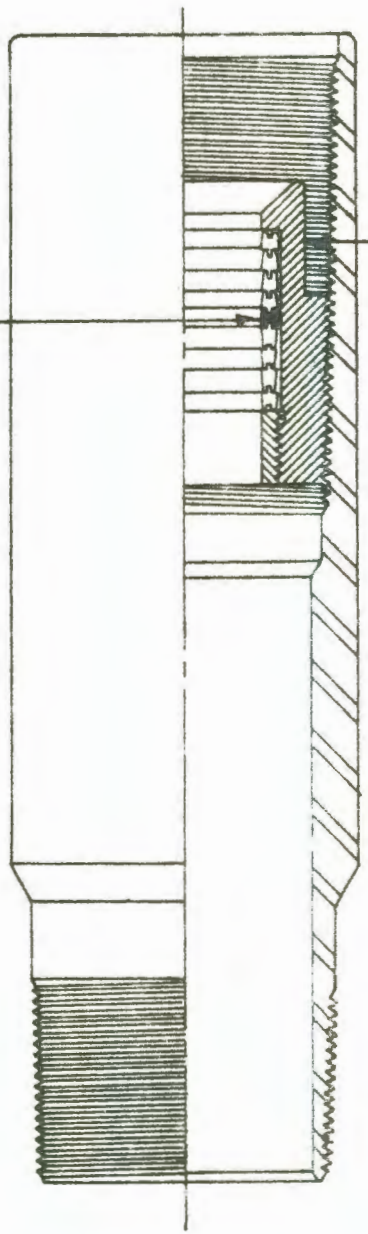
III.2.2.3 Casquillo Sellante Recuperable (CSR) (Retrievable Pack off Bushing)

Usualmente está insertado entre las roscas de la herramienta de asentamiento y el tope del colgador de la camisa y provee un medio de sello entre el equipo de asentamiento y la camisa.

Contiene empaaduras elásticas anilladas, que pueden ser de tipo "V" o "W", las cuales sellan alrededor de la tubería deslizable de la herramienta de asentamiento.

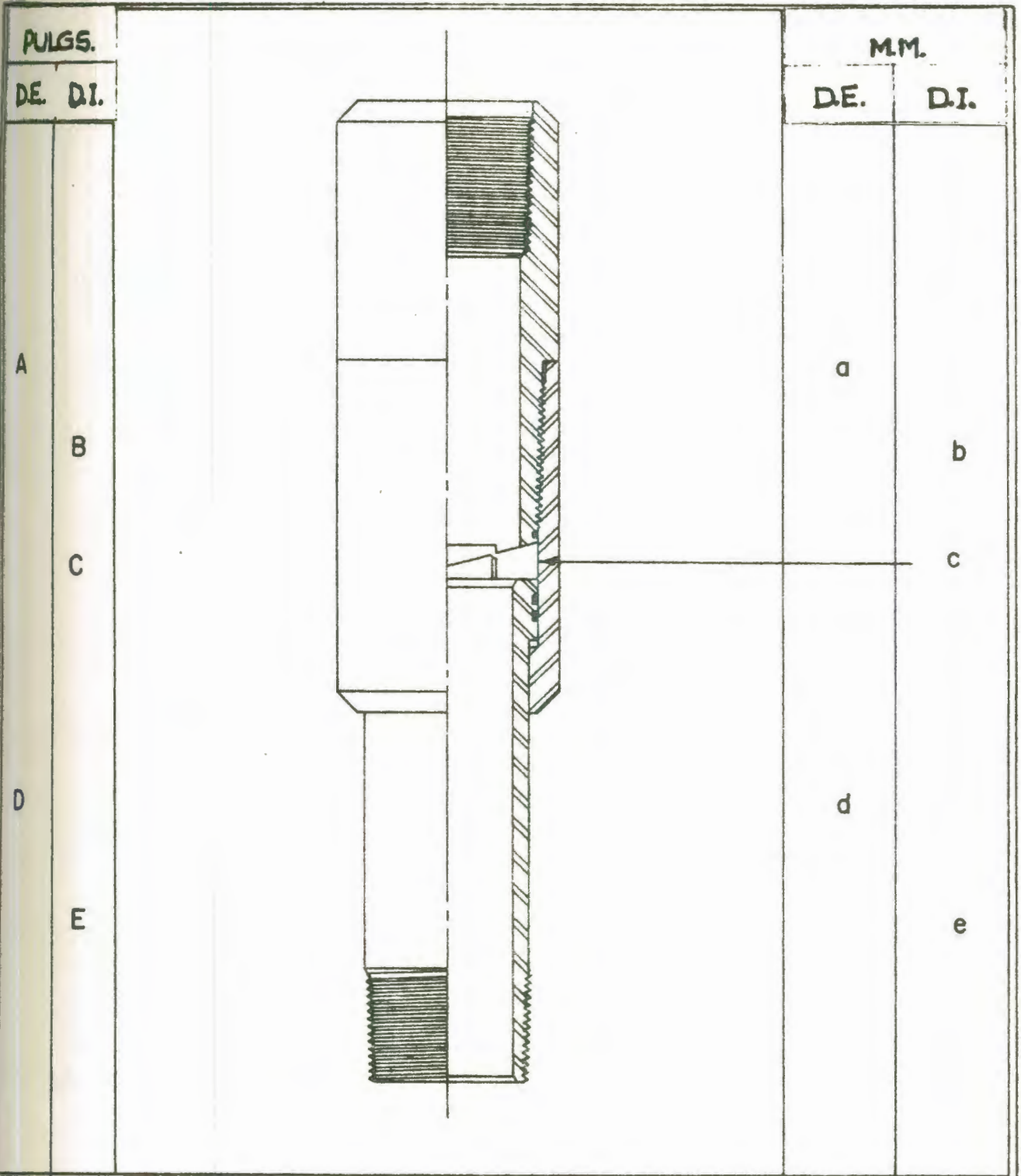
El CSR, es muy importante y debe soportar durante toda la cementación, el esfuerzo de corte y los cambios de presión en el tapón

PULGS.		M.M.	
DE.	D.I.	DE.	D.I.
A		a	
B		b	
C			c
D			d



CASQUILLO SELLANTE RECUPERABLE

FIG. 13



CABEZA GIRATORIA

FIG. 14

inferior. También debe resistir al desgaste cuando la herramienta de asentamiento es rotada libremente, o cuando la herramienta de asentamiento y la tubería de extensión son movidas de arriba hacia abajo para el desenganche de la camisa. Los sellos, también proveen movimiento de fluido sobre el tope de la camisa, entre la herramienta de asentamiento con la camisa y la tubería de perforación, al mismo tiempo que se baja en el hoyo. (Fig. 13).

III.2.2.4 Cabezal Giratorio: (Swivel) Es una herramienta que va instalada en el fondo del colgador de la camisa. (Fig.14).

El cabezal giratorio facilita el asentamiento de camisas, cuando se pegan a las paredes del hoyo o estan en un hoyo irregular, donde la rotación de la barra colgadora se dificulta.

El cabezal giratorio tiene un engranaje que se ajusta por asentamiento de peso.

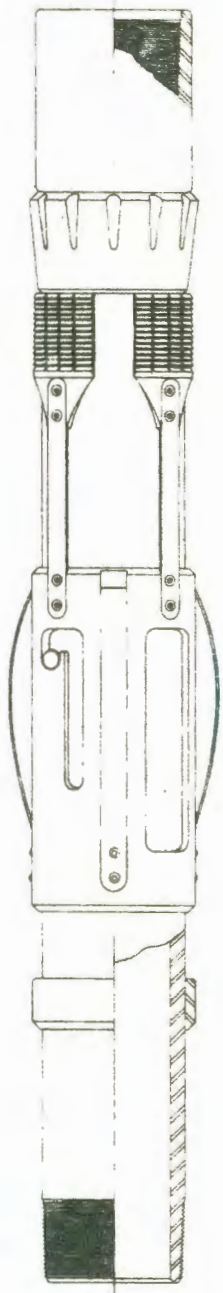
Cuando se ajusta el engranaje dificulta la rotación a la derecha y permite liberar la herramienta de asentamiento.

III.2.3 Tipos de Colgadores: Los colgadores usualmente son clasificados por el método de asentar las cuñas contra el revestimiento (Fig.15).

Hay dos clasificaciones de los colgadores:

- a. Tipo Mecánico
- b. Tipo Hidráulico

PULGS.		MM.	
DE.	DI.	DE.	DI.
A		a	
B		b	
C		c	
D		d	
E		e	
F			f



COLGADOR. DE LA CAMISA

FIG. 15

- a. Tipo Mecánico: Este tipo de colgador, requiere la manipulación de la tubería de perforación, esto significa que tiene que efectuarse un movimiento para rotar o reciprocarse con el propósito de ajustar las cuñas.

El colgador mecánico tiene un gancho en forma de jota y presenta una ventaja al limitar el viaje de las cuñas, en un caso prematuro de ocurrir el cierre justamente antes de llegar al objetivo deseado.

- b. Tipo Hidráulico: Los colgadores de camisa de asentamiento hidráulico, usan la presión de las bombas para mover las cuñas Arriba del cono, para acoplarse en el revestimiento.

Los colgadores hidráulicos no tienen resortes de fricción, que puedan romperse como lo tienen los colgadores de asentamiento mecánico y no requieren manipulación superficial para el asentamiento de las cuñas.

Pueden utilizarse para instalar camisas por debajo de una camisa existente y para asentar camisas en hoyos desviados.

III.2.4 Tipos de Camisas: Una camisa es una tubería de revestimiento, la cual no llega a la superficie, sino que es colgada en alguna parte dentro del último revestimiento.

La longitud de una camisa es seleccionada para cubrir el hoyo abierto.

y colocarse dentro de un revestimiento existente con el objeto de aislar zonas de alta o baja presión, o simplemente completar el pozo.

La extensión de la camisa dentro del revestimiento depende del tipo de pozo, pero por lo general es de 200 pies.

Los tipos de camisas que se presentan son los siguientes:

- a. Camisa de perforación o intermedia
- b. Camisa de producción
- c. Camisa de extensión.

a. Camisa de Perforación o Intermedia: Son usadas para permitir operaciones de perforación más profundas, como también para aislar zonas de pérdida de circulación y zonas de alta o baja presión.

b. Camisa de Producción: Sirve como una sarta de completación y presenta una gran ventaja porque requiere una longitud menor, comparado con un revestimiento completo hasta la superficie.

Además, permite el uso de tuberías de producción de mayor diámetro y minimizar la carga suspendida en el cabezal del pozo.

c. Camisa de Extensión (Tie Back Liner): Se extiende desde el tope de la camisa a un punto arriba del pozo, dentro de otro revestimiento o una camisa existente. Es usado para reparar un revestimiento partido o dañado, producto del medio ambiente corrosivo en que se encuentra. En algunos casos de utiliza también

para cubrir el tope de una camisa cuando hay fuga de gas o proveer una mayor resistencia a las presiones de colapso en zonas con presiones anormales.

III.2.5 Equipo de Flotación: El equipo de flotación es muy importante en la cementación de una camisa, ya que mantiene el cemento fuera de la misma evitando la contrapresión hacia la tubería.

El equipo de flotación está constituido por:

- a. Cuello de asentamiento.
- b. Zapata flotadora

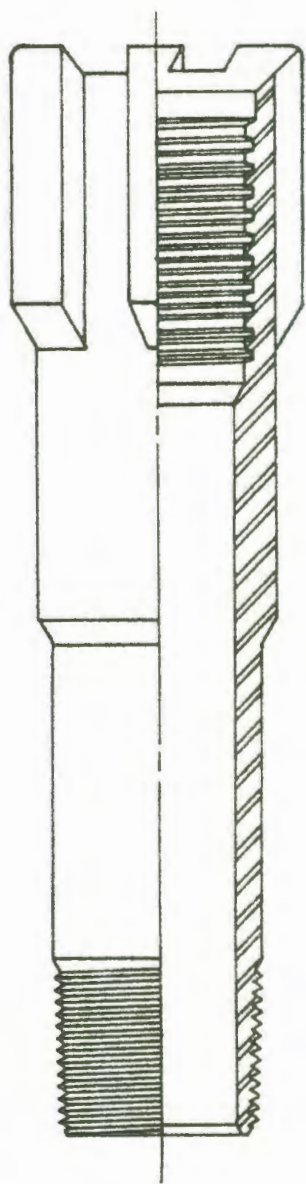
a. Cuello de Asentamiento: (Landing Collar) Usualmente es colocado un tubo arriba del cuello flotador o dos o más tubos arriba de la zapata, para proveer espacio para el cemento contaminado con barro dentro de la camisa (Fig. 16).

La función del cuello de asentamiento es enganchar y sellar el tapón inferior o lavador de la camisa. Esto previene que el tapón se mueva arriba del hueco en caso que falle la válvula de control y también previene de un movimiento de rotación, lo cual ayuda en las operaciones de perforación. (Fig. 17).

b. Zapata Flotadora: (shoe Float) Esta instalada en el fondo de la camisa (Fig. 18) y contiene una válvula de control, para prevenir que el cemento regrese a la camisa.

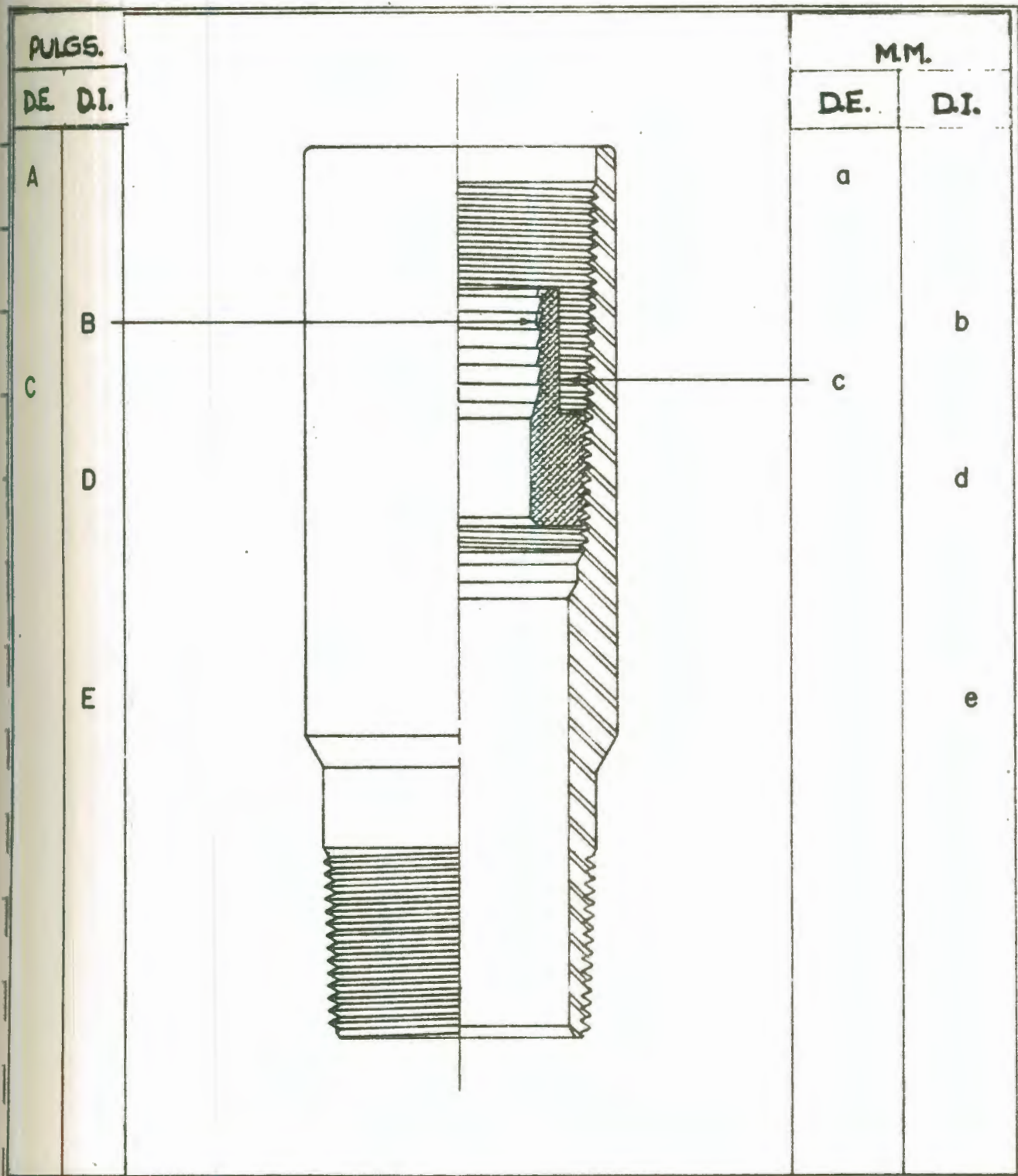
Cuando es instalado el cuello flotador puede ser corrido arri-

PULGS.		M.M.	
DE.	D.I.	DE.	D.I.
A		a	
B			b
C		c	
D			d



ASIENTO DEL CUELLO

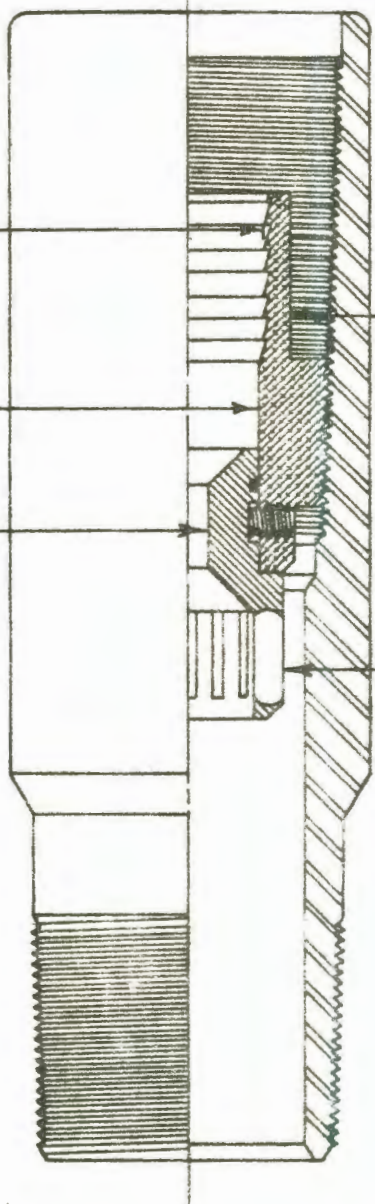
FIG. 16



CUELLO FLOTADOR

FIG. 17

PULGS.		M.M.	
DE.	D.I.	DE.	D.I.
A		a	
B			b
C		c	
D			d
E			e
F		f	
G			g



ZAPATA

FIG. 18

ba de la zapata, para asegurar que el cemento no pueda regresar en caso que la válvula de control falle. Además la zapata sirve como una guía de la tubería para lograr una mejor centralización, obteniendo una capa uniforme de cemento detrás de la camisa.

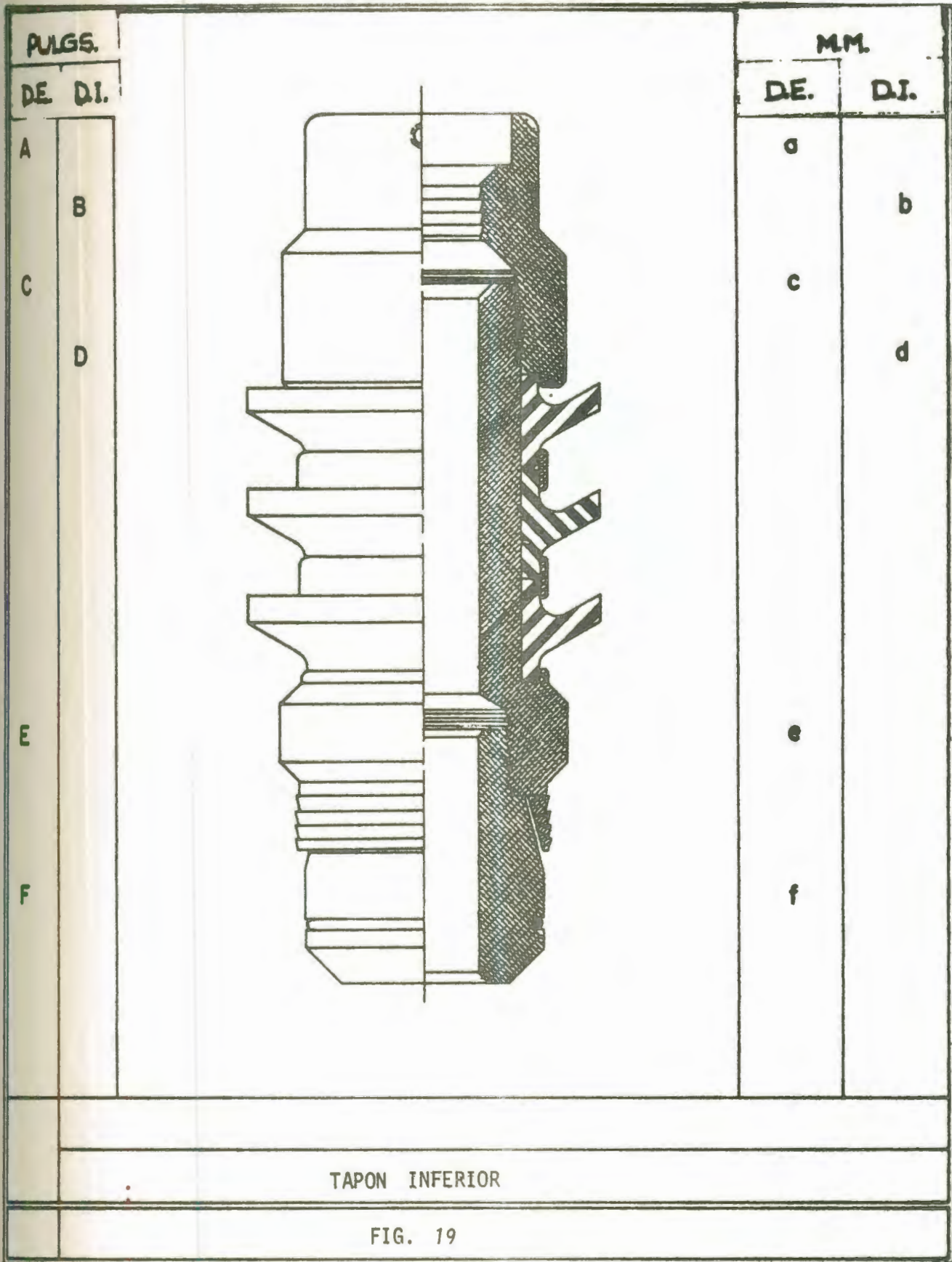
III.2.6. Tapones de Cementación: Los tapones que se utilizan para desplazar el cemento en una camisa son:

- a. Tapón Inferior
- b. Tapón Superior

a. Tapón Inferior: Llamado también tapón lavador de la camisa, está ensamblado con pasadores y se instala en el fondo de la herramienta de asentamiento en la cola de extensión. El tapón superior que sigue a la lechada de cemento se engancha en el tapón inferior, el cual es arrastrado desde la herramienta de asentamiento por un incremento de la presión en la bomba. Los dos tapones se mueven detrás de la lechada, como una sola unidad hasta el cuello de asentamiento.

Es muy importante seleccionar la tasa de desplazamiento del tapón, para prevenir el deslizamiento anticipado.

Esto es muy importante, cuando altas densidades de lechada están siempre usadas o donde una gran caída de presión es esperada a través del diámetro interno del tapón (Fig. 19).

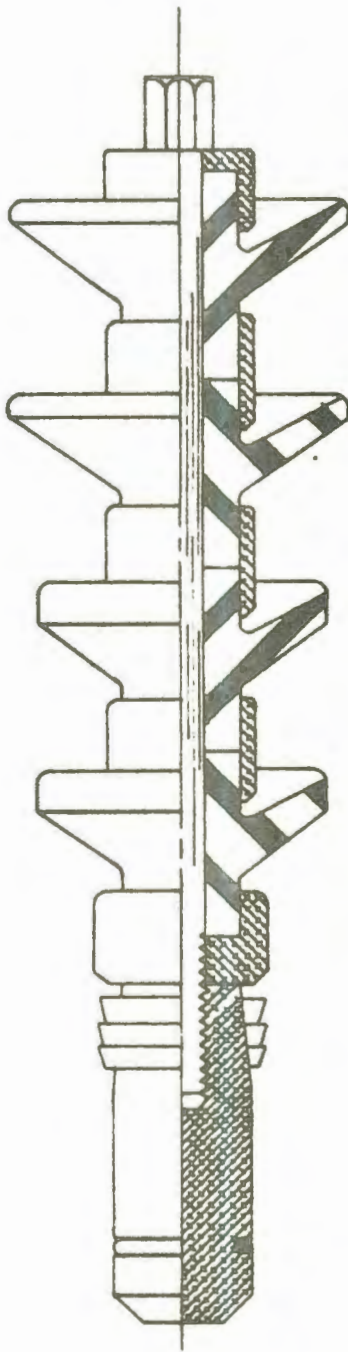


- b. Tapón Superior: Llamado también tapón limpiador de la tubería de perforación (Fig.20). Este tapón está instalado en el bezal de cementación, el mismo que es desplazado por válvulas de control, cuando toda la lechada de cemento ha sido bombeada a la tubería de perforación. El tapón tiene generalmente tres o cuatro anillos de caucho lavadores de diferentes diámetros externos, para limpiar el interior de toda la tubería ensamblada, esto es, tubería de perforación y barrilla pulida, hasta alcanzar el tapón inferior.

El tapón superior se engancha dentro del tapón inferior o limpiador de la camisa, en el fondo de la herramienta de asentamiento.

A medida que se continua con el desplazamiento la presión registrada, va aumentando hasta que se revientan los pasadores que mantienen unido al tapón inferior de la herramienta de asentamiento. Los dos tapones se desplazarán hasta el cuello de asentamiento, el cual se detecta por un aumento de la presión de la bomba, registrada en la carta de cementación.

PULGS.		MM.	
DE.	DI.	DE.	DI.
A		a	
B		b	
A		a	
C		c	
C		c	
D		d	
E		e	
F		f	



TAPON SUPERIOR

FIG. 20

CAPITULO IV

PLANIFICACION - DISEÑO Y CALCULOS

IV.1. Diseño y Cálculos para la Camisa: La instalación de una camisa lisa para completar un pozo, refleja la manera más económica de aislar y estimular por separado varias zonas productivas.

Una camisa no es más que una sección de revestimiento, en lugar de una instalación completa, asentada en alguna parte de otro revestimiento. La camisa cumple con los mismos requerimientos técnicos que un revestimiento completo, con la gran diferencia que permite el ahorro del costo total de la tubería y el control de la producción mediante trabajos de estimulación.

La aplicación de una camisa requiere de un estudio completo, considerando la limitación de los factores que se explicaron anteriormente.

En esta sección se indican las condiciones que debe reunir el revestidor de fondo o camisa, en función de las presiones y el medio ambiente que se encuentra en el pozo. Además se estudia las pérdidas de presión cuando la camisa es bajada al hoyo que está limitado al valor de la densidad equivalente de circulación, para evitar fracturar la formación y prevenir una pérdida de circulación.

IV.1.1. Selección de la Camisa: Los siguientes factores y variables deberán ser considerados en el proceso de diseño y selección de una camisa:

1. Tamaño, Peso y Grado de la Tubería: Se debe tomar en cuenta que este factor es función directa de las siguientes variables:
 - a. Tamaño del hoyo donde la camisa será corrida y cementada
 - b. Tamaño del hoyo que será perforado por debajo de la camisa en caso de una camisa intermedia.
 - c. Tamaño de las herramientas y equipos que serán usados en la camisa y a través de la misma.
 - d. Presiones bajo las cuales va a estar sometida.
2. Espacio Anular Máximo y Mínimo: El espacio comprendido entre el diámetro externo de la camisa y el diámetro del hoyo, usualmente reviste dificultades debido a lo complejo para seleccionar el tamaño óptimo para realizar una cementación exitosa.
3. Esfuerzos a los que está sometida: Una camisa al igual que un revestimiento completo está sometida a esfuerzos físicos, los cuales deben evaluarse bajo las consideraciones de carga impuestas.

Los esfuerzos más severos a que está sometida una sarta de tubería, deben ser considerados mediante un estudio del efecto de las presiones sobre la tubería y que son las siguientes:

- a. Presión de Estallido
- b. Presión de Aplastamiento
- c. Carga de Tensión.

a. Presión de Estallido: Específicamente se refiere a la capacidad de la tubería para resistir un diferencial de presión

de adentro hacia afuera (presión interna-presión externa).

Con la presión de formación estimada sobre toda la longitud de la tubería o revestidor de fondo y el espacio anular lleno de fluido se crea una presión externa que se contrapone a la presión interna creada por el fluido que llena la tubería. El diferencial de presión entre las presiones interna y externa existentes, es la presión de estallido o ruptura.

La presencia de presiones internas son consecuencia de la producción, sacudidas de gas, achique, presión hidrostática interna, etc.

La presión de estallido se calcula de la siguiente manera:

Sabiendo que la presión hidrostática ejercida por la columna de un fluido es:

$$P_h = 0.052 \rho_f \cdot H$$

Donde:

P_h = Presión Hidrostática Lpc.

ρ_f = Densidad del Fluido Lbs./Gal.

H = Profundidad pies

En nuestro caso generalizando la presión que es ejercida en los puntos 1 (dentro de la tubería) y 2 (en el espacio anular) tenemos:

$$P1 = 0.052 \cdot f_a H + P_s$$

$$P2 = 0.052 \cdot f_b \cdot H$$

Como la presión de estallido se define como el diferencial de presión:

$$AP = P1 - P2$$

$$PE = P_s + 0.052 \cdot x_o \cdot H - 0.052 \cdot x_b \cdot H$$

$$PE = P_s + GI \cdot xH - GE \cdot xH$$

$$PE = P_s + (GI - GE) \cdot xH$$

Donde:

PE = Presión de Estallido

P_s = Presión de Cierre en Superficie Lpc

GI = Gradiente Interno (Petróleo) Lpc/pie

GE = Gradiente Externo (Barro) Lpc/pie

- b. Presión de Aplastamiento: Denominada también presión al colapso, es el resultado del desequilibrio en la presión externa impuesta a la tubería comparada con la mayor presión interna.

El diseño para el aplastamiento se efectúa considerando la situación más crítica; esto significa, que la presión interna será ejercida por una columna de gas hasta la superficie y la presión externa que produce el aplastamiento será la ejercida por la presión de las formaciones o el fluido de perforación detrás de la tubería.

La expresión matemática que sirve para calcular la presión al

colapso, se desarrolla en forma similar a la presión de estallido:

$$P = 0.052 \cdot f_g \cdot H.$$

$$P_1 = G_1 \cdot H$$

$$P_2 = G_E \cdot H$$

$$AP = P_2 - P_1$$

$$P_c = G_E \cdot H - G_1 \cdot H$$

$$P_c = (G_E - G_1) \cdot H$$

Donde:

G_E : Gradiente de la formación Lpc/pie

G_1 : Gradiente del gas Lpc/pie

f_g : Densidad del gas Lbs/gal.

- c. Carga de Tensión: Definido como la tensión que cada unión debe soportar al peso de la sarta de tubería del revestimiento que está suspendido por debajo de ella.

No solamente el peso de la sarta debe ser considerado cuando se diseña por tensión, ya que cargas adicionales pueden ser impuestas debido a problemas de atascamiento. Las cargas por tensión en el revestidor de fondo no son muy críticas, debido a la pequeña longitud, a diferencia de un revestimiento hasta la superficie. La sección de la tubería debe hacerse en base a un criterio de economía y seguridad. Sin embargo, debe estar limitada al material disponible para cumplir con los valores calculados al estallido y al colapso (Tabla III). El método de seleccionar la tubería que resista estas presiones es similar al utilizado para diseñar los revestimientos, basado en el criterio del plano neutral. Este plano divide a la tubería en dos partes de acuerdo al efecto de la fuerza de flotación en las cargas de tensión.

TABLA III
PROPIEDADES DE TRABAJO PARA UNA CAMISA

Tamaño Diam. Ext.	Peso	Espesor de la Pared	Diámetro Interno	Grado	Aplasta- miento	Estallido	Tensión en
Pulg.	Lb/pie	Pulg.	Pulg.		Fs=1.125 Lpc.	Fs=1.312 Lpc.	Fs= 1.8 Lpc.
4-1/2	10.5	0.224	4.052	J-55	3400	3810	73
				K-55	3830	3810	81
	13.5	0.290	4.000	N-80	6740	7260	150
5	13.0	0.253	4.494	P-110	9280	9980	188
				J-55	3490	3880	94
5	15.0	0.296	4.408	K-55	3490	3880	103
				J-55	4430	4570	115
				N-80	5880	6640	173
5-1/2	15.5	0.275	4.950	P-110	7970	9130	216
				J-55	3431	3830	112
	17.0	0.304	4.892	K-55	3431	3830	123
				J-55	4000	4250	127
				K-55	4000	4250	140
23.0	0.415	4.670	N-80	5240	6180	193	
			P-110	7000	8500	247	
7	20.0	0.272	6.456	N-80	8370	8570	279
				P-110	11630	11780	357
	23.0	0.317	6.366	J-55	2220	2950	130
				K-55	2220	2950	141
				J-55	2920	3450	158
N-80	3620	5020	246				

La ecuación para calcular el plano neutral es la siguiente:

$$P_n = L \times F.F.$$

Donde:

P_n = Punto Neutral Pies

L = Longitud de Tubería Pies

$F.F.$ = Factor de Flotación

El factor de flotación es calculado por la ecuación:

$$F.F. = 1 - \frac{P_b}{P_h} \quad \delta$$

$$F.F. = 1 - \frac{P_b}{65}$$

Donde:

P_b = Densidad del Barro Lbs/Gal.

P_h = Densidad del Acero Lbs/Gal.

El factor de flotación representa a una fuerza igual a la pérdida de peso que experimenta la tubería cuando es sumergida en el barro.

Por consiguiente el peso real de una tubería en un determinado barro será:

$$P_{rt} = dl \times L \times FF$$

Donde:

P_{rt} : Peso real de la tubería Lbs.

dl : Densidad lineal Lbs/pie

Con estos datos se diseña la sarta de revestimiento más económica de acuerdo a los límites de las presiones de aplastamiento estallido y tensión.

Para calcular la tensión en las uniones de la tubería en función del peso de la carga suspendida, se utiliza la siguiente relación:

$$Lx (dx) + P_1 = Tx$$

$$Lx (dx) + L_1 d_1 = Tx$$

Luego:

$$Lx = \frac{Tx - L_1 d_1}{dx}$$

Donde:

Lx = Longitud (última tubería) pies

L_1 = Longitud (tub. suspendida) pies

dx = Densidad lineal Lbs/pie

d_1 = Densidad lineal Lbs/pie

Tx = Tensión Lbs.

La longitud de la tubería está sujeta a los límites de la presión al colapso y al estallido.

Es importante tener en cuenta que las tuberías están sujetas a cambios debido a las condiciones de temperatura, y por consiguiente hay que revisar el diseño en base al gradiente geotérmico del pozo.

Al diseñar una camisa se sigue el mismo procedimiento anterior con la diferencia que no se considera la tensión si es de longitud menor de aproximadamente 2000 pies.

El tipo de conexión utilizado generalmente en las camisas es de cuello integral (como hydrill o x-line) con el objeto de reducir las presiones por fricción y permitir mayor espacio anular.

Los factores de seguridad de la sarta de tubería se establecen de acuerdo a las presiones que se esperan o de los trabajos de estimulación futuros.

Generalmente los factores de seguridad que se emplean en el diseño de revestimientos de producción son:

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

Un ejemplo de aplicación para un revestimiento completo de producción y una camisa se encuentra en el apéndice B.

4. Selección del Colgador: Básicamente, la selección del tipo de colgador se basa en tres condiciones:
 - a. Revestimiento en el cual el colgador se debe asentar y que sea capaz de sostener la camisa. El área de las cuñas del colgador deberá ser distribuida adecuadamente en la carga del reves-

timiento.

- b. El tipo de colgador puede ser mecánico o hidráulico de acuerdo a las condiciones del hoyo.

Un colgador hidráulico no necesita ser reciprocado como un colgador mecánico para ser asentado, sino que es asentado por circulación del fluido del pozo al ejercer una determinada presión. La ventaja que tiene un colgador hidráulico se debe al área mayor de la manga de circulación (BY-PASS) permitiendo así una corrida más rápida de la camisa y una mejor circulación. El colgador que se asienta mecánicamente se ha utilizado con mucho éxito en pozos profundos. Estos colgadores están contruidos de un material extrapesado. Una de las ventajas más grandes que tiene este colgador es la utilización del cabezal giratorio (Swivel). Esto permite asentar el colgador aún en los casos de atascamiento de la camisa.

- c. Método de Asentamiento: Se explica en el tópicó que trata sobre la planificación y operación durante la cementación.

IV.1.2 Densidad Equivalente de Circulación: La densidad equivalente de circulación indica el límite máximo de presión que resiste la formación, antes que sea fracturada y empiece a tomar fluido. Durante la perforación y circulación es necesario conocer las pérdidas de presión en todo el sistema para evitar pérdidas de circulación.

Las pérdidas de presión que ocurren en el espacio anular son causadas en gran porcentaje por el esfuerzo del fluido de circulación contra las paredes del hoyo. Estas pérdidas de presión convertidas a unidades

La tasa de circulación se calcula en base al tipo de bomba; esto es, de acuerdo a la longitud de la carrera del pistón, el diámetro de la camisa y el número de emboladas por minuto.

Generalmente se emplea una regla hidráulica, que en el campo se puede comprobar esta tasa de circulación conociendo el número de emboladas por minuto (EPM) y la capacidad por embolada que tiene la bomba.

Calculado la tasa de corte equivalente en RPM, se determina el esfuerzo de corte para esta tasa de corte.

Debido a que los valores de la tasa de corte son muy pequeños, comprendidos entre 30 RPM y 60 RPM, se grafican las lecturas obtenidas a 300 RPM y 600 RPM y los geles a los 10 minutos.

Otra manera de obtener el esfuerzo de corte más exacto es desarrollando un modelo matemático del comportamiento de flujo.

El modelo se desarrolla a partir de la ecuación de la ley exponencial representada de la siguiente manera:

$$E_c = K (T_c)^n$$

Donde:

E_c : Esfuerzo de corte

n : Índice de comportamiento de flujo

k : Índice de consistencia

Tc: Tasa de corte

Los valores de k y n se determinan desarrollando un sistema de ecuaciones lineales, en función de las lecturas a 300 RPM y 600 RPM, que se indicará más adelante, al estudiar las propiedades de flujo de la mezcla de cemento.

$$n = \frac{\text{Log.} \left(\frac{\text{Dial. 600}}{\text{Dial. 300}} \right)}{\text{Log.} \left(\frac{600}{300} \right)}$$

$$n = 3.32 \text{ Log.} \left(\frac{\text{Dial. 600}}{\text{Dial. 300}} \right)$$

$$k = \frac{\text{Dial. 600}}{(600)^n}$$

Luego la ecuación modelo para calcular el esfuerzo de corte a cualquier número de RPM, será:

$$E_c = K (\text{RPM})^n$$

Después de calcular el esfuerzo de corte para las RPM seleccionadas, se determinan las caídas de presión por cada 1000', en el sistema anular, con la siguiente relación:

$$P_r = \frac{3.75 \times E_c (\text{RPM})}{D_h - D_p}$$

Donde:

P_r : Pérdida de presión Lppc/1000 pies

D_h : Diámetro del hoyo o tub. Pulg.

D_p : Diámetro de la tubería Pulg.

$\dot{\epsilon}_c(\text{RPM}) = \text{Esfuerzo de corte}$

Para barros estables en altas temperaturas, las propiedades que se miden en la superficie generalmente son mayores que las existentes en el hoyo.

Esto significa que las presiones calculadas son mayores que las realmente creadas en el hueco.

La densidad equivalente de circulación empieza a aumentar cuando las propiedades del barro van cambiando. Si la presión en la superficie incrementa mientras se está perforando sin haber tenido cambios en la tasa de flujo, esto generalmente significa que la viscosidad en el espacio anular está aumentando.

Este aumento puede ser causado por una floculación o gelatinización del barro o por una excesiva cantidad de los sólidos de perforación.

A partir del valor calculado de las pérdidas de presión se encuentra la densidad equivalente de circulación a una profundidad establecida.

La densidad equivalente de circulación de un barro como se mencionó anteriormente es la suma de la densidad del barro y las pérdidas de presión en el espacio anular convertida a una densidad

equivalente por la siguiente expresión:

$$DEC = \rho_b + \frac{P_r}{0.052.H}$$

Donde:

DEC= Densidad equivalente de circulación Lbs/Gal.

ρ_b = Peso del barro Lbs/Gal.

P_r = Pérdida total de presión Lpc.

H = Profundidad Pies

IV.1.3. Velocidad de Corrida: Cuando se baja un revestimiento al hoyo, se producen presiones debido a la presencia de fuerzas entre el barro, la tubería y el hoyo. La presión surgente es el resultado de las fuerzas de arrastre originadas por la tubería que se está moviendo con respecto al fluido que se encuentra en el espacio anular y que se mueve hacia arriba.

Estas presiones de arrastre deben ser determinadas con anticipación antes de bajar la camisa con el objeto de minimizar las posibilidades de fracturamiento o pérdidas de circulación en la formación.

Las presiones surgentes que se presentan cuando una tubería es bajada en el hoyo dependen de las propiedades del barro. Burkhardt, experimentalmente obtuvo una curva (Fig. 21) donde muestra la presión surgente que se produce al bajar una tubería dentro del hoyo, indicando valores de máxima y mínima presión. Una presión surgente se obtuvo cuando la tubería fue levantada de las cuñas de la mesa

PRESIONES SURGENTES
ASOCIADAS CON LA
VELOCIDAD DE CORRIDA

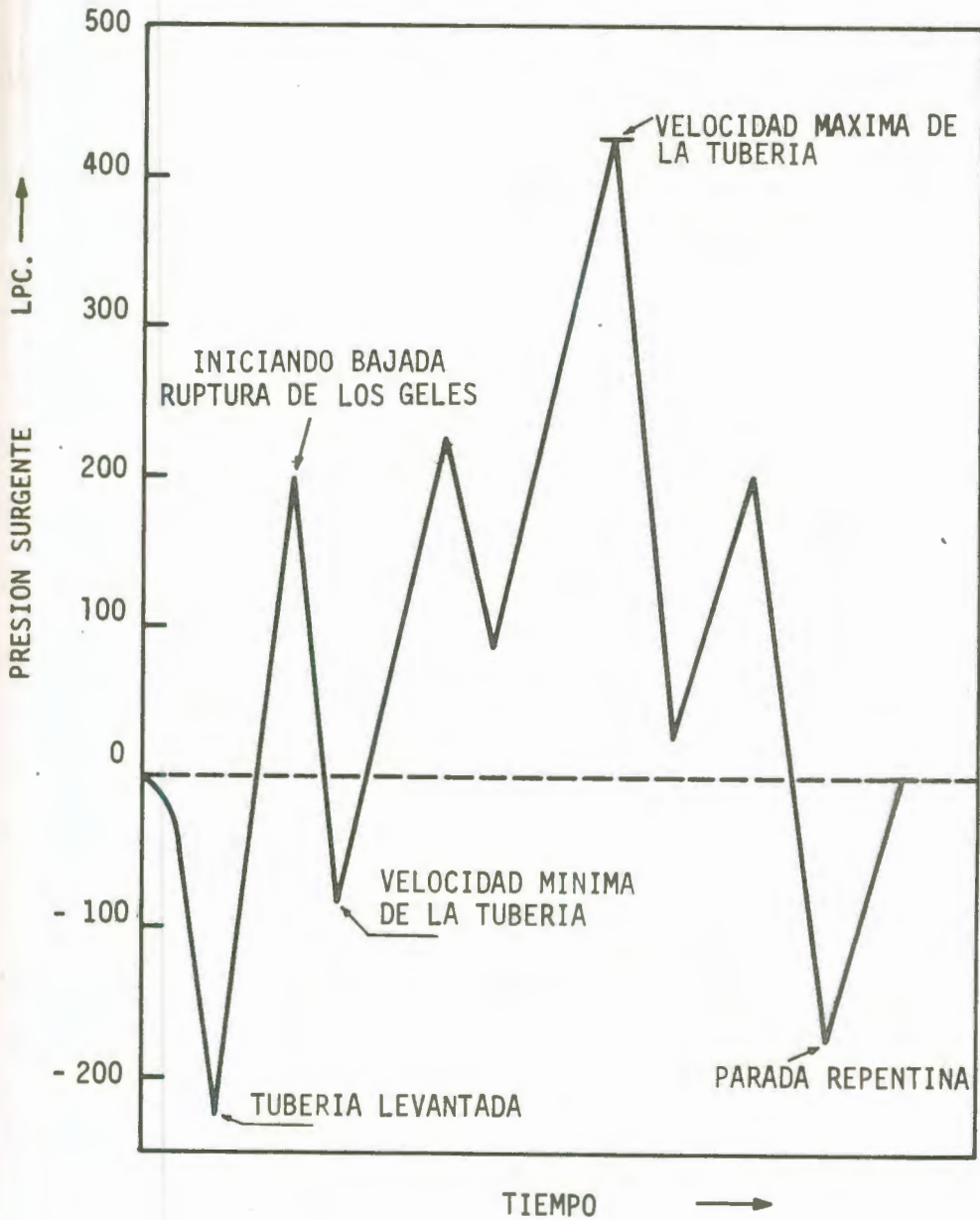


FIG. 21

rotatoria, posteriormente cuando era bajada la tubería, se presentaron fluctuaciones en la presión hasta un valor máximo correspondiente a la máxima velocidad de corrida de la tubería. Las fluctuaciones de presión se produjeron como consecuencia de la resistencia que presentó el barro inicialmente antes de fluir y por la velocidad de corrida.

El grado de las presiones surgentes, esta relacionado directamente por:

1. Velocidad de corrida inapropiada
2. Fuerza necesaria para romper la estructura formada por los Geles después que el barro ha permanecido largo tiempo en reposo.
3. Arrastre producido por la viscosidad del barro sobre la tubería.

La fuerza de arrastre que se produce en la sección transversal del hoyo, produce un aumento en la presión hidrostática de la columna de barro.

Esta fuerza de arrastre se muestra en el indicador de peso cuando las presiones surgentes son altas.

Para reducir al mínimo las presiones surgentes se debe mantener el barro en buenas condiciones reológicas.

Durante la operación de corrida del revestimiento se mantiene una velocidad relativa de la tubería en el barro, que se mueve en flujo laminar.

La técnica para el cálculo de la velocidad de corrida para prevenir posibles fracturas en la formación, se basa en el "Método de cálculo de la presión de circulación anular invertida", con el objeto de estimar las presiones surgentes.

Esto se puede hacer, porque las pérdidas o generación de presiones son iguales si el fluido arrastra sobre la tubería o si la tubería arrastra sobre el fluido.

El primer paso para calcular la velocidad de corrida, es establecer una presión surgente la cual puede incrementar sin llegar a ocasionar una ruptura en la formación.

Este valor es usualmente obtenido al saber el peso del lodo de perforación necesario para ocasionar la fractura en la formación o sabiendo a que tasa de circulación el hueco toma o recibe lodo de perforación.

Para obtener estos datos se realiza una prueba de integridad de presión (P.I.P) como se indica en el Apéndice A.

En caso, de que ninguno de los datos mencionados anteriormente estén disponibles, será necesario calcular la densidad equivalente de circulación durante la perforación del pozo y usarlo como un valor permisible que indica que hasta ese punto la formación resiste las presiones creadas, la cual se manifiesta como una presión de pistoneo en todos los puntos debajo del revestimiento.

La velocidad del fluido también origina una fuerza de arrastre sobre el revestimiento, ya que el fluido se mueve en dirección opuesta a la tubería.

La velocidad relativa de la tubería con respecto al fluido nos da la velocidad total, requerida para estimar las fuerzas de arrastre sobre todo el sistema.

En la figura 22 se presenta el comportamiento de las velocidades relativas del sistema cuando la tubería es bajada.

La velocidad de corrida hacia abajo en pies por minuto puede calcularse por la siguiente ecuación, cuando se conoce la velocidad de corrida (la misma que es asumida en segundos por tubo):

$$V_p = \frac{1}{V_c \cdot \left(\frac{\text{Seg.}}{\text{Tubo}}\right) \cdot \left(\frac{1 \text{ Min.}}{60 \text{ Seg.}}\right) \cdot \left(\frac{1 \text{ Tubo}}{40 \text{ pies}}\right)}$$

$$V_p = \frac{2400}{V_c} \quad (\text{Pies/Min.})$$

Donde:

V_p = Velocidad de la tubería (Pie/Min.)

V_c = Velocidad de corrida (Seg/Tubo)

La velocidad de desplazamiento del fluido hacia arriba del hueco, cuando se baja el revestimiento, se calcula usando la siguiente ecuación:

ESQUEMA DE LAS VELOCIDADES
AL BAJAR LA TUBERIA

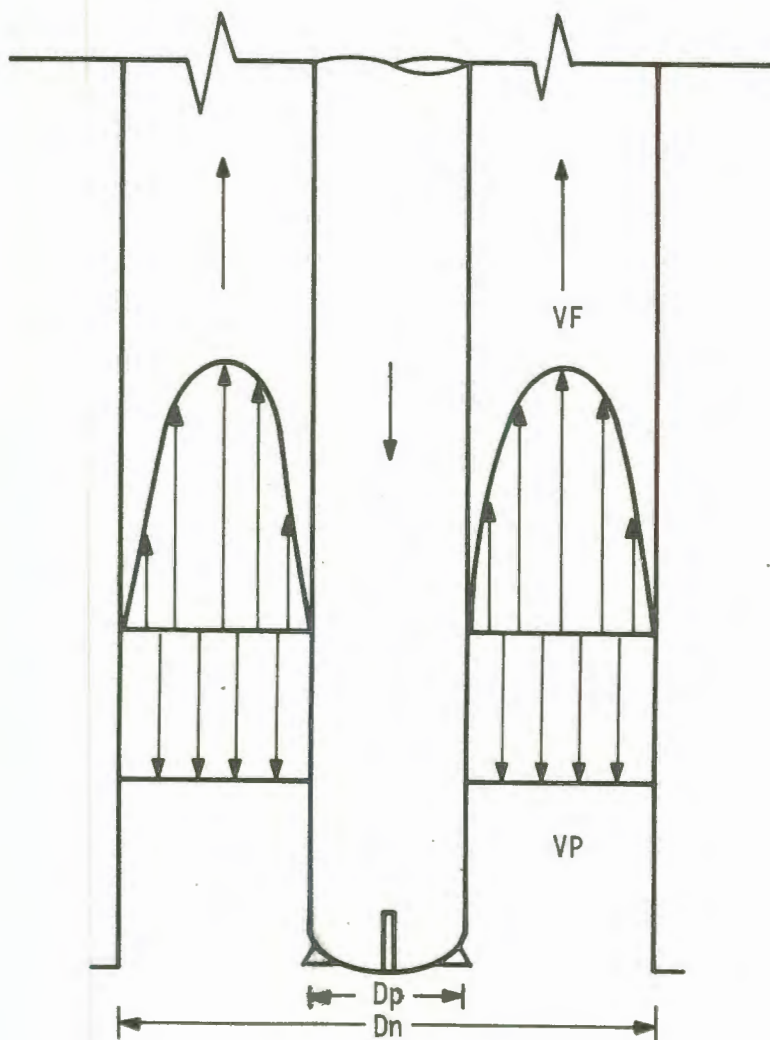


FIG. 22

$$V_F = V_P * D_Z * C_{AP}$$

Donde:

$V_F =$	Velocidad del fluido hacia arriba	Pie/Min.
$D_Z =$	Desplazamiento en el hueco	Gal/Pie
$C_{AP} =$	Capacidad anular entre revestimiento y revestimiento o hueco	Pie/Gal.

Como la tubería se está moviendo hacia abajo y el fluido hacia arriba, la velocidad relativa del fluido con respecto al revestimiento, será igual a la suma de las velocidades del fluido y la tubería:

$$V_R = V_F + V_P$$

Donde:

$V_R =$	Velocidad relativa	Pie/Min.
---------	--------------------	----------

La velocidad relativa del fluido con respecto al revestimiento de afuera o el hueco, es simplemente la velocidad del fluido ya que el hueco no se mueve.

Con la finalidad de estimar una "velocidad relativa promedio" para el fluido que actúa sobre el sistema, se debe determinar que proporción de arrastre da cada uno de los tres factores que contribuyen a la caída de presión: Fluido y revestimiento; fluido y fluido y fluido y hoyo.

La velocidad relativa promedio puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$\bar{V}_{r_{prom}} = \frac{V_p A_p + V_f \cdot A_h}{A_p + A_h}$$

Donde:

\bar{V}_r prom=	Velocidad relativa promedio	Pie/Min.
V_p =	Velocidad del revestimiento	Pie/Min.
V_f =	Velocidad del fluido	Pie/Min.
A_p =	Area de contacto en el revestimiento	Pulg ² /Pie
A_h =	Area de contacto en el hoyo	Pulg ² /Pie

Pero el área de contacto del fluido en la tubería y las paredes del hoyo es proporcional a la longitud, por lo tanto:

$$A_p = \frac{D_p}{L}$$

$$A_h = \frac{D_h}{L}$$

Donde:

D_p =	Diámetro del revestimiento	Pulg.
D_h =	Diámetro del hueco	Pulg.
L =	Longitud de la tubería	Pie

Reemplazando las equivalencias de las áreas de contacto y simplificando tenemos:

$$\bar{V}_r \text{ prom.} = \frac{D_p}{D_p + D_h} \cdot V_p + \frac{D_h}{D_p + D_h} \cdot V_F$$

Después de haber obtenido la velocidad relativa promedio se determina la resistencia al corte que desarrolla el fluido a la velocidad calculada.

El procedimiento siguiente es empleado para determinar la resistencia al corte:

1. Utilizando un viscosímetro "Fann" de varias revoluciones se obtienen las diferentes lecturas a cada revolución.
2. Se grafican las lecturas a 600 RPM y 300 RPM y los Geles a los 10 minutos; se construye una curva de esfuerzo de corte V_s tasa de corte. Para el fluido de perforación el gráfico de la figura 23 es un ejemplo de lo indicado anteriormente.

Los valores de las lecturas a 600 RPM y 300 RPM, pueden ser calculadas en función de las propiedades del lodo de perforación de la siguiente manera: Para la viscosidad plástica (VP) y punto cedente (PC):

$$VP = \theta 600 - \theta 300$$

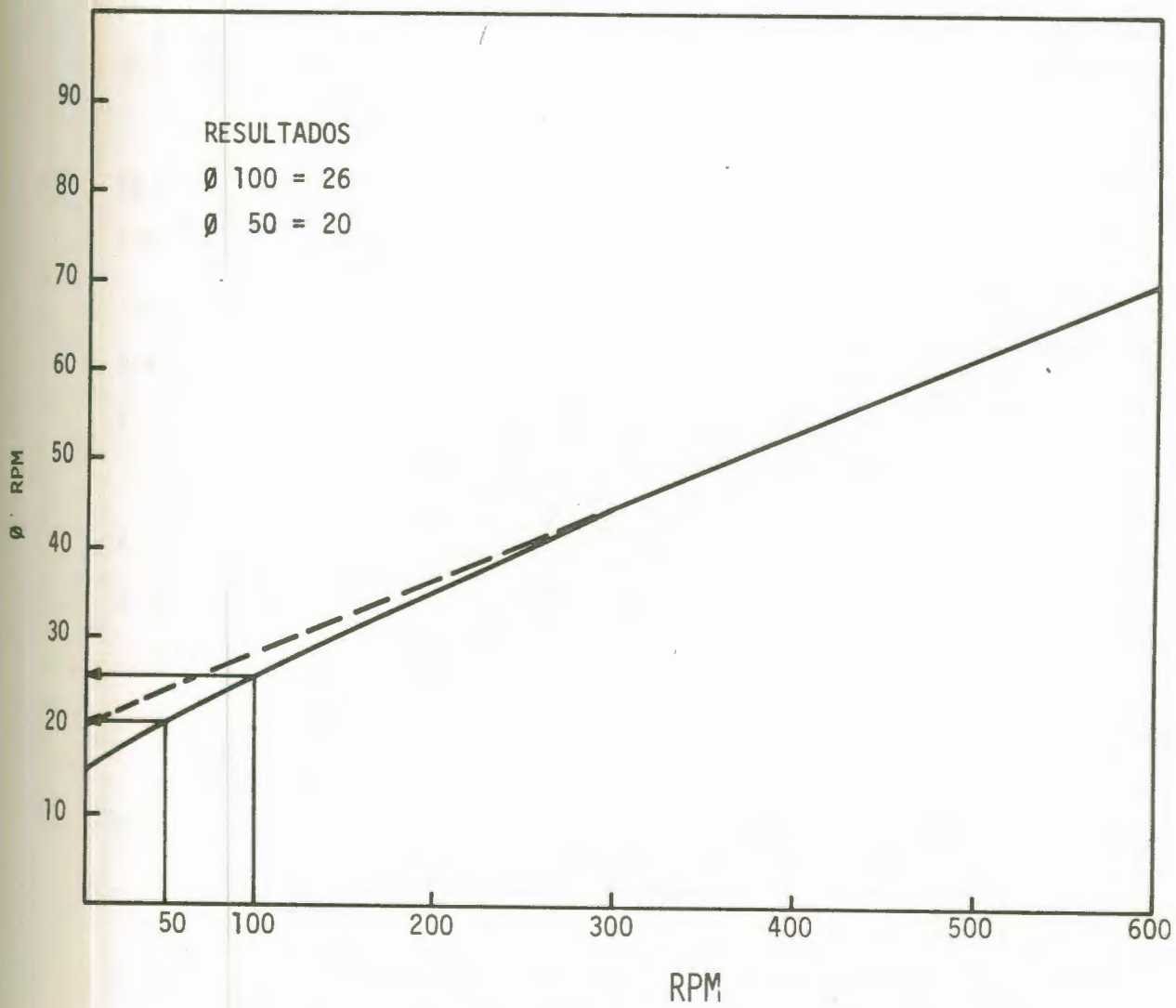
$$PC = \theta 300 - VP$$

Por lo tanto:

$$\theta 300 = PC + VP$$

y

$$\theta 600 = \theta 300 + VP$$



ESFUERZO DE CORTE VS. TASA DE CORTE

FIG. 23

Donde:

Ø 100= Lectura a 100 RPM

Ø 50 = Lectura a 50 RPM

Con el valor calculado de las RPM se entra en el gráfico de la Fig. 23 y se obtiene la resistencia de corte.

Finalmente, con la resistencia de corte se calcula la presión surgente:

$$PSG = \frac{L \ Ø \text{ RPM}}{300 (Dh - Dp)}$$

Donde:

PSG= Presión de surgencia LPC

L= Longitud de tubería en el hueco Pies.

ØRPM= Lectura a las RPM calculadas

Después de calcular la presión surgente para una velocidad de corrida asumida, se compara este valor de presión con la presión surgente permisible para saber si a esta velocidad la formación no es fracturada.

Para determinar la profundidad máxima a la cual puede ser corrida la tubería sin fracturar la formación, se divide la presión surgente permisible entre la presión surgente calculada por pie y al resultado se multiplica por 1000, es decir:

$$L = \frac{PSP}{PSG} \times 1000$$

Donde:

L=	Longitud de tubería	Pies
P _{SP} =	Presión surgente permisible	LPC
P _{SG} =	Gradiente de presión surgente	LPC/Pie

Seguidamente se selecciona una velocidad de corrida más baja; porque a medida que nos acercamos al fondo la presión de surgencia es mayor y por lo tanto la probabilidad de fracturar la formación es mayor.

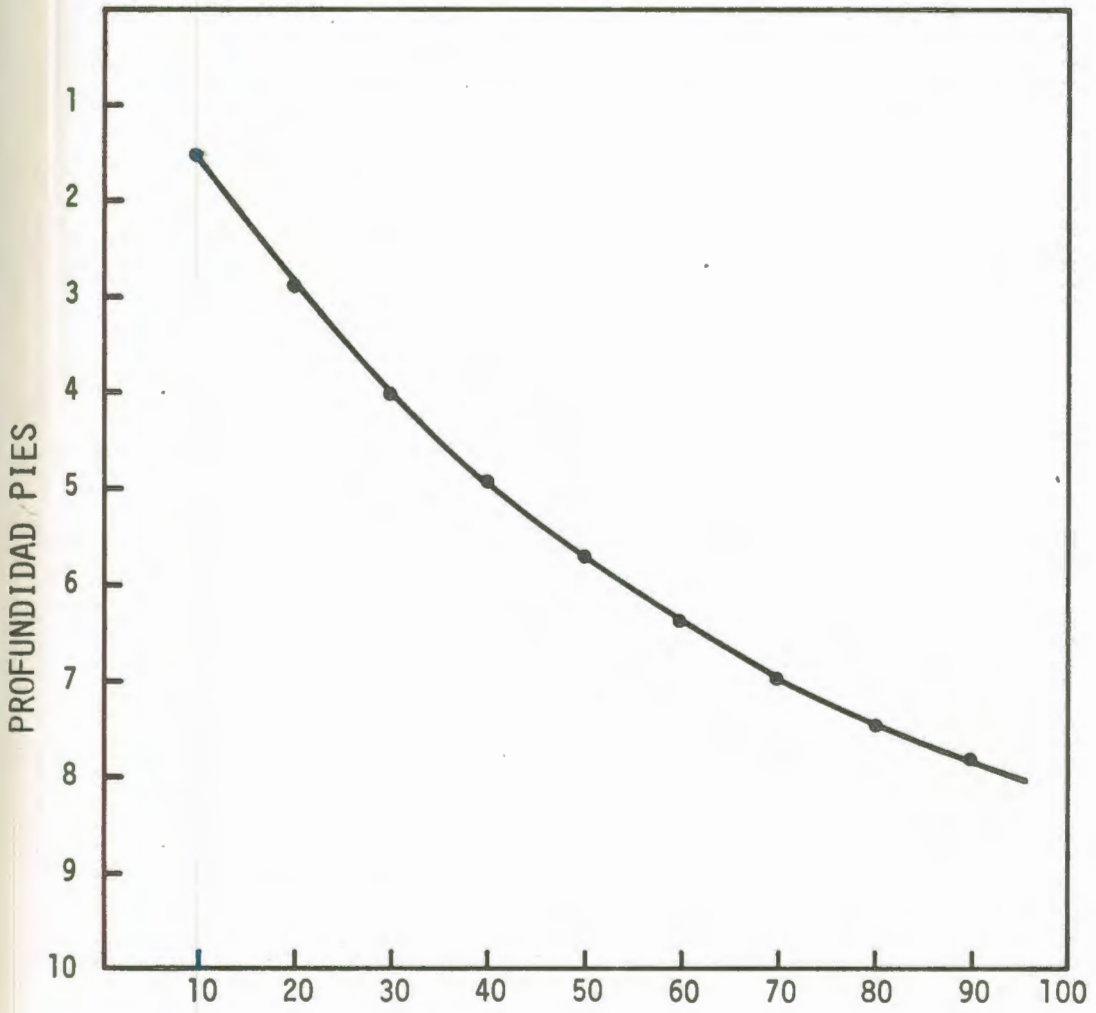
Con la nueva velocidad asumida se repiten los mismos cálculos continuando así sucesivamente para diferentes velocidades hasta completar la profundidad total del pozo.

Los valores obtenidos de profundidad y velocidad de corrida se grafican con el objeto de establecer valores para la longitud de las parejas de la Sarta disponible. (Fig. 24)

IV.2. Diseño y Cálculos para la Lechada

El diseño de una lechada de cemento, para cementar una camisa de protección o producción es uno de los más difíciles y críticos de todos los trabajos de cementación.

Para cementar una camisa es indispensable que la mezcla de cemento, posea un tiempo de bombeabilidad o espesamiento suficiente para completar el trabajo y a la vez sacar la sarta de asentamiento por encima del exceso de cemento que generalmente es dejado arriba del colgador.



VELOCIDAD DE CORRIDA SEG/TUBO

FIG. 24

Es importante también, que al fraguar el cemento adquiera un esfuerzo compresivo rápido con el fin de evitar pérdida de tiempo, permitiendo continuar las operaciones en el pozo.

El diseño de una lechada de cemento se empieza determinando el peso de la lechada, el volumen de agua y el rendimiento que desarrollará esta composición química de agua, cemento y aditivos bajo las condiciones de presión y temperatura que se encuentran en el pozo.

IV.2.1

Peso - Volumen - Rendimiento

A continuación se explica el procedimiento para calcular las características de una lechada de cemento para un revestidor de producción.

En primer lugar se deben considerar los principales parámetros que influyen en la cementación:

1. Tiempo para efectuar el trabajo
2. Tiempo de bombeabilidad o espesamiento
3. Pérdida de fluido
4. Temperaturas estática y de circulación
5. Resistencia a la compresión

Estos factores serán discutidos más adelante.

Toda mezcla de cemento es seleccionada de acuerdo al peso que se necesita para desplazar de una manera más efectiva el fluido de

perforación. El peso de la mezcla de cemento generalmente debe ser mayor en dos o tres unidades.

Los aditivos son posteriormente seleccionados en base a las condiciones del pozo que se esperan durante la cementación. La siguiente composición: Cemento 35%, Silica Fluor 25#/sx, Kolite 2%, Gel y agua, será considerada para explicar como se obtienen sus principales propiedades.

Procedimiento

1. Se calcula el peso de cada componente en la mezcla, en base al peso de un saco de cemento que es igual a 94 libras:

$$35\% \text{ Silica Fluor} = 94 \frac{\text{Lbs}}{\text{Sx}} \times 0.35 = 32.90 \text{ Lbs/Sx}$$

$$25 \frac{\text{Lbs.}}{\text{Sx}} \text{ Kolite} = 25 \text{ Lbs/Sx}$$

$$2\% \text{ Gel} = 94 \frac{\text{Lbs}}{\text{Sx}} \times 0.025 = 1.88 \text{ Lbs/Sx}$$

La cantidad de agua requerida por cada componente se obtiene utilizando las tablas de cementación disponibles. (Sección - 230 - Pág. 12 y 13. Halliburton, en nuestro caso).

$$\text{Cemento} = 5.2 \text{ Gal/Sx}$$

$$\text{Kolite} = \frac{2 \text{ Gal}}{50 \text{ Lbs}} \times 25 \frac{\text{Lbs}}{\text{Sx}} = 1.0 \text{ ''}$$

$$\text{Silica Fluor (35\%)} = 1.5 \text{ ''}$$

$$\text{Gel (2\%)} = \underline{1.3} \text{ ''}$$

$$\text{Requerimiento de Agua} = 9.0 \text{ Gal/Sx}$$

Luego la cantidad de agua, entonces nos da un peso de:

$$9.0 \frac{\text{Gal}}{\text{Sx}} \times 8.33 \frac{\text{Lbs}}{\text{Gal}}$$

(Peso) Agua = 74.97 Lbs/Sx.

2. Cálculo del Volumen Absoluto

Volumen absoluto se define como el recíproco de la densidad del material.

La fórmula para encontrar el volumen absoluto es:

$$V_{\text{ABS}} = \frac{P_m}{8.32 \times SG}$$

V_{ABS} = Volumen absoluto Gal/Lbs

P_m = Peso del material (Lbs)

SG = Gravedad específica del material (adimensional)

El volumen absoluto puede ser determinado por las tablas Halliburton (sección 210-Pág-12).

Cemento	0.0382	Gal/Lb
35% Silica Fluor	0.0456	"
25% Lbs/Sx. Kolite	0.0453	"
Agua	0.1200	"

3. Cálculo del Volumen Real

Conociendo el peso en [Lbs/Sx] y el volumen absoluto en [Gal/Lbs] podemos calcular el volumen real y el total de la mezcla, de la siguiente forma:

$$VOL \text{ [Gal/Sx]} = PESO \text{ [Lbs/Sx]} \times Vol.Abs. \text{ [Gal/Lbs]}$$

Cemento	3.591	Gal/Sx
35% Silica Fluor	1.500	"
25 Lbs/Sx Kolite	2.805	"
2% Gel	0.085	"
Agua	<u>8.996</u>	"
Total:	16.977	Gal/Sx.

4. Cálculo de la Densidad

Sabemos que la densidad o peso se obtiene por la formula:

$$\rho_m = \frac{P_m}{V_m}$$

Donde:

ρ_m	Densidad de la mezcla	Lbs/Gal
P_m	Peso de la mezcla	Lbs/Sx
V_m	Volumen de la mezcla	Gal/Sx

En el ejemplo expuesto tenemos que el peso de cada componente de la mezcla será:

Cemento	94.00	Lbs/Sx
35% Silica Fluor	32.90	"
25 Lbs/Sx Kolite	25.00	"
2% Gel	1.88	"
Agua	<u>74.97</u>	"
Total:	234.75	Lbs/Sx.

Tenemos que la densidad de la mezcla será:

$$f_m = \frac{234.75 \text{ Lbs/Sx}}{16.977 \text{ Gal/Sx}}$$

$$f_m = 13.8 \text{ Lbs/Gal}$$

5. Calculo del Rendimiento

El rendimiento es el volumen de mezcla obtenido por cada saco de cemento. Generalmente se expresa en (Pies³/Sx), Luego:

$$R = \frac{Vt}{7.48}$$

$$R = \text{Rendimiento} \quad \text{Pie}^3/\text{Sx}$$

$$VT = \text{Volumen por saco} \quad \text{Gal/Sx}$$

Por consiguiente en nuestro caso tenemos:

$$R = \frac{16.977}{7.48}$$

$$R = 2.27 \text{ Pie}^3/\text{Sx}$$

Tabulando los resultados calculados.

DENSIDAD - VOLUMEN - RENDIMIENTO

Composición de la mezcla	1 Peso (Lbs/Sx)	2 VOL.ABS (Gal/Lbs)	3 VOL (Gal/Sx)
			1 x 2
Cemento	94.00	0.0382	3.591
35% Silica Fluor	32.90	0.0456	1.500
25 Lbs/Sx Kolite	25.00	0.1122	2.805
2% Gel	1.88	0.0453	0.0805
Agua	74.97	0.1200	8.996
Total	234.75		16.977

$$\rho_m = 13.80 \text{ Lbs/Gal}$$

$$R = 2.27 \text{ Pie}^3/\text{Sx.}$$

Requerimiento de Agua: 9.0 Gal/Sx.

TABLA IV

MEZCLAS DE CEMENTO COMUNMENTE UTILIZADAS

MEZCLA	REQ. DE AGUA (Gal/Saco)	PESO DE LA MEZCLA (Lbs/Gal)	RENDIMIENTO (Pie ³ /Saco)
"A" neto	5.2	15.6	1.17
2% CaCl ₂	5.2	15.6	1.19
4% CaCl ₂	5.2	15.6	1.21
4% Gel	7.8	14.0	1.55
4% Gel, 25 Lbs Kolite/Saco	8.8	13.2	1.99
4% Gel, 50 Lbs Kolite/Saco	9.8	12.6	2.43
6% Gel	9.1	13.6	1.73
6% Gel, 25 Lbs Kolite/Saco	10.1	12.8	2.17
6% Gel, 50 Lbs Kolite/Saco	11.1	12.4	2.62
8% Gel	10.4	13.1	1.92
8% Gel, 25 Lbs Kolite/Saco	11.4	12.6	2.36
8% Gel, 50 Lbs Kolite/Saco	12.4	12.2	2.80
8% Gel, 1 Lb Mica Gruesa/Saco	10.4	13.1	1.92
8% Gel, 2 Lbs Mica Gruesa/Saco	10.4	13.2	1.93
8% Gel, 30% Silica Flour	11.7	13.4	2.26
8% Gel, 30% Silica Flour, 2% CaCl ₂	11.7	13.5	2.28
8% Gel, 30% Silica Flour, 4% CaCl ₂	11.7	13.5	2.29
8% Gel, 30% Silica Flour, 25 Lbs Kolite/Saco	12.7	12.9	2.70
8% Gel, 30% Silica Flour, 50 Lbs Kolite/Saco	13.7	12.5	3.15
8% Gel, 35% Silica Flour, 4% CaCl ₂	11.9	13.5	2.35
12% Gel	13.0	12.5	2.28
12% Gel, 4% CaCl ₂	13.0	12.5	2.32
20% Gel, 3% Sal	18.2	11.7	3.04
35% Silica Flour	6.7	15.5	1.58
35% Silica Flour, 25 Lbs Kolite/Sx	7.7	14.3	2.01
10% Arena	5.2	15.9	1.23
10% Arena, 2% CaCl ₂	5.2	15.9	1.25
35% Silica Flour, 1.5% CFR-2			
0.5% LWL, 1.0% HR-12	6.7	15.5	1.58

Los valores dados en la Tabla no se alteran en caso de usar en la mezcla un porcentaje de retardador* menor del 5% ó Mica.

*Retardadores: Kembrek, D-13, HR-7, HR-12.

IV.2.2. Velocidad Crítica en el Anular: La velocidad crítica en el anular es uno de los parámetros más importantes para obtener un desplazamiento eficiente del barro de perforación por el cemento.

La velocidad crítica es el límite por encima del cual, se establece que el desplazamiento en el espacio anular esta en régimen o flujo turbulento.

La velocidad crítica en el espacio anular es calculada con el propósito de establecer cual debe ser la tasa de bombeo mínima necesaria para alcanzar turbulencia en el barro durante la cementación.

El cálculo de la velocidad crítica será determinado en función de la ecuación que representa el flujo patrón del fluido y las propiedades del barro.

La ecuación del número de Reynolds que controla el régimen de flujo esta expresado por la siguiente expresión matemática:

$$N_{re} = \frac{928 \rho \bar{v} D}{\mu} \quad (1)$$

Donde:

N_{re}	=	Número de reynolos	Adimensional
ρ	=	Densidad	Lbs/Gal
\bar{v}	=	Velocidad promedio	Pie/Seg.

D = Diámetro equivalente Pulg.

μ = Viscosidad del fluido CPS

La pérdida de presión para fluidos newtonianos durante flujo laminar está representada por la Ley de Hagan-Poiseuille:

$$\Delta P = \frac{\mu L \bar{V}}{1500 D^2} \quad (2)$$

Donde:

ΔP = Pérdida de presión LPC

L = Longitud de la tubería Pies

En cambio el comportamiento de la presión y la velocidad para el flujo de un fluido plástico indica que se requiere ejercer una presión inicial antes de empezar el movimiento.

El verdadero flujo laminar está representado por una porción de la línea recta (Fig. 25) expresada en la siguiente ecuación:

$$144 \quad \Delta P = \frac{4}{3} y_t + m \bar{V} \quad (3)$$

Donde:

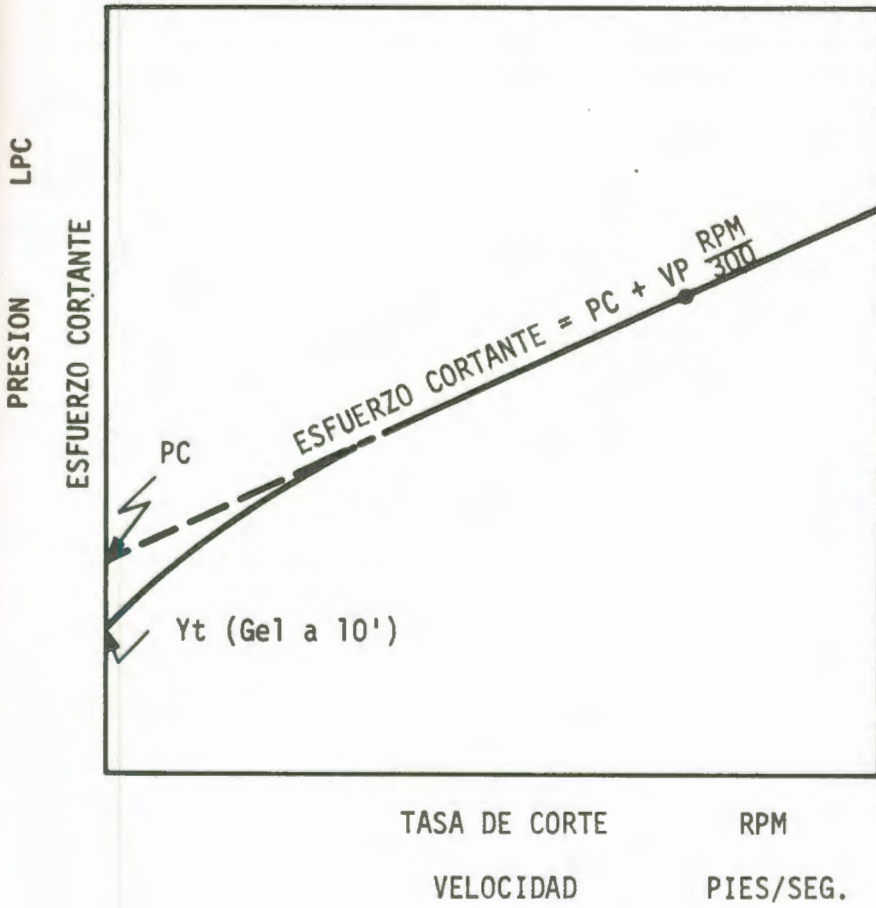
$\frac{4}{3} y_t$ = PC: Punto Cedente (Según Bingham) Lbs/Pie²

m : Pendiente de la recta

El valor de la pendiente puede ser calculada por la relación:

$$m = \frac{\mu L}{1500 D^2} \quad (4)$$

MODELO PLASTICO DE BINGHAM



$$A_p = \frac{3}{4} Y_t + M\bar{V}$$

$$E_c = P_c + M T_c$$

FIG. 25

que representa a la porción de línea recta y es proporcional a la viscosidad plástica (VP). (29).

Para valores prácticos en función de la velocidad promedio de un fluido tipo plástico o BINGHAM, la pérdida de presión se calcula por la ecuación:

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

Igualando la ecuación (5) y (2) se obtiene la fórmula de la viscosidad Newtoniana de la siguiente manera:

$$\frac{\mu L \bar{V}}{1500 D^2} = \frac{L}{300 D} \left(PC + \frac{VP \cdot \bar{V}}{5D} \right)$$

$$\mu = \frac{5D}{\bar{V}} \left(PC + \frac{VP \cdot \bar{V}}{5D} \right)$$

$$\mu = \frac{5D \cdot PC}{\bar{V}} + VP \quad (6)$$

De la ecuación (1) se despeja la viscosidad y a la vez igualando con la ecuación (6) se tiene:

$$\frac{928 f_b \bar{V} D}{N_{re}} = \frac{5D \cdot PC}{\bar{V}} + VP$$

Luego la velocidad crítica en el espacio anular mínima para alcanzar turbulencia será cuando el número de Reynolds sea igual a 2000:

$$\frac{928 f_b \cdot V_{cr} D}{2000} = \frac{5D \cdot PC}{V_{cr}} + VP$$

Desarrollando:

$$928 f_b \cdot D (V_{CR})^2 = (10000 D \cdot PC) + (2000 VP) \cdot V_{CR}$$

$$(928 f_b D) V_{CR}^2 - (2000 VP) V_{CR} - (10000 D \cdot PC) = 0$$

Luego:

$$V_{CR} = \frac{2000 VP \pm \sqrt{(2000 VP)^2 + 4 (928 f_b D) (10000 D \cdot PC)}}{2 (928 f_b D)}$$

$$V_{CR} = \frac{2000 VP \pm \sqrt{(2000)^2 (VP^2 + 9.28 f_b \cdot D^2 \cdot PC)}}{2 (928) f_b \cdot D}$$

$$V_{CR} = \frac{2000 VP}{2(928) f_b D} \pm \frac{2000}{2(928) f_b \cdot D} \sqrt{VP^2 + 9.28 f_b \cdot D^2 \cdot PC}$$

$$V_{CR} = \frac{1.08 VP \pm 1.08 \sqrt{VP^2 + 9.28 f_b \cdot D^2 \cdot PC}}{f_b \cdot D}$$

Como se presentan dos soluciones para la velocidad crítica mínima para alcanzar turbulencia, se considera solamente la solución con signo positivo, porque de esta manera se está hallando el valor máximo, con el cual determinamos la tasa de bombeo requerida para obtener mejores condiciones de limpieza en las paredes del hoyo. Con la solución de signo negativo se obtiene un error de más o menos un cinco por ciento en la tasa de bombeo, dando como resultado una cementación de poca eficiencia; puesto que el régimen de flujo no será turbulento.

Entonces la velocidad crítica será calculada por la fórmula:

$$V_{CR} = \frac{1.08 VP + 1.08 * \sqrt{VP^2 + 9.28 f_b * PC * D^2}}{f_b * D}$$

V_{CR}	= Velocidad Crítica	Pie/Seg.
VP	= Viscosidad Plástica	CPS.
PC	= Punto Cedente	Lbs/100 Pie ²
f_b	= Densidad del Barro	Lbs/Gal
D	= Diámetro Hidráulico	Pulg.

El radio hidráulico se define como el área del anular respecto al perímetro de contacto del fluido, entre la tubería y las paredes del hoyo, que se expresa por la siguiente relación:

$$r_h = \frac{TL (RH^2 - RP^2)}{2TL (RH + RP)}$$

$$\text{Resolviendo: } r_h = \frac{TL (RH - RP) (RH + RP)}{2TL (RH + RP)}$$

$$\text{Luego: } r_h = \frac{RH - RP}{2}$$

Además el radio hidráulico para una tubería circular, viene dado por la siguiente ecuación:

$$r_h = \frac{TL Ra^2}{2 TL Ra}$$

Igualando y simplificando estas dos ecuaciones, tenemos:

$$Ra = RH - RP$$

escribiendo en función de sus diámetros tenemos:

$$D_a = D_h - D_p$$

Donde:

D_a : Diámetro equivalente hidráulico Pulg.

D_h : Diámetro del hoyo Pulg.

D_p : Diámetro de la tubería Pulg.

Por consiguiente la velocidad crítica se calcula en función de las propiedades del barro de perforación que es el fluido a ser desplazado por la mezcla de cemento.

Esto nos demuestra la importancia de un buen acondicionamiento de las propiedades de flujo en el barro antes de la cementación.

Sin embargo, cuando se tiene un hoyo muy grande también hay la probabilidad de no tener buenos resultados de cementación por un deficiente volumen de cemento adherido a la formación o presencia de canales al no alcanzar flujo turbulento.

Entonces como se requiere una tasa de bombeo más alta a la calculada en base de la velocidad crítica la misma que esta limitada al equipo de cementación, debido a que las bombas no pueden desplazar a elevadas tasas de bombeo y además por tener un hoyo muy grande comprobado por un registro de calibración del hoyo, que no permiten alcanzar una máxima limpieza de las paredes del hoyo, se hace necesario calcular el volumen máximo de agua que debiera ser bombeado

delante de la mezcla de cemento.

Cuando se calcula la cantidad de agua se recomienda que el agua sea lo suficiente para controlar el pozo y evitar que fluya, siendo por lo mismo necesario tener un conocimiento de las presiones máximas en las diferentes formaciones.

La manera de calcular la altura de la columna de agua en el espacio anular se hace por medio de un balance de presiones, porque nos asegura que el pozo está controlado por efecto de las presiones ejercidas en el fondo del pozo por la columna de los fluidos en el espacio anular y dentro de la tubería como se presenta en la Figura 26, durante la cementación.

Las presiones en los puntos (1) y (2) son respectivamente:

$$P_1 = GH * LH_1 + GB * LB_1 \quad (1)$$

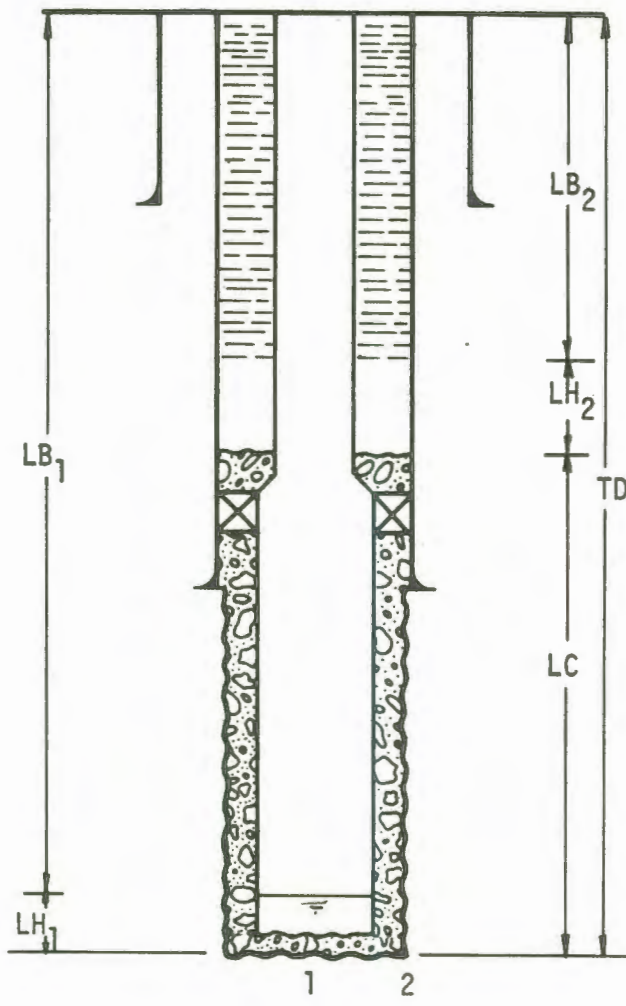
$$P_2 = Gc * Lc + GH * LH_2 + GB * LB_2 \quad (2)$$

donde las presiones en este punto son iguales:

$$P_1 = P_2 \quad (3)$$

en la Fig. 26 podemos ver que:

$$TD = Lc + LH_2 + LB_2$$



ESQUEMA PARA EL BALANCE DE PRESIONES

FIG.26

o lo que es lo mismo:

$$LH_2 = (TD - Lc) - LB_2 \quad (4)$$

A partir de la Ecuación (2), podemos calcular el valor de LB_2 y a la vez sustituyendo los respectivos parámetros por medio de las Ecuaciones (3) y (4), tenemos lo siguiente:

$$P_1 = Gc_* Lc + GH_* (TD - Lc) - GH_* LB_2 + GB_* LB_2$$

Desarrollando y despejando LB_2 :

$$LB_2 = \frac{P_1 - Gc_* Lc - GH_* (TD - Lc)}{(GB - GH)} \quad (5)$$

Donde:

LH_2	=	Altura de Columna de Agua en el Anular	Pies
LH_1	=	" " " " " " Tubería	Pies
Lc	=	" " " " Cemento	Pies
GH	=	Gradiente del Agua	LPC/Pie
Gc	=	" " Cemento	LPC/Pie
GB	=	" " Barro	LPC/Pie

Por consiguiente la longitud de la columna de agua LH_2 , se determina por medio de la Ecuación (4). Finalmente con la columna de agua determinada se transforma a volumen multiplicando por la capacidad anular, de la siguiente

manera:

$$\text{VOL. AGUA} = \text{LH}_2 * \text{CAP.}$$

Donde:

$$\text{CAP} = \text{Capacidad Anular} \quad \text{BLS/PIE.}$$

Esta cantidad de agua bombeada antes de la mezcla, ayuda a crear turbulencia, especialmente cuando el hoyo es muy grande.

El tamaño del hoyo, para mantener un perfil no muy alejado del diámetro de la mecha por experiencia en la cementación de las camisas de 4-1/2", donde se ha utilizado mechas de diamantes excéntricas, ha demostrado una mejor calidad según lo revelan los registros de cementación tomados posteriormente. En algunos pozos perforados con mechas de diamantes convencionales se ha tenido que realizar un forzamiento de cemento al fallar la cementación primaria.

Además con el uso de mechas excéntricas de diamantes y un ensamblaje de fondo más rígido, se obtiene un hoyo más uniforme con respecto al diámetro de la mecha.

IV.2.3. Tasa de Circulación en Función de la Presión: La tasa de circulación antes y durante la cementación es determinada en función de la velocidad crítica, mencionado anteriormente, en la cual se originaran pérdidas de presión durante el desplazamiento del lodo de perforación por la mezcla del cemento.

Cuando el barro es desplazado por el cemento se originan fuerzas de resistencia al flujo y fuerzas de empuje. Las fuerzas de resistencia son función de las propiedades reológicas del barro y las fuerzas de empuje depende de las propiedades de la mezcla de cemento y de las presiones impuestas en el desplazamiento.

En la Fig. (27) se presentan estas fuerzas y el fenómeno que lo producen.

El desplazar el barro de perforación por el cemento requiere hacer un análisis de los principios básicos de flujo.

Como se indica en la figura anterior (Fig.27) son dos factores básicos asociadas con el desplazamiento durante la cementación : La presión diferencial y las fuerzas de arrastre del cemento sobre el barro. Para efectivizar el desplazamiento se deberá establecer una combinación de la presión diferencial y la fuerza de arrastre con el fin de originar una fuerza que sea mayor que las fuerzas de resistencia al desplazamiento.

Estas fuerzas de resistencia son presión y arrastre provocado entre la Tubería-Barro y Hoyo-Barro. Esta resistencia está relacionada con las propiedades del barro, densidad y esfuerzo de los Geles.

Las fuerzas de arrastre es función del barro, viscosidad, esfuerzo de Gel y de la distancia entre la tubería y las paredes del hoyo.

FUERZAS QUE SE PRESENTAN DURANTE EL DESPLAZAMIENTO

FUERZAS DE RESISTENCIA

FUERZAS DE EMPUJE

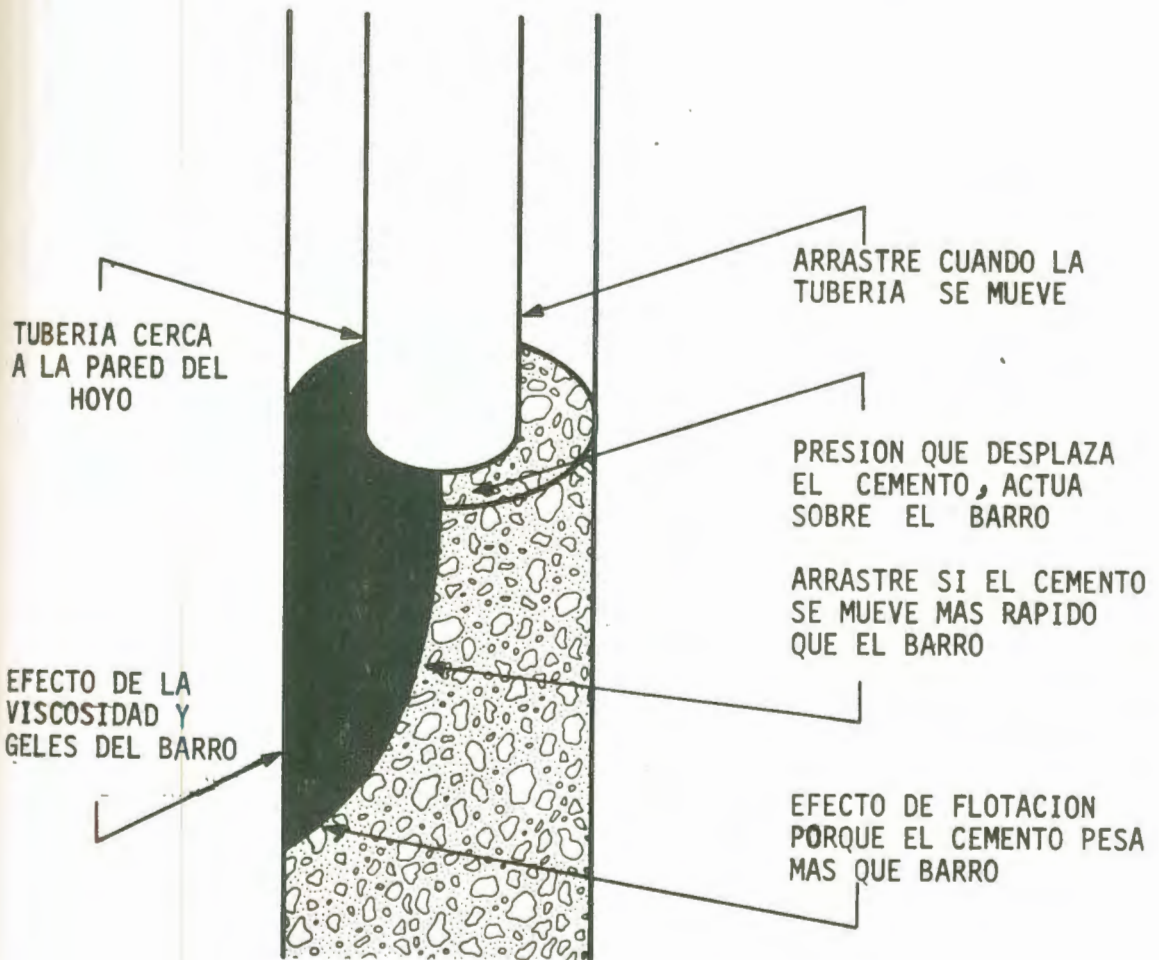


FIG. 27

El desplazamiento del barro por la lechada de cemento, será óptima cuando el régimen de flujo sea turbulento, el cual se obtiene cuando se trata de un fluido no-newtoniano.

Es importante diferenciar entre un fluido newtoniano y un fluido no-newtoniano, durante un desplazamiento.

La característica del flujo para estos fluidos está descrito por la relación entre la tasa de flujo (tasa de corte) y presión (esfuerzo de corte) que causa el movimiento.

Los fluidos newtonianos son aquellos donde la razón de esfuerzos de corte a las tasas de corte permanece constante mientras el fluido permanezca en flujo laminar. La principal propiedad de estos fluidos es la viscosidad y que es función de la presión y la temperatura.

Un fluido newtoniano empieza a fluir cuando la presión es aplicada. Es decir, como la presión aumenta, la velocidad de flujo aumenta, empezando con flujo laminar, luego atraviesa una zona de transición (parte laminar y parte turbulento) y alcanzar finalmente flujo turbulento (Fig.28).

Los fluidos no-newtonianos son más complejos; ellos pueden exhibir resistencia al flujo (esfuerzo de los geles) cuando se aplica presión.

FLUIDOS NEWTONIANOS
REGIMEN DE FLUJO Y
PERFIL DE LA VELOCIDAD

PRESION LPC. (ESFUERZO DE CORTE)

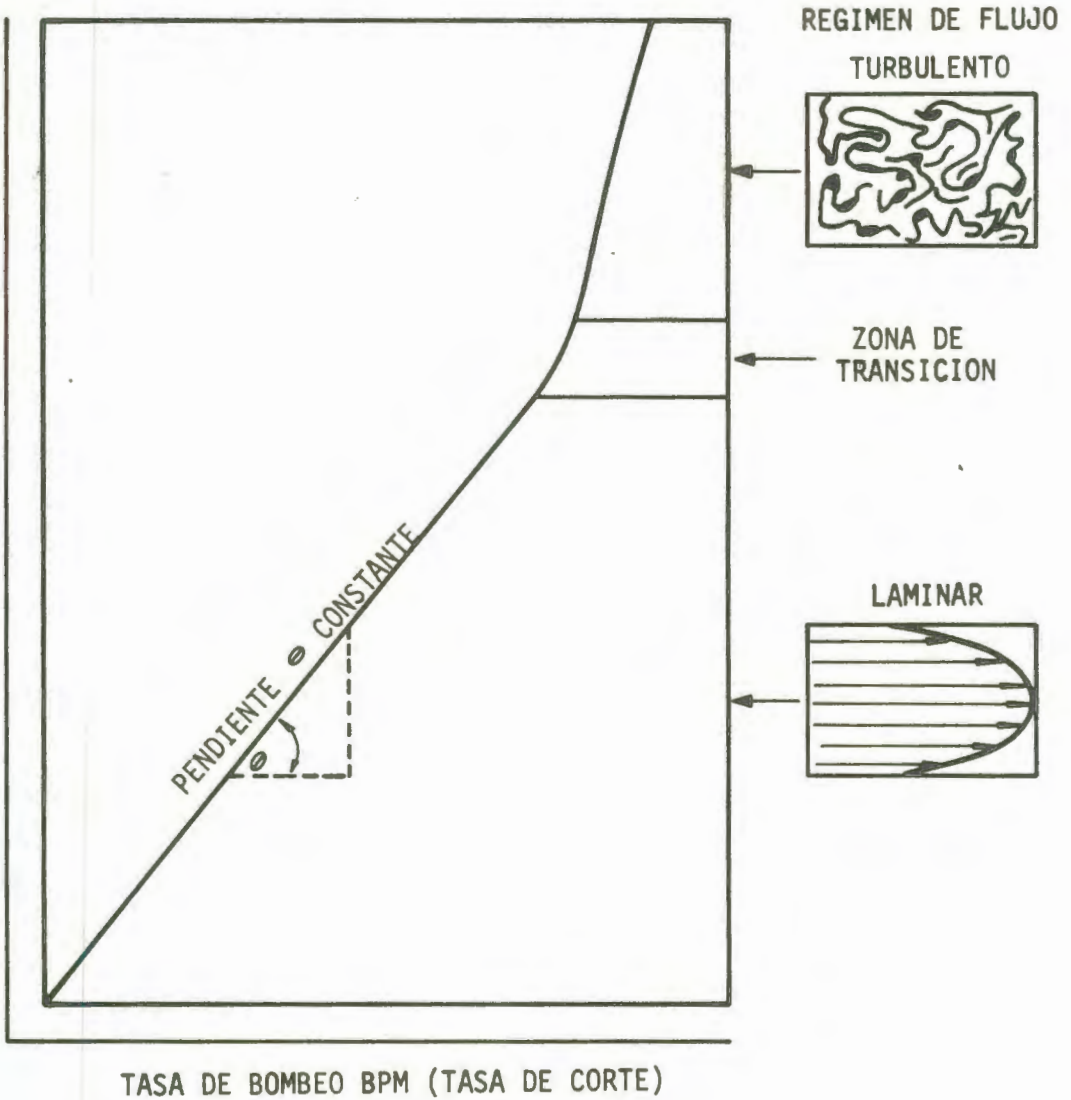


FIG.. 28

Los fluidos con esfuerzos de corte pueden fluir a tasas muy bajas de flujo a manera de un tapón. Esto indica que en los fluidos no-newtonianos se pueden presentar los tres regimenes de flujo tapón, laminar y turbulento, con una zona de transición entre cada uno de ellos (Fig.29).

Los fluidos de perforación y las mezclas de cemento para pozos de petróleo son no-newtonianos.

El análisis de estas propiedades de flujo y relaciones entre presión y velocidad, pueden ser desarrolladas por el modelo plástico de Bingham y por el modelo de la Ley Exponencial.

Por consiguiente para obtener una buena cementación es importante, conocer todos los factores que originan estas fuerzas, de tal forma acondicionar las propiedades antes de cementar.

La tasa de circulación como función de las caídas de presión, será determinado mediante una prueba de tanteo y error.

El procedimiento es similar al indicado para calcular la densidad equivalente de circulación. La densidad equivalente de circulación se calcula en base de las caídas de presión en el sistema convertido en peso. Para la tasa de bombeo asumida se encuentra las caídas de presión y a su vez el peso que será comparado con el valor de D.E.C.

FLUIDOS NO-NEWTONIANOS REGIMEN DE FLUJO Y PERFIL DE LA VELOCIDAD

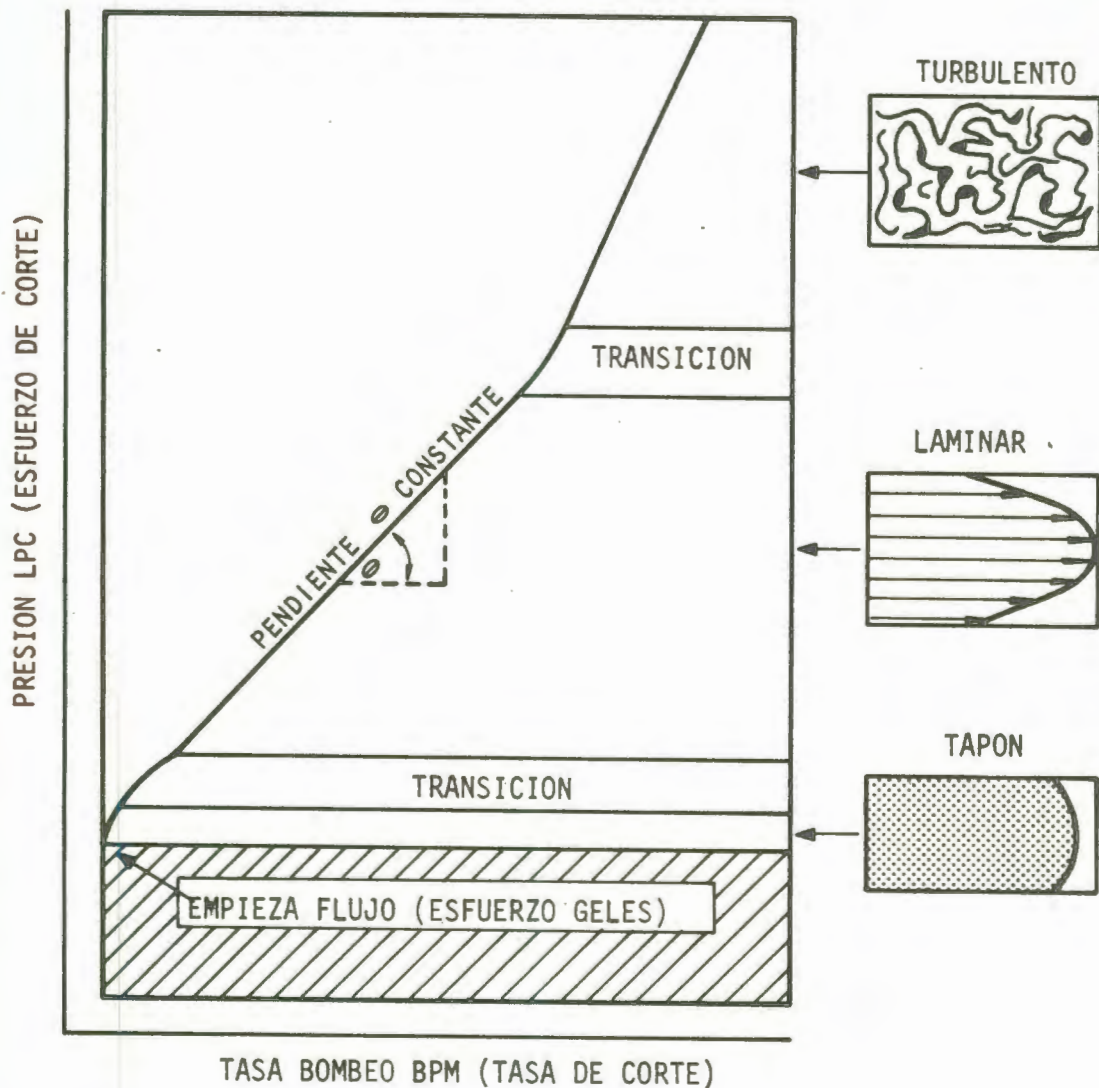


FIG. 29

Procedimiento de Cálculo: La tasa de bombeo se encuentra de la siguiente manera:

1. Determinar Capacidad de la Bomba: Los BPM que suministra la bomba son encontrados en base de la longitud de la camisa, el diámetro del pistón y las carreras por minuto.

Con estos datos y usando la regla hidráulica REED se calcula el gasto en galones por minuto.

2. Cálculo de la Velocidad Promedio (\bar{V}): Para calcular la velocidad promedio se asume un valor de la tasa de bombeo y se puede empezar con el galonaje previamente encontrado. El resultado obtenido nos indica si la tasa de bombeo debe ser mayor o menor. La velocidad promedio se calcula por la siguiente fórmula:

$$\bar{V} = \frac{24.5 * Q}{Dh^2 - Dp^2}$$

Donde:

\bar{V} = Velocidad promedio en el espacio anular Pie/ Min.

Dh = Diámetro del hoyo Pulg.

Dp = Diámetro de la tubería Pulg.

Q = Tasa de circulación asumida Gal/Min.

3. Calcular la Tasa de Corte en R.P.M.: Las RPM se calcula a partir de la fórmula:

$$RPM = \frac{1.409 * \bar{V}}{Dh - Dp}$$

4. Calcular el Esfuerzo de Corte (\emptyset RPM): El esfuerzo de corte para las RPM calculadas se encuentra a partir de un gráfico de tasa de corte Vs esfuerzo de corte.

Este gráfico es construido en base de las propiedades del barro.

5. Calculamos la Pérdida de Presión: Con el valor del esfuerzo de corte, la caída de presión por cada 1000 pies será:

$$P_R = \frac{3.75 * \emptyset RPM}{D_h - D_p}$$

Las caídas de presión se efectua para cada geometría.

6. Cálculo de Densidad Equivalente de Circulación (DEC).

Finalmente la DEC se encuentra como se explicó anteriormente por la relación siguiente:

$$DEC = \rho_b + \frac{P_R}{0.052 * H}$$

7. Comparamos el valor obtenido de la DEC con la densidad a la cual la formación es fracturada (prueba PIP). Si el valor de la DEC es menor o mayor tengo que aumentar o disminuir la tasa de circulación y repetir desde el paso (2) en adelante, tantas veces como sean necesarias hasta que este valor sea igual al obtenido en la prueba de integridad de presión o la DEC del barro que se cálculo simulando las condiciones durante la perforación del hoyo.

LEY EXPONENCIAL

Otro método para calcular las pérdidas de presión en el sistema es el de la Ley Exponencial, que se aplica para fluidos no-newtonianos y que es más exacto que el modelo plástico de Bingham.

Como la viscosidad es una función de la velocidad de corte, para poder calcular las pérdidas de presión en un sistema hace falta desarrollar una descripción matemática de la viscosidad; esto es, relación entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte.

El concepto de la Ley Exponencial describe mejor las propiedades del cemento de lo que las describe el concepto plástico de Bingham que utilizamos para describir el comportamiento de un fluido de perforación.

El desarrollo de los métodos para calcular los valores de los índices de comportamiento de flujo (n') y del índice de consistencia (k'), pueden ser obtenidos analíticamente y gráficamente.

1. Método Analítico: Conociendo que la Ley Exponencial donde dice que el esfuerzo de corte es proporcional a la tasa de corte o al cambio de la velocidad con respecto a la longitud (Deformación) y este último parámetro está controlado por el índice del comportamiento del flujo, matemáticamente se puede escribir de la siguiente manera:

$$E_c = K' (T_c)^{n'}$$

Donde:

E_c = Esfuerzo de Corte	Lbs/pie ²
T_c = Tasa de Corte	Seg ⁻¹
K' = Indice de Consistencia	Lbs-Seg/Pie ²
n' = Indice de Comportamiento de Flujo	Adimensional

El esfuerzo de corte son lecturas del Dial a 600 RPM y 300 RPM de tasa de corte, si estos valores son sustituidos en la ecuación y aplicando logaritmos tenemos:

$$\text{LOG}(E_c) = \text{LOG}(K') + n' \text{LOG}(T_c)$$

Luego para cada tasa de corte vamos a tener una ecuación:

$$\text{LOG}(\text{Dial}600) = \text{LOG}(K') + n' \text{LOG}(600 \text{ RPM}) \quad (\text{A})$$

$$\text{LOG}(\text{Dial}300) = \text{LOG}(K') + n' \text{LOG}(300 \text{ RPM}) \quad (\text{B})$$

Desarrollando el sistema de ecuaciones:

$$\text{LOG}(\text{Dial}600) - \text{LOG}(\text{Dial}300) = n' (\text{LOG}(600\text{RPM}) - \text{LOG}(300\text{RPM}))$$

$$\frac{\text{LOG}(\text{Dial}600)}{\text{Dial}300} = n' \text{LOG} \left(\frac{600}{300} \right)$$

$$n' = \frac{\text{LOG} \left(\frac{\text{Dial}600}{\text{Dial}300} \right)}{\text{LOG} \left(\frac{600}{300} \right)}$$

$$n' = 3.32 \text{LOG} \left(\frac{\text{Dial}600}{\text{Dial}300} \right)$$

En forma similar el valor de K' puede ser calculado al despejar de cualquiera de las ecuaciones (A ó B), por lo tanto:

$$\text{LOG } (K') = \text{LOG}(\text{Dial}300) - \text{LOG}(300\text{RPM})^{n'}$$

$$\text{LOG } (K') = \text{LOG} \frac{(\text{Dial}300)}{(300\text{RM})^{n'}}$$

$$K' = \frac{(\text{Dial}300)}{(300 \text{ RPM})^{n'}}$$

Ahora bien, para que haya consistencia de unidades la velocidad en RPM debe ser transformada a segundos inversos multiplicando 1.7 constante del aparato.

CONVERSION DEL VISCOSIMETRO

VELOCIDAD	TASA DE CORTE
RPM	SEG ⁻¹
600	1022
300	511
200	340
100	170
6	10.2
3	5.1

En cambio para el esfuerzo de corte, las lecturas obtenidas del Dial se multiplica por 5.11 constante del aparato y obtener en (Dinas/Cm²).

Finalmente la formula para saber el valor de K' y considerando las constantes del viscosificador ($N=1$ y 1.066 si es utilizado un VG-Meter), tenemos:

$$K' = \frac{(\text{Dial}300) * N * 1.066}{(511)^{n'}}$$

Para que haya consistencia de unidades requeridas:

$$K' = \frac{N(\text{Dial}300) * 1.066}{100 (511)^{n'}}$$

Estas fórmulas para encontrar el valor de n' y k' pueden ser expresadas en función de datos de viscosidad plástica (VP) y punto cedente (PC).

Si tenemos que:

$$\emptyset 300 = PC + VP$$

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

Reemplazando:

$$n' = 3.32 \text{ LOG} \left(\frac{PC + 2VP}{PC + VP} \right)$$

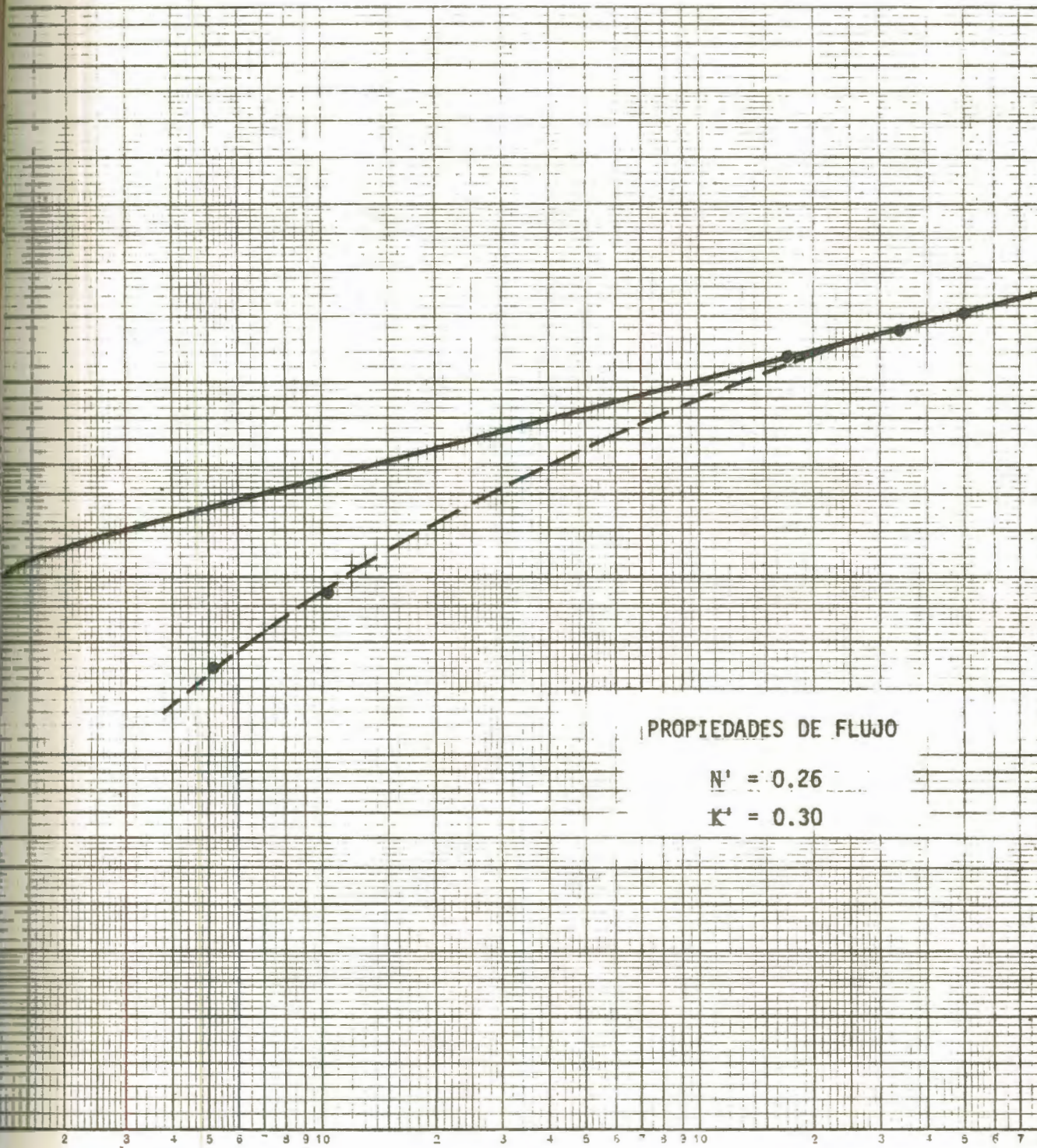
$$y \quad K' = \frac{N(PC + VP) * 1.066}{100 (511)^{n'}}$$

Para fluidos newtonianos sabemos que: $PC=0$ y $n'=1$, entonces:

$$K' = \frac{VP}{47900}$$

2. Graficamente: Los índices n' y K' pueden ser encontrados por medio del gráfico de esfuerzo de corte con la tasa de corte.

Los valores de la tasa de corte deben estar en segundos inversos



TASA DE CORTE (SEG⁻¹)

FIG. 30

transformando las RPM por la Tabla IV y el esfuerzo de corte se obtiene por:

$$E_c = \frac{\text{Lectura Dial} \times N \times 1.066}{100} \quad (\text{Lbs}/100\text{pie}^2)$$

Estos valores se grafican en papel de coordenadas logarítmicas.

En la curva trazada su pendiente corresponde al valor de n' (Fig. 30).

$$n' = \frac{\text{LOG}(Y_1) - \text{LOG}(Y_2)}{\text{LOG}(X_1) - \text{LOG}(X_2)}$$

En cambio el valor de K' será el intercepto de la curva extrapolada con el eje de las ordenadas en unidades del esfuerzo de corte.

Por consiguiente, con los valores de las propiedades de flujo de la mezcla de cemento representado por los índices de comportamiento de flujo (n') y de consistencia (K'), se puede empezar a calcular cada parámetro que interviene en el mecanismo de desplazamiento durante la cementación.

PROCEDIMIENTO DE CALCULO

1. Velocidad de Desplazamiento: Se encuentra a partir de la fórmula :

$$V = \frac{17.15 Q}{D_h^2 - D_p^2} \quad \text{o} \quad Q = \frac{V(D_h^2 - D_p^2)}{17.15}$$

Donde:

V = Velocidad de Desplazamiento Pie/Seg.

Q = Tasa de Bombeo BPM

D_h = Diámetro del hoyo Pulg.

D_p = Diámetro de tubería Pulg.

2. Número de Reynolds: Este valor adimensional nos indica el régimen de flujo bajo el cual se está desplazando, se determina por la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \frac{1.86 V^{(2-n')}}{K' (96/D)^{n'}}$$

Donde:

N_{Re} = Número de Reynolds Adimensional

V = Velocidad Pie/Seg.

P_m = Densidad de la mezcla Lbs/Gal.

n' = Índice de comportamiento de flujo Adimensional

K' = Índice de consistencia Lbs-Seg/pie²

D = Diámetro hidráulico Pulg.

Donde:

$$D = D_h - D_p$$

El NRE puede ser determinado de una manera fácil utilizando los normogramas (Fig. 32.33), para $V^{(2-n')}$ conociendo V y n' y el valor de $(96/D)^{n'}$ conociendo D y n' (tomado del "Production Operations Manual", Well Completion Simulation And Work Over Systems). Se calcula la tasa de bombeo a partir de la primera ecuación.

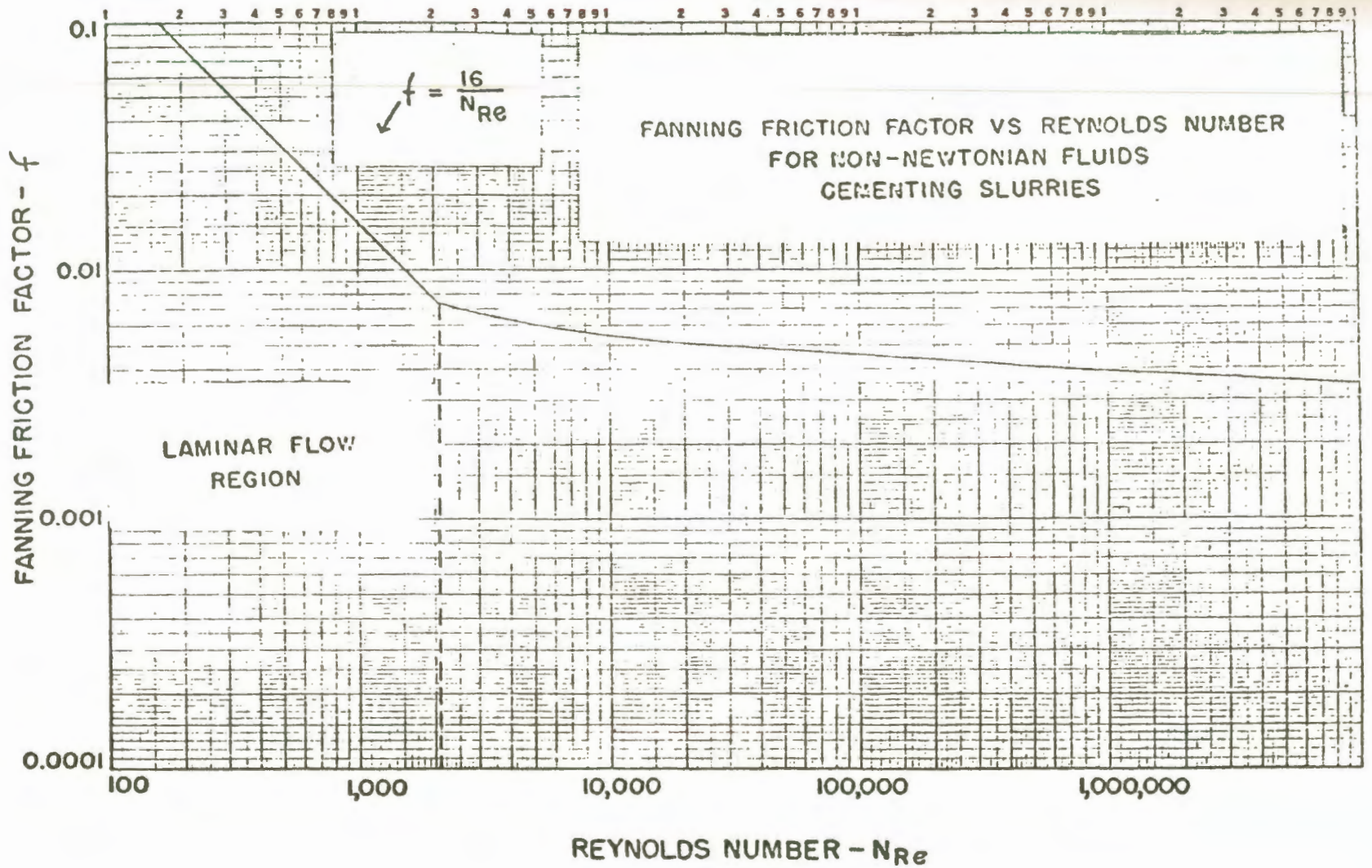


FIG. 31

3. Caída en la Presión Friccional: Este método difiere del plástico Bingham porque toma en consideración el factor de fricción que es función del número de Reynolds. El factor de fricción se encuentra por la Fig.31, con el número de Reynolds.

La caída de presión calculamos por la siguiente ecuación:

$$\Delta P_f = \frac{0.039 L \rho V^2 f}{D_h - DP}$$

Donde:

ΔP_f	= Caída de presión friccional	LPC
L	= Longitud de la tubería	Pies
ρ	= Densidad de la lechada	Lbs/Gal.
V	= Velocidad anular	Pie/Seg.
f	= Factor fricción de fanning	Adimensional
D_h	= Diámetro del hoyo	Pulg.
D_p	= Diámetro de Tubería	Pulg.

El valor del factor de fricción se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{N_{re}}$$

4. Velocidad a la cual puede empezar Turbulencia ($N_{re}=2100$)

Despejando de la fórmula del paso (1) la velocidad crítica se calcula por la relación:

$$V_c = \left[\frac{1129 K' (96/D)^{n'}}{\rho} \right]^{\frac{1}{2-n'}}$$

VELOCITY
 V
ft./sec.

$V^{(2-n')}$ from V & n'

$V^{(2-n')}$

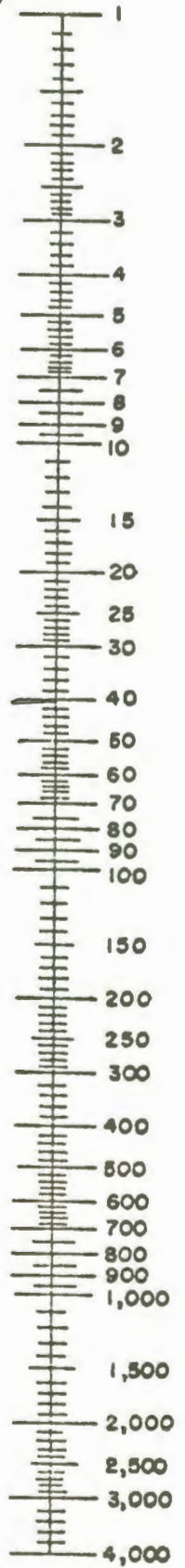
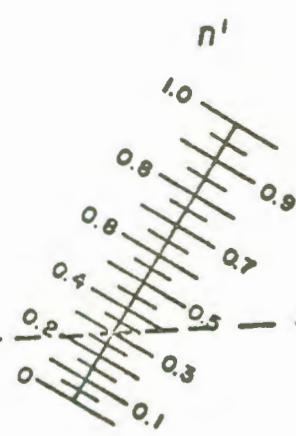
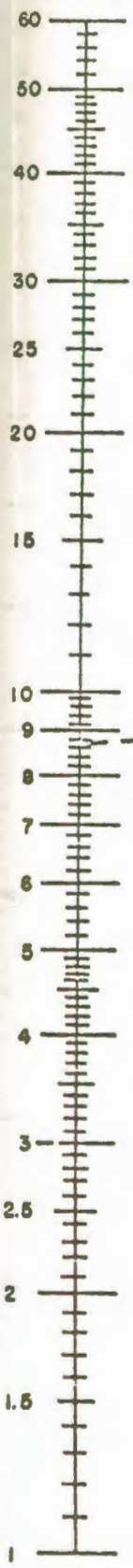


FIG. 32

INSIDE DIAMETER - D
 ANNULUS - $D_o - D_i$
 INCHES

$(96/D)^{n'}$ from D & n'

n'
 $(96/D)$

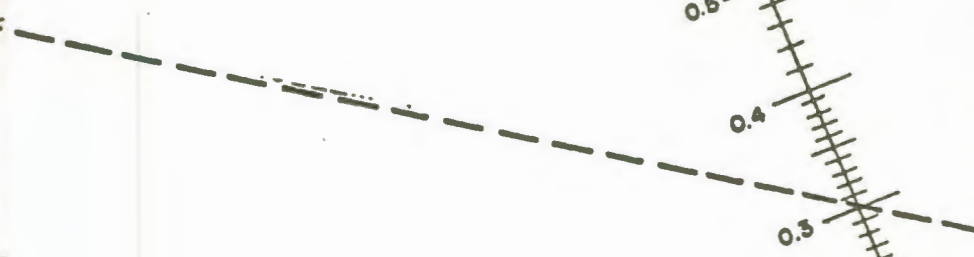
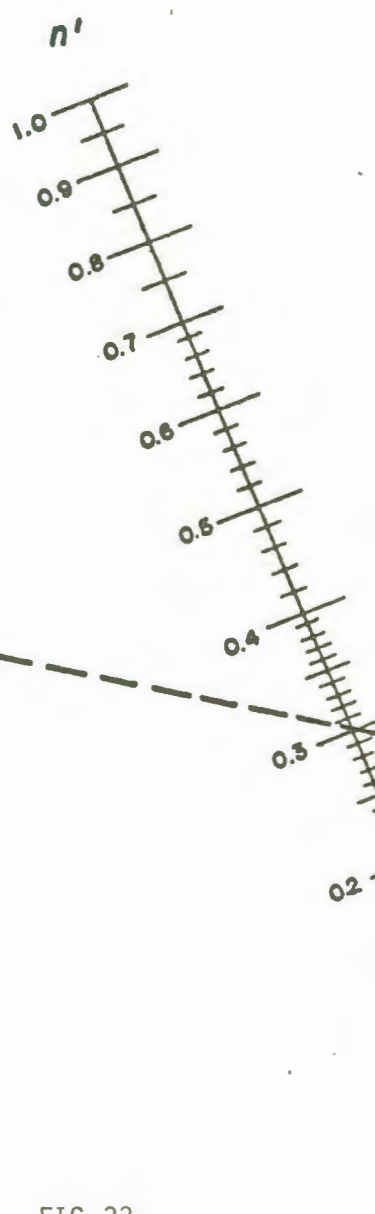
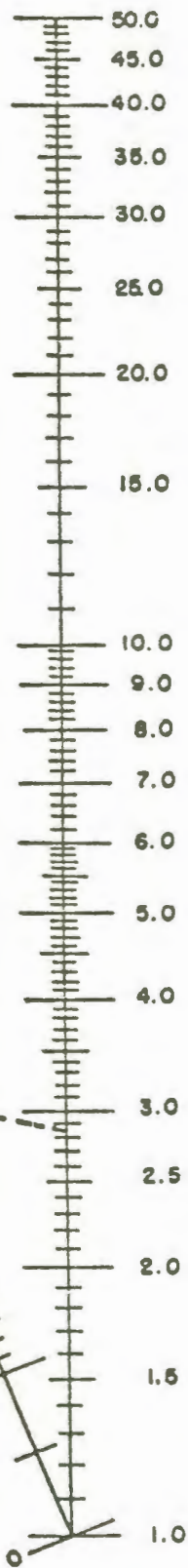


FIG. 33

Donde:

V_c = Velocidad Crítica Pie/Seg.

Mediante esta fórmula se obtiene la velocidad crítica más exacta que la calculada en base de las propiedades reológicas del barro y es más eficiente por considerar las propiedades reológicas de la mezcla del cemento.

IV.2.4. Tiempo para Realizar la Cementación: El trabajo de cementación requiere un cemento con suficiente tiempo de bombeabilidad que permita completar la operación y a la vez sacar la herramienta de asentamiento, por encima del exceso de cemento dejado sobre el colgador.

La lechada de cemento además necesita de un esfuerzo compresivo rápido para prevenir pérdida de tiempo, de tal forma que se pueda continuar con las operaciones en el pozo.

El estimado de tiempo debe tomar en consideración lo siguiente:

1. Mezclado del Cemento
2. Limpieza de las Líneas
3. Desplazamiento de la Mezcla
4. Desconexión y Levantamiento de la Tubería.

1. Mezclado del Cemento: El propósito principal de cualquier sistema de mezclado de cemento es la de mezclar materiales cementantes en polvo con agua hasta obtener una densidad previamente calculada con un alto grado de homogeneidad, y a su

vez bombear al pozo a una tasa que sea satisfactoria para alcanzar los requisitos del trabajo.

El sistema de mezclado del cemento será determinado en base del tipo de operación.

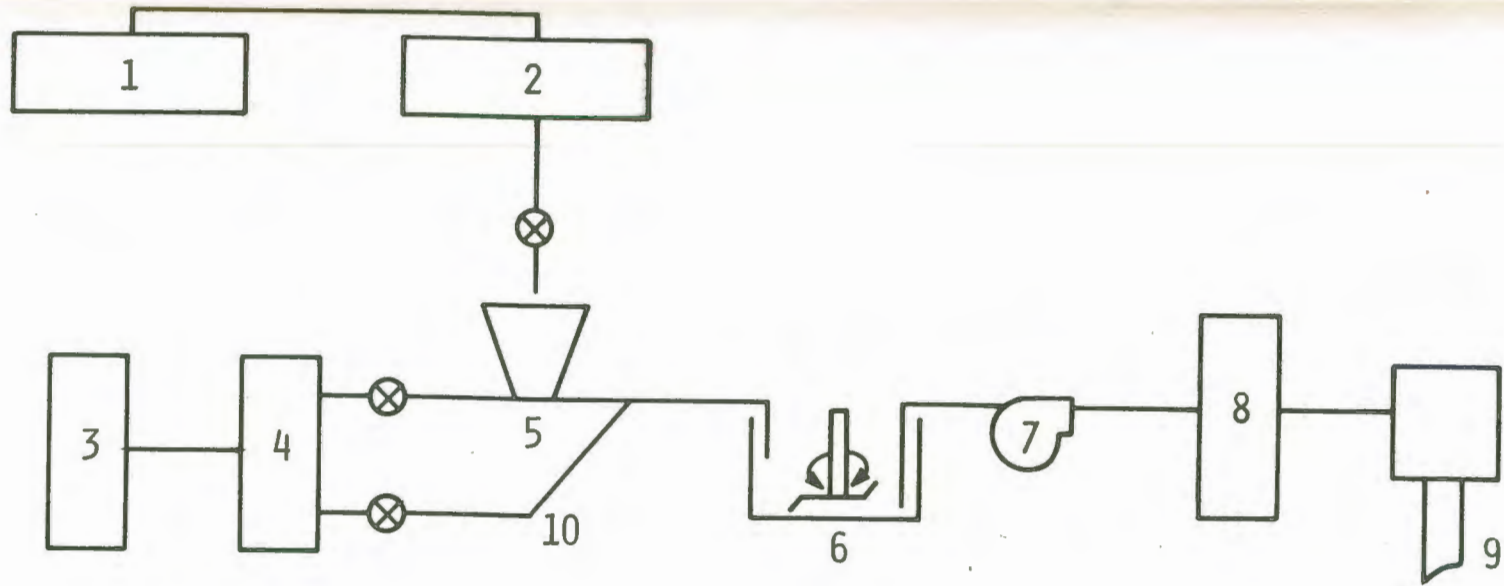
En nuestro caso donde la cantidad de cemento es muy poca, es conveniente premezclarlo y posteriormente ser bombeado al pozo, utilizando bombas de alta presión.

El equipo para mezclar el cemento consiste de una bomba alimentadora de agua, la mezcladora y el múltiple (Manifold), como se presenta en la Fig. (34).

Entre más alta sea la presión a través de la mezcladora, más importante se hace la operación de la válvula de paso (By-Pass) incorporada en la línea de circulación. Esto quiere decir, que mientras mayor sea la presión, no solo dificulta la operación de la válvula, sino que también afecta en la cantidad de agua adicional que está pasando a través de ella.

Las ratas de mezclado que se consiguen en un sistema de alta presión dependen del tamaño del chorro, de la presión a través de la mezcladora y de la cantidad de agua que fluye por el "By-Pass"

2. Limpieza de las Líneas: El tiempo que se ocupa en lavar las líneas por donde previamente se ha bombeado cemento al pozo, es corto y



- | | |
|--|------------------------------|
| 1. PRESION DE AIRE | 6. TANQUE DE MEZCLADO |
| 2. VOLUMEN DE MATERIAL SECO | 7. BOMBA DE BAJA PRESION |
| 3. FUENTE DE AGUA | 8. BOMBA DE DESPLAZAMIENTO |
| 4. BOMBA DE ALTA PRESION | 9. CABEZAL DE CEMENTACION |
| 5. MEZCLADOR DE CHORRO DE ALTA PRESION | 10. LINEA DE CONTROL DE AGUA |

FIG. 34

podríamos decir con experiencia que toma de 10 minutos a 20 minutos.

Entonces este tiempo también debe ser considerado, porque mientras se lava las líneas el cemento ya se encuentra en el pozo, lo que indica que el tiempo de fraguado ya empieza a contar hasta el momento en que se desplace totalmente la mezcla de cemento.

3. Desplazamiento de la Mezcla: El tiempo para desplazar el cemento se determina a partir de la tasa de bombeo; calculado previamente en función de las pérdidas de presión en el sistema total, asegurándonos que la formación no será fracturada y con el volumen de barro necesario para desplazar el cemento.

El volumen de barro se determina de la siguiente manera:

El volumen de barro dado por la capacidad de la tubería de perforación hasta donde será asentado el colgador, el otro volumen es el que ocupa la camisa, es decir, del tope del colgador hasta la profundidad donde será dejada la zapata.

El tiempo para desplazar la mezcla de cemento será el volumen total de barro dividido por la tasa de bombeo.

4. Desconexión y Levantamiento de la Tubería: Es importante considerar el tiempo que se necesitará para sacar las primeras parejas de tubería de perforación, luego de haber terminado la cementación.

Cuando se hacen los cálculos del volumen del cemento se considera

un volumen adicional sobre el colgador, lo que significa que siempre se deja unos 200 pies arriba del colgador con el fin de asegurar un buen sello en el tope de la camisa.

Finalizado el desplazamiento del cemento, se puede ver claramente que la tubería de perforación queda dentro de la mezcla de cemento que está ocupando el espacio anular entre el último revestimiento y la tubería de perforación.

Luego el tiempo para sacar una pareja por experiencia en el campo se requieren de unos cinco minutos, la misma que debe hacerse con mucha precaución, puesto que estamos liberando la herramienta de asentamiento que se encuentra dentro del colgador.

Transcurrida esta etapa crítica para sacar las primeras parejas equivalente a la longitud del volumen de cemento sobre el colgador, se ha comprobado que se necesita de unos veinte minutos aproximadamente.

IV.2.5. Pruebas de Fraguado y Compresibilidad: El diseño de una lechada con las características deseadas, requiere trabajo en el laboratorio que duplique las condiciones de temperatura y presión que existen en el hoyo al tiempo de cementar.

Además de duplicar las condiciones de fondo también es de suma importancia que se intente duplicar las presiones y temperaturas que existirán en la lechada desde que se mezcla hasta que se pega el

tapón superior.

Para diseñar la prueba de laboratorio es preciso conocer y determinar el proceso que se empleará en el campo y si es posible usar datos de trabajos anteriores como un punto de partida.

Así por ejemplo si necesitáramos 30 barriles de cemento el cual se va a premezclar, es importante estimar el tiempo requerido para mezclar y la temperatura de la mezcla en la superficie antes de ser bombeada al hoyo.

El proceso de premezclar por si mismo eleva la temperatura de la mezcla en un cierto nivel dependiendo del tiempo requerido para recircular en los tanques.

La experiencia en Lagoven indica que esta temperatura varía entre 100°F a 130°F al mezclar volúmenes de 25 a 50 barriles.

Logicamente, la presencia de esta temperatura afecta en el tiempo de fraguado del cemento y por lo mismo es necesario tomarle en cuenta al hacer una prueba en el laboratorio.

La escala de presión que se ejerce sobre la lechada de cemento está en base del volumen de la sarta de circulación, tasa de bombeo que se utilizará y la presión hidrostática del pozo.

El último dato requerido para completar el diseño de la prueba de

cemento es la temperatura de circulación en el fondo del pozo.

Esta información puede ser obtenida al utilizar los gráficos ane-
xos que se presentan en el ejemplo del pozo Polita-2, conociendo
la temperatura estática del pozo y la tasa de circulación que se
espera durante la cementación.

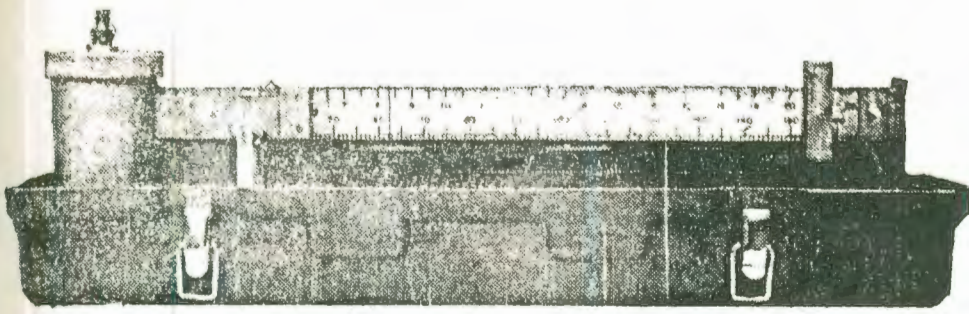
Estos gráficos fueron obtenidos de los resultados de un programa
de computación basado en datos de pozos profundos.

Este programa de computación esta basado en un modelo de transfe-
rencia de calor y confirmado con medidas reales en más de cien
pozos.

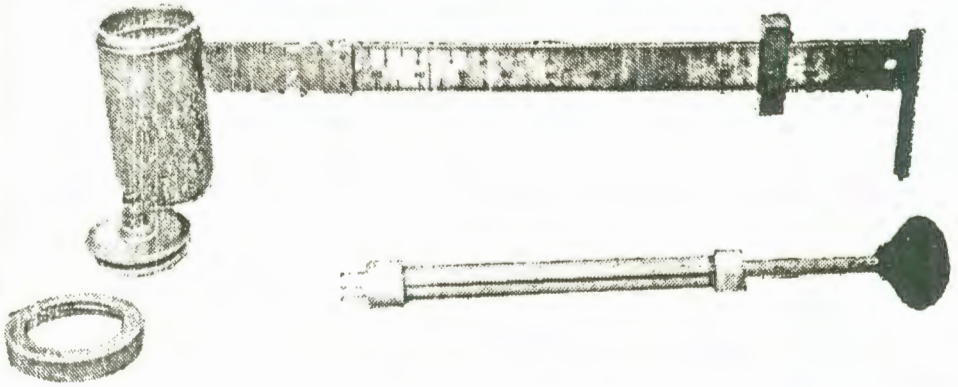
Sin embargo, para un pozo profundo en cualquier área, la temperatu-
ra de circulación puede ser obtenida por las tablas API que se
encuentran en el apendice (D) conociendo la temperatura estática
del pozo y su correspondiente gradiente geotérmico.

A partir de estos datos se empieza la prueba en el laboratorio y
específicamente vamos a considerar los siguientes parametros que
describen el comportamiento de las propiedades físicas del cemento:

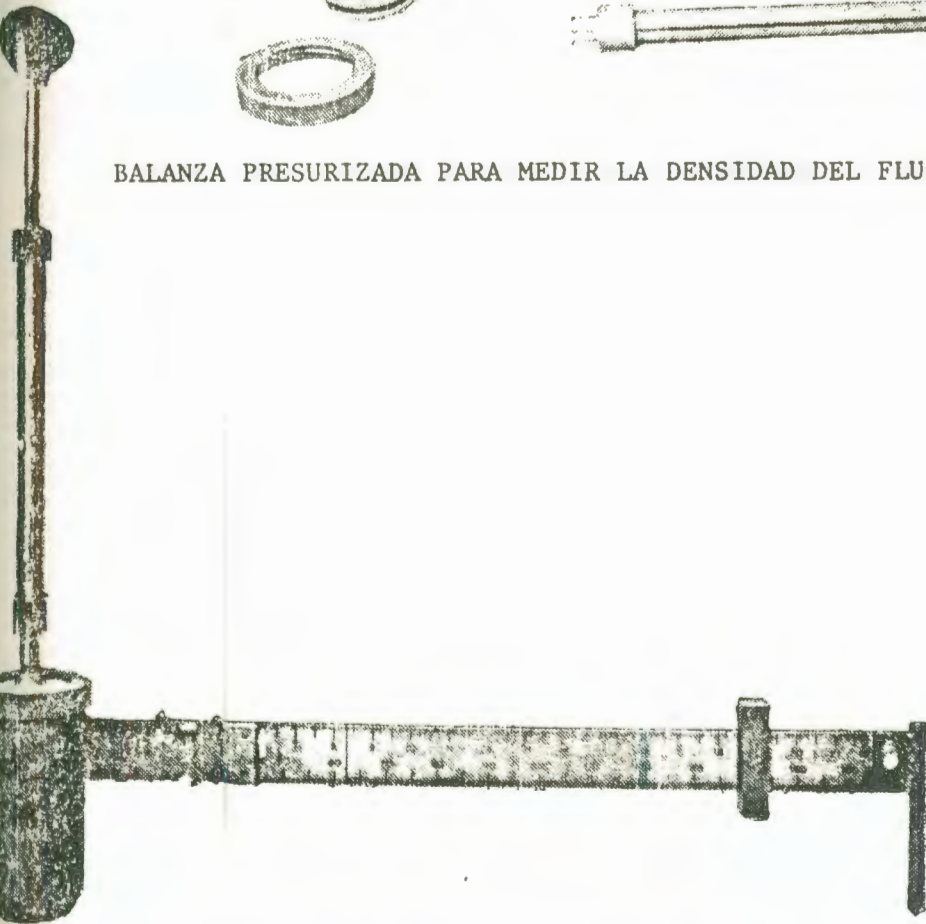
1. Densidad
2. Tiempo de Espesamiento
3. Pérdida de Fluido
4. Resistencia a la Compresión
5. Propiedades Reológicas



BALANZA PRESURIZADA PARA MEDIR LA DENSIDAD DEL FLUIDO



BALANZA PRESURIZADA PARA MEDIR LA DENSIDAD DEL FLUIDO DESENSAMBLADA



BALANZA PRESURIZADA PARA MEDIR LA DENSIDAD DEL FLUIDO ENSAMBLADA

1. Densidad: El método API para determinar la densidad del cemento es el mismo que se utiliza para la densidad del barro, con la excepción de la modificación que provee la remoción de este aire entrampado que altera el valor real de la lechada del cemento.

En la actualidad existen balanzas presurizadas para medir el fluido bajo una presión de 250 Lpc y reducir el efecto del aire entrampado.

La balanza que utilizamos fue calibrada primero con agua antes de medir la densidad.

Durante la cementación el peso de la mezcla de cemento puede ser controlada por la balanza (Fig. 35) o por un densometro incorporado a las bombas de cementación, del cual se obtiene una carta que registra la densidad.

2. Tiempo de Espesamiento: Probablemente la prueba más importante realizada antes de efectuar la cementación es la prueba de fraguado o espesamiento.

Esta prueba está diseñada para simular los efectos de presión y temperatura para inyectar una lechada de cemento al pozo.

Obviamente el cemento deberá permanecer lo suficientemente líquido hasta ser puesto en el área del pozo. Esto significa



PRUEBA DEL TIEMPO DE
ESPESAMIENTO EN EL
CONSISTOMETRO.

FIG. 36



PRUEBA DE LA PERDIDA
DE FLUIDO EN EL FILTRO
PRENSA.

FIG. 38

que la lechada de cemento gane fuerza de compresión en un intervalo de tiempo razonable.

El aparato que mide esta propiedad física del cemento es el consistómetro. (Fig.36). El consistómetro determina el tiempo que tarda la mezcla de cemento en alcanzar una viscosidad de 100 Uc.

El consistómetro consta de las siguientes partes:

2.1. Cilindro o Celda.

Es un recipiente rotatorio donde se coloca la mezcla de cemento, en cuyo interior tiene adaptadas paletas soldadas a un eje fijo rotando a 150 RPM.

2.2. Cámara de Presión.

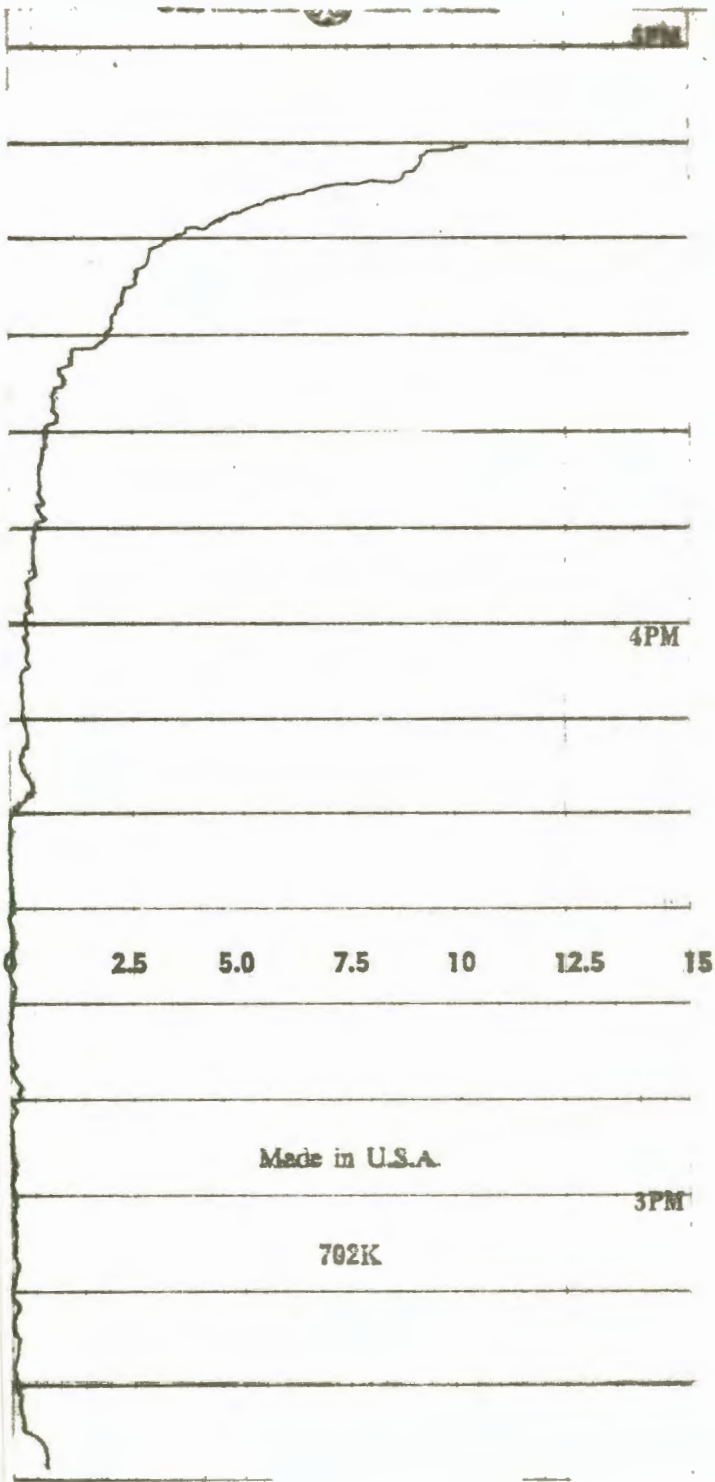
Es la parte del aparato donde queda encerrado el cilindro rotatorio para ser sometido a las condiciones de presión y temperaturas requeridas. La temperatura se controla por un baño de aceite.

2.3. Bomba Hidráulica.

Por medio de la cual se transmite presión al sistema

2.4. Calentador.

Es el elemento que proporciona calor al cilindro y se ajusta con el transformador variable, para controlar el aumento de temperatura en el baño de aceite y la mezcla de cemento.



CARTA DEL TIEMPO DE ESPESAMIENTO EN EL
CONSISTOMETRO

FIG. 37

2.5 Termocupla

Mide la temperatura en el baño de aceite y la mezcla.

2.6 Potenciómetro

Posee un resorte especial que tiende a oponerse a la rotación del arreglo de paletas y con la deformación del resorte se indica la consistencia de la mezcla de cemento, la cual es transmitida a un voltímetro de corriente directa; del cual se obtiene una carta registrando una curva del grado de bombeabilidad con el tiempo (Fig. 37). Esto nos indica el momento que empieza a fraguar el cemento a un tiempo determinado.

2.7 Contador de Tiempo

Es un cronómetro digital incorporado al consistómetro para determinar el tiempo de prueba.

3. Pérdida de Fluido: El control de filtrado en la mezcla de cemento es muy importante para obtener una cementación exitosa de un pozo, como el control del tiempo de espesamiento o la resistencia a la compresión desarrollada.

La pérdida de fluido es definida por la API como el volumen de un fluido perdido a un material permeable debido a los procesos de filtración.

Pero si en la lechada de un cemento puro tiene una pérdida de fluido en exceso de 700-1000 cc. en 30 minutos, bajo una

prueba de presión , es considerada una lechada de gran pérdida de fluido.

Por esta razón los aditivos utilizados han llegado a reducir la pérdida de fluido a 50 cc para los 30 minutos.

En la cementación de camisas en pozos profundos, el problema es más crítico por el espacio anular muy reducido, lo que da origen a altas presiones diferenciales y por lo tanto implica un volumen alto de pérdida de fluido.

Una pérdida de fluido en exceso da lugar a una deshidratación prematura de la mezcla de cemento, causa principal para la existencia de comunicación de gas.

Este fenómeno se produce por la presencia de tapones o puentes del cemento deshidratado en el anular, dejando insuficiente la presión hidrostática debajo del puente, que permite la comunicación de gas desde las zonas de alta presión a las de baja presión.

Se ha comprobado por estudios experimentales que la mayor pérdida de filtrado se produce en las zonas permeables, sin embargo, el taponamiento puede ocurrir en cualquier punto de las paredes del hoyo y una gran mayoría durante la cementación de camisas ocurre en el tope del colgador.

En el laboratorio la pérdida de filtrado se determina por medio

de un filtro prensa (Fig. 38).

Este instrumento consta de cilindro donde se coloca la mezcla de cemento. En la tapa que encierra el cilindro está conectado a una fuente de gas para generar la presión de prueba (100 Lppc) controlado por un manómetro.

La cantidad de filtrado es reportado luego de haber transcurrido 30 minutos.

Sin embargo, en el laboratorio se emplea una relación matemática, para saber la pérdida de fluido a los 30 minutos:

$$Q_{30} = Q_t \times \frac{5.477}{\sqrt{t}}$$

Donde:

Q_{30} = Pérdida de fluido a 30 min. cc

Q_t = Cantidad de filtrado cc

\sqrt{t} = tiempo t de prueba Min.

La Fig. (39) muestra el efecto del tiempo sobre la pérdida de fluido.

4. Resistencia a la Compresión: Esta propiedad física que presenta una mezcla de cemento para un tiempo de fraguado específico no es más que la presión a la cual el cemento fraguado cede ante un esfuerzo compresivo.

EFFECTO DEL TIEMPO
SOBRE LA PERDIDA DE FLUIDO

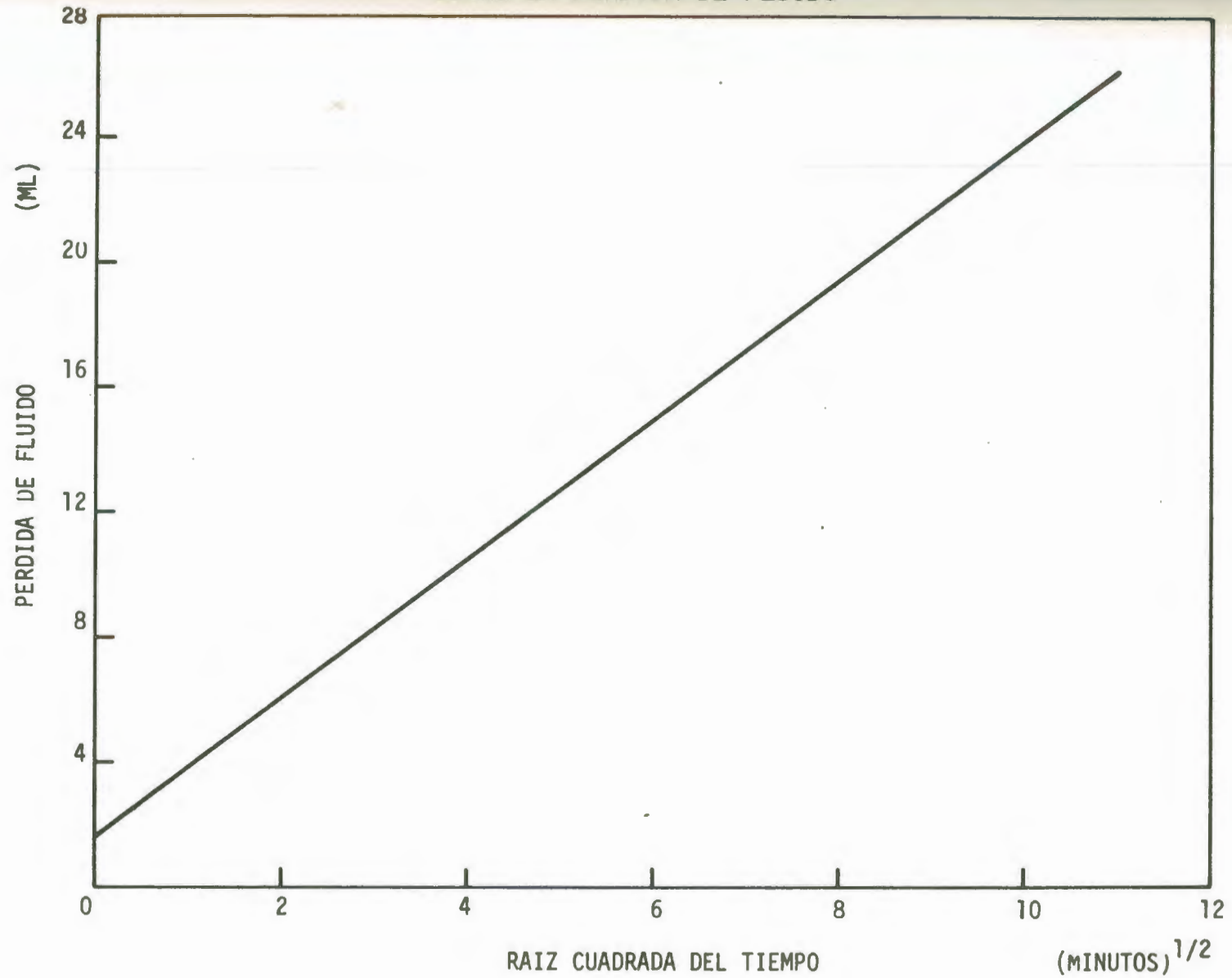


FIG. 39

La resistencia a la compresión está muy ligada al tiempo de espera por fraguado de cemento, o sea el tiempo que debe transcurrir antes de continuar las operaciones en el pozo.

Este tiempo es el necesario para que el cemento adquiera la resistencia suficiente para soportar las vibraciones y esfuerzos que generan las operaciones de perforación o completación.

El aparato de prueba es una prensa hidráulica que posee una fuerza compresiva de 30.000 kilogramos (Fig.40).

El cubo de cemento previamente curado a las condiciones de presión y temperatura del pozo, tiene un área lateral de cuatro pulgadas cuadradas.

Luego para saber la resistencia a la compresión, el cubo es colocado en la prensa hidráulica el mismo que es sometido a presión, se toma la lectura de peso aplicado al momento que el cubo cede ante esfuerzo compresivo y este valor es dividido por su área (cuatro pulgadas²).

Por esta razón en la cementación de camisas la prueba se diseña de tal forma que en el laboratorio debe obtenerse la resistencia especificada en el tope de la camisa.

La resistencia a la compresión deseada si no se alcanza, puede ser debido a un exceso del contenido de agua, tipo y cantidad de retardador o acelerador que serán discutidos más adelante.



PRUEBA DE RESISTENCIA
A LA COMPRESION EN LA
PRENSA HIDRAULICA.

FIG. 40

PROPIEDADES REOLOGICAS A
PARTIR DE UN VISCOSIMETRO.

FIG. 41



5. Propiedades Reológicas: El mecanismo de desplazamiento será más efectivo con propiedades reológicas óptimas del cemento, de tal forma que ayude a desplazar el fluido de perforación.

La reología de un fluido se determina mediante el uso de un viscosímetro, V-G.Meter.

El medidor Fann V-G (Fig.41) es un viscosímetro de tipo rotatorio con indicaciones directas, accionado por un motor sincrónico de dos velocidades de rotación de: 600 - 300 - 200 - 100 - 6 - 3 revoluciones por minutos. El cilindro externo o manga del rotor es movido a una velocidad rotacional constante para cada regulación. La rotación de la manga del rotor en la mezcla de cemento produce una torsión del cilindro interno o núcleo.

Un resorte de torsión restringe el movimiento y un dial anexo al núcleo indica el desplazamiento del mismo.

Los valores obtenidos sirven para calcular los índices de comportamiento de flujo y consistencia, con estos valores se calcula la velocidad crítica en el anular y así encontrar cual debe ser la tasa de bombeo.

Las relaciones matemáticas son las indicadas al hablar del cálculo de la tasa de circulación como función de las caídas de presión.

2.6. Aditivos: La mezcla simple de agua cemento no cumple con las características mínimas requeridas en la cementación de pozos profundos, de manera muy especial en lo que se refiere al tiempo de fraguado del cemento y a la fricción del cemento con las paredes de la tubería.

Para mejorar las características de la mezcla base agua-Cemento, se usan diferentes aditivos o preparados químicos, que alteran las condiciones originales, hasta que la mezcla de cemento adopte las condiciones del pozo.

Estos aditivos han sido desarrollados para resolver muchos problemas durante la operación de cementación y obtener una consistencia de acuerdo con las futuras operaciones del pozo.

La selección y concentración de los aditivos, dependerá especialmente del conocimiento y la experiencia del área de operación.

Existe una gama muy amplia de los aditivos, sin embargo, hablaré de las principales propiedades tanto para variar las características de la lechada misma, como del fraguado posterior de la mezcla.

La clasificación más importante de acuerdo a la función que desempeña son:

1. Aceleradores
2. Retardadores
3. Retrogresión en la resistencia

4. Controladores de pérdida de fluido
 5. Controladores de pérdida de circulación
 6. Reductores de fricción
 7. Incrementadores de peso
1. Aceleradores: frecuentemente son utilizados a condiciones de baja temperatura para acelerar el tiempo de espesamiento o bombeabilidad.

Este efecto permite que el cemento obtenga más rápidamente su resistencia.

Entre los aceleradores más usados es el cloruro de calcio (CaCl_2). Es muy efectivo cuando se usa en concentraciones del 2%. El cloruro de calcio incrementa la resistencia del cemento y produce la viscosidad de la mezcla por su acción dispersante.

La máxima resistencia del cemento se obtiene con una proporción del tres por ciento (3%), este porcentaje reduce a la mitad el tiempo de fraguado y a la vez duplica la resistencia a las 24 horas.

2. Retardadores: Los retardadores se utilizan para incrementar el tiempo de espesamiento y además tienen la propiedad de reducir la viscosidad de la mezcla.

Esto dará mayor tiempo al cemento para que fluya hasta el lugar

deseado.

Los retardadores más usados son los lignosulfonatos de calcio y entre ellos tenemos el HR-4, HR-7, HR-12.

Los lignosulfonatos de calcio son dispersantes y retardadores muy efectivos; excepto a altas temperaturas; sin embargo, el HR-4 es una excepción ya que es recomendado para esas temperaturas elevadas.

El factor primordial que ordena la utilización de retardadores es la temperatura del pozo, la misma que es mayor a medida que aumenta la profundidad. Pero es necesario controlar la cantidad de retardador porque esto puede ocasionar problemas como: pérdida de tiempo en reasumir las operaciones de perforación o completación, asentamiento y separación de los componentes de la mezcla de cemento, formación de bolsas de agua libre, pérdida de cabezal hidrostático y cortes por gas.

3. Retrogresión en la resistencia: Se define como la disminución o pérdida de la resistencia de una lechada de cemento endurecido con el tiempo a temperaturas elevadas.

Esta retrogresión en la resistencia está acompañada por un incremento en la permeabilidad; así por ejemplo una mezcla de cemento tiene 0.02 md (Milidarcys) de permeabilidad a 290°F después de tres días y adquiere una permeabilidad de 8 md a 320°F después de siete días, esto significa que hay una disminución en la resistencia por el aumento del volumen poroso.

La aplicación de cemento con retardador para altas temperaturas y un alto contenido de agua son los causantes de este fenómeno.

Por experiencia se ha comprobado que para cementos usados en pozos profundos el fenómeno empieza cerca de los 260°F y se hace más severo a los 290°F.

Uno de los aditivos usados con mayor frecuencia y que da buenos resultados en la cementación de pozos profundos para combatir esta pérdida de resistencia a altas temperaturas es la Silica Flour.

La Silica Flour en altos porcentajes inhibe la retrogresión en la resistencia y produce rápido esfuerzo compresivo. En exceso de cemento puro la silica flour también reduce la permeabilidad de fraguado del cemento y mejora la resistencia a la compresión a altas temperaturas.

Es recomendable usar donde la temperatura estática exceda de 230°F. por encima de esta temperatura, la mayoría de las mezclas presentan al principio una resistencia a la compresión satisfactoria, pero comienzan a perder esta fuerza rápidamente al seguir sometidas a esta temperatura.

Logicamente que la permeabilidad seguirá aumentando a medida que aumente la retrogresión o disminución de la resistencia, hasta que la columna de cemento no puede evitar la comunicación entre fluidos de distintas zonas; entonces la silica flour ayuda a combatir este incremento indeseable en la permeabilidad.

4. Controladores de pérdida de fluido: Como se había explicado anteriormente como afecta la pérdida de fluido o el filtrado forzado a la formación por la presión diferencial, entre la presión de la formación y la presión hidrostática al no tratar de mantener bombeable la lechada durante la cementación, se hace necesario el uso de aditivos que controlen la pérdida de fluido, o sea el agua de la mezcla de cemento.

El más usado es el CMHEC (Carboxil - Metil- Hidroxil- Etil- Celulosa), también conocido con el nombre de LWL (Baja pérdida de agua), es un derivado de la celulosa muy efectivo en pequeñas cantidades.

Estos aditivos se hacen necesarios cuando hay o no una pequeña costra permeable en las paredes del hoyo. Muchas de las veces el LWL, actúa también como un retardador sobre el tiempo de espesamiento.

También se utilizan como agentes de pérdida de fluido polímeros sintéticos de alto peso molecular y son usualmente afectados por la temperatura.

5. Controladores de pérdida de circulación: Los fluidos de perforación o la lechada de cemento usualmente son perdidos a la formación por fracturas naturales o por fracturas inducidas, al atravesar formaciones altamente permeables que tengan una permeabilidad mayor de 5 md, experimentalmente comprobado.

Entre los aditivos para el control de la pérdida de circulación tenemos cascaras de nuez, gilsonita (Kolite), perlita expandida, perlita semi-expandida las cuales forman puentes y materiales fibrosos tales como fibras de nylon más usados durante la perforación y no en la cementación porque tratarían de taponar los equipos tanto en superficie como de subsuelo.

- o. Reductores de fricción: El principal propósito de los reductores de fricción es ayudar a tener flujo turbulento a bajas tasas de bombeo.

Obtener flujo turbulento durante el desplazamiento del barro de perforación y Las pruebas de laboratorio y la experiencia en el campo han demostrado que se logra un 95% comparado con un 60% por flujo tapón y aún más es despreciable la remoción del barro con flujo laminar.

Por consiguiente con flujo turbulento se tiene una mejor adherencia del cemento tanto al revestimiento como a la formación.

Este flujo turbulento se alcanza cuando es reducida la viscosidad aparente de la mezcla de cemento; porque si no hay cambio en la tasa de bombeo vamos a tener un número de Reynolds mayor y por lo tanto un factor de fricción Fanning menor lo que implica una menor pérdida de presión por fricción.

Los aditivos que actúan como reductores de fricción más comúnmente

usados son: CFR-1 CFR-2 y son esencialmente agentes dispersantes.

También actúan como dispersantes el cloruro de sodio (sal). Es compatible con la mayoría de aditivos y además tiene otras funciones como prevenir la pérdida de circulación en pequeñas concentraciones actúa como un acelerador y en altas concentraciones como retardador.

7. Incrementadores de peso: Estos aditivos sirven para incrementar la densidad de la mezcla de cemento. Se utiliza de manera especial en pozos profundos y por esta razón la experiencia señala las características que deben cumplir estos aditivos, son los siguientes:
- a. Poco requerimiento de agua
 - b. Ninguna reducción de la resistencia del cemento
 - c. No disminuye el tiempo de bombeo
 - d. Posee partículas de tamaño uniforme
 - e. Aumento mínimo en el volumen de la lechada
 - f. Químicamente inerte

Entre los aditivos usados tenemos: Baritina, Hematita, Arena Ottawa y Sal.

ADITIVOS MAS USADOS EN LA
CEMENTACION DE CAMISAS

<u>ADITIVO</u>	<u>FUNCION</u>
1 CaCl ₂	Acelerador
2 Gel	Aumenta el rendimiento
3 Kolite y	Reducen la pérdida de circulación en
4 Mica gruesa	formaciones de alta permeabilidad.
5 Silica fluor	Evita la pérdida de resistencia a la
	compresión a altas temperaturas
6 Sal	acelerador de fraguado en bajas con-
	centraciones (1%-5%) y retardador en
	altas concentraciones. Aumenta la pro-
	piedad de fluir al cemento, reduciendo
	la potencia hidráulica.
7 Arena	Más resistencia al cemento y aumenta
	el peso de la lechada.
8 Diacel "D"	Reduce el peso de la lechada, reduce
	la pérdida de circulación y aumenta
	el rendimiento.
9 Kembreak	Retardador de fraguado a baja tempe-
	ratura.
10 D-13, HR-7	Retardadores de fraguado, reducen la
	viscosidad y aumentan la propiedad de
	fluir a la mezcla de cemento.

11. HR-12 Retardador para altas temperaturas, reduce la viscosidad y aumenta la propiedad de fluir.
12. HR-4 Retardador para altas temperaturas, pero no debe utilizarse con cemento de alto contenido de bentonita (12%-25%) porque no actua como dispersante.
13. CFR-2 Reductor de fricción, controla la pérdida de fluido por su acción dispersante.
14. LWL Controla la pérdida de fluido (Filtrado de Agua). Actua como un retardador a bajas temperaturas.

3. Planificación durante la corrida y cementación en el pozo: La cementación de camisas lisas en pozos profundos, como se ha podido ver requiere de un estudio completo, por ser una técnica muy compleja y limitada por las condiciones de operación.

Concluida esta etapa de investigación, viene la parte experimental que es desarrollada en el pozo y por esta razón se requiere una completa planificación antes y durante la corrida de la camisa y logicamente después de la cementación.

Para analizar de una mejor manera esta parte experimental lo he dividido en tres secciones principales que son las siguientes:

IV.3.1. Revisión del equipo

IV.3.2. Instalación

IV.3.3. Operación.

IV.3.1. Revisión del equipo: Antes de meter una camisa en un pozo debemos estar seguros que todo el equipo este en condiciones perfectas y a su vez que sea la herramienta que se específico.

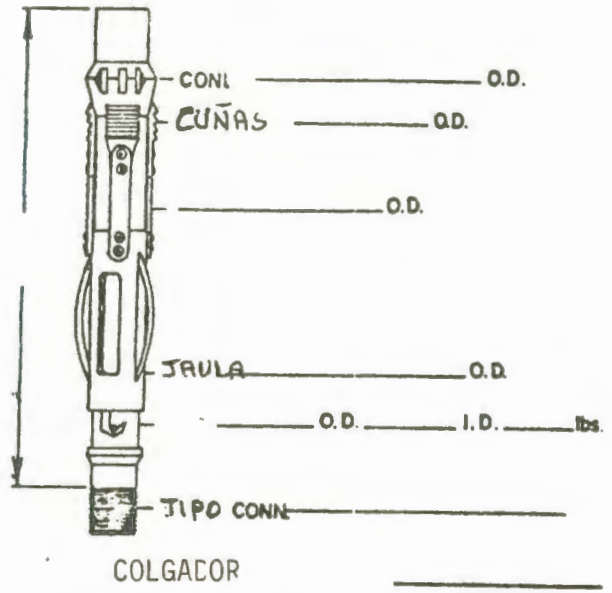
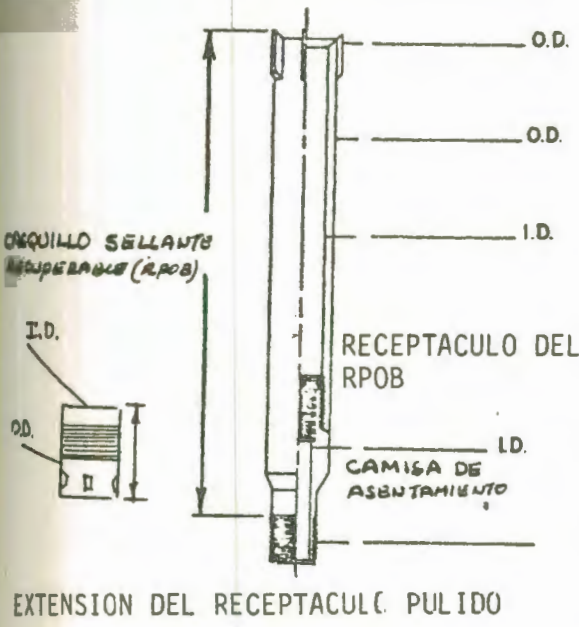
A continuación se presenta una forma que incluye todo el equipo necesario para colgar la camisa como también sus principales accesorios para la cementación, como se indica en la Fig.42.

Cuando se esta haciendo la revisión del equipo en los talleres de la compañía que provee, hay que llenar la forma indicada mediante el siguiente procedimiento:

1. Diámetro interno y externo de toda la herramienta. Es necesario que todas las partes del colgador, extensión, cabeza giratoria (Swivel), cuello flotador y zapata, pasen a través del revestimiento donde se colgará la camisa. Además debe asegurarse que todo el equipo por debajo de la herramienta de asentamiento, pase el diámetro interno de la extensión del receptáculo pulido del colgador.

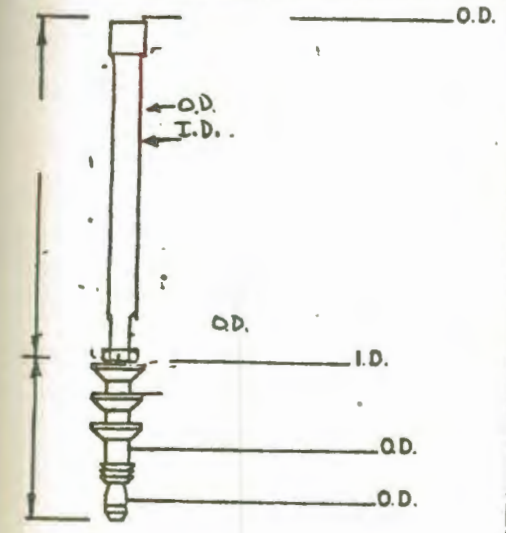
2. Debe asegurarse que el tapón de arriba pase y limpie la tubería y sustitutos de la sarta de la corrida del colgador, herramienta de asentamiento y que pueda entrar en el diámetro interior del tapón de abajo. Además hay que asegurarse que el tapón de abajo tenga

INSPECCION DEL EQUIPO PARA COLGAR Y CEMENTAR UNA CAMISA

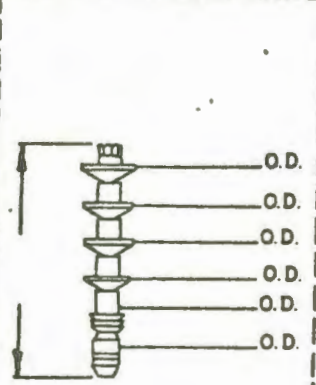


EXTENSION DEL RECEPTACULO PULIDO

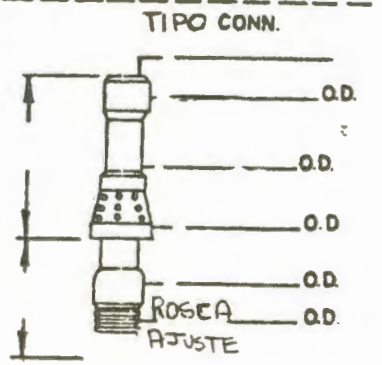
COLGADOR



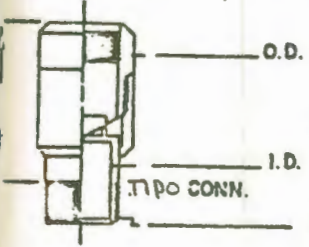
TUBO LISO Y TAPON INFERIOR



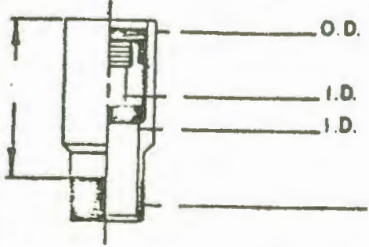
TAPON SUPERIOR



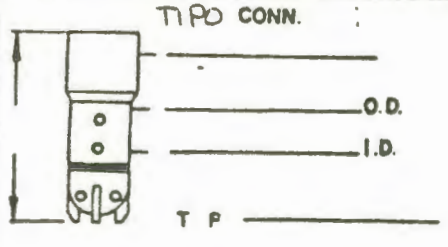
EXTENSION DE LA HERRAMIENTA ASENTAMIENTO



CABEZA GIRATORIA



CUELLO DE ASENTAMIENTO



ZAPATA

los pasadores en buen estado y pueda limpiar la camisa, como también ver que el tapón pueda entrar y engancharse en el cuello de asentamiento.

3. Probar la cabeza giratoria (Swivel) que gire libremente y que enrosque al colgador con el torque especificado probando con una presión de 5000 Lppc.

4. Limpiar y enroscar la herramienta de asentamiento hasta el punto de la rosca cuadrada, para lo cual se debe usar el torque especificado en las conexiones y usar tornillos de ajuste en todas las conexiones arriba de la rosca cuadrada.

5. Vestir el casquillo sellante recuperable con sellos nuevos y colocarlos en el perfil. Instalar la extensión lisas e inspeccionar por daños que puedan causar fugas. Mover la extensión dentro del casquillo recuperable para asegurarse que este libre.

6. Es indispensable anotar todo lo relativo a las conexiones, es decir el tamaño y tipo.

7. Utilizar protectores en las conexiones para evitar daños durante el viaje a la gabarra.

8. Cuando la herramienta este en la gabarra debe ser armada completamente en presencia del operador. Además el tapón inferior no debe ser instalado, sino hasta el momento de bajarse la herramienta al pozo.

La revisión final para dar una seguridad mayor a la inspección del equipo se llena un formato que se anexa, de acuerdo a las medidas obtenidas para cada uno de los accesorios.

REVISION DE COLGADOR DE CAMISA

Receptaculo Pulido

- a) El D.E. pasa a través del último revestimiento? _____
- b) La parte interna está pulida y brillante? _____
- c) El D.I. permite el paso de la herramienta de asentamiento? _____

Camisa de Asentamiento

- a) Permite el paso del casquillo sellante recuperable (CSR) ? _____
- b) Esta pulida? _____
- c) Permite el funcionamiento de los "perros"? _____
- d) Cual es su D.I. menor? _____
- e) En que condición está el receptáculo para las rosca cuadrada? _____
- f) El "CSR" pasa libremente con los "perros" metidos? _____

Casquillo Sellante Recuperable (CSR)

- a) Son nuevos los sellos? _____
- b) Están en la posición correcta? _____
- c) Están libres los "perros"? _____ sin superficies cortantes? _____
- d) Los tornillos mantienen los "perros" apretados y derechos? _____
- e) El CSR encaja y desliza en la camisa de asentamiento? _____

Colgador

- a) Es el D.I. mayor que el de la camisa de asentamiento? _____
- b) Todas las partes externas pasan a través del anillo calibrador? _____
- c) Están todos los tornillos apretados? _____

- d) Los centralizadores son cromados? _____
- e) El D.E. de las cuñas (en posición abierta) es mayor que el D.I. del revestimiento donde se va a colgar? _____
- f) El colgador sale de la "J" fácilmente y las cuñas se deslizan en el cono sin problema? _____
- g) El D.E. de los centralizadores es mayor que el D.I. del revestimiento? _____
- h) El colgador fue probado a 4000 Lppc? _____
- i) En que condición están las roscas? _____

Unión Giratoria (Swivel)

- a) Gira libre sin trancarse? _____
- b) Fue probado a 4000 Lppc? _____
- c) Es el D.I. igual o mayor que el de el cuello de asentamiento? _____
- d) Es el D.E. igual o menor que el D.E. del receptáculo pulido? _____

Tapón Lavador de Tub. de Perforación (Baby Plug)

- a) El D.E. de las gomas del tapón permiten lavar:
- 1) El D.I. del múltiple de cementación? _____
 - 2) El D.I. de la tubería de perforación? _____
 - 3) El D.I. de la herramienta de asentamiento? _____
- b) El D.E. de las partes metálicas pasan a través de:
- 1) Múltiple de cementación? _____
 - 2) Tubería de perforación? _____
 - 3) Herramienta de asentamiento? _____
- c) La nariz del tapón entra en el tapón lavador de la camisa? _____

- d) El hombrillo detrás del anillo se detiene en el D.I. del tapón lavador de la camisa? _____
- e) Tiene el tapón un pasador para prevenir que el tapón rote si se perfora por debajo de la camisa? _____

VII. Herramienta de Asentamiento (Setting Tool)

- a) Diámetro, tipo y condición de la conexión del tope? _____
- b) Tiene la conexión tornillo pasadores para prevenir el desenrosque?

- c) Condición de la extensión? _____
- d) Está limpia la parte interna? _____
- e) El D.I. permite el paso del "Tapón de tubería"? _____
- f) En que condiciones está la rosca cuadrada y el mandril? _____
1. Roscas? _____
 2. Rolineras? _____
 3. Conexiones apretadas? _____
- g) La herramienta fue probada a 5000 Lppc? _____
- h) El D.E. de la herramienta pasa a través del receptáculo pulido? _____
- i) El colgador es de un diámetro mayor que el diámetro int del PBR pero menor que el diámetro externo del PBR.

VIII. Espiga (Slick Stinger)

- a) Está la espiga limpia internamente? _____
- b) Permite el paso del "baby plug"? _____
- c) Está la parte externa resbaladiza? _____ y no tiene raspaduras?

- d) El D.E. es adecuado para encajar y sellar el CSR? _____
- e) El D.E. reducido en la base de la espiga acepta los "perros"?

IX. Tapón Lavador de la Camisa (Liner Wiper Plug)

- a) El D.E. de la goma permite lavar la camisa? _____
- b) El D.E. de la nariz del tapón entra en el cuello flotador (Landing Collar)? _____
- c) El hombrillo detrás del anillo se detiene en el cuello flotador?

- d) Número, diámetro y condiciones de los pasadores? _____
- e) Tiene el tapón un pasador para prevenir que el tapón rote si se perfora? _____
- f) Saque los pasadores y cerciorese de que el "baby plug" encaje en el tapón y salga después si se rota a la izquierda.

X. Cuello Flotador (Landing Collar)

- a) Medir D.I. para asegurarse que pueda aceptar el "baby plug".
- b) D.I. y D.E.? _____
- c) Condición de las conexiones. Apretadas? _____ sin daño? _____
- d) Hacer la prueba de presión con el cuello flotador, swivel y colgador conectadas.

XI. Zapata (Set Shoe)

- a) Está el sistema flotador OK? _____
- b) Condición de las conexiones? _____
- c) D.E.? _____

3.2 Instalación: El equipo que se baja al pozo debe ser instalado de acuerdo con las especificaciones técnicas requeridas para cada una de las partes.

El orden que se debe instalar es el siguiente:

1. Zapatas con válvulas (Shoe)
2. Tubo de flotación (Float Joint)
3. Cuello de asentamiento (Landing Collar)
4. Camisa lisa requerida (Liner)
5. Cabezal giratorio (Swivel)
6. Colgador (Hanger)
7. Casquillo sellante recuperable (Retrievable Pack off Bushing) con cuello de asentamiento.
8. Extensión del receptáculo pulido (Packer Bore Receptacle)
9. Herramienta de asentamiento (Setting Tool)
 - a. Tapón inferior (Down Plug)
 - b. Tubo liso (Polished Road)
 - c. Rosca asentadora (Setting Nut)
 - d. Tubo de extensión
 - e. Conexión para la tubería de perforación.

A continuación se presenta un gráfico indicando como deben quedar instalado todo el equipo (Fig.43)

3.3 Operación: Terminada la instalación de todo el equipo para colgar la camisa, viene la parte principal del trabajo de la cual depende que la cementación tenga éxito.

● INSTALACION DE LINA CAMISA

EXTENSION DEL RECEPTACULO POLIDO

SELLOS
PERROS
CASQUILLO SELLANTE (RPOB)

COLGADOR (HANGER)

CABEZA GIRATORIA (SWIVEL)

CAMISA

CUELLO DE ASENTAMIENTO

TUBO FLOTADOR

ZAPATA FLOTADORA

RECEPTACULO DEL RPOB

CONO
CUÑAS

JAULA

JOTA

TUBERIA DE PERFORACION

EXTENSION DE LA HERRAMIENTA DE AJUSTE (SETTING TOOL)

ROSCA DE AJUSTE (SETTING NUT)

TUBO LISO (PBR)

TAPON INFERIOR

TAPON SUPERIOR

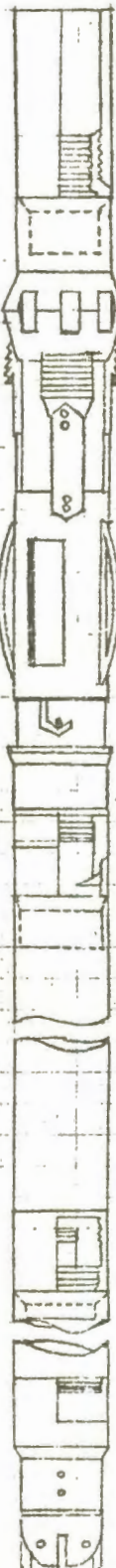


FIG. 43

La mecánica operacional se describe a continuación:

1. *Enroscar con pegamento (Baker Lock) la zapata (Fig.44). El tubo de flotación y ambos lados del cuello de asentamiento (Fig.45).*
2. *Bajar la camisa, pero es necesario ir calibrando y asegurándonos que sea el mismo diámetro interno especificado. (Fig.47).*
3. *Levantar el ensamblaje del colgador y enroscar el tapón inferior. (Fig.46).*
4. *Colocar dentro de la camisa y enroscar con el torque especificado (Fig.48). Se debe anotar el peso de la camisa y el peso de los bloques. Asegurar que la camisa este llena de barro (Fig.49) Además al bajar el colgador (Fig.50) se debe llenar el espacio anular entre el tubo liso y la barrilla pulida (Fig.51) con la finalidad de no tener problemas al levantar la herramienta de asentamiento.*
5. *Bajar la tubería de perforación y a la vez ir calibrando cada tubo, de tal manera que su diámetro interior sea mayor que el diámetro exterior de la parte metálica del tapón superior. Debe ser llenado con barro la sarta de perforación cada 10 parejas. Además se debe ir instalando los localizadores cada 6 o 7 tubos los mismos que sirven para ubicar las zonas de interés que serán posteriormente cañoneadas. (Fig.52).*
6. *Antes de entrar con la camisa en el hueco abierto se debe circular para romper los geles de barro y asegurarse que no hay problemas de circulación. Durante la circulación se debe preparar el múltiple (Manifold) de cementación (Fig. 53) y conectar entre*



INSTALANDO LA
ZAPATA GUIA.

FIG. 44



INSTALANDO EL CUELLO
DE ASENTAMIENTO.

FIG. 45



INSTALANDO EL
TAPON INFERIOR.

FIG. 46



COMPROBANDO EL D.I.
DE LA TUBERIA
(CONEJEANDO)

FIG. 47



CONTROLANDO EL TORQUE
ESPECIFICADO PARA LA
TUBERIA.

FIG. 48

LLENANDO LA TUBERIA
CON BARRO.

FIG. 49





BAJANDO EL COLGADOR

FIG. 50



LLENANDO CON AGUA LA
EXTENSION DEL RECEPTACULO
PULIDO.

FIG. 51



INSTALACION DE UN
LOCALIZADOR

FIG. 52

PREPARANDO EL MULTIPLE
DE CEMENTACION.

FIG. 53



si las líneas de cementación, pero sin conectar al múltiple.

7. Bajar el resto de la camisa sin ser llenada con barro hasta llegar al fondo.
8. Cuando se llegue al fondo conectar el múltiple y empezar a circular reciprocando la sarta. Hay que estar seguro que la lim-pieza del hoyo sea buena antes de asentar el colgador, para evitar un empaquetamiento en el hueco.
9. Después de circular por lo menor el volumen equivalente al del espacio anular se puede asentar el colgador.

La mecánica para asentar el colgador es la siguiente:

- a) Bajar la sarta de dos a tres pies por debajo de la profundidad a la cual se desea colgar la camisa. Luego levantar un pie más arriba de la profundidad donde se va a colgar y colocar las cuñas de la mesa rotatoria sin bajar la sarta.
- b) Asentar el peso de la sarta en las cuñas y rotar a la izquierda de tres a cuatro vueltas y aguantar el torque usando la llave de tubería.
- c) Levantar la sarta un pie al aguantar el torque, bajar la sarta un pie y observar el indicador de peso. Una caída de peso al bajar la sarta indica que el colgador esta asentado. Soltar la llave y asentar 10.000 Lbs. en el colgador, luego levantar para mantener de 2000 a 5000 Lbs. sobre el colgador.
- d) Asentar las cuñas en la mesa rotatoria y dejar que soporte todo el peso de la sarta. Luego soltar la herramienta del colgador

rotando a la derecha.

- e) Rotar 5 vueltas a la derecha y liberar la mesa rotatoria, observando la cantidad de vueltas retornadas y continuar el proceso hasta completar 25 vueltas.
- f) Levantar despacio 5 pies la sarta y anotar el peso del medidor a este punto el indicador debe marcar un peso más bajo, equivalente al peso de la camisa.
- g) Asentar 10.000 Lbs. sobre el colgador y dejar la sarta colgada en los elevadores.

Después de colgar la camisa se debe circular completo el pozo, es decir, el volumen de barro dentro de la sarta, la camisa y el del espacio anular.

Además se debe acondicionar el barro para antes de empezar la cementación.

La mezcla de cemento preparado en superficie (Fig.54) es bombeada después de un volumen de agua suficiente para limpiar las paredes del hoyo la costra dejada por el barro.

Cuando la lechada ha sido bombeada al pozo se envía el tapón superior para limpiar la sarta de perforación que es desplazado con 5 Bbbs. de agua y la cantidad de barro para llegar al cuello flotador.



MEZCLADOR Y BOMBAS DE
CEMENTACION

FIG. 54

El desplazamiento se debe realizar midiendo los tanques de la compañía cementadora, para asegurar que el volumen sea lo más exacto posible.

Es importante bajar la tasa de bombeo cuando faltan unos tres barriles aproximadamente para pegar el tapón de arriba con el de abajo.

Cuando el tapón de arriba llega al tapón de abajo la presión de bombeo sube hasta que los pasadores se rompen. Hay que anotar el volumen exacto y empezar el desplazamiento de la camisa.

Igualmente antes de llegar el tapón de abajo se reduce la tasa de bombeo a menos de un barril por minuto para evitar romper el cuello asentador. El tapón se prueba con 2500 Lpc. y desahogar la presión para asegurarse que el tapón permanezca asentado al cuello.

Terminando de desahogar la presión se desconecta las líneas de cementación para sacar el múltiple.

Operación seguida se levanta la primera pareja despacio observando el indicador de peso. Los primeros quince (15) pies son críticos porque en este punto se esta sacando el casquillo sellante recuperable (RPOB= Retrievable Pack off Bushing).

Continuar sacando la tubería aproximadamente cinco (5) minutos por pareja durante las primeras parejas que son las más peligrosas,

puesto que están dentro de la mezcla de cemento dejada arriba del colgador, con el fin de obtener un mejor sello en el tope de la camisa.

Esto se puede comprobar cuando al sacar la tubería desplaza una cantidad de barro equivalente al volumen de lechada en el anular, hasta que se igualan las columnas.

A continuación se presenta una carta de cementación de una camisa en un pozo profundo. (Pág. 198).

4. Problemas prácticos de aplicación: Después de haber desarrollado los principios básicos que encierra la técnica de la cementación de camisas, se presentan ejemplos prácticos experimentados en el Lago de Maracaibo.

Cada ejemplo es un caso particular pero el principio de diseño y cálculo es el mismo. Sin embargo, se presenta una tabla de todos los pozos profundos donde se ha cementado una camisa, sean estos pozos nuevos o pozos de rehabilitación.

Por lo tanto he seleccionado tres casos, con los cuales se cubre toda la operación práctica, incluyendo también la posibilidad que ocurra una deficiente cementación primaria y sea necesario hacer un forzamiento de cemento.

El ejemplo para el pozo Polita-1, es un pozo nuevo con resultados exitosos, tanto en la operación como en la producción.

Mediante el ejemplo del pozo Polita-2, se indica la forma y mecánica para el diseño de una lechada de cemento y finalmente en el pozo Polita-3, que falló la cementación primaria y por lo tanto fue necesario hacer un forzamiento de cemento por el tope de la camisa.

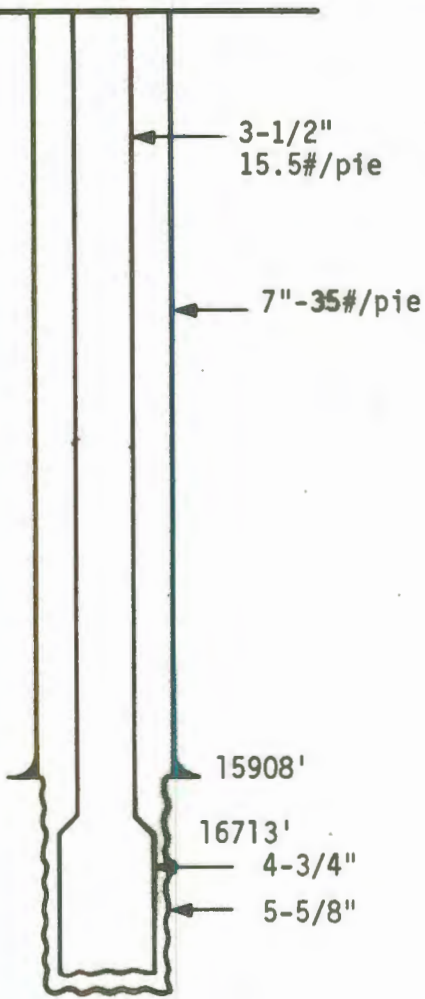
Pozo : Polita-1

Asunto: Programa de cementación de una camisa

Datos :

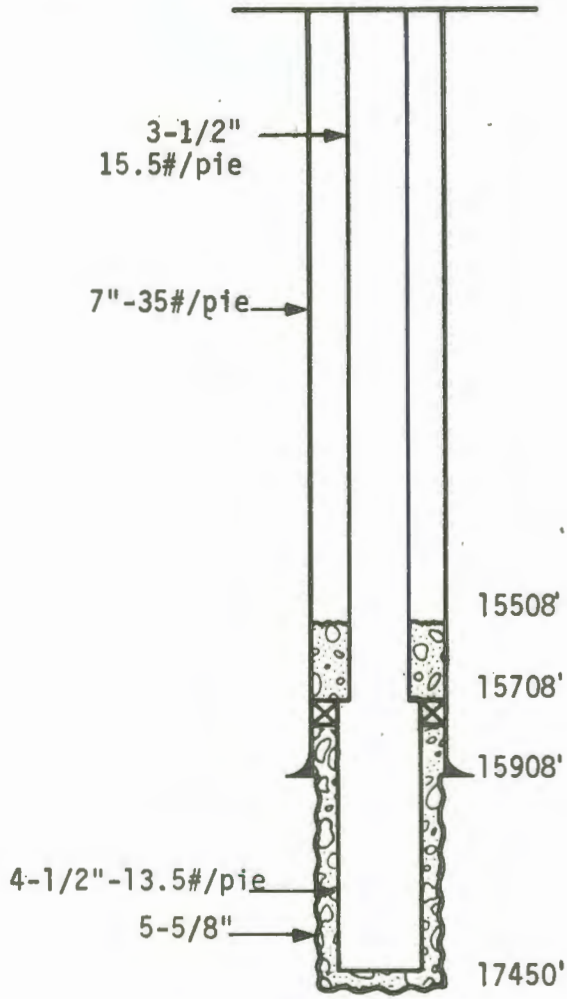
1. Profundidad total = 17450 pies
2. Última zapata = 15908 pies
3. Revestimiento previo: 7 Pulg. P-110, 35#/pie
4. Camisa de = 4-1/2 Pulg. P-110, 13.5#/pie
 - Diámetro interno: 3.920 Pulg.
 - Tope del colgador: 15708 pies
 - Fondo : 17450 pies
 - Longitud : 1742 pies
5. Diámetro del hoyo: 5-5/8 Pulg.
6. Tope del cemento : 15508 Pies
7. Propiedades del barro=
 - Peso : 12.4 LPG
 - VP : 15 cp
 - PC : 7 Lbs/100 pie²
 - Gel : 2/5
8. Tubería de perforación: OD=3-1/2 Pulg. 15.5# /pie - IF.
9. Mezcla del cemento :
 - Densidad: 15.5 LPG

POZO; POLITA-1



POZO CON SARTA DE PERFORACION

FIG. 1-A



POZO CON TUBERIA Y CAMISA

FIG. - 1-B

Rendimiento: 1.58 Pie³/Sx.

Relación de agua: 6.7 Gal/Sx

Composición: cemento - 35% Silica Flour-1.5%CRF-2

0.5% LWL - 1.0% HR-12.

10. Temperatura estática = 307°F

Solución

1. Cálculo del cemento: Ver la Fig.1-B

<u>Espacio Anular</u>	<u>Capacidad</u>		<u>Longitud</u>
	pie ³ /pie	pie/Galón		pies
5-5/8"-4-1/2"	0.0621	2.1518	1542
4-1/2"-7"	0.0862	1.5515	200
3-1/2"-7"	0.1298	1.0299	15708

Desplazamientos: 4-1/2" : 0.8262 Gal/pie

3-1/2" : 0.4998 Gal/pie

El volumen del cemento se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = CAP * L$$

Donde:

V = Volumen Pie³

CAP=Capacidad anular Pie³/pie

L = Longitud Pies

$$VT = V_1 + V_2 + V_3$$

Donde:

VT = Volumen total Pie³

$$V_1 = \text{Volumen entre camisa/hoyo} \quad \text{Pie}^3$$

$$V_2 = \text{Volumen entre revest./camisa} \quad \text{Pie}^3$$

$$V_3 = \text{Volumen entre revest./tub.} \\ \text{perforación} \quad \text{Pie}^3$$

$$VT = 0.0621 (17450-15908) + 0.0862 (15908-15708') + 0.1298 (15708-15508)$$

$$VT = 167.5 \text{ Pie}^3.$$

Luego los sacos de cemento será:

$$N^{\circ} \text{sacos} = \frac{VT}{\text{Rendimiento}}$$

$$N^{\circ} \text{sacos} = \frac{167.5}{1.58}$$

$$N^{\circ} \text{sacos} = 106$$

Por lo tanto la mezcla del cemento será:

106 Sx cemento - 35% Silica-Fluor-1.5% CFR-2
0.5% LWL, 1.0% HR-12.

$$\text{Vol. mezcla} = \frac{106 \text{ Sx.} \times 1.58 \text{ pie}^3/\text{Sx}}{5.615 \text{ pie}^3/\text{Bbl.}}$$

$$\text{Vol. mezcla} = 30 \text{ Bbls.}$$

$$\text{Vol. agua} = \frac{106 \text{ Sxs} \times 6.7 \text{ Gal/Sx}}{42}$$

$$\text{Vol. agua} = 17 \text{ Bbls.}$$

2. Velocidad crítica y tasa de bombeo mínima para alcanzar turbulencia:

$$V_c = \frac{1.08 VP + 1.08 \sqrt{VP^2 + 9.28 f_b \cdot D^2 PC}}{f_b \cdot D}$$

En el apéndice (C) el programa N^o.1 para una calculadora TI-SR-52, sirve para obtener la velocidad crítica y la tasa de bombeo.

Peso	VP	PC	Dh	DP	Vc	Q
Lb/Gal	CPS	Lbs/ 100 pie ²	Pulg	Pulg	Pie/Min.	BPM
12.4	15	7	5.63	4.5	233.38	2.60

3. Cálculo del esfuerzo de corte:

Primero calculamos:

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

$$\phi 300 = PC + VP$$

Entonces:

$$\phi 600 = 7 + 15 \times 2 = 37$$

$$\phi 300 = 7 + 15 = 22$$

A partir de estos valores construimos un gráfico (Fig. 1-C) de esfuerzo de corte contra la tasa de corte y determinar los valores a 100 RPM y 50 RPM.

Del gráfico: $\phi 100 = 14.5$

$\phi 50 = 10.5$

ESFUERZO DE CORTE VS. LA
TASA DE CORTE

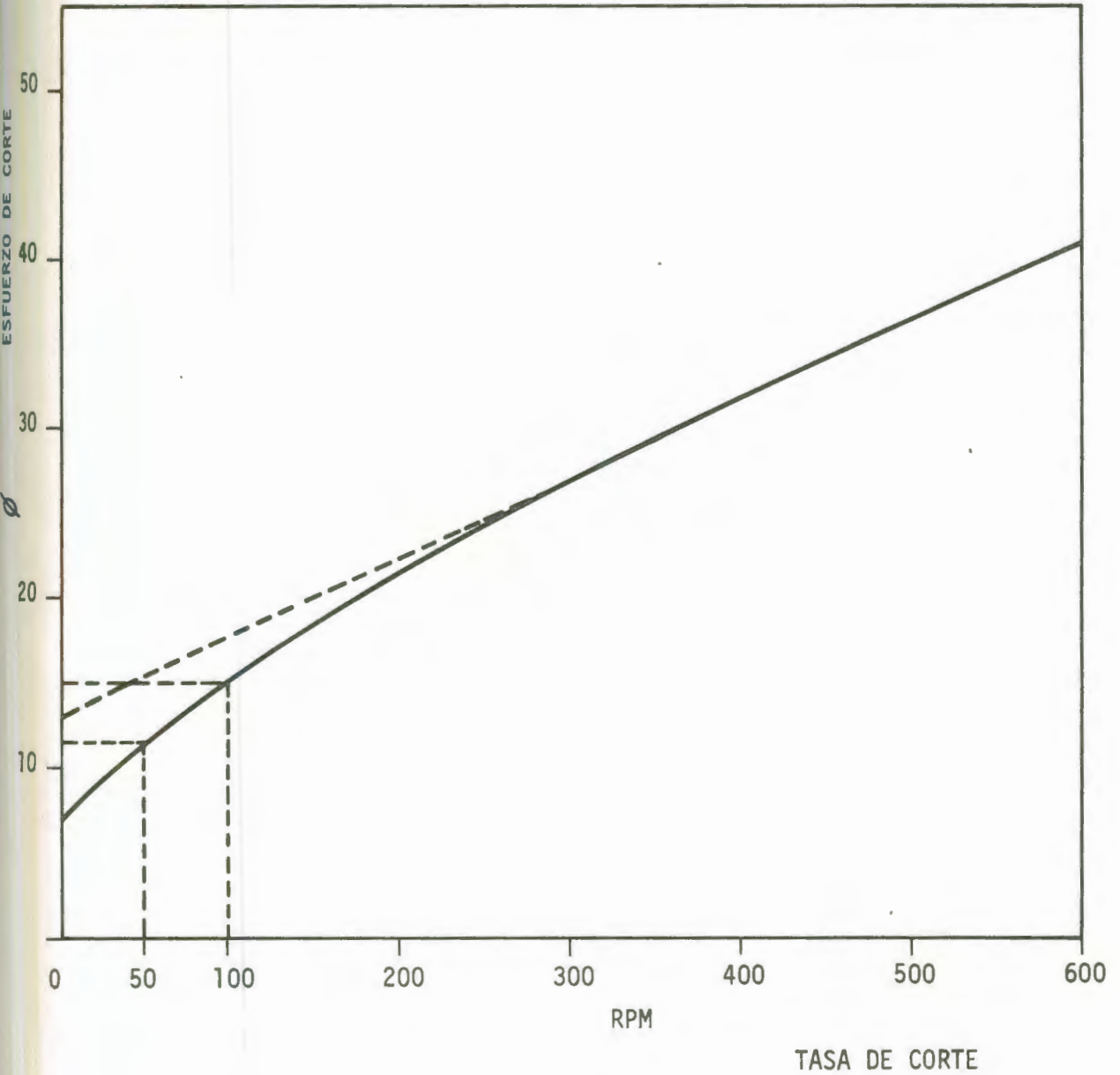


FIG. 1-C

4. Cálculo de la densidad equivalente de circulación:

$$DEC = \rho_b + \frac{Pr}{0.052 \times \rho_b \times H}$$

El programa N^o.2 del apendice (C) se utilizó para hacer estos cálculos. Este cálculo se efectua considerando la Fig.1-A, cuando se está perforando el hoyo de 5-5/8".

Diam-Hoyo	Diam-Tub.	Longitud	Pr
Pulg.	Pulg.	Pies	Lppc.
5.63	3.4	16713	341
5.63	4.75	737	136.6

Por lo tanto la DEC será:

$$DEC = 12.9 \text{ Lbs/Gal.}$$

5. Cálculo de la presión surgente. (Ps):

$$Ps = 0.052 \times (DEC - \rho_b) \times H$$

$$Ps = 0.052 (12.9 - 12.4) \times 17450$$

$$Ps = 454 \text{ Lppc.}$$

6. Tasa de bombeo: Este paso es una prueba de ensayo y error hasta obtener una tasa de bombeo que no exceda el valor 12.9 LGP (DEC). Se utilizó el programa N^o.2, del apendice C y la Figura:1-B.

Diam. Hoyo Pulg.	Diam. Tub. Pulg.	Longitud Pies	Pr LPC	Nº.1 Q=125 GPM
5-5/8	4-1/2	1542	145.6	
6.004	4-1/2	200	8.5	DEC=12.8 LPG
6.004	3-1/2	15708	217.17	

Nº.2

Pr	
LPC	Q= 140 GPM
160.0	
9.32	DEC= 12.84 LPG.
232.0	

Nº.3

180	Q= 160 GPM
10.37	
251.6	DEC= 12.88 LPG

Nº.4

190.6	Q= 170 GPM
10.9	
261.4	DEC= 12.91 LPG

Nº.5

186.3	Q= 165 GPM
10.7	
256.6	DEC= 12.9 LPG

Por lo tanto la tasa de bombeo será:

$$Q_b = \frac{165}{42}$$

$$Q_b = 4 \text{ BPM.}$$

7. Velocidad de corrida: Primero se aplican las formulas indicadas anteriormente o el programa N^o.3, para calcular las caídas de presión a una determinada velocidad de la tubería que se va asumiendo. El programa N^o.4 sirve para calcular hasta que profundidad puede ser bajada la tubería para una velocidad dada. En este último programa se debe introducir los valores de: m (pendiente), n (índice de comportamiento de flujo) y el esfuerzo cortante a 600 RPM, obtenidos del programa N^o.3.

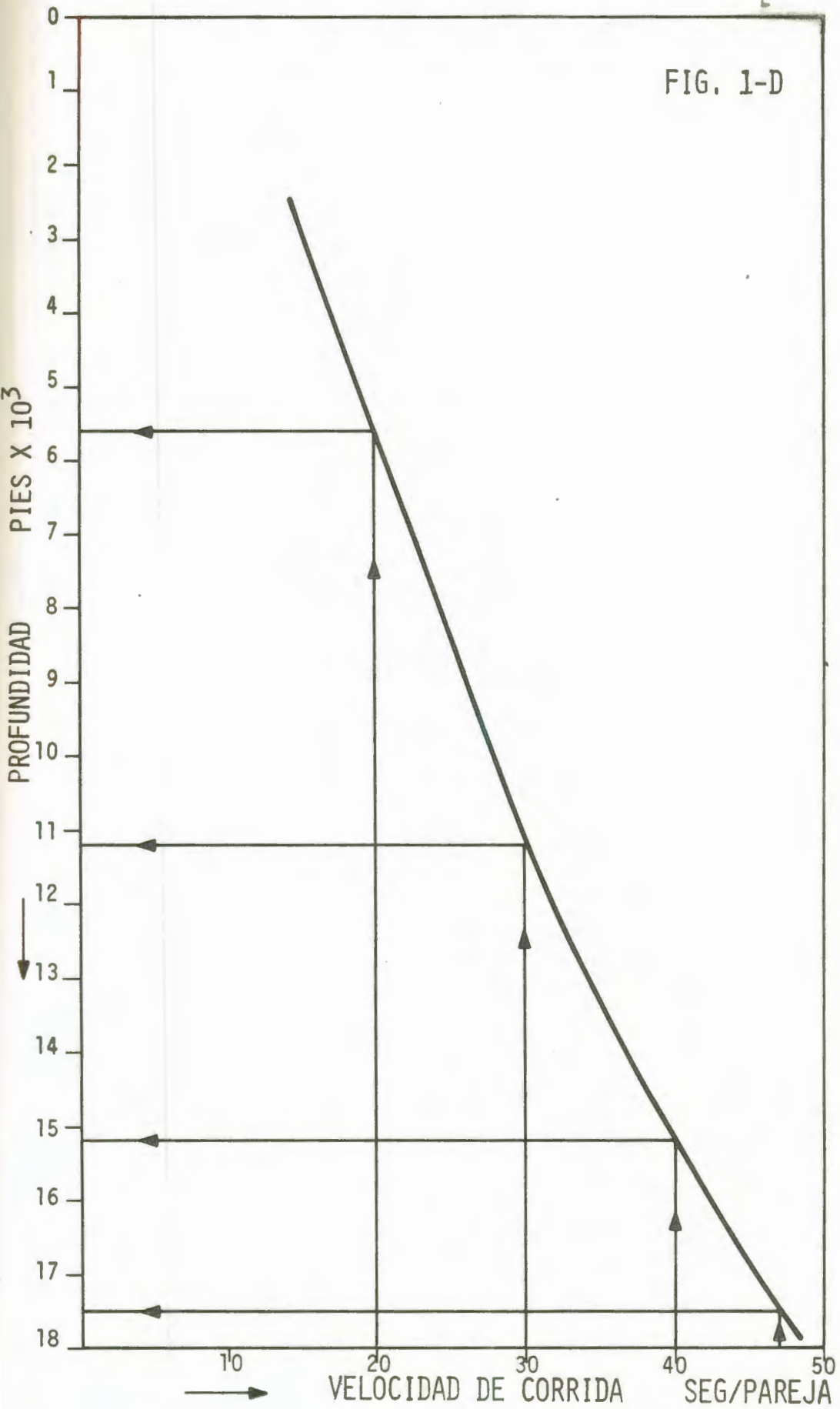
Seg./Tubo	<u>Velocidad</u>	<u>Presión</u>	<u>Profundidad</u>
	Seg/Pareja	LPC	Pies
10	22.50	319.8	7006
15	33.75	225.6	12799
20	45.00	177.98	16877
25	56.25	149.61	19876

Los valores obtenidos de profundidad y velocidad se grafican con la finalidad de obtener rangos más exactos de profundidad para una determinada velocidad.

A partir del gráfico (Fig.1-D), se obtiene los siguientes resultados:

<u>Velocidad</u>	<u>Profundidad</u>
Seg/Pareja	Pies
20	0' - 5600'
30	5600' - 11200'
40	11200' - 15200'
47	15200' - 17450'

FIG. 1-D



Para convertir la velocidad en (seg/tubo) a (seg/pareja) se multiplica por un factor de 2.25, considerando que un tubo (40 pies de longitud) demora un segundo, entonces una pareja (90 pies de longitud) que tiempo ocupará al ser bajada.

En este ejemplo no se presenta el diseño de la mezcla de cemento, porque se explica con más detalle en el pozo Polita-2, que se indica a continuación.

Pozo : Polita-2

Asunto: Diseño de una lechada para cementar una camisa

Datos :

1. Profundidad total 16000 pies
2. Volumen de cemento 30 Bls.
3. Tasa de bombeo 3 BPM
4. Camisa de 4-1/2" pulg- P-110-13.5#/pie
5. Diámetro del hoyo 6.0 pulg
7. Peso del barro 13.5 #/gal.
8. Temperatura de fondo 330°F
9. Temperatura en superficie 110°F
10. Tope del colgador 14800 pies
11. Longitud camisa 1200 pies
12. Tubería de perforación 3-1/2 pulg OD , 15.5#/pie

Solución: El diseño de una lechada con las características deseadas requiere trabajo en el laboratorio que duplique las condiciones de temperatura y presión que existen en el hoyo al tiempo de cementar la camisa.

1. Cálculo del tiempo total de operación: Este cálculo se obtiene considerando trabajos anteriores (Fig. 2-F) y los datos calculados para bajar la camisa:

a. Mezclar cemento = 25 min.

b. Bombear cemento = $30 \text{ Bls} \div 3 \text{ BPM} = 10 \text{ min.}$

c. Limpiar líneas = 10 min.

d. Desplazar a 3 BPM:

1. Tubería de perforación

$$D_p = \frac{14800' \times 0.066 \text{ Bls/pie}}{3 \text{ Bls/min.}} = 33 \text{ min.}$$

$$2. \text{ Camisa} = \frac{1200' \times 0.0149 \text{ Bls/pie}}{3 \text{ Bls/min}} = 6 \text{ min.}$$

e. Sacar y desconectar 10 parejas = 20 min.

Total: 104 min

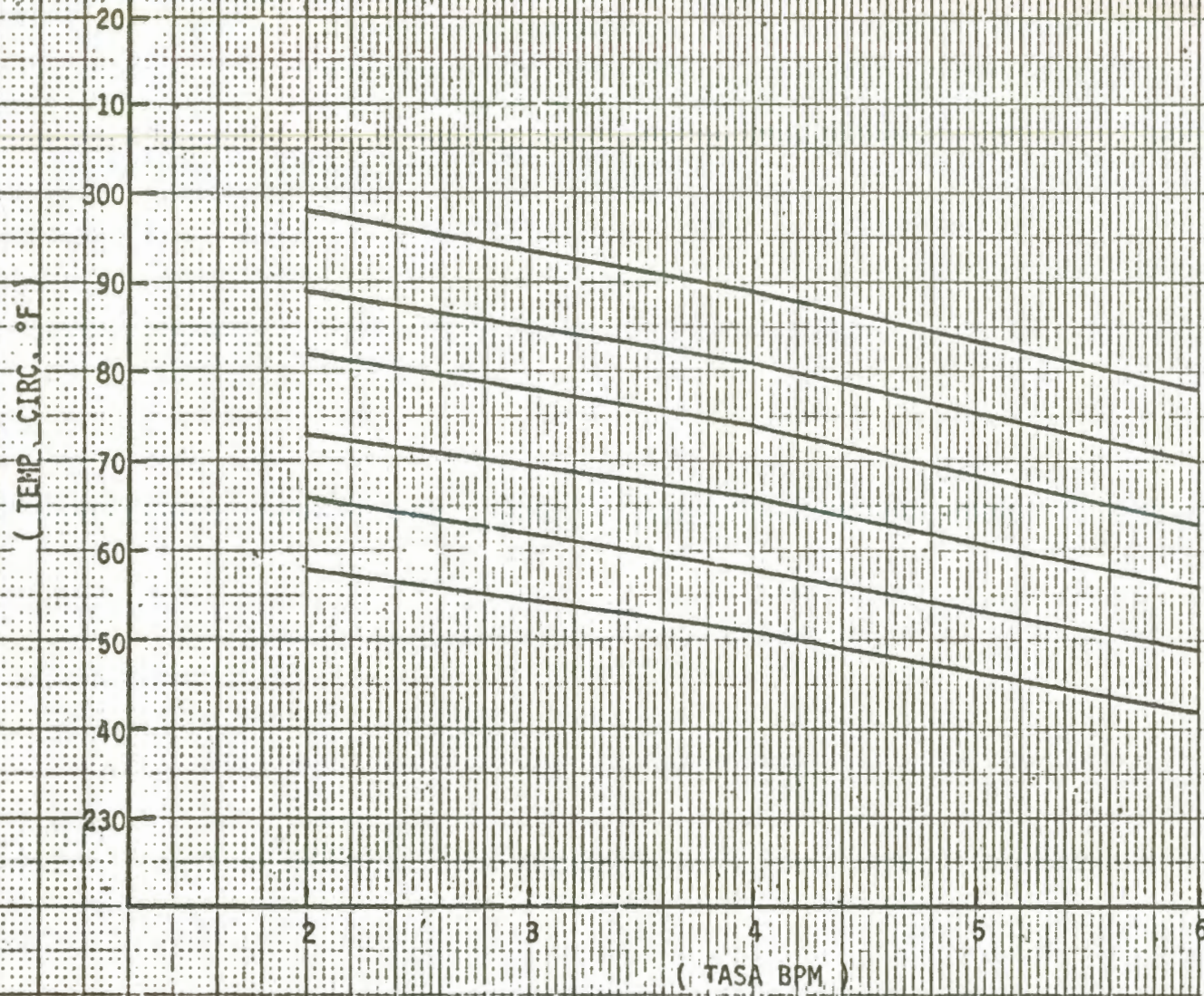
1-3/4 Hrs.

f. Agregar 3/4 Hr. por seguridad 2-1/2 Hrs.

2. Cálculo de la temperatura de circulación: Para saber la temperatura de circulación ver gráficos que se anexan a continuación, obtenidos de los resultados de un programa de computación de transferencia de calor y comparados con los resultados obtenidos por las tablas A.P.I., del Apendice D.

En el gráfico (Fig. 2-A) para la profundidad de 16000', con temperatura estática de 330°F y con una tasa de bombeo de 3BPM,

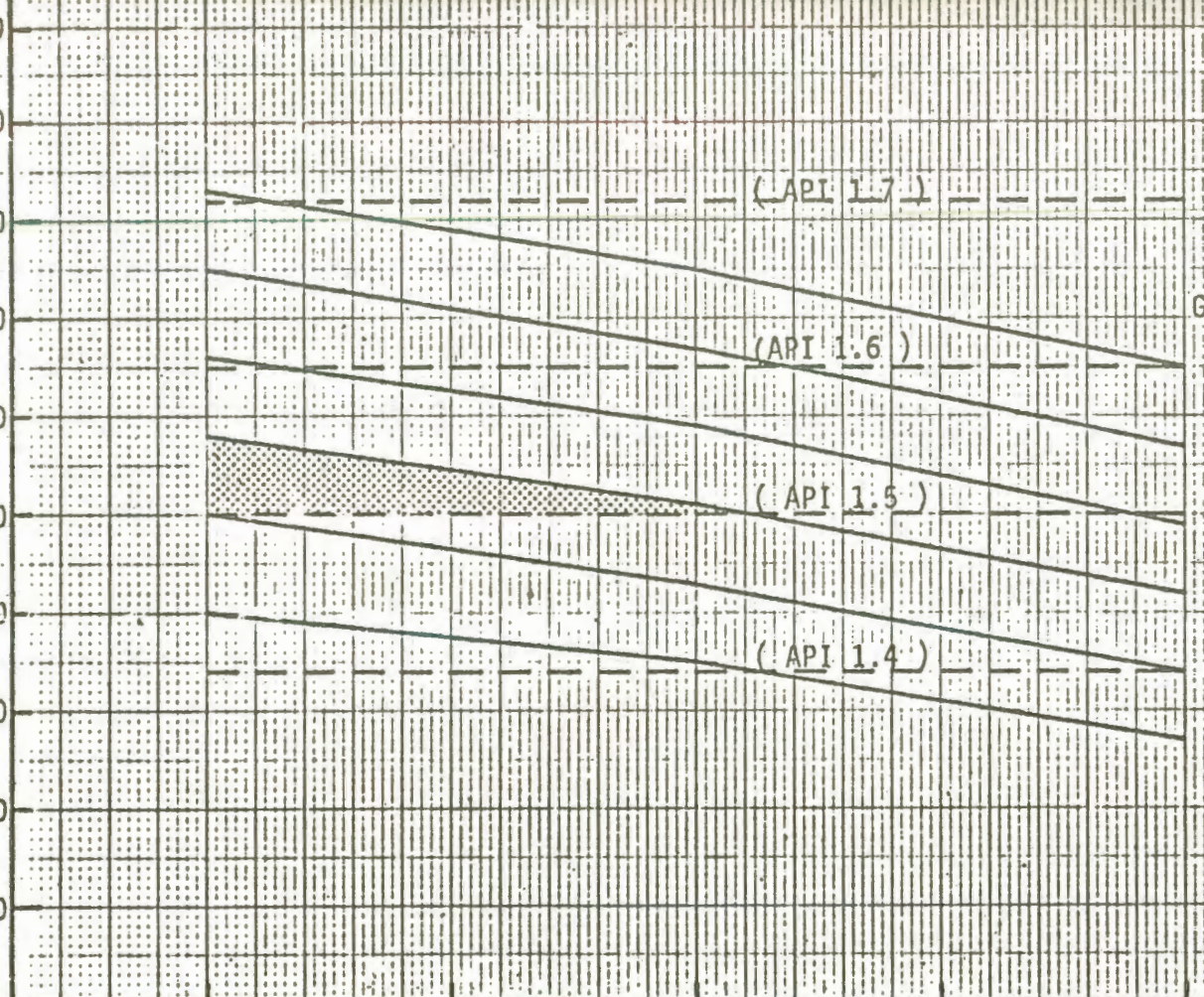
TEMP. DE CIRC. VS. TASA
PROF. DEL POZO=15.000'



GRAD.	TEMP. FONDO=
1.8	350
1.73	" = 340
1.67	" = 330
1.6	" = 320
1.53	" = 310
1.47	" = 300

FIG. 2-A

(TEMP. CIRC. °F)



2 3 4 5 6
(TASA RPM)

FIG. 2-B



FIG. 2-C

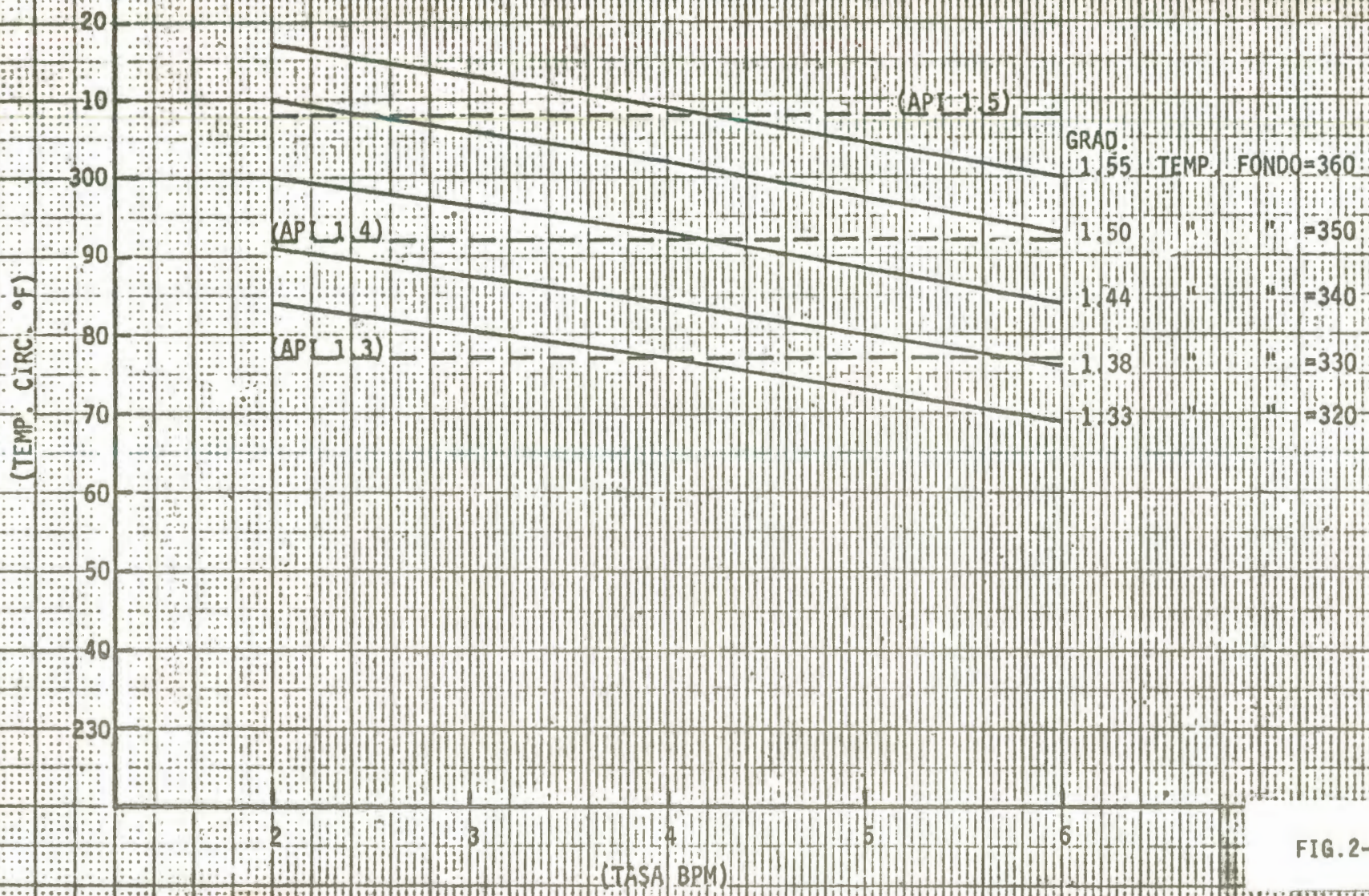


FIG. 2-D

se obtiene una temperatura de circulación de 283°F.

3. Tiempo para alcanzar la temperatura de circulación: El tiempo que necesita la mezcla de cemento para alcanzar los 283°F desde los 110°F que tiene en superficie (esta última que se obtiene a partir de la temperatura del cemento y de el agua Fig.2-E), se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Capacidad tub. perforación} = 0.0066 \frac{\text{Bls}}{\text{pie}} \times 14800' = 98 \text{ Bls.}$$

$$\text{Capacidad camisa (4-1/2")} = 0.0149 \frac{\text{Bls}}{\text{pie}} \times 1200' = 18 \text{ Bls}$$

$$\text{Total:} \quad 116 \text{ Bls.}$$

Luego el tiempo será:

$$t = \frac{116 \text{ Bls}}{3 \text{ Bls/min.}} = 38 \text{ min.}$$

Para que la mezcla adquiera 110°F en superficie, es necesario calentar el cemento y el agua.

4. Presión máxima en el fondo: Este cálculo simula la presión que alcanzará de cero Lppc. en superficie a 16000' en el fondo:

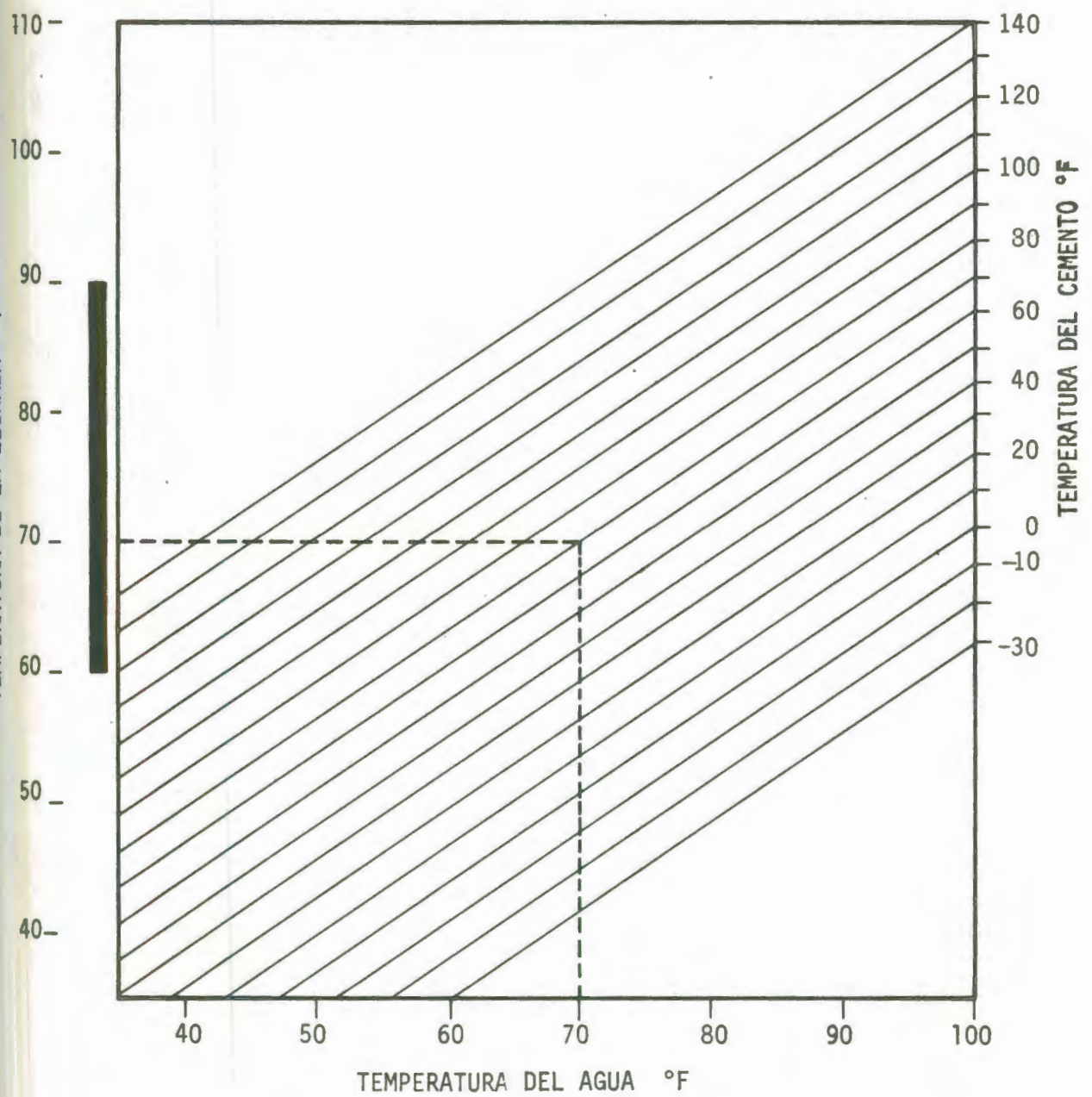
$$P = 0.052 \times \rho \times H$$

$$P = 0.052 \times 13.5 \times 16000$$

$$P = 11232 \text{ Lppc.}$$

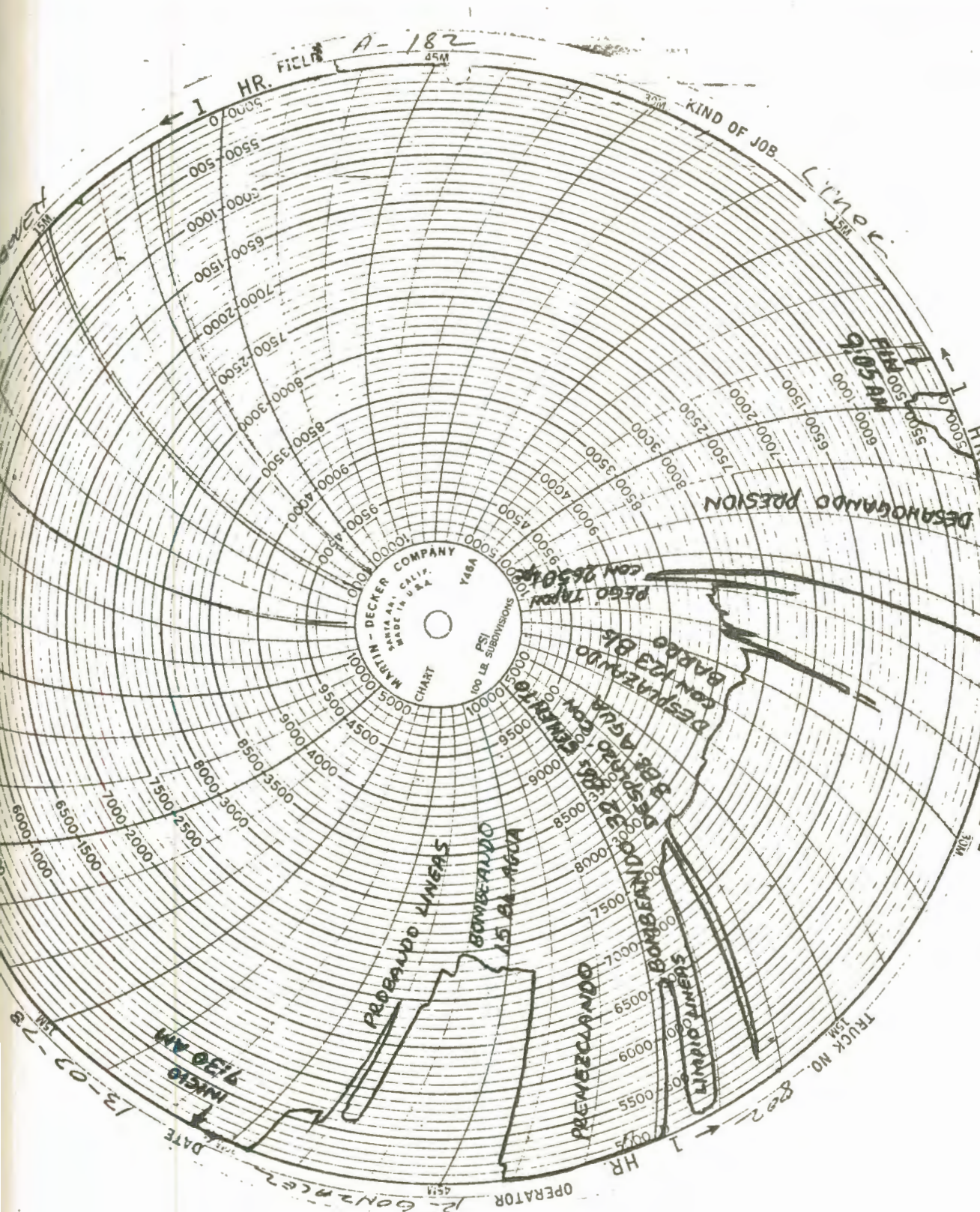
Terminado estos cálculos, vemos que la orden final de diseño

TEMPERATURA DE LA MEZCLA DE
CEMENTO EN SUPERFICIE



TEMPERATURA DE LA LECHADA VS. TEMPERATURA
DEL CEMENTO Y SOLIDOS

FIG. 2-E



REGISTRO DE CEMENTACION

FIG. 2-F

para el laboratorio, es producir una mezcla con 2-1/2 horas de tiempo bombeable, llevando la temperatura de 110°F a 283°F y la presión de cero (0) Lppc a 11232 Lppc en 38 minutos.

La mezcla se debe mantener a 283°F y a una presión de 11232 Lppc, hasta que frague el cemento.

La última prueba que se requiere en el diseño de una lechada es la compresibilidad. Como había indicado en un tópico anterior, se determina mediante el empleo de una prensa hidráulica, después que hayan transcurrido 18 horas desde que se mezcló el cemento y curada a una temperatura representativa del tope de la camisa.

Si los resultados no indican un mínimo de 1500 Lppc de resistencia a la compresión durante las 18 horas, es necesario hacer una prueba a 24 horas o cambiar la mezcla.

El probar un trabajo de cementación cuando el cemento no ha fraguado, unicamente resulta en el requerimiento de forzar cemento por el tope de la camisa.

Pozo : Polita-3

Asunto: Forzamiento de cemento por el tope de la camisa

Datos :

1. Profundidad total = 16978 pies
2. Tope del colgador = 15519 pies

3. Profundidad empacadura = 15116 pies
4. Ultimo revestimiento = 7", 35#/pie P-110
5. Zapata (Revest. 7") = 15743 pies
6. Tubería de perforación = 3-1/2", 15.5#/pie, IF.
7. Peso del barro = 13.5 Lbs/Gal.
8. Capacidades de tubería =
 - 3-1/2" = 0.0066 Bls/pie
 - 7" = 0.035 Bls/pie
 - 7"-4-1/2" = 0.0153 Bls/pie
9. Mezcla de cemento
 - cemento clase A, 35% SF, 0.8% HR-12, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL
 - Densidad = 15.5 Lbs/Gal.
10. Temperatura de fondo = 349°F
11. Temperatura del tope de la camisa = 246°F

Solución: El volumen de cemento que será forzado por el tope de camisa, es el equivalente al volumen comprendido entre el colgador y la zapata del último revestimiento, como se indica en la Fig. 3-A.

Ahora bien, el volumen total de cemento dependerá del volumen de cemento para bombear a la formación antes del forzamiento, cemento entre el tope de la camisa y la última zapata y el volumen de cemento para forzar a la formación.

1. Volumen total de cemento: (V_t)
 - a. Volumen sobre el tope de la camisa (V_{sc})

POZO: POLITA-3

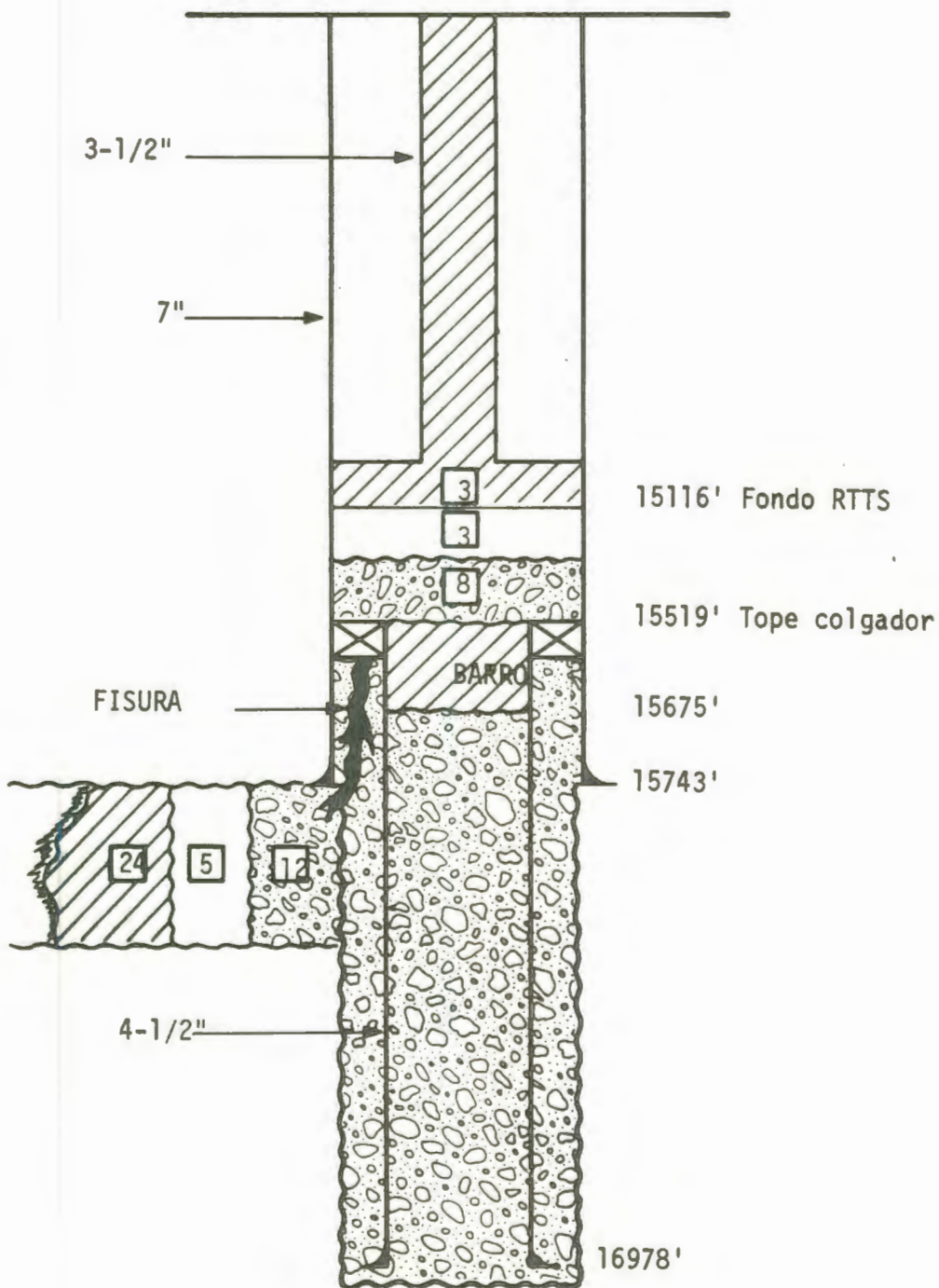


FIG. 3-A

$$V_{sc} = \text{cap. (7")} \times \text{prof.}$$

$$V_{sc} = 0.035 \times 230'$$

$$V_{sc} = 8.0 \text{ Bls.}$$

b. Volumen entre la camisa (4-1/2") y el revestidor (7")

$$V = 0.0153 \times (15743' - 15519')$$

$$V = 3.43 \text{ Bls.}$$

c. Volumen antes del forzamiento (V_f)

Este volumen se considera en base a lo calculado en (a) y (b) con un 100% de exceso, para asegurar una buena operación.

$$V_f = 8 + 3.43$$

$$V_f = 11.43 = 12.0 \text{ Bls.}$$

Luego el volumen total será:

$$V_t = 8 + 3.43 + 11.43$$

$$V_t = 22.86 \text{ Bls.}$$

$$\delta \quad V_t = 23 \text{ Bls.}$$

2. Volumen de desplazamiento (V_d)

$$V_d = \text{cap. (3-1/2")} \times \text{profundidad (empacadura)}$$

$$V_d = 0.0066 \times 15116'$$

$$V_d = 100 \text{ Bls.}$$

3. Volumen entre empacadura y colgador (V_0)

$$V_0 = 0.035 \times (15519' - 15116')$$

$$V_0 = 14 \text{ Bls.}$$

4. Volumen desplazado de barro antes de cerrar el BY-PASS (V_1)

$$V_1 = V_d - (V_s + V_t + V_H)$$

Donde:

$$V_s = \text{Volumen de barro (Seguridad) Bls.}$$

$$V_H = \text{Volumen de agua Bls.}$$

Luego:

$$V_1 = 100 - (10 + 23 + 8)$$

$$V_1 = 59 \text{ Bls.}$$

El V_s son los barriles de lodo dentro de la tubería de perforación, por debajo del primer colchón de agua, en donde el BY-PASS (válvula de paso) es cerrado, con el fin de evitar que el cemento entre a la empacadura.

5. Volumen para desplazar el cemento a la formación (V_2)

$$V_2 = (V_d - V_1) + (V_0 - V_{sc} - V_H)$$

$$V_2 = (100 - 59) + (14 - 8 - 3)$$

$$V_2 = 44 \text{ Bls.}$$

6. Prueba de fraguado y compresiva

A) Análisis del tiempo total

Mezclado	45 min
Bombeando 59 Bls. (5 BPM)	12 min
Forzando 44 Bls (3 BPM)	15 min
Limpiando tanques y líneas	15 min
Esperando 5 min. y forzando	
4 Bls. a 1 Bl. cada 5 min.	45 min
Tiempo en reversar	20 min
	<hr/>
Total:	152 min
	2:32 Hrs.
Factor de seguridad	3:00 Hrs.

B) Presión en el tope de la camisa

$$P = 0.052 \times (13.5) \times 15519'$$

$$P = 10894 \text{ Lppc.}$$

C) Temperatura de circulación

Para 15519' tengo 249°F, lo que significa un gradiente de 1.09°F/100 pies. Interpolando los valores de 0.9 y 1.1°F/100 pies y entre 14000' y 16000'. En la Tablas API, del Apéndice D, obtengo una temperatura de circulación de 203°F.

Resultados de la operación: Antes del forzamiento de cemento por el tope de la camisa, se hizo la prueba de inyektividad, con 4200 Lppc a una tasa de bombeo de 3 BPM para un volumen de 7.5 Bls. de barro que tomó la formación.

Las cartas que registran la operación total; esto es, antes y después del forzamiento, se anexan a continuación, (Fig. 3-B y 3-C).

El forzamiento de cemento se controló mediante una prueba de integridad de presión, resistiendo 6000 Lppc. durante 5 minutos.

Además al desahogar la presión no hubo retorno, con lo cual nos aseguramos más, que el forzamiento por el tope de la camisa fue exitoso.

Es importante señalar que la mezcla de cemento para este tipo de trabajos debe ser de baja pérdida de fluido, porque los conductos para el flujo son muy reducidos. En muchos de los casos, dependiendo del diseño del colgador, puede ser necesario perforar la camisa a una profundidad justamente debajo del tope del colgador, para lograr acceso del fluido a la región de superposición, comprendida desde el tope de la camisa hasta la zapata del último revestidor donde se asienta el colgador.

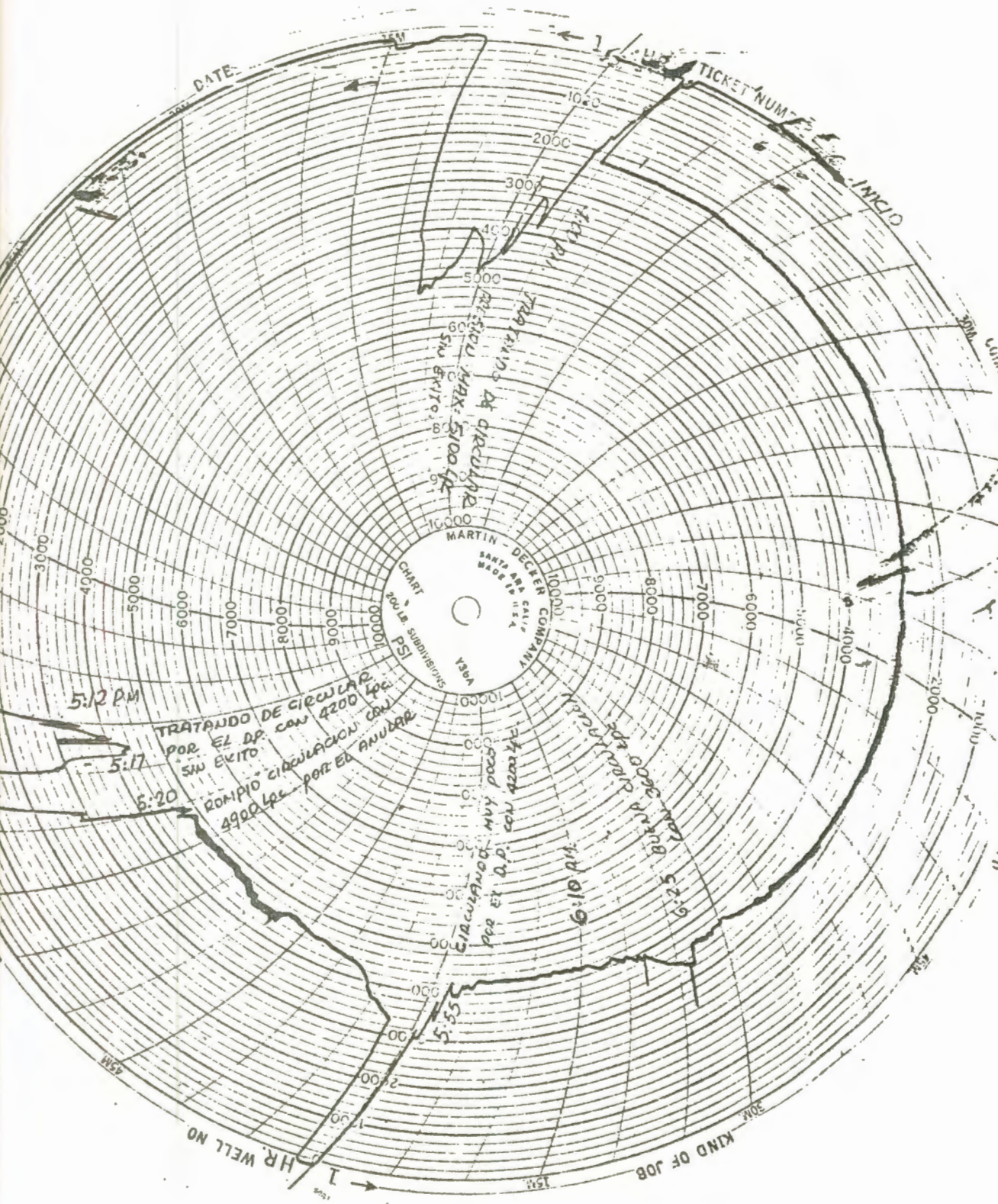


FIG. 3-B

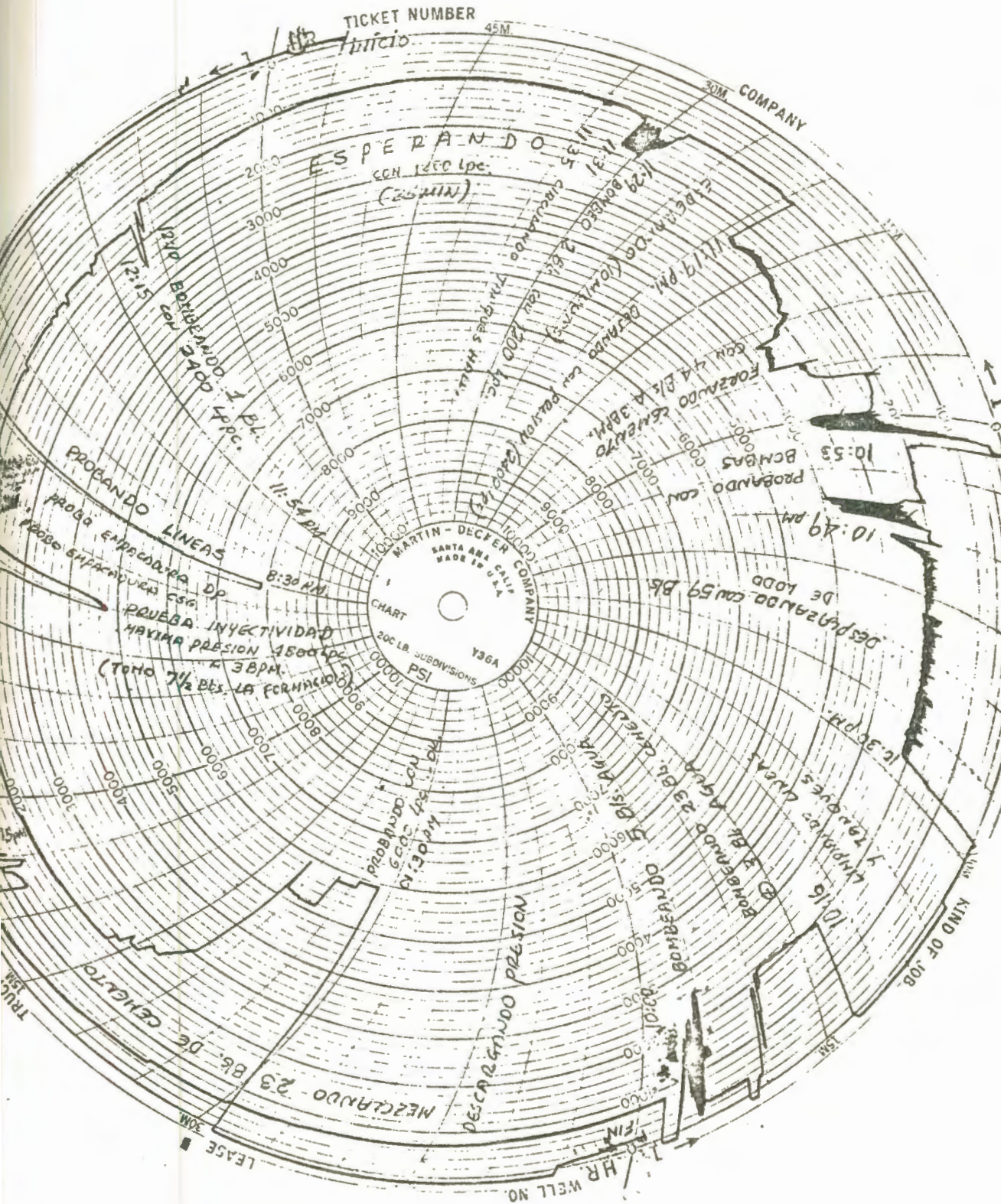


FIG. 3-C

CAPITULO V

DISCUSION DE RESULTADOS

A continuación se presenta un análisis de los resultados obtenidos en la cementación de una camisa lisa de 4-1/2 pulgadas, 13.5 Lbs/pie, P-110 en 20 pozos profundos del cretáceo, en las asignaciones de la empresa Lagoven como se indica en la Tabla V.

Se discute y se evalúa el tipo de completación utilizado, resultados de la cementación, tipos de pozos y la incidencia de este procedimiento en la producción de los mismos.

Al principio los pozos profundos se completaban a hueco abierto o mediante una camisa ranurada de 3-1/2" o 4-1/2". Las completaciones a hueco abierto se continuaron utilizando, en aquellos pozos cuyos registros indicaban una baja permeabilidad.

Pero en vista de los fragmentos de caliza que se producían con el petróleo debido a la constante erosión de las formaciones que llegaban a tapar la tubería euductora, se empezó a completar con camisas ranuradas.

Para tener una mayor optimización en la producción, se continuó con la práctica de la tubería ranurada en la sarta de producción por debajo de la empacadura permanente, obteniendo dos sistemas de protección: primero por el revestidor ranurado y segundo por el niple de producción ranurado.

La completación con una camisa ranurada de 3-1/2", presentó problemas, debido a la deposición de asfaltenos. Para superar estos problemas se cambió el revestidor ranurado de 3-1/2" a 4-1/2" y la empaadura permanente se asentó 2000 pies arriba del colgador de 4-1/2" evitando su obstrucción por un relleno de asfaltenos en la camisa, durante los intervalos de cierre en el pozo por cambios experimentados en la presión, temperatura y en la solubilidad del petróleo.

Igualmente, la tubería de producción de 3-1/2", N-80, EUE, se cambió a 3-1/2" - 12.95#/pie - C-75, debido a la presencia de ácido sulfídrico (H_2S).

Ante estos problemas y analizando los datos de producción, se introduce un nuevo tipo de completación, la cementación de una camisa lisa de 4-1/2", 13.5#/pie, P-110.

Las composiciones de cemento utilizadas en cada pozo como se indica en la Tabla VI en la mayoría de ellas se utilizó Silica Flour y los aditivos: LWL, CFR-2, HR-4 y HR-12.

La silica flour se usó para mejorar la resistencia a la compresión a elevadas temperaturas de los pozos, que varían desde los 230°F a 320°F, y evitar la retrogresión del cemento después de haber fraguado. Por efecto de las altas presiones y temperaturas el agua de la mezcla tratará de fluir a la formación en zonas permeables o evaporarse, dando lugar a una deshidratación anticipada, entonces para controlar este fenómeno se utiliza el aditivo LWL (baja pérdida de agua). En cambio la utilización del CFR-2 ha dado muy buenos resultados por las propiedades viscosas que presenta, porque ayuda a

obtener turbulencia a bajas tasas de desplazamiento.

Igualmente los aditivos HR-4 y HR-12, han sido requeridos para prolongar el tiempo de espesamiento o de fraguado y que han dado óptimos resultados, por su excelente acción dispersante que ayudan a reducir la fricción.

Las ventajas que presenta una camisa lisa son: selectividad de las zonas productoras que previene una alta producción de agua o gas, control en los trabajos de estimulación.

Específicamente, después de cementar una camisa de 4-1/2", colgada en el revestimiento de 7", unos 200 pies arriba de zapata, se limpia el cemento dejado arriba del colgador para asegurar un buen sello en el tope de la camisa que generalmente son 200 pies y luego efectuar la prueba PIP (prueba de integridad de presión), con unas 3500 a 4000 Lppc por un tiempo de 10 a 15 minutos, y en caso de no tener éxito hay que efectuar un forzamiento de cemento por el anular.

Posteriormente, se limpia dentro de la camisa con una mecha de 2-5/8" hasta el cuello flotador aproximadamente para comprobar la cementación en la zapata y se efectúa mediante una prueba de integridad de presión (PIP). Si esta prueba es positiva, se realiza a continuación la prueba seca. Se desplaza la capacidad de la tubería de perforación con Gas-Oil, de esta forma se consigue un diferencial de presión hacia el pozo, que en el caso de existir figuras o canales en el cemento fraguado, el pozo tratará de fluir y será necesario forzar cemento, en caso de obtener resultados positivos se prosigue con la completación del pozo. La camisa es cañoneada selectivamente

en los extratos productivos a través de la tubería de producción con un cañón de dos pulgadas.

Haciendo una evaluación de todos los trabajos por medio de una estadística de los éxitos y de las fallas de la cementación de los 20 pozos considerados en este estudio, los cuales son 8 pozos de reparación y rehabilitación y la diferencia son pozos nuevos; la cementación primaria ha tenido un éxito del 50% en los pozos en reparación y en los pozos nuevos del 83%, estableciendo un balance general se ha logrado obtener el 70% de éxito.

El 30% de fracaso en la cementación primaria, básicamente se atribuye a problemas con el equipo y las propiedades de flujo deficientes que se alcanzaron durante la cementación.

Respecto al equipo, los resultados demostraron que durante la perforación del hoyo de 5-5/8" se había empleado un ensamblaje que no era lo suficientemente rígido por la excesiva tubería pesada (Heavy Weight) en el ensamblaje, permitiendo que la sarta golpee constantemente contra las paredes del hoyo, resultado de ello un continuo desmoramiento y además formaciones fracturadas.

Cuando fue corrido un registro de calibración del hoyo, se observan lecturas muy grandes producto del pandeamiento que tenía la tubería durante la perforación.

En forma similar haciendo un análisis de las propiedades de flujo durante la cementación como se indican en la Tabla VIII, un 25% de los pozos

no alcanzaron a obtener flujo turbulento, por tener un hoyo muy grande, y aquí es importante hacer notar que en los pozos de rehabilitación se presentó el mismo problema, debido a que el hoyo producido era muy grande por la continua erosión de la formación durante la producción.

Las propiedades de flujo se calcularon en base a las propiedades del fluido de perforación indicado en la Tabla VII para luego ser comparados con los resultados de la operación registrados en la carta de cementación. Se comprobó que la cementación primaria en dos pozos falló, aunque se alcanzó flujo turbulento por lo cual hubo que forzar cemento por el tope de la camisa.

Ahora bien, como son pozos nuevos se deduce que hubo una posible pérdida de circulación durante la cementación, por presentar un hoyo inestable. En el otro pozo falló el equipo para colgar la camisa y además cuando se estaba circulando para cementar se perdió \pm 50 barriles de barro posiblemente por las fracturas inducidas durante la perforación. En otro pozo el cuello de asentamiento falló porque el tapón no pudo pegar y se observó por el retorno de barro a la superficie.

Después de hacer un análisis en base de los trabajos realizados, la eficiencia de completar con una camisa cementada, se refleja en base a los resultados de producción como se puede ver en la Tabla X. Para un pozo de rehabilitación la producción anterior comparado después de cementada la camisa, presenta un aumento no muy significativo, que la producción posterior a un trabajo de estimulación (generalmente una acidificación), que se puede hacer por tener una camisa cementada.

En cambio para un pozo nuevo, la producción dependerá lógicamente de las reservas existentes en el yacimiento y de sus condiciones petrofísicas.

Durante la producción de estos pozos, se han presentado problemas debido a la deposición de asfaltenos, que se originan por la precipitación de los sólidos contenidos en el petróleo al variar la presión, la temperatura y el gas disuelto cuando el pozo se cierra, que en algunos casos ha sido muy crítico porque llegan a obstruir las perforaciones cañoneadas en el revestidor, que fue necesario efectuar un trabajo de limpieza bombeando un disolvente (VISCO-3903) con Gas Oil.

TABLA V
POZOS CEMENTADOS UNA CAMISA

POZO	PROFUNDIDAD (pies)	TIPO DE POZO
EV- 1	16091	Rehabilitación
EV- 2	16600	Rehabilitación
EV- 3	17019	Nuevo
EV- 4	14530	Rehabilitación
EV- 5	16491	Nuevo
EV- 6	16231	Nuevo
EV- 7	16690	Nuevo
EV- 8	17765	Nuevo
EV- 9	17830	Rehabilitación
EV-10	16920	Nuevo
EV-11	16898	Nuevo
EV-12	16127	Rehabilitación
EV-13	16447	Nuevo
EV-14	16500	Nuevo
EV-15	16975	Rehabilitación
EV-16	16783	Rehabilitación
EV-17	16167	Rehabilitación
EV-18	17750	Nuevo
EV-19	16475	Nuevo
EV-20	17450	Nuevo

TABLA VI
VOLUMEN Y COMPOSICION DE LA MEZCLA

POZO N°.	LONGITUD CAMISA (Pies)	VOLUMEN DE MEZCLA (Bls)	COMPOSICION QUIMICA
EV- 1	1301	30	210Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.6%LWL, 1.2%HR-12
EV- 2	1309	35	430Sx, 35%SF, 2%Gel, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL, 0.4%HR-12, 10#/Sx. Kolite.
EV- 3	1744	43	360Sx, 35%SF, 2%Gel, 1.5%CFR-2, 0.7%HR-12, 0.5%LWL, 10#/Sx. Kolite.
EV- 4	1294	32	1000Sx, 35%SF, 2%Gel, 10#/Sx. Kolite, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL.
EV- 5	1549	56	162Sx, 35%SF, 10#/SxKolite, 2%Gel, 1.5%CFR-2, 0.6%LWL, 0.4%HR-12.
EV- 6	1378	25	180Sx, 35%SF, 2%Gel, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL, 0.4HR-12, 10#/Sx. Kolite.
EV- 7	1734	30	280Sx, 35%SF, 2%Gel, 10#/Sx. Kolite, 0.5%LWL, 0.4% HR 4
EV- 8	1570	28	260Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL, 0.8%HR-12.
EV- 9	1709	75	210Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL, 0.4%HR-4.
EV-10	1448	32	190Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.8%HR-12, 0.5%LWL.
EV-11	1631	35	123Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.9HR-12, 0.5%LWL.
EV-12	1207	30	300Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.6%LWL, 1.2HR-12.
EV-13		35	100Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 1.2%HR-12, 0.5%LWL.
EV-14	1739	32	114Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL, 1.2%HR-12.
EV-15	1438	104	152SX, 3.5%SF, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL, 1.2%HR-12
EV-16	1576	102	700Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.6% HR-12
EV-17	1389	38	220Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.6%LWL, 1.2%HR-12
EV-18	1740	39	300Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 1%HR-12, 0.5%LWL.
EV-19	1731	36	210Sx, 35%SF, 0.5%LWL, 1.5%CFR-2, 1%HR-12
EV-20	1742	30	160Sx, 35%SF, 1.5%CFR-2, 0.5%LWL, 1%HR-12

NOTA: El cemento es clase A.

TABLA VII
PROPIEDADES DEL BARRO

POZO	PESO DEL BARRO (LPG)	VISCOSIDAD PLASTICA (CPS)	PUNTO CEDENTE	GELES INICIAL-FINAL
EV- 1	11.0	38	6	2-4
EV- 2	12.6	20	9	3-8
EV- 3	12.8	40	10	2-7
EV- 4	12.8	44	7	2-8
EV- 5	11.1	17	5	2-5
EV- 6	9.4	24	10	3-9
EV- 7	13.6	14	9	2-8
EV- 8	12.8	32	6	2-6
EV- 9	13.2	12	7	3-8
EV-10	11.9	24	8	2-9
EV-11	13.0	26	7	2-15
EV-12	11.0	28	8	3-6
EV-13	13.1	28	6	2-5
EV-14	12.0	25	6	2-6
EV-15	11.8	24	9	2-8
EV-16	12.8	22	8	2-10
EV-17	12.5	16	8	2-5
EV-18	15.7	31	22	5-16
EV-19	12.0	25	5	2-6
EV-20	12.3	15	7	2-5

TABLA VIII
PROPIEDADES DE FLUJO

POZO N°.	VELOCIDAD CRITICA (PIE/MIN.)	TASA DE BOMBEO (BPM)	FLUJO TURBULENTO (SI/NO)
EV- 1	447	4.94	SI
EV- 2	236	4.30	NO
EV- 3	432	4.77	SI
EV- 4	445	4.92	SI
EV- 5	248	2.74	SI
EV- 6	399	4.41	SI
EV- 7	231	2.55	SI
EV- 8	342	3.78	SI
EV- 9	205	2.27	NO
EV-10	316	3.49	SI
EV-11	300	3.32	SI
EV-12	370	4.09	SI
EV-13	306	3.38	SI
EV-14	305	3.37	SI
EV-15	326	3.60	NO
EV-16	284	3.14	NO
EV-17	248	2.75	NO
EV-18	374	4.14	SI
EV-19	240	2.64	SI
EV-20	235	2.60	SI

TABLA IX
EVALUACION DE LA CEMENTACION

POZO N°.	CEMENTACION PRIMARIA	FORZO CEMENTO (SI/NO)
EV- 1	<i>Exito</i>	-
EV- 2	<i>Problemas con equipo</i>	SI
EV- 3	<i>Exito</i>	-
EV- 4	<i>Exito</i>	-
EV- 5	<i>Exito</i>	-
EV- 6	<i>Exito</i>	-
EV- 7	<i>Presencia de gas o petróleo o posible pérdida de circulación</i>	SI
EV- 8	<i>Exito</i>	-
EV- 9	<i>Diámetro del hoyo grande</i>	SI
EV-10	<i>Exito</i>	-
EV-11	<i>Exito</i>	-
EV-12	<i>Exito</i>	-
EV-13	<i>Posible pérdida de circulación</i>	SI
EV-14	<i>Exito</i>	-
EV-15	<i>Falló cuello de asentamiento</i>	SI
EV-16	<i>Exito</i>	-
EV-17	<i>No se logró flujo turbulento</i>	SI
EV-18	<i>Exito</i>	-
EV-19	<i>Exito</i>	-
EV-20	<i>Exito</i>	-

.TABLA X
RESULTADOS EN LA PRODUCCION

POZO	TIPO DE POZO	PRODUCCION DIARIA (BPD)	
		ANTES DE CEMENTAR	DESPUES DE CEMENTAR
EV- 1	R	213	1536
EV- 2	R	360	5412
EV- 3	N	-	1500
EV- 4	R	934	4050
EV- 5	N	-	2136
EV- 6	N	-	3048
EV- 7	N	-	1132
EV- 8	N	-	394
EV- 9	R	392	490
EV-10	N	-	4132
EV-11	N	-	2639
EV-12	R	264	1448
EV-13	N	-	106
EV-14	N	-	3786
EV-15	R	98% Agua	-
EV-16	R	62	214
EV-17	R	307	2832
EV-18	N	-	2101
EV-19	N	-	2416
EV-20	N	-	NC

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso de camisas cementadas para terminar los pozos hasta las calizas del cretáceo es el mejor método de completación encontrado hasta ahora.

La utilización de cemento "Premezclado" con las características deseadas, es la clave del éxito de la cementación de camisas.

La velocidad crítica para alcanzar turbulencia en el espacio anular, durante la cementación de camisas es el factor más importante en la tasa de bombeo.

El cemento debe ser sometido a pruebas de fraguado y de compresión antes de ser bombeado. Sin embargo, el tiempo de fraguado no debe ser mayor de 1-1/2 a 2 horas comparado con el tiempo total de operación.

El colgador de la camisa debe ser rigurosamente inspeccionado con la finalidad de minimizar los riesgos de falla.

Es necesario realizar una prueba diferencial o "Seca" después de probar en el tope y la zapata de la camisa, con el objeto de terminar el pozo en condiciones óptimas.

Los problemas de pérdida de circulación ocurridos durante la perforación del pozo, determinan la limitación de la tasa de bombeo y el tipo de cemento a utilizarse.

8. El trabajo de corrida y cementación de camisas en pozos profundos, debe ser supervisado por el personal de Ingeniería y Operaciones de mayor experiencia; debido al alto riesgo involucrado, que podría llegar inclusive, a la pérdida del pozo.

NOMENCLATURA

SIMBOLO

UNIDADES

Ph	Presión Hidrostática	LPPC
ρ_F	Densidad del Fluido	Lbs/Gal.
H	Profundidad	Pies
ρ_o	Densidad del Petróleo	Lbs/Gal.
ρ_b	Densidad del Barro	Lbs/Gal.
Ps	Presión de Superficie	LPPC
ΔP	Diferencial de Presión	LPPC
Pe	Presión de Estallido	LPPC
GI	Gradiente Interno	LPPC/Pie
GE	Gradiente Externo	LPPC/Pie
Pc	Presión al Colapso	LPPC.
ρ_g	Densidad del Gas	Lbs/Gal.
Pn	Plano Neutral	Pies
FF	Factor de Flotación	Adimensional
L	Longitud de la Tubería	Pies
ρ_H	Densidad del Hierro	Lbs/Gal.
Prt	Peso Real de la Tubería	Lbs.
dl	Densidad Lineal de la Tubería	Lbs/Pie
Tc	Tasa de Corte	SEG ⁻¹
Dh	Diámetro del Hoyo	Pulg.
Dp	Diámetro de la Tubería	Pulg.
Ec	Esfuerzo de Corte	Lbs/pie ²
\bar{v}	Velocidad Promedio del Espacio Anular	Pie/Min.
Q	Tasa de Circulación	BPM
n'	Indice de Comportamiento de Flujo	Adimensional
k'	Indice de consistencia	Lbs-seg/pie ²
Pr	Pérdida de Presión	Lppc/1000 pies
DEC	Densidad Equivalente de Circulación	Lbs/Gal
VF	Velocidad del Fluido	Pie/Min.
Vp	Velocidad de la Tubería	Pie/Min.
Vc	Velocidad de Corrida	Seg/Tubo

D_z	Desplazamiento	Gal/Pie
CAP.	Capacidad Anular	Pie/Gal.
\bar{V}_r	Velocidad Relativa	Pie/Min.
$V_{r\text{prom}}$	Velocidad Relativa Promedio	Pie/Min.
Δ_p	Area de Contacto en el Revestimiento	Pulg/Pie.
Δ_h	Area de Contacto en el Hoyo	Pulg/Pie.
PSG.	Presión de Surgencia	LPPC.
PSP	Presión Surgente Permisible	LPPC.
P_m	Peso de la Mezcla de Cemento	Lbs.
SG	Gravedad Específica del Material	Adimensional
ρ_m	Densidad de la Mezcla	Lbs/Gal.
R	Rendimiento de la Mezcla	Pie ³ /Sx.
V_t	Volumen Total de la Mezcla	Bls.
D	Diámetro Equivalente	Pulg.
N_{re}	Número de Reynolds	Adimensional
μ	Viscosidad del Fluido	cps.
PC	Punto Cedente	Lbs/100 pie ²
VP	Viscosidad Plástica	cps.
V_{CR}	Velocidad Crítica	Pie/Seg.
f	Factor de Fricción de Fanning	Adimensional
Qt	Pérdida de Fluido (Filtrado)	Cm ³
r_h	Radio Hidráulico	Pulg.

DESCRIPCION DE LOS ADITIVOS

- GEL** *Bentonita-Montmorillonita de Sodio- Es una arcilla coloidal que imparte propiedades viscosas y tixotrópicas que en contacto con el agua se hincha dando un volumen aproximadamente 10 veces de su original.*
- SF** *Sílica Fluor, utilizado principalmente para evitar la pérdida de la resistencia del cemento a elevadas temperaturas.*
- LWL** *(Lower Water Loss) Baja pérdida de agua; es un polímero orgánico (Celulosa) de alto peso molecular y su función es controlar la pérdida de agua.*
- CFR-2** *(Cement-Friction-Reducer) es un dispersante y se utiliza como un inductor de turbulencia, porque reduce las propiedades viscosas cuando se necesita desplazar el cemento a bajas tasas de bombeo y altas temperaturas.*
- HR-4** *(Halliburton Retarders), es un lignosulfonato de calcio para cemento puro con bajo porcentaje de bentonita para altas temperaturas.*
- HR-7** *Aditivo tipo lignosulfonato diseñado como retardador y dispersante a elevadas temperaturas con alto porcentaje de bentonita.*

HR-12

Es un compuesto orgánico usado como retardador para temperaturas superiores a 300°F, además es un buen dispersante y permite menor uso de materiales pesados para obtener mezclas de alta densidad.

CMHEC

Caboxil-Metil-Hidroxil-Etil-Celulosa, es un derivado soluble de la madera y es un retardador altamente efectivo.

APENDICES

APENDICE A

PRUEBA DE INTEGRIDAD DE PRESION

APENDICE B

DISEÑO DE UN REVESTIMIENTO DE PRODUCCION
Y DE UNA CAMISA

APENDICE C

LISTADO DE PROGRAMAS PARA UNA CALCULADORA
TI-SR-52.

APENDICE D

PROGRAMAS API PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA
DE CIRCULACION

APENDICE A

PRUEBA DE INTEGRIDAD DE PRESION

PRUEBA DE INTEGRIDAD DE PRESION

Durante la perforación es importante tener un conocimiento exacto de la presión de fractura de la formación, inmediatamente debajo de la zapata del revestidor.

La medida de la presión puede obtenerse realizando el procedimiento de campo relativamente simple denominado prueba de integridad de presión.

Este procedimiento básico se emplea también cuando un revestimiento es sometido a pruebas de presión y para comprobar la cementación alrededor de la zapata del revestidor.

Teoría y Procedimiento:

La prueba de integridad de presión (PIP) se realiza cerrando un impide-reventones y lentamente bombeando lodo al pozo hasta que se logre la presión especificada de prueba del revestidor o el límite de PIP especificado para hoyos desnudos.

Durante la prueba se construye un gráfico de la presión en superficie contra el volumen acumulado bombeando, para saber cuando se debe parar las bombas.

La figura que a continuación se presenta, es el resultado típico de una prueba de integridad de presión. (Fig. A-1)

GRAFICO TIPICO DE PIP

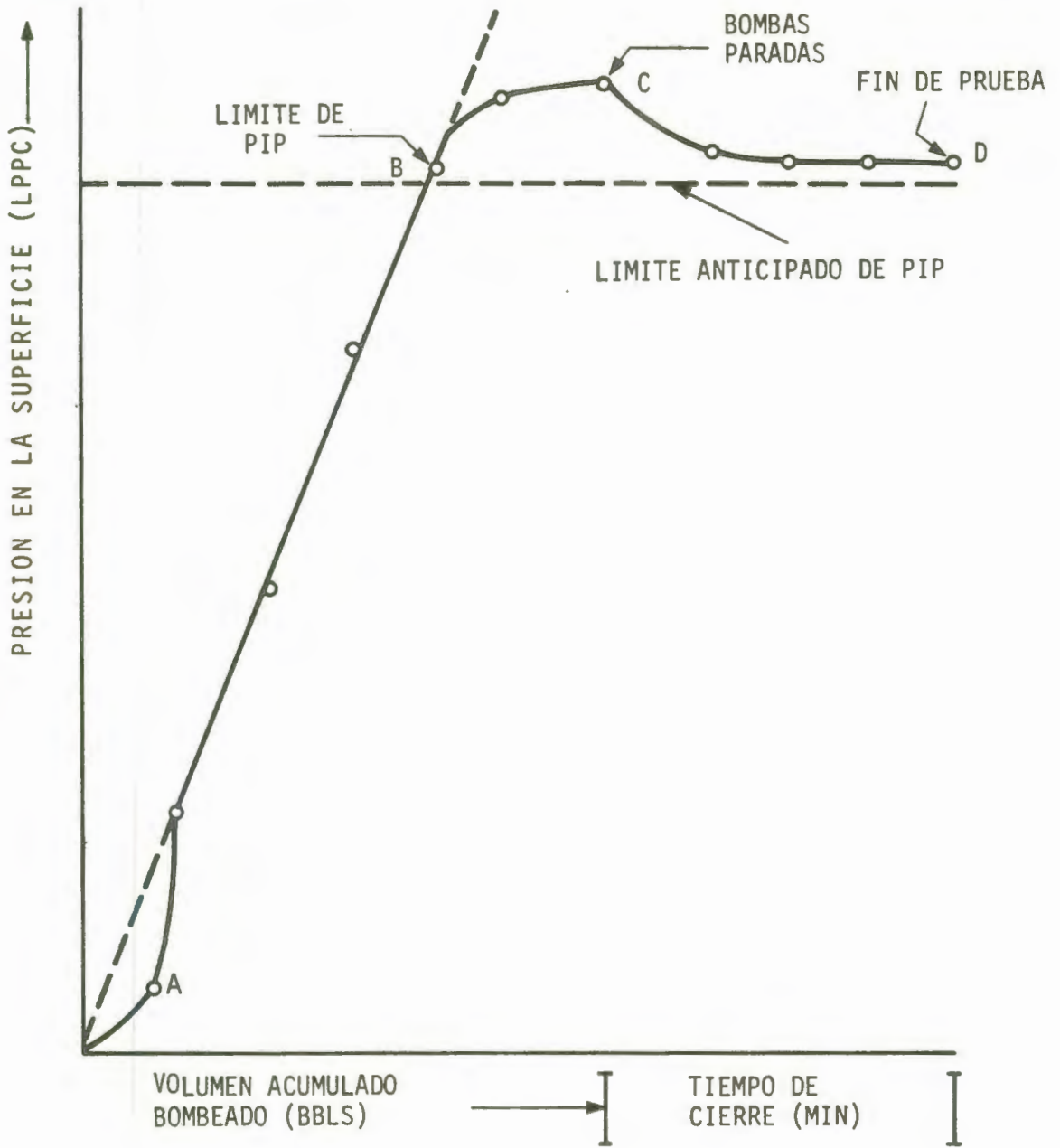


FIG. A-1

Analizando la curva presentada observamos que una vez compensado el relajamiento (A) del sistema, se produjo un aumento constante de presión por cada barril de lodo bombeado, de tal manera que todos los puntos del gráfico caen en una línea recta. Este es el mismo efecto que se aprecia cuando se somete una tubería de revestimiento a una prueba de presión antes de comenzar nuevamente a perforar.

Al seguir bombeando volúmenes iguales de lodo vemos que la presión va aumentando hasta el punto B, pero de aquí en adelante los puntos graficados empiezan a separarse de la línea recta.

Esto nos indica que a partir del punto B la formación empieza a ceder ya que se nota menos incremento de la presión a pesar que es el mismo volumen de lodo bombeado. El punto B se denomina el límite de PIP y la presión correspondiente leída en superficie a este mismo punto será usada para calcular la presión de fractura de la formación.

Generalmente la presión de fractura se expresa en términos de peso equivalente del lodo o comúnmente llamada densidad equivalente de circulación.

Como puede apreciarse en la gráfica es necesario anotar varios puntos más a medida que la curva se aleja de la recta, para constatar que se ha alcanzado el límite PIP.

En el punto C las bombas fueron paradas y la presión de cierre correspondiente debe ser anotada.

Entre los puntos C y D el pozo se mantuvo cerrado hasta que se estabilizara la presión en superficie.

Cálculo de la Presión de Fractura de la Formación:

La presión anotada al límite PIP es la que se usa para calcular la presión de fractura de la formación o llamada la densidad equivalente de circulación del lodo.

La ecuación que se emplea, es la siguiente:

$$DEC = \rho_b + \frac{\text{Limite PIP}}{0.052 * H}$$

Donde:

DEC = Densidad equivalente de circulación Lbs/Gal.

ρ_b = Densidad del lodo en el hoyo Lbs/Gal.

Limite PIP = Presión a la cual cede la formación LPPC

H = Profundidad de la zapata Pies.

Es posible hacer pruebas PIP, durante arrastre de la tubería bien sacando o metiéndola en el hoyo, durante el bombeo por la sarta de perforación, por el anular o ambas simultáneamente.

Cada procedimiento operacional tiene su mérito, pero pueden introducirse errores en los resultados de las pruebas debido a la falta de uniformidad de densidad de las dosis de lodo bombeadas por la tubería de perforación y en el espacio anular por el ripio o también por la gelatinosidad del lodo.

VOLUMEN DE FLUIDO REQUERIDO
 PARA INCREMENTAR LA PRESION
 EN REVESTIDORES DE VARIOS DIAMETROS
 Y HOYO DESNUDO

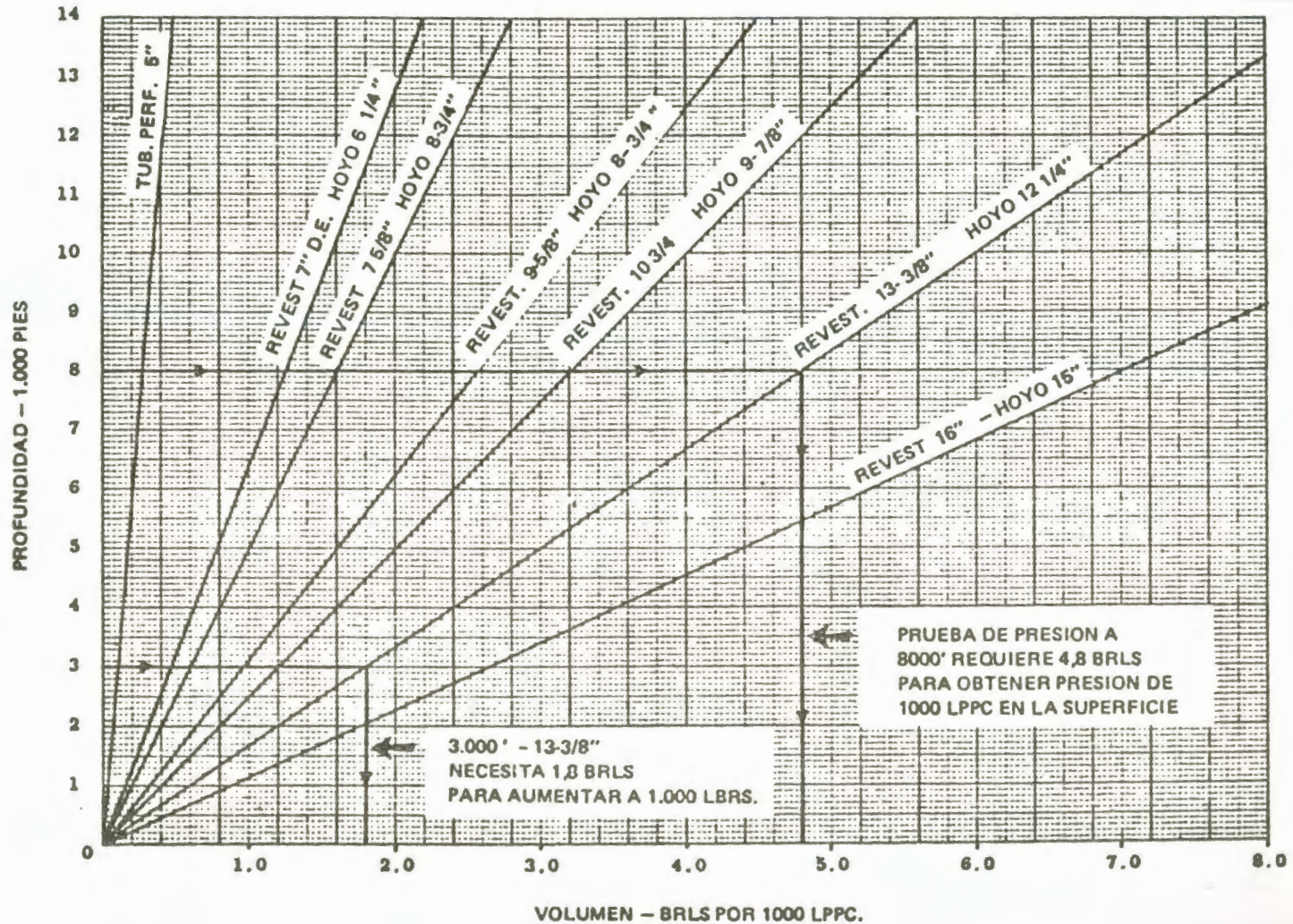


FIG.A-2

El volumen de fluido requerido para incrementar la presión en revestidores de varios diámetros y en hoyo desnudo, pueda ser determinado por la carta que se presenta a continuación, conociendo la profundidad y el diámetro del hoyo o del revestimiento en donde se efectuará la prueba de integridad de presión. (Fig. A-2)

La presión anticipada de PIP se calcula a partir del gradiente de presión de la formación, el mismo que se obtiene durante la perforación o por datos de presión de pozos vecinos en la misma área.

APENDICE B

DISEÑO DE UN REVESTIMIENTO DE
PRODUCCION Y DE UNA CAMISA

DISEÑO DE UN REVESTIMIENTO DE PRODUCCION

Y DE UNA CAMISA

El principal requisito del revestimiento de producción es el de respaldar la sarta de tubería de producción. Es decir, si la tubería de producción falla el revestimiento de producción podría mantener el pozo bajo control.

Además este revestimiento de producción se utilizará siempre que se vaya a efectuar un trabajo de reparación en el pozo.

Puesto que esta sarta no está en contacto continuo con los materiales producidos por el pozo, no será necesario utilizar materiales de un solo tipo y grado, para el diseño de toda la sarta.

Por lo tanto, el objetivo de este apéndice, es dar una idea completa para la selección de materiales y que sean aceptables dentro de los rangos de temperaturas a que están fabricadas.

Por ejemplo a una temperatura de fondo por encima de 150°F se puede usar un material S00-95 pero sobre los 200°F se puede usar un material P-110.

El diseño de un revestimiento está gobernado principalmente por la presión de estallido y tensión cerca de la superficie y por la presión de aplastamiento cerca del fondo del hoyo.

En el diseño para la presión de estallido se debe tomar en cuenta la posibilidad de una falla en la sarta de la tubería de producción, que obliga

a cerrar el pozo, de tal forma que la presión del pozo cerrado, sea soportada por el revestimiento de producción en la superficie.

El revestimiento deberá soportar esta presión con factor de seguridad de 1.312, además con un factor de seguridad de 1.0 deberá soportar la presión resultante de alguna falla instantánea de la tubería durante un trabajo de estimulación; esto significa que el revestimiento estará sometido a una presión de 11.000 LPPC antes de parar el bombeo.

La Fig. (B-1) muestra graficamente la presión diferencial para la cual se deberá diseñar el revestimiento empleando el criterio antes mencionado de la presión de estallido.

Se puede usar la misma ecuación para desarrollar las curvas que describen la presión diferencial de estallido para el diseño.

El ejemplo siguiente he considerado para realizar el diseño correspondiente. Los datos del pozo son:

Profundidad : 17000 pies

Profundidad revest. : 15500 pies

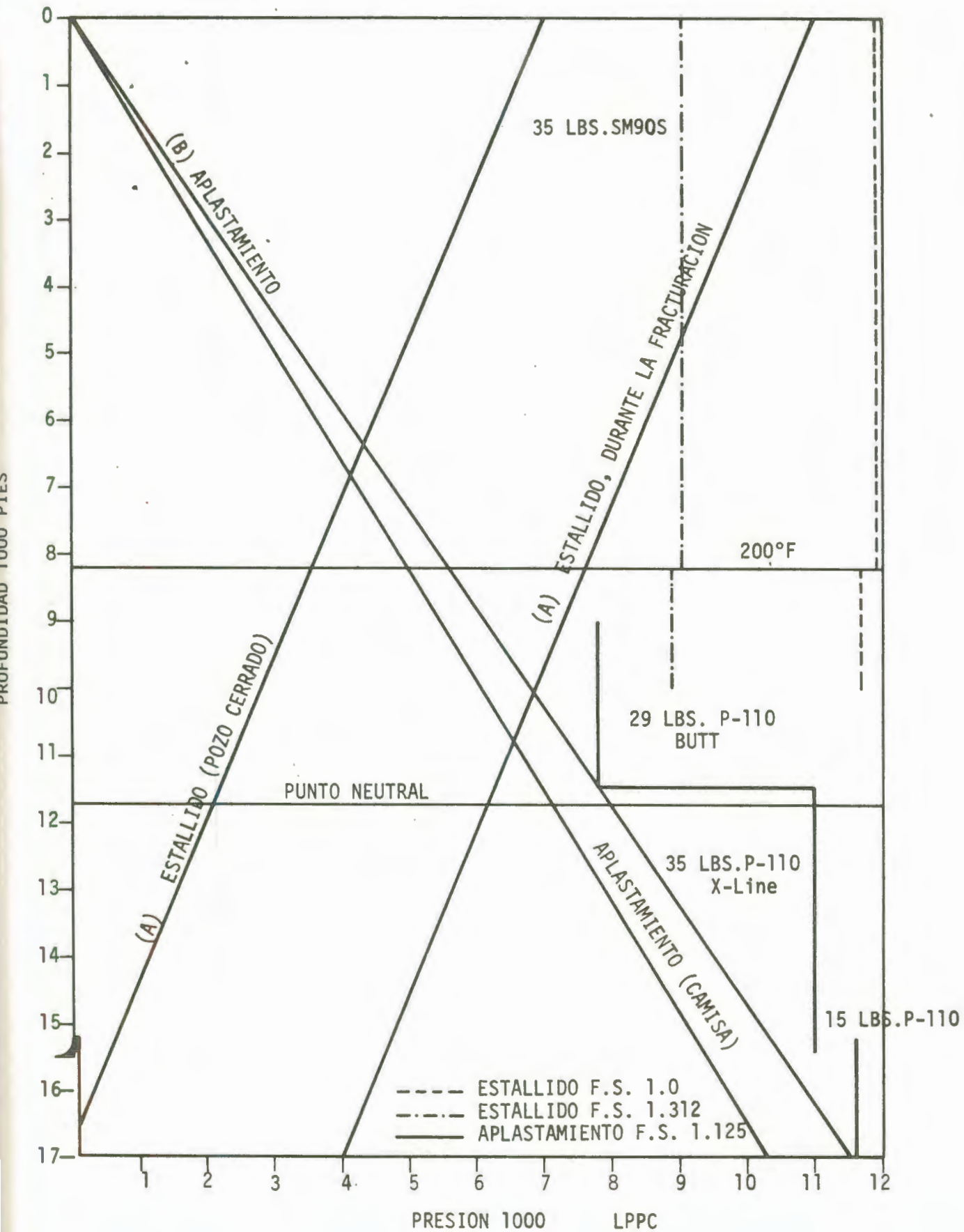
Peso del barro : 15.5 Lpg. = $GI = 0.052 \times 15.5 = 0.806$ Lppc/pie

Peso del gas-oil : 7.5 Lpg. = $GI = 0.052 \times 7.5 = 0.39$ Lppc/pie

Presión de superficie: 7.000 Lppc

Presión al fracturar : 11.000 Lppc.

DISEÑO DE UN REVESTIMIENTO DE PRODUCCION Y DE FONDO



Solución:

1. Fallas durante la producción

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

Donde:

PE = Presión de estallido	Lppc
P _s = Presión de superficie	Lppc
GI = Gradiente interno (Gas-Oil)	Lppc/pie
GE = Gradiente externo (Barro)	Lppc/pie
H = Profundidad	Pies

En la superficie : H = 0' pies

$$PE = 7000 + 0' (0.39 - 0.806)$$

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

$$H = 10000 \text{ pies}$$

$$PE = 7000 + 10000 (0.39 - 0.806)$$

$$PE = 2840 \text{ Lppc}$$

2. Fallas durante un fracturamiento

en la superficie H = 0 pies

$$PE = 11000 + 0' (0.39 - 0.806)$$

$$PE = 11000 + \text{Lppc}$$

$$H = 10000 \text{ pies}$$

$$PE = 11000 + 10000 (0.39 - 0.806)$$

$$PE = 6840 \text{ Lppc.}$$

Ahora bien se consideró una profundidad de 10000 pies, porque el

plano neutral esta a una profundidad mayor y muy cercana, ya que arriba del plano neutral el diseño está gobernado por estallido y por abajo controlado por aplastamiento o colapso.

En el diseño de la presión de aplastamiento por debajo del punto de asentamiento de la empaadura, se deberá tomar en cuenta que las perforaciones llegaran un momento a obstruirse; es decir, que la presión dentro del revestimiento por debajo de la empaadura será equivalente a la presión estática de una columna de gas hasta la superficie. La presión externa sería equivalente a la presión de la formación, en este punto.

Calculamos ahora la presión de aplastamiento y trazar la curva (B) como se indica en la Fig. (B-1) de la siguiente manera:

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

Donde:

P_c	= Presión al colapso o aplastamiento	Lppc
H	= Profundidad	Pies
GE	= Gradiente externo (Formación)	Lppc/pie
GI	= Gradiente interno (Gas)	Lppc/pie

Por consiguiente reemplazando los datos, tenemos:

En la superficie $H = 0$ pies

$$P_c = 0(0.806 - 0.12)$$

$$P_c = 0 \text{ Lppc.}$$

En el fondo $H = 15500$ pies

$$P_c = 15500(0.806 - 0.12)$$

$$P_c = 10633 \text{ Lppc}$$

El próximo paso es seleccionar el revestimiento de un material disponible que cumpla con todos los requisitos de estallido y aplastamiento.

En el inventario de tubería se encontraron los siguientes revestimientos de 7" disponibles:

Tensión	Peso	Grado	Unión	Costo	Estallido	Aplastamiento
1000 Lbs.	Lbs/pie	API		Bs/pie	LPPC	LPPC
570	35	P-110	SEU	199	10.442	11.555
621	35	P-110	XL	100	11.080	10.940
515	41	L-80	CTS-A	160	8.990	10.997
531	29	P-110	BUTT	60	8.990	7.740
609	35	P-110	BUTT	90	11.080	10.997
470	35	SM905	CTS	120	9.067	9.928

Antes de hacer la selección se debe encontrar el punto neutral. Este es el punto en donde la componente vertical de la fuerza cambia de tensión a compresión.

Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$P.N = L \times FF$$

$$FF = 1 - \frac{\beta_b}{\beta_h}$$

Donde:

PN = Punto neutral pies

FF = Factor de flotación	Adimensional
f_b = Peso del barro	Lbs/gal.
f_h = Peso del hierro	Lbs/gal.

Para nuestro ejemplo, tenemos:

$$FF = 1 - \frac{15.5}{65}$$

$$FF = 0.761$$

Luego:

$$PN = 15500 \times 0.761$$

$$PN = 11796 \text{ pies.}$$

El punto neutral es graficado en la Fig. (B-1). Con estas curvas, podemos empezar a seleccionar la tubería, desde el fondo hasta la superficie.

Para 15500 pies, el requisito de resistencia al aplastamiento es de 10633 Lppc. y la tubería de costo más bajo que cumple con estos requisitos es la de 35 Lbs/pie, P-110 Buttress, pero es conveniente en muchos casos cambiar a una conexión lisa, especialmente donde hay problemas de arcilla, así en nuestro ejemplo, reemplazamos por una tubería: X-Line, 35 Lbs/pie, P-110.

Ahora se determina el próximo trayecto en el cual se puede usar también tubería de bajo costo. La tubería de 29 Lbs/pie, P-110, Buttres, tiene un índice de aplastamiento de 7740 Lppc. Esta tubería reúne todos los requisitos necesarios para 11500' pies, como se ha indicado en la Fig. (B-1) inmediatamente encima del punto neutral el diseño es por estallido y la capacidad por estallido es de 8990 Lpc, que también se muestra graficamente para

compararlo con los requisitos. Como se puede observar, la capacidad de este revestimiento sobrepasa los requisitos hasta la superficie.

Normalmente, la capacidad del revestimiento se podrá reducir al pasar el punto neutro, debido a que la tubería se mantiene en tensión solamente, pero en este caso los requisitos contra el estallido imponen el diseño por encima del punto neutro y el requisito contra el aplastamiento pasa a segundo lugar.

Por lo tanto el diseño de esta tubería sería suficiente hasta la superficie, si no fuera por una restricción en el uso de la tubería P-110 a temperaturas menores de 200°F.

De acuerdo al gradiente de temperatura del área se sabe que la profundidad a la cual se presenta una temperatura de 200°F es a 8200 pies.

En este punto se tiene que cambiar a otro grado tal como L-80 o SM-90S, a fin de resistir el resquebrajamiento producido por el ácido sulfídrico (H_2S) a temperaturas inferiores. Tomando en consideración el costo, se selecciona la tubería de 35 Lbs/pie, SM-90. Esto permite una capacidad contra el estallido de 9067 Lppc, con un factor de seguridad de 1,312 (La capacidad contra el estallido es de 11.895 Lppc).

Esta capacidad de 11895 Lppc, asegura que el revestimiento no fallará a la presión máxima, que se puede experimentar durante un trabajo de fractura.

La capacidad contra el estallido de 9067 Lppc con un factor de seguridad de 1.312, también sobrepasa el requisito de máxima presión de 7000 Lppc. durante los períodos de cierre del pozo.

A fin de completar el diseño de revestimiento de producción se debe revisar el efecto de la tensión.

La tensión puede ser calculada mediante la siguiente fórmula:

$$T = \text{Peso en aire} * \frac{\text{Factor flotación en el lodo}}{0.853}$$

El primer paso es calcular el peso del diseño de la sección del fondo desde la profundidad total hasta el primer cambio de grado de la tubería que ocurre a 11500 pies.

Luego el peso será:

$$T_1 = 35 \text{ Lbs/pie } (15500' - 11500') * \frac{FF}{0.853}$$

$$FF = 1 - \frac{15.5}{65}$$

$$FF = 0.76$$

Luego:

$$T_1 = \frac{35(4000)0.76}{0.853}$$

$$T_1 = 125.000 \text{ Lbs.}$$

La conexión de cambio a 11500' para tubería de 29 Lbs/pie, P-110 es la más débil, pero tiene una capacidad de 531.000 Lbs, que es muy superior a la resistencia a la tensión requerida para esta sección menor.

A continuación revisamos el próximo cambio y que ocurre 8200'. La tensión del diseño en este punto es:

$$T_2 = 125 + 29 (11500-8200) \times \frac{0.76}{0.853}$$

$$T_2 = 210.400 \text{ Lbs.}$$

La conexión de cambio aquí es de 35 Lbs/pie, SM90S con una capacidad de 470.000 Lbs, con un valor muy por encima de la carga de tensión en este punto (210.400 Lbs).

El punto restante que será revisado en la superficie donde la tensión del diseño es como sigue:

$$T_3 = 210.400 + 35(8200'-0') \times 0.76/0.853$$

$$T_3 = 466.442 \text{ Lbs.}$$

Este resultado está dentro de la tensión de la junta de SM90S con conexiones CTS que tiene 470.000 Lbs, con un factor de seguridad de 1.8 Lbs (Tensión real de 846.000).

En caso que la tubería se llegue a pegar durante la cementación, la tensión que se podría aplicar sin que la tubería diseñada anteriormente llegase al punto de ruptura es la siguiente:

$$T = \text{CAP.API} - \text{Peso Total}$$

$$T = 470000 \times 1.8 - 466442$$

$$T = 846000 - 466442$$

$$T = 379.558 \text{ Lbs.}$$

Mediante este procedimiento de cálculo se determina la tensión máxima que puede ser aplicada sin llegar a provocar ruptura en la tubería.

El diseño final del revestimiento de producción será:

Profundidad	Longitud	Grado/Peso	Conexión
0' - 8200'	8200'	SM-905/35	CTS
8200' - 11500'	3300'	P-110/29	BUTT.
11500' - 15500'	4000'	P-110/35	X-LINE

El diseño de una camisa o revestidor de fondo de producción, es el mismo del revestimiento de producción. La selección de la camisa está controlado por la presión contra el aplastamiento y en caso de superar el punto neutral, deberá ser revisado contra la presión al estallido.

Si el fluido de terminación del hoyo tiene un peso de: 14 Lbs/Gal, la presión por estallido será:

$$PA = D(GE-GI)$$

En la superficie: $D = 0'$

$$PA = 0(0.728-0.12)$$

$$PA = 0 \text{ Lppc.}$$

En el fondo: $D = 17000'$

$PA = 17000(0.728-0.12)$

$PA = 10336$ Lppc.

Estos puntos son graficados en la Fig. (1-B). Ahora el próximo paso es seleccionar el material en base de esta curva y la tubería de 4-1/2", que cumple con estos requisitos, mediante las tablas de esfuerzo es la de 15.1 Lbs/pie, P-110 con una resistencia al aplastamiento de 11550 Lppc, con un factor de seguridad de 1.125 el cual es adecuado, por cuanto la tubería de 13.5 Lbs/pie, que es la menor, no llena estos requisitos. Las conexiones entre las juntas de revestidor deberán ser lisas, porque el diámetro del hoyo es de 5-5/8", dando un espacio muy reducido y con unión de cuello, podría dar lugar a que la camisa se pegue, es esta la razón por la cual se utilizará unión Hydril FJ. o X-Line.

APENDICE C

LISTADO DE PROGRAMAS PARA UNA
CALCULADORA TI-SR-52

PROGRAMA No. 1

VELOCIDAD CRITICA DE FLUJO

GRAMMER

CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LABELS
46	LBL			43	RCL			54	)		A
11	A			00	0			42	STO		B
42	STO		040 152	01	|			00	0		C
00	0			85	+			05	5		D
00	0			01	|		080 192	40	X ²		E
81	HLT			93	.			54	)		A'
46	LBL			00	0			30	√		B'
12	B		045 157	08	8			95	=		C'
42	STO			65	x			55	÷		D'
00	0			53	(		085 197	43	RCL		E'
01	1			53	(			00	0		REGISTERS
81	HLT			43	RCL			00	0		00
46	LBL		050 162	00	0			55	÷		01
13	C			01	|			43	RCL		02
42	STO			40	X ²		090 202	00	0		03
00	0			85	+			05	5		04
02	2			09	9			65	x		05
81	HLT		055 167	93	.			06	6		06
46	LBL			02	2			00	0		07
14	D			05	5		095 207	95	=		08
42	STO			06	6			81	HLT		09
00	0			65	x			65	x		10
03	3		060 172	43	RCL			53	(		11
81	HLT			00	0			53	(		12
46	LBL			00	0		100 212	43	RCL		13
15	E			65	x			00	0		14
42	STO			42	RCL			03	3		15
00	0		065 177	00	0			40	X ²		16
04	4			02	2			75	-		17
81	HLT			65	x		105 217	43	RCL		18
46	LBL			53	(			00	0		19
16	A'			43	RCL			04	4		FLAGS
01	1		070 182	00	0			40	X ²		0
93	.			03	3			54	)		1
00	0			75	-		110 222	65	x		2
08	8			43	RCL			09	9		3
07	7			00	0						4
65	x		075 187	04	4						



GRAMMER

DATE

CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LABELS
93	.										A
07	7										B
01	1		040								C
52	EE		152								D
94	+/-						080				E
04	4						192				A
54	D										B
95	=		045								C
81	HLT		157								D
							085				E
							197				REGISTERS
											00
			050								01
			162								02
							090				03
							202				04
											05
			055								06
			167								07
							095				08
							207				09
											10
			060								11
			172								12
							100				13
							212				14
											15
			065								16
			177								17
							105				18
							217				19
											FLAGS
			070								0
			182								1
							110				2
							222				3
											4
			075								
			187								

PROGRAMA No. 2

DENSIDAD EQUIVALENTE DE CIRCULACION

LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LABELS
112	46	LBL			00	0			01	1		A
	11	A			01	1			55	÷		B
	42	STO		040 152	95	=			53	(		C
	00	0			28	LOG.			43	RCL		D
	00	0			65	X		080 192	00	0		E
117	81	HLT			03	3			02	2		A'
	42	STO			93	.			75	-		B'
	00	0		045 157	03	3			43	RCL		C'
	01	1			02	2			00	0		D'
	81	HLT			95	=		085 197	03	3		E'
22	42	STO			42	STO			54	)		REGISTERS
	00	0			00	0			42	STO		00
	05	5		050 162	06	6			00	0		01
	81	HLT			02	2			07	7		02
	46	LBL			04	4		090 202	65	X		03
27	12	B			93	.			53	(		04
	42	STO			05	5			02	2		05
	00	0		055 167	65	X			65	X		06
	02	2			43	RCL			43	RCL		07
	81	HLT			00	0		095 207	00	0		08
32	42	STO			05	5			06	6		09
	00	0			55	÷			85	+		10
	03	3		060 172	53	C			01	1		11
	81	HLT			43	RCL			54	)		12
	42	STO			00	0		100 212	55	÷		13
37	00	0			02	2			03	3		14
	04	4			40	X ²			55	÷		15
	44	SUM		065 177	75	-			43	RCL		16
	01	1			43	RCL			00	0		17
	01	1			00	0		105 217	06	6		18
42	81	HLT			03	3			95	=		19
	46	LBL			40	X ²			42	STO		FLAGS
	13	C		070 182	54	)			00	0		0
	43	RCL			95	=			08	8		1
	00	0			65	X		110 222	43	RCL		2
47	00	0			01	1			00	0		3
	55	÷			93	.		TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED				4
	43	RCL		075 187	04	4						



LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LABELS
112	00	0			07	7						A
	75	-			54	)						B
	43	RCL		040 152	95	=						C
	00	0			81	HLT						D
	01	1			44	SUM		080 192				E
117	95	=			01	1						A'
	55	÷			00	0						B'
	05	5		045 157	81	HLT						C'
	00	0			46	LBL						D'
	95	=			14	D		085 197				E
122	65	X			85	+						REGISTERS
	53	(			43	RCL						00
	01	1		050 162	01	1						01
	00	0			00	0						02
	00	0			55	÷		090 202				03
127	75	-			00	0						04
	43	RCL			93	.						05
	00	0		055 167	00	0						06
	08	8			05	5						07
	54	)			02	2		095 207				08
132	94	+/-			55	÷						09
	85	+			43	RCL						10
	43	RCL		060 172	01	1						11
	00	0			01	1						12
	00	0			95	=		100 212				13
137	95	=			81	HLT						14
	65	X										15
	43	RCL		065 177								16
	00	0										17
	04	4						105 217				18
142	55	÷										19
	03	3										FLAGS
	00	0		070 182								0
	00	0										1
	55	÷						110 222				2
147	53	(										3
	43	RCL										4
	00	0		075 187								

PROGRAMA No. 3

VELOCIDAD DE CORRIDA
PARTE I

LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LABELS
	46	LBL			95	=			43	RCL		A
	11	A			42	STO			00	0		B
	42	STO		040 152	00	0			00	0		C
	00	0			06	6			65	X		D
	00	0			65	X		080 192	43	RCL		E
17	81	HLT			43	RCL			01	1		A'
	42	STO			00	0			04	4		B'
	00	0		045 157	05	5			55	÷		C'
	01	1			65	X			43	RCL		D'
	81	HLT			43	RCL		085 197	01	1		E'
22	42	STO			00	0			03	3		REGISTERS
	00	0			04	4			95	=		00
	02	2		050 162	85	+			42	STO		01
	81	HLT			42	STO			01	1		02
	42	STO			01	1		090 202	02	2		03
27	00	0			04	4			43	RCL		04
	03	3			43	RCL			00	0		05
	81	HLT		055 167	00	0			02	2		06
	42	STO			06	6			85	+		07
	00	0			95	=		095 207	43	RCL		08
32	04	4			65	X			00	0		09
	81	HLT			43	RCL			03	3		10
	42	STO		060 172	00	0			95	=		11
	00	0			01	1			42	STO		12
	05	5			55	÷		100 212	00	0		13
37	81	HLT			53	(			07	7		14
	42	STO			43	RCL			85	+		15
	01	1		065 177	00	0			43	RCL		16
	05	5			00	0			00	0		17
	81	HLT			85	+		105 217	02	2		18
42	46	LBL			43	RCL			95	=		19
	12	B			00	0			42	STO		FLAGS
	20	1/X		070 182	01	1			00	0		0
	65	X			54	)			08	8		1
	02	2			42	STO		110 222	43	RCL		2
47	04	4			01	1			00	0		3
	00	0			03	3		TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED				4
	00	0		075 187	85	+						

LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LABELS
112	02	2			93	.			01	1		A
	55	÷			03	3			09	9		B
	03	3		040 152	02	2			95	=		C
	00	0			95	=			94	+/-		D
	00	0			42	STO		080 192	85	+		E
117	95	=			01	1			06	6		A'
	42	STO			00	0			00	0		B'
	00	0		045 157	65	X			00	0		C'
	09	9			02	2			95	=		D'
	65	X			85	+		085 197	65	X		E'
122	02	2			01	1			43	RCL		REGISTERS
	00	0			95	=			00	0		00
	00	0		050 162	55	÷			09	9		01
	95	=			03	3			94	+/-		02
	94	+/-			55	÷		090 202	85	+		03
127	85	+			43	RCL			43	RCL		04
	43	RCL			01	1			00	0		05
	00	0		055 167	00	0			08	8		06
	07	7			65	X			95	=		07
	95	=			01	1		095 207	55	÷		08
132	55	÷			93	.			03	3		09
	53	(			04	4			00	0		10
	43	RCL		060 172	01	1			00	0		11
	00	0			65	X			55	÷		12
	07	7			43	RCL		100 212	43	RCL		13
137	75	-			01	1			01	1		14
	02	2			02	2			09	9		15
	05	5		065 177	55	÷			65	X		16
	00	0			53	(			43	RCL		17
	65	X			43	RCL		105 217	01	1		18
142	43	RCL			00	0			05	5		19
	00	0			00	0			95	=		FLAGS
	09	9		070 182	75	-			81	HLT		0
	54	)			43	RCL						1
	95	=			00	0		110 222				2
147	28	LOG.			01	1						3
	65	X			54	)						4
	03	3		075 187	42	STO						

JK-5Z User Instructions



E Nº1. VELOCIDAD DE CORRIDA

PAGE OF

←A←				
Vel. (sec/Tubo)	OBTENER	RCL 07. ϕ_{300}	RCL 09. η	
Leer P ₀		RCL 08. ϕ_{600}	RCL 10. η	

←B←				

EP	PROCEDURE	ENTER	PRESS	DISPLAY
1	INTRODUCIR PROGRAMA			
2	INTRODUCIR LOS DATOS:			
	DIAMETRO DEL HOYO	PULG.	A	
	DIAMETRO DE LA CAMISA	PULG.	RUN	
	VISCOSIDAD PLASTICA	CPS.	RUN	
	GEL A 10MIN O PUNTO CEDENTE	Lbs/100pie ²	RUN	
	CAPACIDAD ANULAR	PIE/GAL	RUN	
	DESPLAZAMIENTO	GAL/PIE	RUN	
	LONGITUD DE LA CAMISA	PIES	RUN	
	ASUMIR VELOCIDAD DE BAJADA	SEG./TUBO	B	
	LEER LA CAIDA DE PRESION			LPPC.
3	SELECCIONAR NUEVA VELOCIDAD	SEG./TUBO	B	
	LEER LA CAIDA DE PRESION			LPPC.
4	OBTENER LOS DATOS:			
	LECTURA A 300 RPM		RCL 0 7	
	LECTURA A 600 RPM		RCL 0 8	
	INDICE. COMPORT. FLUJO (η)		RCL 1 0	
	PENDIENTE " (η)		RCL 0 9	

PROGRAMA No. 4

VELOCIDAD DE CORRIDA
PARTE II



LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LABELS
112	46	LBL			42	STO			65	X		A
	11	A			00	0			43	RCL		B
	42	STO		040 152	07	7			00	0		C
	00	0			81	HLT			00	0		D
	00	0			42	STO		080 192	55	÷		E
117	81	HLT			00	0			13	C		A
	42	STO			08	8			43	RCL		B
	00	0		045 157	81	HLT			00	0		C
	01	1			42	STO			01	1		D
	81	HLT			00	0		085 197	85	+		E
122	42	STO			09	9			43	RCL		REGISTERS
	00	0			81	HLT			00	0		00
	02	2		050 162	46	LBL			00	0		01
	81	HLT			14	D			54	)		02
	42	STO			02	2		090 202	42	STO		03
127	00	0			04	4			01	1		04
	03	3			00	0			02	2		05
	81	HLT		055 167	00	0			95	=		06
	42	STO			55	÷			85	+		07
	00	0			43	RCL		095 207	43	RCL		08
132	04	4			00	0			00	0		09
	81	HLT			05	5			01	1		10
	46	LBL		060 172	95	=			65	X		11
	12	B			42	STO			43	RCL		12
	42	STO			01	1		100 212	01	1		13
137	00	0			00	0			00	0		14
	05	5			65	X			55	÷		15
	81	HLT		065 177	43	RCL			43	RCL		16
	42	STO			00	0			01	1		17
	00	0			03	3		105 217	02	2		18
142	06	6			65	X			95	=		19
	81	HLT			43	RCL			65	X		FLAGS
	42	STO		070 182	00	0			01	1		0
	01	1			02	2			93	.		1
	05	5			95	=		110 222	04	4		2
147	81	HLT			42	STO			01	1		3
	46	LBL			01	1						4
	13	C		075 187	01	1						

CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LOC	CODE	KEY	COMMENTS	LABELS
55	÷			00	0			95	=		A
53	(			07	7			81	HLT		B
43	RCL		040 152	95	=						C
00	0			94	+/-						D
00	0			85	+		080 192				E
75	-			43	RCL						A
43	RCL			00	0						B
00	0		045 157	09	9						C
01	1			95	=						D
54	)			55	÷		085 197				E
42	STO			03	3						REGISTERS
01	1			00	0						00
03	3		050 162	00	0						01
65	X			55	÷						02
53	(			43	RCL		090 202				03
02	2			01	1						04
65	X			03	3						05
43	RCL		055 167	95	=						06
00	0			42	STO						07
08	8			01	1		095 207				08
85	+			04	4						09
01	1			43	RCL						10
54	)		060 172	01	1						11
55	÷			05	5						12
03	3			85	+		100 212				13
55	÷			53	(						14
43	RCL			43	RCL						15
00	0		065 177	00	0						16
08	8			04	4						17
95	=			75	-		105 217				18
94	+/-			43	RCL						19
85	+			00	0						FLAGS
06	6		070 182	06	6						0
00	0			54	)						1
00	0			55	÷		110 222				2
95	=			43	RCL						3
65	X			01	1						4
43	RCL		075 187	04	4						



Nº 2. VELOCIDAD DE CORRIDA

←A← DATOS DE Nº1: VEL, PSI, Ø600, τ , τ .	←B←								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">DP ANCAR</td> <td style="width: 15%;">VEL. PSI</td> <td style="width: 15%;">τ, τ,</td> <td style="width: 15%;">LGS PROF</td> </tr> <tr> <td>SP. PAUSE</td> <td>LINEAR</td> <td>Ø600</td> <td></td> </tr> </table>	DP ANCAR	VEL. PSI	τ , τ ,	LGS PROF	SP. PAUSE	LINEAR	Ø600		
DP ANCAR	VEL. PSI	τ , τ ,	LGS PROF						
SP. PAUSE	LINEAR	Ø600							

STEP	PROCEDURE	ENTER	PRESS	DISPLAY
1	INTRODUCIR PROGRAMA			
2	INTRODUCIR DATOS :			
	DIAMETRO DEL HOYO	PULG.	A	
	DIAMETRO TUBERIA PERFORAC.	PULG	RUN	
	CAPACIDAD ANULAR (CSG-DP)	PIE/GAL.	RUN	
	DESPLAZAMIENTO (DP)	GAL/PIE	RUN	
	PRESION SURGENTE TOTAL	LPPC.	RUN	
	VELOCIDAD SELECCIONADA	SEG/TUBO	B	
	PRESION A ESTA VELOCIDAD	LPPC	RUN	
	LONGITUD DE LA CAMISA	PIES	RUN	
	PENDIENTE (τ)		C	
	(τ) IND. COMPORTAMIENTO		RUN	
	LECTURA A 600 RPM.		RUN	
3	PROFUNDIDAD HASTA LA CUAL SE PUEDE CORRER		D	PIES
4	ASUMIR NUEVAS VELOCIDAD	SEG./TUBO	B	
	PRESION A ESTA VELOCIDAD	LPPC	RUN	
	LONGITUD DE LA CAMISA	PIES	RUN	
5	PROFUNDIDAD A SER BAJADA CON ESTA VELOCIDAD		D	PIES

APENDICE D

PROGRAMAS API PARA DETERMINAR LA
TEMPERATURA DE CIRCULACION

PROGRAMAS API PARA DETERMINAR LA
TEMPERATURA DE CIRCULACION

Los programas que se presentan a continuación, están de acuerdo a la profundidad, presión estática del fondo del hoyo corregida y el gradiente de temperatura.

El empleo de estas tablas se explica mediante el siguiente ejemplo:
La temperatura estática es de 272°F en un pozo de 17148 pies.

La temperatura de 272°F, por el factor de corrección 1.105 a 17000 pies (Tabla I) será aproximadamente 300°F. Luego determinamos el gradiente de temperatura a este resultado por cada 100 pies, de la siguiente forma:

$$\text{Grad} = \frac{T_s - 80}{\text{Prof.}}$$

$$\text{Grad} = \frac{(300 - 80) * 100}{17000} =$$

$$\text{Grad} = 1.29 \text{ } ^\circ\text{F}/100 \text{ pies}$$

Vamos a los programas API, con la profundidad y el gradiente. Pero como a 17148' no existe ningún programa, se debe interpolar entre 16000' y 18000'. Igualmente como no hay para el gradiente de 1.29°F/100 pies, debemos interpolar entre los gradientes de 1.1 °F/100 pies y 1.3 °F/100 pies.

La temperatura de circulación a 16000' y 1.1 °F/100 pies es 210 °F y

a $1.3^{\circ}\text{F}/100$ pies es 245°F , esto significa que para un gradiente de $1.29^{\circ}\text{F}/100$ pies la temperatura será de 243°F .

En forma similar para $18000'$ y un gradiente de $1.1^{\circ}\text{F}/100$ pies es 234°F y a 1.3°F es 277°F , entonces para $1.29^{\circ}\text{F}/100$ pies será 275°F .

Por lo tanto, si la temperatura a $16000'$ es 243°F y para $18000'$ es 275°F , para $17148'$ que es la profundidad total con una temperatura estática de fondo de 272°F (según los registros eléctricos), la temperatura de circulación será 270°F , que alcanzará la mezcla del cemento en el pozo.

ESQUEMA No. 1

PRUEBAS DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DE FONDO - 1000 pies (310 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie:	80 °F (27°C)	Densidad del lodo:	10 lbs. por gal. (1.2 kg/lt.)
Presión de superficie:	500 lppc (2400 kPa)		
Presión de fondo:	1000 lppc (6900 kPa)		
Tiempo para llegar al fondo:	3 minutos		

Tiempo, min.	Presión,		0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)	
	lppc	kPa	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	500	(3400)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
.2	800	(5500)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
.3	1000	(6900)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
Tasa de calentamiento, °F/min.			0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
			°C/min.		0.0		0.0		0.0		0.0		0.0	
Estática DNT, °F (°C)			89	(32)	91	(33)	93	(34)	95	(35)	97	(36)	99	(38)

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

ESQUEMA No. 2

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DE FONDO - 2000 pies (610 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie: 80 °F (27°C) Densidad del lodo: 10 lbs. por gal. (1.2 kg/lt.)
 Presión de superficie: 500 lppc (3400 kPa)
 Presión de fondo: 1500 lppc (10300 kPa)
 Tiempo para llegar al fondo: 4 minutos

Tiempo, min.	Presión,		0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)	
	lppc	kPa	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	500	(3400)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	1000	(6900)	85	(29)	85	(29)	85	(29)	85	(29)	86	(30)	86	(30)
4	1500	(10300)	89	(32)	89	(32)	90	(32)	90	(32)	91	(33)	91	(33)
Tasa de calentamiento, °F/min.			2.25		2.25		2.50		2.50		2.75		2.75	
°C/min.			1.25		1.25		1.25		1.25		1.50		1.50	
Estática BHT, °F (°C)			98	(37)	102	(39)	106	(41)	110	(44)	114	(46)	118	(48)

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

ESQUEMA No.3

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DE FONDO - 4000 pies (1220 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie:	80 °F (27°C)	Densidad del lodo: 10 lbs. por gal. (1.2 kg/lt.)
Presión de superficie:	500 lppc (3400 kPa)	
Presión de fondo:	2500 lppc (17200 kPa)	
Tiempo para llegar al fondo:	7 minutos	

	1	2	3	4	5	6	7	8						
	Gradiente de Temperatura, °F/100 pies de profundidad (°C/100 m. de profundidad) Temperatura °F y °C													
	Presión,		0.0 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)	
Tiempo, min.	lppc kPa		°F °C		°F °C		°F °C		°F °C		°F °C		°F °C	
0	500	(3400)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	1100	(7600)	85	(29)	86	(30)	86	(30)	86	(30)	87	(31)	87	(31)
4	1600	(11700)	91	(33)	91	(33)	92	(33)	93	(34)	93	(34)	94	(34)
6	2200	(15200)	96	(36)	97	(36)	98	(37)	99	(37)	100	(38)	101	(38)
7	2500	(17200)	99	(37)	100	(38)	101	(38)	102	(39)	103	(39)	104	(40)
Tasa de calentamiento, °F/min.			2.71		2.86		3.00		3.14		3.29		3.43	
°C/min.			1.43		1.57		1.57		1.71		1.71		1.86	
Estática BHT, °F (°C)			116	(47)	124	(51)	132	(60)	140	(60)	148	(65)	156	(69)

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

ESQUEMA No.4

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DEL FONDO - 6000 pies (1830 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie: 80°F (27°C)	Densidad del lodo: 10 lbs. por gal. (1.2 kg/lt.)
Presión de superficie: 750 lppc (5200 kPa)	
Presión de fondo: 3900 lppc (26900 kPa)	
Tiempo para llegar al fondo: 10 minutos	

1	2	3	4	5	6	7	8							
Gradiente de Temperatura, °F/100 pies de profundidad (°C/100 m. de profundidad) Temperatura °F y °C														
Tiempo, min.	Presión,		0.0 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)	
	lppc	kPa	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	750	(5200)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	1400	(9700)	86	(30)	87	(31)	87	(31)	88	(31)	88	(31)	89	(32)
4	2000	(13800)	93	(34)	94	(34)	94	(34)	95	(35)	96	(36)	98	(37)
6	2600	(18000)	99	(37)	100	(38)	102	(39)	103	(39)	104	(40)	108	(42)
8	3300	(22100)	106	(41)	107	(42)	109	(43)	110	(43)	112	(44)	117	(47)
10	3900	(26900)	112	(44)	114	(46)	116	(47)	118	(48)	120	(49)	126	(52)
Tasa de calentamiento, °F/min.			3.20		3.40		3.60		3.80		4.00		4.60	
			°C/min.		1.70		1.90		2.00		2.10		2.50	
Estática BHT, °F (°C)			134	(57)	146	(64)	158	(70)	170	(77)	182	(84)	194	(90)

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

ESQUEMA No.5

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DEL FONDO - 8000 pies (2440 m.)

Condiciones Asumidas de Campo:

Temperatura de superficie: 80°F (27°C) Densidad del lodo: 10 lbs. por gal. (1.2 kg/lt.)
 Presión de superficie: 1000 lppc (6900 kPa)
 Presión de fondo: 5200 lppc (35900 kPa)
 Tiempo para llegar al fondo: 15 minutos

Tiempo, min.	Presión,		0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)	
	lppc	kPa	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	1000	(6900)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	1600	(11000)	86	(30)	87	(31)	87	(31)	88	(31)	89	(32)	91	(33)
4	2100	(14500)	92	(33)	93	(34)	95	(35)	96	(36)	98	(37)	101	(38)
6	2700	(18600)	98	(37)	100	(38)	102	(39)	104	(40)	106	(41)	112	(44)
8	3200	(22100)	105	(41)	106	(41)	109	(43)	112	(44)	115	(46)	123	(51)
10	3800	(26200)	111	(44)	113	(45)	117	(47)	120	(49)	124	(51)	133	(56)
12	4400	(30300)	117	(47)	119	(48)	124	(51)	128	(53)	133	(56)	144	(62)
14	4900	(33800)	123	(51)	126	(52)	131	(55)	136	(58)	142	(61)	155	(68)
15	5200	(35900)	126	(52)	129	(54)	135	(57)	140	(60)	146	(63)	160	(71)
Tasa de calentamiento, °F/min.			3.07		3.27		3.67		4.00		4.40		5.33	
			°C/min.	1.67	1.80	2.00	2.20	2.40	2.93					
Estática BHT, °F (°C)			152	(67)	168	(76)	184	(85)	200	(94)	216	(103)	232	(111)

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa) respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

ESQUEMA No.6

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DEL FONDO - 10000 pies (3050 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie: 80°F (27°C)	Densidad del lodo: 12 lbs. por gal. (1.2 kg/lt.)
Presión de superficie: 1250 lppc (8600 kPa)	
Presión de fondo: 7500 lppc (51700 kPa)	
Tiempo para llegar al fondo: 19 minutos	

	1	2	3	4	5	6	7	8						
Tiempo, min.	Gradiente de Temperatura, °F/100 pies de profundidad (°C/100 m. de profundidad) Temperatura °F y °C													
	Presión,		0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)	
	lppc	kPa	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	1250	(8600)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	1900	(13100)	86	(30)	87	(31)	88	(31)	89	(32)	91	(33)	93	(34)
4	2600	(17900)	93	(34)	94	(34)	96	(36)	98	(37)	101	(38)	105	(41)
6	3200	(22100)	99	(37)	101	(38)	105	(41)	107	(42)	112	(44)	118	(48)
8	3900	(26900)	106	(41)	108	(42)	113	(45)	117	(47)	122	(50)	131	(55)
10	4500	(31000)	112	(44)	115	(46)	121	(49)	126	(52)	133	(56)	143	(62)
12	5200	(35900)	119	(48)	122	(50)	129	(54)	135	(57)	143	(62)	156	(69)
14	5900	(40700)	125	(52)	129	(54)	137	(58)	144	(62)	154	(68)	168	(76)
16	6500	(44800)	131	(55)	136	(58)	146	(63)	153	(67)	164	(73)	181	(83)
18	7200	(49600)	138	(59)	142	(61)	154	(68)	162	(72)	175	(79)	194	(90)
19	7500	(51700)	141	(61)	146	(63)	158	(70)	167	(75)	180	(82)	200	(93)
Tasa de calentamiento, °F/min.			3.21		3.47		4.11		4.58		5.26		6.32	
			°C/min.		1.79		1.89		2.26		2.53		2.89	
Estática BHT, °F (°C)			170	(77)	190	(88)	210	(99)	230	(110)	250	(121)	270	(133)

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DEL FONDO - 12.000 pies (3660 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie: 80°F (27°C)
 Presión de superficie: 1500 lppc (10300 kPa)
 Presión de fondo: 10200 lppc (70300 kPa)
 Tiempo para llegar al fondo: 24 minutos

Densidad del lodo: 14 lbs. por gal. (1.7 kg/lt.)

Tiempo, min.	1		2		3		4		5		6		7		8	
	Presión,		0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)			
	lppc	kPa	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C		
0	1500	(10300)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	2200	(15200)	86	(30)	87	(31)	89	(32)	90	(32)	91	(33)	94	(34)	94	(34)
4	3000	(20700)	93	(34)	94	(34)	98	(37)	100	(38)	103	(39)	108	(42)	108	(42)
6	3700	(25500)	99	(37)	101	(38)	106	(41)	109	(43)	114	(46)	122	(50)	122	(50)
8	4400	(30300)	105	(41)	108	(42)	115	(46)	119	(48)	126	(52)	136	(58)	136	(58)
10	5100	(35200)	111	(44)	115	(46)	124	(51)	129	(54)	137	(58)	150	(66)	150	(66)
12	5900	(40700)	118	(48)	122	(50)	133	(56)	139	(59)	148	(64)	163	(73)	163	(73)
14	6600	(45500)	124	(51)	130	(54)	141	(61)	148	(64)	160	(71)	177	(81)	177	(81)
16	7300	(50300)	130	(54)	137	(58)	150	(66)	158	(70)	171	(77)	191	(88)	191	(88)
18	8000	(55200)	136	(58)	144	(62)	159	(71)	168	(76)	183	(84)	205	(96)	205	(96)
20	8800	(60700)	143	(62)	151	(66)	168	(76)	178	(81)	194	(90)	219	(104)	219	(104)
22	9500	(65500)	149	(65)	158	(70)	176	(80)	187	(86)	206	(97)	233	(112)	233	(112)
24	10200	(70300)	155	(68)	165	(74)	185	(85)	197	(92)	217	(103)	247	(119)	247	(119)
Tasa de calentamiento, °F/min.			3.13		3.54		4.38		4.88		5.71		6.96			
			°C/min.		1.71		1.96		2.42		2.71		3.17		3.83	
Estática BHT, °F (°C)			188 (87)		212 (100)		236 (114)		260 (127)		284 (140)		308 (154)			

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

ESQUEMA No.8

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DEL FONDO - 14.000 pies (4270 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie: 80°F (27°C) Densidad del lodo: 16 lbs. por gal. (1.9 kg/lt.)
 Presión de superficie: 1750 lppc (12100 kPa)
 Presión de fondo: 13400 lppc (92400 kPa)
 Tiempo para llegar al fondo: 29 minutos

Tiempo, min.	1		2		3		4		5		6		7		8	
	Presión,		0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)			
	lppc	kPa	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C		
0	1750	(12100)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	2600	(17900)	86	(30)	87	(31)	89	(32)	91	(33)	92	(33)	95	(35)		
4	3400	(23400)	92	(33)	95	(35)	99	(37)	101	(38)	105	(41)	109	(43)		
6	4200	(29000)	98	(37)	102	(39)	108	(42)	112	(44)	117	(47)	124	(51)		
8	5000	(34500)	105	(41)	110	(43)	117	(47)	122	(50)	129	(54)	139	(59)		
10	5800	(40000)	111	(44)	117	(47)	127	(53)	133	(56)	141	(61)	153	(67)		
12	6600	(46900)	117	(47)	124	(51)	136	(58)	143	(62)	154	(68)	168	(76)		
14	7400	(51000)	123	(51)	132	(56)	145	(63)	154	(68)	166	(74)	183	(84)		
16	8200	(56500)	129	(54)	139	(59)	154	(68)	164	(73)	178	(81)	198	(92)		
18	9000	(62100)	135	(57)	146	(63)	164	(73)	175	(79)	190	(88)	212	(100)		
20	9800	(67600)	141	(61)	154	(68)	173	(78)	186	(86)	203	(95)	227	(108)		
22	10600	(73100)	148	(64)	161	(72)	182	(83)	196	(91)	215	(102)	242	(117)		
24	11400	(78600)	154	(68)	169	(76)	192	(89)	207	(97)	227	(108)	256	(124)		
26	12200	(84100)	160	(71)	176	(80)	201	(94)	217	(103)	240	(116)	271	(133)		
28	13000	(89600)	166	(74)	183	(84)	210	(99)	228	(109)	252	(122)	286	(141)		
29	13400	(92400)	169	(76)	187	(86)	215	(102)	233	(112)	258	(126)	293	(145)		
Tasa de calentamiento, °F/min.			3.07		3.69		4.66		5.28		6.14		7.34			
			°C/min.	1.69		2.03		2.59		2.93		3.41		4.07		
Estática BHT, °F (°C)			206	(97)	234	(113)	262	(128)	290	(144)	318	(159)	346	(175)		

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie: 80°F (27°C)
 Presión de superficie: 2000 lppc (13800 kPa)
 Presión de fondo: 16100 lppc (111000 kPa)
 Tiempo para llegar al fondo: 34 minutos

Densidad del lodo: 17 lbs. por gal.(2.0 kg/lt.)

1	2	3	4	5	6	7	8							
Gradiente de Temperatura, °F/100 pies de profundidad (°C/100 m. de profundidad) Temperatura °F y °C														
Tiempo, min.	Presión,		0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)	
	lppc	kPa	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	2000	(13800)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	2800	(19300)	86	(30)	88	(31)	90	(32)	91	(33)	93	(34)	95	(35)
4	3700	(25500)	92	(33)	95	(35)	99	(37)	102	(39)	106	(41)	111	(44)
6	4500	(31000)	98	(37)	103	(39)	109	(43)	114	(46)	119	(48)	126	(52)
8	5300	(36500)	104	(40)	111	(44)	119	(48)	125	(52)	132	(56)	141	(61)
10	6100	(42100)	110	(43)	118	(48)	129	(54)	136	(58)	145	(63)	156	(69)
12	7000	(48300)	116	(47)	126	(52)	138	(59)	147	(64)	158	(70)	172	(78)
14	7800	(53800)	122	(50)	134	(57)	148	(64)	158	(70)	171	(77)	187	(86)
16	8600	(66200)	128	(53)	141	(61)	158	(70)	169	(76)	184	(84)	202	(94)
18	9500	(60000)	135	(57)	149	(65)	167	(75)	181	(83)	198	(92)	218	(103)
20	10300	(65500)	141	(61)	156	(69)	177	(81)	192	(89)	211	(99)	233	(112)
22	11100	(71000)	147	(64)	164	(73)	187	(86)	203	(95)	224	(107)	248	(120)
24	12000	(76500)	153	(67)	172	(78)	196	(91)	214	(101)	237	(114)	264	(129)
26	12800	(82700)	159	(71)	179	(82)	206	(97)	225	(107)	250	(121)	279	(137)
28	13600	(88300)	165	(74)	187	(86)	216	(102)	236	(113)	263	(128)	294	(146)
30	14400	(99300)	171	(77)	195	(91)	226	(108)	248	(120)	276	(136)	309	(154)
32	15300	(105500)	177	(81)	202	(94)	235	(113)	259	(126)	289	(143)	325	(163)
34	16100	(111000)	183	(84)	210	(99)	245	(118)	270	(132)	302	(150)	340	(171)
Tasa de Calentamiento, °F/min.			3.03		3.82		4.85		5.59		6.53		7.65	
			°C/min.		1.68		2.12		2.68		3.09		3.62	
Estática BHT, °F (°C)			224 (107)		256 (125)		288 (143)		320 (160)		352 (178)		384 (196)	

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

ESQUEMA No. 10

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DE FONDO - 18000 pies (5490 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie: 80°F (27°C) Densidad del lodo: 18 lbs. por gal. (2.2 kg/lt.)
 Presión de superficie: 2000 lppc (13800 kPa)
 Presión de fondo: 18800 lppc (129600 kPa)
 Tiempo para llegar al fondo: 39 minutos

Tiempo, min	Presión,		Gradiente de temperatura, °F/100 pies de profundidad (°C/100 m. de profundidad) Temperatura °F y °C											
	lppc	kPa	0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)	
			°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	2000	(13800)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)
2	2900	(20000)	86	(30)	88	(31)	90	(32)	92	(33)	94	(34)	96	(36)
4	3700	(25500)	92	(33)	96	(36)	100	(38)	103	(39)	107	(42)	111	(44)
6	4600	(35700)	98	(37)	104	(40)	110	(43)	115	(46)	121	(49)	127	(53)
8	5400	(37200)	104	(40)	112	(44)	120	(49)	127	(53)	135	(57)	143	(62)
10	6300	(43400)	111	(44)	119	(48)	131	(55)	138	(59)	148	(64)	158	(70)
12	7200	(49600)	117	(47)	127	(53)	141	(61)	150	(66)	162	(72)	174	(79)
14	8000	(55200)	123	(51)	135	(57)	151	(66)	162	(72)	176	(80)	189	(87)
16	8900	(61400)	129	(54)	143	(62)	161	(72)	174	(79)	190	(88)	205	(96)
18	9800	(67600)	135	(57)	151	(66)	171	(77)	185	(85)	203	(95)	221	(105)
20	10600	(73100)	141	(61)	159	(71)	181	(83)	197	(92)	217	(103)	236	(113)
22	11500	(79300)	147	(64)	167	(75)	191	(88)	209	(98)	231	(111)	252	(122)
24	12300	(84800)	153	(67)	175	(79)	201	(94)	220	(104)	244	(118)	268	(131)
26	13200	(91000)	159	(71)	183	(84)	211	(99)	232	(111)	258	(126)	283	(139)
28	14100	(97200)	165	(74)	191	(88)	221	(105)	244	(118)	272	(133)	299	(148)
30	14900	(102700)	172	(78)	198	(92)	232	(111)	255	(124)	285	(141)	315	(157)
32	15800	(108900)	178	(81)	206	(97)	242	(117)	267	(131)	299	(148)	330	(166)
34	16600	(114500)	184	(84)	214	(101)	252	(122)	279	(137)	313	(156)	346	(174)
36	17500	(120700)	190	(88)	222	(106)	262	(128)	290	(143)	326	(163)	362	(183)
38	18400	(126900)	196	(91)	230	(110)	272	(133)	302	(150)	340	(171)	377	(192)
39	18800	(129600)	199	(93)	234	(112)	277	(136)	308	(153)	347	(175)	385	(196)
Tasa de calentamiento, °F/min.			3.05		3.95		5.05		5.85		6.85		7.82	
°C/min.			1.69		2.18		2.79		3.23		3.79		4.33	
Estática BHT, °F (°C)			242 (117)		278 (137)		314 (157)		350 (177)		386 (197)		422 (217)	

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de $\pm 2^\circ\text{F}$ ($\pm 1^\circ\text{C}$) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

ESQUEMA No. 11

PRUEBA DE SIMULACION DE POZOS EN LA CEMENTACION DEL REVESTIDOR DE FONDO - 20000 pies (610 m.)

Condiciones Asumidas de Campo

Temperatura de superficie: 80°F (27°C) Densidad del lodo: 19 lbs. por gal. (2.3 kg/lt.)
 Presión de superficie: 2000 lppc (13800 kPa)
 Presión de fondo: 22000 lppc (151700 kPa)
 Tiempo para llegar al fondo: 44 minutos

Tiempo, min.	Presión,		Gradiente de temperatura, °F/100 pies de profundidad (°C/100 m. de profundidad) Temperatura °F y °C													
	lppc	kPa	0.9 (1.6)		1.1 (2.0)		1.3 (2.4)		1.5 (2.7)		1.7 (3.1)		1.9 (3.5)			
			°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C		
0	2000	13800	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)	80	(27)		
2	2900	20000	86	(30)	88	(31)	91	(33)	92	(33)	94	(34)	96	(36)		
4	3800	26200	92	(33)	96	(36)	101	(38)	104	(40)	108	(42)	112	(44)		
6	4700	32400	98	(37)	104	(40)	112	(44)	117	(47)	123	(51)	128	(53)		
8	5600	38600	105	(41)	113	(45)	122	(50)	129	(54)	137	(58)	144	(62)		
10	6500	44800	111	(44)	121	(49)	133	(56)	141	(61)	151	(66)	160	(71)		
12	7500	51700	117	(47)	129	(54)	143	(62)	153	(67)	165	(74)	176	(80)		
14	8400	57900	123	(51)	137	(58)	154	(68)	165	(74)	179	(82)	192	(89)		
16	9300	64100	129	(54)	145	(63)	164	(73)	177	(81)	193	(89)	208	(98)		
18	10200	70300	135	(57)	153	(67)	175	(79)	190	(88)	208	(98)	224	(107)		
20	11100	76500	141	(61)	161	(72)	185	(85)	202	(94)	222	(106)	240	(116)		
22	12000	82700	147	(64)	169	(76)	196	(91)	214	(101)	236	(113)	255	(124)		
24	12900	88900	154	(68)	178	(81)	207	(97)	226	(108)	250	(121)	271	(133)		
26	13800	95100	160	(71)	186	(86)	217	(103)	238	(114)	264	(129)	287	(142)		
28	14700	101400	166	(74)	194	(90)	228	(109)	251	(122)	279	(137)	303	(151)		
30	15600	107600	172	(78)	202	(94)	238	(114)	263	(128)	293	(145)	319	(159)		
32	16500	113800	178	(81)	210	(99)	249	(121)	275	(135)	307	(153)	335	(168)		
34	17500	120700	184	(84)	218	(103)	259	(126)	287	(142)	321	(161)	351	(177)		
36	18400	126900	190	(88)	226	(108)	270	(132)	299	(148)	335	(168)	367	(186)		
38	19300	133100	197	(92)	235	(113)	280	(138)	311	(155)	349	(176)	383	(195)		
40	20200	139300	203	(95)	243	(117)	291	(144)	324	(162)	364	(184)	399	(204)		
42	21100	145500	209	(98)	251	(122)	301	(149)	336	(169)	378	(192)	415	(213)		
44	22000	151700	215	(102)	259	(126)	312	(156)	348	(176)	392	(200)	431	(222)		
Tasa de calentamiento, °F/min.			3.07		4.07		5.27		6.09		7.09		7.98			
			1.70		2.25		2.93		3.39		3.93		4.43			
Estática BHT, °F (°C)			260 (127)		300 (149)		340 (171)		380 (194)		420 (216)		460 (238)			

NOTA 1: La temperatura y la presión final deben mantenerse constantes hasta completar la prueba, dentro de ± 2°F (± 1°C) y ± 100 lppc (± 700 kPa), respectivamente.

NOTA 2: El esquema ha sido desarrollado de los datos de un sistema de lodo a base de agua.

BIBLIOGRAFIA

1. WARREN, G y WALKER, W.A. : "Improved Compositions for Cementing Wells With extreme temperatures" J.P.T. Marzo 1961, Pág. 277.
2. SMITH, D.K. : "Cementing". AIME. 1976. Monografía No.3 Cap. VIII. Pág. 74-76.
3. CLARK, C.R y CARTER, L.G.: "Mud Displacement With Cement Slurries", JPT Julio 1973. Pág. 775-783.
4. SLAGLE, K.A.: "Rehological Design of Cementing Operations", JPT, Marzo 1962. Pág. 323-327.
5. GIBBS, M.A.: "Improve Primary Cementing By Use of Hydraulic Analysis", Oil And Gas Journal, Febrero 15, 1965.
6. SUMAN, G.O. y ELLIS, R.C.: " Cementing Oil And Gas Wells". World Oil Cementing Hand Book 1977. Parte IV. Pág. 37,38.
7. LAWRENCE, D.K. y TOLAND, T.: "Preplaning Deep Holes Pays off For Sun", Petroleum Engineer, Marzo 1967. Pág. 63-65.
8. LEON, L. y HATHORN, D.H. y SAUNDERS, C.D.: "Completion Techniques in Very Deep Wells". Eighth World Petroleum Congress. 1971. Pág. 159-166.
9. DUBROW, M.H.: "Deep Well Cementing". Oil Well Cementing Practices in The USA. API 1959. Pág. 177.

10. TEXAS IRON WORKS, INC.: "Venezolana Liner Seminar". Marzo de 1978. Pág. 1-7.
11. GIBBS, M.A.: "Delaware Basin Cementing: Problemas And Solutions", JPT. Octubre 1968. Pág. 1281-1285.
12. LINDSEY, H.E. Jr. y BATEMAN, S.J.: "Improved Cementing of Drilling Liners in Deep Wells". World Oil. Octubre 1973. Pág. 65-66.
13. GLENN, E.N.: "Liner Cementing-Long Life Technique". Artículo Presentado en el Texas Technological College, Lubbock. Abril 20, 21 1967.
14. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE: "Running And Cementing Liners in The Delaware Basin, Texas". Boletín D-17. Diciembre 1974. Pág. 2-8.
15. ELLIS, R.C.: "Cementing Oil And Gas Wells". World Oil Cementing Handbook 1977. Parte I. Pág. 1-5.
16. SILCOX, D.E. y RUELE, R.B.: "Cements For Oil Wells", Oil Weekly. Vol.78 N°.7. Junio 1935. Pág. 21-24.
17. FARRIS, R.F.: "Effect of Temperature And Pressure on Rheological Properties of Cement Slurries". AIME. Publ.N°.1207. Petroleum Technology Vol.3, N°.2. Mayo 1940.
18. MORGAN, B.E. y DUMBAULD, G.K.: "Measurement of Permeability of Set Cement". J.P.T. Vol.4, N°.6. Junio 1952. Pág.16.

19. CARTER, G. y SMITHK.: "Properties of Cementing Compositions At Elevated Temperatures And Pressures". AIME, 1958. Vol.213. Pág.20.
20. ROMERO, M. y VALERA, Z.: " Estudio de las Propiedades Físicas del Cemento". Trabajo especial de Grado. LUZ. Diciembre de 1976. Pág. 13-18.
21. SUMAN, G.O. y ELLIS, R.C.: "Cementing Oil And Gas Wells" World Oil Hand Book 1977. Parte VI. Pág. 54,55.
22. B.J.-HUGHES INC.: " Applied Engineered Cementing". 1972. Vol I. Pág. 21, 24, 85-90.
23. COOK, C. y CUNNINGHAM, W.: "Filtrate Control-A Key in Successful Cementing Practices". J.P.T. Agosto 1977. Pág. 951-956.
24. SUMAN, G.O.: "Cementing Handbook". World Oil. 1977. Parte II. Pág.14-15.
25. GARCIA, J.A.: "Utilización-Preparación y Corrida de Camisas". Seminario Dictado en Lagoven 1977. Pág. 2-7.
26. EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY: "Primary And Squeeze Cementing School". Mayo 1978. Cap.III. Pág. 1-10.
27. GARCIA, J.A.: "Diseño de Equipos Tubulares de Pozos". Seminario Dictado en Lagoven. Junio 1978. Pág. 149-154.
28. TEXAS IRON WORKS: "Engineering Data For Liner Equipment". Seminario Dictado en Lagunillas, Marzo 1978.

29. GATLIN, C.: "Drilling And Well Completions". Prentice Hall, Inc. N.Y. 1960. Cap.7. Pág. 94-97.
30. EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY: " Drilling Fluid Seminar ". Seminario Dictado en Lagunillas, Venezuela. Junio de 1978.
31. EXXON PRODUCTION RESEARCH COMPANY: " Prevención de Reventones y Control de Pozos". Seminario Dictado en Lagunillas, Venezuela, Marzo 1978. Apendice I-E. Pág. 1-4.
32. MAHONY, B.J. y BARRIOS, J.R.: " Cementing Liners Through Deep High Pressure Zones". Petroleum Engineer, Marzo 1974.