(6) 2 ejem

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

HIDRAULICA OPTIMIZADA UTILIZANDO TI - 59

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A:

Atilano Felipe Centeno Metelin

MEXICO, D. F. 1981

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-107

Al Pasante señor CENTENO METELIN ATILANO FELIPE
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. Ing. Miguel Angel Benitez H., para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO PETROLERO.

"HIDRAULICA OPTIMIZADA UTILIZANDO TI-59"

1. Hidráulica.
2. Hidráulica optimizada.
3. Programa hidráulico de perforación en el pozo Chiapas No. 2.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 4 de marzo de 1981
EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Espriú

JJE'MRV'mdb.

I N D I C E

CAPITULOS		PAGINAS
	Introducción	
I	Hidráulica	1
	1.1 Sistema Hidráulico	8
	1.1.1 Equipo	9
	1.1.2 Bomba	9
	1.1.3 Fluído	10
	1.2 Elementos de la Hidráulica	10
	1.3 Factores a considerar	15
	1.3.1 Variables Alterables	16
	1.3.2 Variables Inalterables	
II	Hidráulica Optimizada	25
	2.1 Máximo Caballaje Hidráulico	25
	2.2 Máxima Fuerza de Impacto	28
	2.3 Velocidad en las Toberas	29
III	Programa Hidráulico de Perforación en el Pozo Chiapas No.2	31
	3.1 Caídas de Presión en el Sistema de Perforación utilizando el Método Bingham, mediante TI-59	34
	3.2 Caídas de Presión en el Sistema de Perforación utilizando el Método de Punto de Cedencia, mediante TI-59	60
	3.3 Diseño de la Hidráulica Optima, mediante el uso de la TI-59	81
	3.4 Ejemplo de Aplicación y Operación	97
	3.5 Programa del comportamiento Hidráulico - de un Pozo en Perforación	102
	3.6 Ejemplo del comportamiento Hidráulico	113

INTRODUCCION.

En la actualidad, se ha alcanzado un alto nivel de progreso en las operaciones de perforación, gracias a las ventajas logradas con la ciencia de la computación.

La industria petrolera encaminada hacia un constante progreso, intenta alcanzar la perforación optimizada y para ello se ha desarrollado la tecnología de la perforación, la cual emplea técnicas basadas en modelo matemáticos.

Antes de que las barrenas de chorro fuesen introducidas en la industria petrolera, los recortes no eran eliminados eficientemente y gran parte de vida de la barrena, era consumida remoliendo los fragmentos de la roca.

Al introducirse en la industria petrolera las barrenas de chorro, apareció la necesidad de emplear mayor potencia en las bombas, dando origen a equipos de mayor capacidad.

El aprovechamiento óptimo de la potencia de la bomba es de una importancia significante, el conocimiento del consumo de energía en los componentes del equipo y evaluación analítica, son esenciales para dicha energía disponible.

El objetivo del presente trabajo, es el analizar los métodos de optimización de la hidráulica de perforación. El trabajo se apoya en modelos matemáticos y programas de cómputo que se efectúan con la Computadora manual TEXAS INSTRUMENTS 59.

CAPITULO I
HIDRAULICA

El concepto de hidráulica en la perforación rotatoria apareció en 1948, cuando se utilizaron por primera vez toberas - en las barrenas de arrastre y en 1949 se aplicaron a barrenas de conos.

La hidráulica de perforacion es, el empleo de la ciencia de los efectos de las velocidades de los fluídos, las presiones y fuerzas que intervienen.

El uso de toberas en las barrenas dan por resultado incrementos inmediatos en la presión superficial y mantenimiento - adicional a las bomoas a medida que el diámetro de éstas toberas disminuye, el fluído de perforación al abandonar las toberas, lo nace en flujo turbulento a una mayor presión, siendo capaz de -- limpiar los dientes de la barrena con eficacia y por éste motivo cuando los dientes penetran a la formación, logran trabajar con mayor efectividad, que cuando están parcialmente obstruidos por los elementos de corte.

Por diseño, la dirección del chorro al abandonar las - toberas, éste se impacta contra la formación en el fondo del agujero produciendo el efecto de erosión que ayuda a obtener una mayor velocidad de penetración, así mismo levanta los recortes tan pronto como éstos sean generados, impidiendo que parte de la vi-

da de la barrena se consuma remoliendo los recortes.

Concerniente a las altas presiones superficiales que se pueden alcanzar mediante el use de toberas, es necesario elaborar una distribución de la potencia del equipo, lográndose, mediante el cálculo de la hidráulica de perforación.

Se denomina hidráulica de perforación, a un programa de presión y volumen de fluído circulando, adaptado al equipo y condiciones de pozo disponibles, diámetros de tuberías, profundidad del pozo, tipo de formación, densidad del lodo, etc., para obtener la mayor velocidad de perforación.

Las fricciones, puentes y tuberías pegadas, son problemas que ocurren frecuentemente; pueden deberse a una hidráulica inadecuada. Puede ser que el lodo esté en condiciones satisfactorias, pero si existe un mal diseño hidráulico, aún mejorando las propiedades del lodo, el daño podría continuar.

Para determinar la causa del problema, deberan considerarse todos los factores que contribuyen a limpiar el agujero. (Los cortes redondeados son una indicación de que éstos han estado rebotando en el agujero).

Una de las funciones del lodo, es sacar los cortes del agujero, siendo necesario que se comprendan todas las variables,

incluyendo la hidráulica, que ayuda al lodo a verificar ésta función. Con la técnica apropiada de hidrálica, se ganan ciertas -- ventajas adicionales, tales como un agujero parejo, mayor efi--- ciencia de las barrenas, menos torsión, menor peligro de pegarse la tubería, menores pérdidas de circulación y evitar el peligro de brotes imprevistos.

PASOS DE FLUJO.

En el desplazamiento,el fluído de perforación, atraviesa por varias fases de flujo en el agujero, figura 1-1.

En el primer paso no hay flujo, durante éste período - la presión aplicada al lodo es insuficiente para producir un esfuerzo cortante que deberá actuar en las paredes de la tubería, para vencer las fuerzas de fricción del sistema, el valor máximo de ésta fuerza, es el verdadero valor de rendimiento (punto ce-- dente) en el punto A.

El segundo paso ocurre al excederse el verdadero valor de rendimiento de tapón sólido; el tapón está lubricado por una delgada película de lodo pegada al tubo. Esta porción del flujo corresponde a la sección A-B de la curva en la figura 1-1.

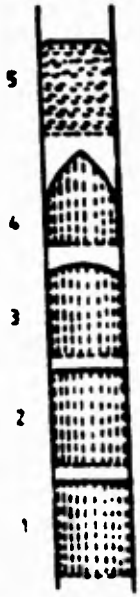
El tercer paso ocurre cuando la presión se aumenta lo suficiente para que inicie el movimiento del lodo, con una velocidad diferencial. Esta diferencia se debe a la resistencia de - fricción que retarda el flujo de velocidad en la tubería y la -- pared del agujero, dando por resultado un máximo de velocidad en la porción central del espacio anular, éste paso del flujo se --

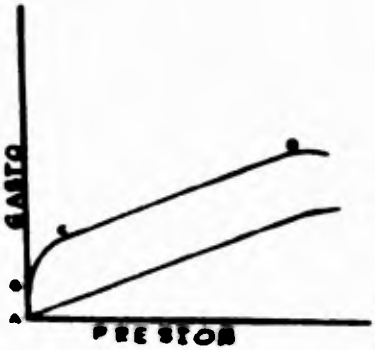
muestra en la figura 1-1 por el segmento B-C de la curva.

Al aplicarse una mayor presión, el movimiento en la -- sección transversal del fluído, se incrementa en la parte cen--- tral del espacio anular. Así el frente de velocidad cambia desde un frente esencialmente plano, hasta tomar la forma de una parábola. Este es el cuarto paso del flujo conocido como laminar. Al alcanzar el flujo laminar, la porción C-D de la curva de la - figura 1-1, tendrá una pendiente constante. La velocidad de flujo puede aumentarse aún más, hasta que las partículas del fluído se salen del camino paralelo y se entremezclan en forma desordenada. Esta forma de flujo se llama flujo turbulento y el quinto paso mostrado en la figura 1-1, bajo condiciones de circulación normales en el pozo, pueden existir ambos flujos.

La velocidad crítica en los fluídos no-newtonianos es un Indice del cambio de flujo laminar a flujo turbulento.

En el interior de las tuberías de perforación, conexiones superficiales, lastrabarrenas y barrena, invariablemente la velocidad del lodo es superior a la velocidad crítica ó sea que el flujo es turbulento y en éstas condiciones el punto de cedencia no tiene efecto en las pérdidas de presión por fricción y -- los factores determinantes son; la densidad del lodo y la viscosidad plástica.





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

ESTADOS DE FLUJO PARA FLUIDOS DE PERFORACION (PLASTICO

TESIS PROFESIONAL

ATILANO FELIPE CENTENO METELIN

MEXICO D.F. JUL 1981 | LAMINA No. 1

Para obtener los mejores resultados en la perforación de un pozo, es indispensable el aprovechamiento adecuado del --- equipo de perforación en general, principalmente las bombas, la tubería de perforación, las lastrabarrenas, etc., y aplicar co-- rrectamente los principios hidráulicos que al final se traducirá en un aumento en la velocidad de perforación, limpieza de la barrena y eliminación efectiva de los cortes al estar perforando, sin embargo para la correcta aplicación de la hidráulica y para la obtención de resultados positivos es indispensable el uso de fluídos de perforación adecuados a las formaciones perforadas.

Estos principios hidráulicos se aplican no solo a los lodos que son líquidos, sino también al aire y al gas, cuando -- son usados con el mismo fín.

No escapa a éste cuidado tambien el mantenimiento adecuado de las propiedades reológicas de los fluídos de perfora--- ción dentro de los límites correspondientes a sus diferentes densidades.

Todo recorte de la formación, está sujeto a dos fuer-- zas: la que es debida a la velocidad anular ascendente del lodo y la velocidad de asentamiento como sólido, sobre el que actúa - la acción de la gravedad.

La velocidad anular es la velocidad ascendente, con la

que el lodo se levanta en el espacio anular.

Depende de la bomba y está en razón directa del gasto de la misma y en razón inversa del área anular:

$$V=\frac{24.51\ Q}{Db^2-dtp^2}$$

en donde: V= Velocidad anular (Pies/Min)

Q= Gasto (Gal/Min)

Db= Diámetro de la barrena (Pgs)

dtp= Diámetro exterior de la tubería de -- perforación (Pgs)

Las velocidades anulares varían considerablemente durante la perforación, en formaciones de roca dura, donde la velocidad de penetración es lenta, pueden emplearse con éxito bajas velocidades anulares. En cambio si las formaciones son suaves y la penetración alta, será necesario utilizar velocidades anulares mayores. Esto sirve para elevar los cortes en el menor tiempo, limpiar la barrena y el fondo del agujero, evitando el embolamiento de la barrena.

Si se necesita una mayor velocidad anular, pueden ponerse las bombas en paralelo, descargando las dos bombas en la misma línea y el volumen de salida es la suma de la salida de cada bomba. Al poner las bombas en paralelo, se obtiene un mayor volumen de fluído y mayores velocidades anulares; si necesita ma

yor presión, las bombas pueden ponerse en serie, es decir, una - bomba descarga en la segunda; el volumen de salida, es la capacidad de la bomba más pequeña operando a la velocidad seleccionada. Al poner las bombas en serie, no se obtiene mayor gasto, pero se aumenta la presión. Esto puede ser ventajoso, donde hay altas - pérdidas de presión en el sistema.

La velocidad de rotación de la tubería de perforación es otro factor que contribuye en la velocidad de penetración. - La fuerza centrífuga producida por la rotación de la tubería, empuja los cortes a las regiones de alta velocidad que existen en la porción central del espacio anular, donde son más facilmente arrastrados hacía arriba.

Velocidad de asentamiento.- Los cortes debido a la -- gravedad tienden a caer a través del fluído de perforación al subir en el espacio anular. Cuando la velocidad del fluído excede la velocidad de caída, los sólidos son arrastrados a la superficie. Sin embargo, si la velocidad de resbalamiento es mayor que la velocidad anular, las partículas permanecerán en el agujero. Una señal de ésta situación, es cuando no se recupera totalmente el corte en el vibrador. Otra indicación son los intentos de pegadura; tal situación ocurre frecuentemente cuando el fluído en el agujero tiene flujo laminar y cuando las partículas acarreadas por el fluído son relativamente grandes. Pueden hacerse cálculos para determinar la velocidad de resbalamiento de las partí

culas, para compararlas con la velocidad ascendente y hacer co-- rrecciones, ya sea en las propiedades del lodo ó en las hidrauli cas.

Las variables que influyen en la velocidad de caída de los cortes son: Tamaño y forma de los cortes, densidad de los -- cortes, densidad del lodo y tipo de flujo.

En flujo laminar la velocidad de caída de los cortes - está afectada por: Densidad del lodo, viscosidad plástica y tamaño de la partícula.

El tamaño de la partícula se rige, por el efecto cor-- tante de la barrena (tipo), el que varía con el espaciamiento y tamaño de los dientes, peso sobre la barrena, velocidad de rotación, velocidad en las toberas, etc.-

Por lo anterior se concluye que: El corte no será --- arrastrado hacía la superficie y estará triturandose una y otra vez en la barrena, ocasionando retraso en la perforación y peligro de pegaduras de la sarta de perforación, cuando la velocidad de asentamiento del mismo sea superior a la velocidad anular.

1.1 Sistema Hidráulico:

El sistema hidráulico de un pozo de perforación, está constituído por tres partes principales:

a) El Equipo de Perforación.

b) Bombas de Lodo.

c) El Fluído de Perforación.

1.1.1 El Equipo de Perforación.- Constituído por los elementos que dan lugar al circuito del fluído en un pozo de perforación, como se ilustra en la figura 1-2

El fluído al ser desplazado en el circuito de perforación da origen a caídas de presión, ocasionadas por la fricción entre las paredes del sistema y el fluído en contacto con las -- mismas.

Es de vital importancia calcular las caídas de presión en el sistema para poder realizar la optimización de la hidráulica.

1.1.2 Las Bombas de Lodo.- Son el corazón de cual--- quier sistema hidráulico, ya que la potencia impulsora ó energía mecánica que se aplica a las Bombas de Lodo, convertirá a éstas en potencia hidráulica y se conoce que el equipo mecánico no es 100% eficiente, la potencia hidráulica es inferior a la potencia impulsora.

Potencia Hidráulica =Potencia Impulsora x Efic.Mecánica

Existen diferentes tipos de bombas, variando principalmente en el gasto ó volumen por minuto que puede manejar en la - presión máxima de descarga para cada una de las Camisas(Liners)-

y consecuentemente, en la potencia hidráulica.

El gasto de la Bomba, depende de:

a) Emboladas por minuto.

b) Diámetro de la camisa.

c) Carrera ó longitud del pistón.

d) Eficiencia mecánica.

A una misma velocidad de bombeo, una bomba reduce el volumen que maneja al disminuir el diámetro de la camisa, pero aumenta la Presión de Descarga.

Si por el contrario, se aumenta el diámetro de la camisa, con la misma velocidad de bombeo, el volumen manejado aumenta, pero disminuye la Presión de Descarga.

1.1.3 El Fluído de Perforación.- Es el factor indispensable para llevar a cabo en forma satisfactoria un programa hidráulico de perforación, las principales funciones del Fluído de Perforación, desde el punto de vista hidráulico:

a) Elevar los cortes del fondo del agujero, hasta la superficie a medida que éstos sean generados.

b) Transmitir potencia hidráulica a la barrena.

c) Ejercer suficiente presión hidrostática para controlar los fluídos encontrados en las formaciones penetradas.

1.2 Elementos de la Hidráulica:

Los elementos de la hidráulica son:

a) **Volumen de Circulación.**

b) **Presión de Bombeo.**

c) **Relación del Gasto con la Potencia de la Bomba.**

d) **Fluído de Perforación.**

1.2.1 **Volúmen de Circulación.-** El volumen de circulación depende del diámetro del pozo, del diámetro de la tubería de perforación y de la velocidad anular mínima para acarrear los recortes por el espacio anular entre la tubería de perforación y las paredes del agujero, puede variar entre 100 Pies/Min. en perforación de formaciones duras y 180 Pies/Min. en perforación de formaciones suaves. La experiencia dirá en todo caso, cuál deberá ser la velocidad anular correcta para las condiciones de perforación.

1.2.2 La Presión de Bombeo.- Es la suma de las presiones necesarias para desplazar un fluído a través del "Circuito del Fluído de un pozo en perforación".

La presión de la Bomba es consumida por:

a) Caída de Presión por fricción en conexión superficial.

b) Caída de Presión por fricción dentro de la tubería de perforación y en el interior de las lastrabarrenas.

c) La aceleración del fluído de perforación a través de las toberas, y

d) Caída de Presión por fricción en el espacio anular

En forma matemática podemos representarlo de la si---- quiente manera:

$$P_B = P_S + P_{ITP} + P_{IDC} + P_b + P_{EDC} + P_{ETP}$$

En donde:

P_B = Presión de bombeo.

P_S = Pérdida de presión por fricción en el equipo superficial.

P_{ITP} = Pérdida de presión por fricción en el interior de la tubería de perforación.

P_{IDC} = Pérdida de presión por fricción en el interior de las lastrabarrenas.

P_b = Pérdida de presión en la barrena.

P_{EDC} = Pérdida de presión en el exterior de las lastrabarrenas.

P_{ETP} = Pérdida de presión en el exterior de la tubería de perforación.

Si al conjunto de caídas de presiones en el sistema, exceptuando la barrena, le llamamos: P_C

$$P_C = P_S + P_{ITP} + P_{IDC} + P_{ETP} + P_{EDC}$$

Entonces:

$$P_B = P_C + P_b$$

y cada término de ésta última ecuación, debe ser estudiado cuidadosamente con el objeto de llegar lo más cerca posible a su valor real.

El cálculo individual de éstas caídas de presiones dependen de:

* **Patrón de flujo.-** Laminar, transición ó turbulento (que tenga en cada sección)

* **Tipo de Fluído de Perforación.-**

Generalmente, en la sarta de perforación y conexiones superficiales el flujo es turbulento, en el espacio anular en la sección agujero lastrabarrena tenemos flujo laminar, y en algunas ocasiones turbulento, ésta última no es muy deseable por la erosión del lodo en la pared del pozo y por último tendremos flujo laminar en espacio anular del agujero-tubería de perforación.

El procedimiento a seguir consiste en establecer los parámetros reológicos del viscosímetro Fann, elegir el modelo reológico más adecuado, calcular la velocidad media del lodo, la velocidad crítica y el número de Reynolds, para poder emplear los modelos matemáticos adecuados.

Las conexiones superficiales, están constituídas por:

1.- Tubo Vertical.

2.- Manguera.

3.- Unión Giratoria.

4.- Flecha.

Existen cuatro tipos comunes empleados en la industria petrolera, son:

	TIPO I D.I. Long.Equiv.	TIPO II D.I. Long.Equiv.	TIPO III D.I. Long.Equiv.	TIPO IV D.I. Long.Equiv.
Tubo Vertical	3" X 40'	3.1/2" X 40'	4" X 45'	4" X 45'
Manguera	2" X 45'	2.1/2" X 55'	3" X 55'	3" X 55'
Unión Giratoria	2" X 20'	2.1/2" X 25'	2.1/2" X 25'	3" X 30'
Flecha	2.1/4" X 40'	3.1/4" X 40'	3.1/4" X 40'	4" X 40'
Long.equivalente de 3" D.I. en Mts	200	80	50	30

1.2.3 Relación del Gasto con la potencia de la Bomba. La presión en el tubo vertical(Stand-Pipe), es la presión que se pierde a lo largo del circuito de perforación, incluyendo la barrena.-

Matemáticamente la potencia en la superficie, es el -- producto de la presión por el gasto.- A gasto constante, pero - con diferentes diámetros de toberas y condiciones iguales, se obtendrán diferentes presiones superficiales.- Esto dice, que podemos seleccionar la potencia necesaria, según el gasto y diámetro de toberas.

Podemos seleccionar el gasto óptimo, para perforar un intervalo aprovechando al máximo la potencia de la bomba, según el criterio seleccionado(A mayor gasto, mayor potencia).

1.2.4 Fluído de Perforación.- Basándose en datos obtenidos de pozos perforados en la región, deberá considerarse -- que presiones de fondo se han obtenido para que el Programa de - fluídos de perforación se elabore con una densidad tentativa.

Cuando se aumenta mucho la densidad del fluído, se comprime más el fondo del pozo y dificulta a los dientes de la ba-- rrena penetrar en una formación más fuertemente compactada.

La resistencia a la compresión de las rocas tiene que excederse para que una barrena haga agujero, la presión hidrostática hace a las rocas más difíciles de perforar(La velocidad de penetración disminuye a medida que la diferencial entre las presiones del agujero y de la formación aumenta).

La acción mecánica de la barrena hará que se forme una astilla, pero la astilla aparentemente la mantiene en su lugar, la presión hidrostática del agujero, la acción del chorro, ayuda a desprender las astillas del fondo.

1.3 Factores a considerar:

Se pueden preparar Programas Hidráulicos, considerando dos factores:

1.- Limpieza de la barrena.

2.- Limpieza del agujero.

Limpieza de la barrena.- La velocidad adecuada del -- chorro y el impacto del fluído, son necesarios para la limpieza de la barrena. La velocidad óptima del chorro, depende de la du

reza de la formación. El rango de velocidad recomendado para -- desplazar el fluído de perforación a través de las toberas, es - de 250 a 450 Pies/seg.

Limpieza del agujero.- El fluído circulante se levanta del fondo acarreando los cortes a la superficie, por influencia de la gravedad los cortes tienden a asentarse a través del - fluído ascendente, pero circulando una cantidad suficiente de -- fluído con la velocidad requerida es posible nulificar este efecto.

La efectividad del lodo para sacar los cortes a la superficie, depende de varios factores: Velocidad en el espacio -- anular, densidad, viscosidad, etc.

La filosofía de la perforación optimizada, consiste en utilizar la información del primer pozo, como base para los cálculos y aplicación de técnicas óptimas que deban de emplearse en segundos y terceros pozos. Con el objeto de poder perforar en - una misma área, un número de pozos con el menor tiempo posible - a velocidades de penetración altas y con la disminución de cos-- tos, mediante el uso de técnicas de optimización.- Las varia--- bles de perforación, pueden ser clasificadas como Alterables e - Inalterables:

1.3.1 Variables Alterables

Lodo:
- Tipo
- Contenido de sólidos

1.3.2 Variables Inalterables

- Clima
- Localización
- Condiciones del equipo

Viscosidad
Pérdidas de fluído
Densidad

Hidráulica:
Presión de bombeo
Velocidad del chorro
Volumen de circulación
Velocidad anular

Tipo de barrena
Peso sobre barrena
Velocidad de rotación

Flexibilidad del equipo
Gases corrosivos en el pozo
Temperatura de fondo
Tiempo de viaje redondo
Propiedades de las rocas
Problemas característicos de pozo
Agua disponible
Formación que será perforada
Eficiencia de la cuadrilla
Profundidad

Existe una interdependencia entre las variables alterables, por ejemplo: la viscosidad y la pérdida de fluído, están influenciadas considerablemente por el tipo y cantidad de sólidos.

El peso sobre la barrena y las revoluciones por minuto están íntimamente ligadas, un incremento en uno, da origen a la reducción del otro.

Reología.- Es la ciencia que trata la deformación y el flujo de la materia. En el estudio del petróleo al tratar la reología, hay que remitirse al estudio de la viscosidad y los efectos que sobre ella ejercen la temperatura, el esfuerzo cortante y la velocidad de corte.

Viscosidad.- Es la medida de la resistencia interna de los líquidos ó de los gases al flujo. Es decir, la resistencia que oponen las partículas que se desplazan con distintas velocidades.

Fuerza Cortante.- Es la componente tangente a la superficie, sobre la cuál actúa la fuerza, y al dividir ésta fuer-

za entre el área de la superficie, resulta la tensión de cortadura media ó esfuerzo cortante medio sobre el área considerada. - El esfuerzo cortante en un punto es el límite de la fuerza de -- corte; con relación al área, cuando ésta se reduce al punto considerado.

Considérese la situación supuesta esquemáticamente en la figura 1-3, las dos líneas paralelas horizontales separadas por una distancia "L", mientras que la placa inferior se supone fija, la placa superior, en cambio, tiene libertad de moverse horizontalmente, pero no en un plano vertical, teniendo lugar ésta restricción, teóricamente, sin producir fricción horizontal. -- También conviene imaginar que las placas tienen una extensión infinita. lo que no impide que la placa superior pueda ser acelerada por efecto de la aplicación de una fuerza de magnitud finita.

Supóngase, que se aplica una fuerza de intensidad "F" constante, a la placa superior, de manera que los momentos van - disminuyendo a medida que disminuye la separación entre capas ó láminas; supóngase, también que la fuerza "F" en el intervalo de tiempo que transcurre entre t=0 y t=T, obliga a la placa supe--- rior a desplazarse una distancia aa'=bb', con una velocidad uniforme cuyo valor es, por consiguiente aa'/T.

Considérese anora, que el líquido, que es enteramente homogéneo, se adhiere a ambas placas. En estas condiciones, la lámina infinitamente delgada que originalmente estaba en contacto con la placa superior, no habrá experimentado perturbación al

guna, y de manera similar, la capa que estaba en contacto directo con la placa inferior, en el instante t=0, todavía no habrá sufrido alteraciones en el tiempo t=T.

El fluído que se encuentra en contacto con una placa sólida, tiene la misma velocidad que pueda tener esa placa sólida, es decir, no hay resbalamiento entre la placa y la lámina delgada de fluído que están en contacto. El fluído en el área "abcd" se desplaza a la nueva posición a'b'cd, con un movimiento laminar y paralelo, en el que la velocidad "V" varía uniformemente desde cero en la placa estacionaria, hasta un máximo en la placa superior; se demuestra experimentalmente que en tanto se conserven constantes las demás cantidades que se relacionan, "F" es directamente proporcional a "A" y a "V max" e inversamente proporcionalmente a "L".-

Expresado matemáticamente:

$$F = C \frac{A \cdot V\,max}{L}$$

ó bien para cualquier situación intermedia:

$$F = C \frac{A \cdot dv}{dy}$$

El coeficiente "C" de proporcionalidad se representa por "μ" que es característico para cada fluído en particular, y se llama coeficiente de viscosidad, ó de fricción interna, de ahí que la ecuación anterior quede en la forma:

$$F = \mu \cdot \frac{A \cdot dv}{dy}$$

ó bien: $\frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy}$

el esfuerzo cortante = $\tau = \frac{F}{A}$

por lo tanto: $\tau = \eta \frac{dv}{dy}$

es la ecuación sugerida por Newton.

La relación dv/dy, es la velocidad angular de la línea "da"(Gradiente de velocidad, le llamamos velocidad de corte), ó bien puede decirse que es la razón ó ritmo de deformación angu-- lar del fluído, ó sea, el ritmo con el que decrece el ángulo --- "adc". El gradiente de velocidad dv/dy, es pues, el ritmo ó velocidad con que una lámina se mueve en relación con otra adyacente a ella.

Una substancia plástica, no puede satisfacer la definición que se da de un fluído, debido a que tiene un esfuerzo de - deformación inicial, que es necesario sobrepasar para establecer una deformación contínua. Si se coloca una substancia plástica entre dos placas sólida, se deformará una cierta cantidad, que - será proporcional a la fuerza, pero no lo hará en forma contínua con un ritmo dado.

El estudio de la viscosidad, como se indica con la fórmula:

$$\eta = \frac{F/A}{v/y}$$

Es decir, como la relación del esfuerzo de corte con - la velocidad de corte en un líquido, tiene aplicación práctica - en los viscosímetros de tipo rotacional; determinando la varia-- ción del valor del esfuerzo de corte a diferentes velocidades de corte, se pueden conocer las propiedades reológicas de los lodos de perforación y de cualquier otro líquido.

De acuerdo con la variación del valor de esfuerzo de corte, al variar la velocidad de corte, se han establecido cuatro tipo ó modelos ideales de fluídos, que son: Los Newtonianos (llamados "verdaderos"), los líquidos Seudoplásticos, los líquidos Dilatantes y los líquidos Plásticos de Bingham. Los tres últimos tipos se conocen también con el nombre genérico de no-Newtonianos. La mayor parte de los lodos de perforación, son suspensiones coloidales y/ó emulsiones, que se comportan como fluídos plásticos ó no-Newtonianos, y se asemejan al modelo propuesto por Bingham, por lo que a los lodos de perforación se les denomina también Líquidos Plásticos de Bingham.

Fluídos Newtonianos.- Se caracterizan porque la relación del esfuerzo de corte con la velocidad de corte es constante; esto es, su viscosidad es constante si permanecen fijos la temperatura y la presión(ver figura 1-4). Esta misma condición la cumplen, también los gases y desde este punto de vista pueden considerarse, como Fluídos Newtonianos.

Como ejemplos de líquidos verdaderos, tenemos el agua, la mayor parte de las soluciones acuosas, alcohol etílico, éter, etc..

Fluídos Seudoplásticos.- En éstos líquidos, la viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de corte (figura 1-5).-

Ejemplos: Soluciones de látex y algunas soluciones de jabón.

Fluídos Dilatantes.- El valor de la viscosidad aumenta al aumen

tar la velocidad de corte, (figura 1-6).

Ejemplos: Resinas vinílicas y engrudo de almidón.

Fluídos Plásticos de Bingham.- El comportamiento de éstos fluídos, bajo diferentes valores de esfuerzo de corte, se caracterizan por dos parámetros: La Viscosidad Plástica y el Punto de Cedencia, (ver figura 1-7), se requiere un valor determinado del esfuerzo de corte, para obtener una velocidad de corte apreciable. Este valor mínimo del esfuerzo de corte, lo denominamos Punto ó Valor de Cedencia; al aumentarse todavía más el esfuerzo de corte, se reduce la viscosidad del líquido en la región donde el régimen de flujo es de tapón, y en la región de transición de flujo de tapón a flujo laminar. En la región de flujo laminar, la viscosidad permanece constante y se le denomina Viscosidad Plástica, el valor de ésta viscosidad disminuye nuevamente en la región de transición de flujo laminar a flujo turbulento. En la región de flujo turbulento, éstos fluídos plásticos se comportan en forma similar a los verdaderos, es decir, el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte. Como ejemplo de éstos fluídos, aparte del fluído de perforación ya mencionado, están las lechadas de cemento, las suspensiones de sólidos, particularmente si éstas tienden a hincharse, ó asociarse con la fase fluída; también se cuentan unas gelatinas de fracturación empleadas en los pozos petroleros.

El Punto de Cedencia ó Valor Inicial del esfuerzo de corte, se debe a una propiedad de estructuración por cargas químicas residuales, de las partículas coloidales en suspensión,

originando que los líquidos plásticos en reposo adquieran una -- consistencia gelatinosa, la cual desaparece por agitación. A ésta propiedad se le denomina "Tixotropía" y es un proceso reversible e isotérmico.

El valor de la Viscosidad Plástica de un fluído Bingham, depende de los siguientes factores:

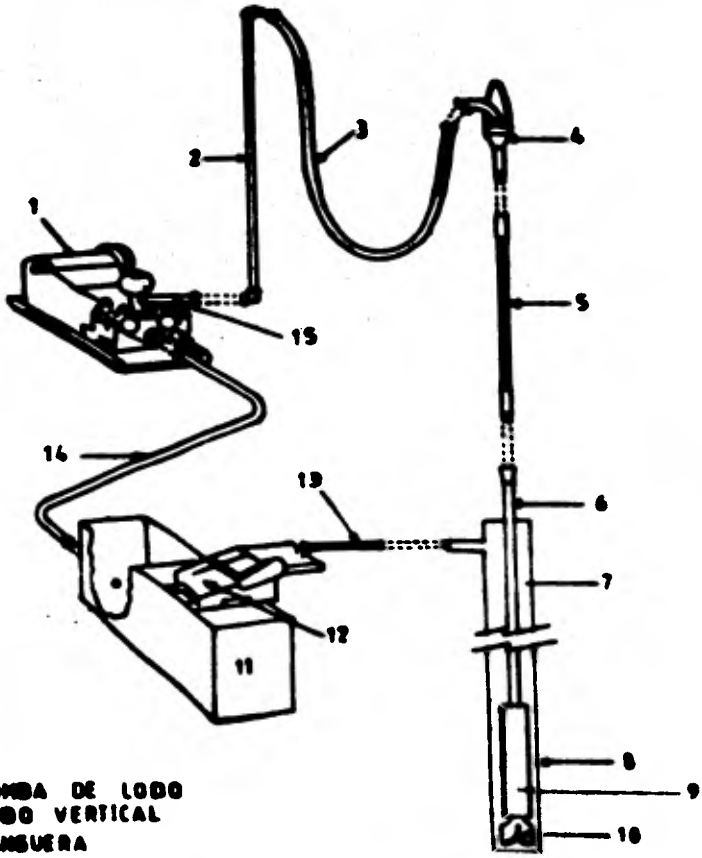
a) Temperatura del fluído
b) Viscosidad del medio dispersante(fase fluída)
c) Concentración de los sólidos, y
d) Forma de los sólidos.

De acuerdo con lo anterior, el tratamiento de los lodos con agentes dispersantes, no reduce la Viscosidad Plástica - de los mismos, puesto que no modifica ninguno de los factores -- mencionados. Si el agente dispersante reduce el punto de Cedencia del lodo por saturación de Valencias químicas, el estudio -- Viscométrico del lodo tratado con dispersante dará una curva similar a la "B" de la figura 1-8, siendo la curva "A", la del lodo original sin tratamiento.

Si a la vez que se reduce el Punto de Cedencia del lodo por la adición de un dispersante, alteramos uno de los factores que influyen en la Viscosidad Plástica, como, por ejemplo; - reduciendo la concentración de sólidos(que incidentalmente es la forma más común de reducirla), se obtendrá un lodo con menor punto de Cedencia y menor Viscosidad Plástica, como se muestra en - la curva "C" de la figura 1-8; como son muchos los factores que

influyen en la viscosidad plástica, no siempre se puede correlacionar ésta con el contenido de sólidos de un lodo, y para el -- control de los lodos en los pozos, se establecen normalmente límites ó rangos de viscosidad plástica. Estos rangos deben determinarse para cada región y para cada densidad, tipo de lodo, tratamiento quimico, etc., como excepción a lo ya indicado, algunos lodos si disminuyen su viscosidad plástica cuando se tratan con dispersantes.

Las rectas A', B' y C' de la figura 1-8, representan - las viscosidades aparentes, correspondientes a los tres lodos. La viscosidad aparente de un líquido plástico, es la que se de-- termina a una sola velocidad de corte, suponiendo que ese valor corresponde a la lectura de un líquido verdadero, ó sea que la - viscosidad aparente está dada por la pendiente de la recta que - va del origen al punto determinado por los valores de esfuerzo - de corte y velocidad de corte; se obtienen diferentes valores de ella, en el mismo líquido plástico.



1-BOMBA DE LODO
2-TUBO VERTICAL
3-MANGUERA
4-UNION GIRATORIA
5-FLECHA
6-TUBERIA DE PERFORACION
7-ESPACIO ANULAR
8-PARED DEL AGUJERO
9-LASTRABARRENA
10-BARRENA CON TOBERAS
11- PRESA DE LODO
12-VIBRADOR
13-LINEA DE DESCARGA DE LODO
14-LINEA DE SUCCION (BOMBA)
15-LINEA DE DESCARGA (BOMBA)

FIG. 1-2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	
SISTEMA DE CIRCULACION	
TESIS PROFESIONAL ATILANO FELIPE CENTENO METELIN	
MEXICO DF JUL.1981	LAMINA No 2

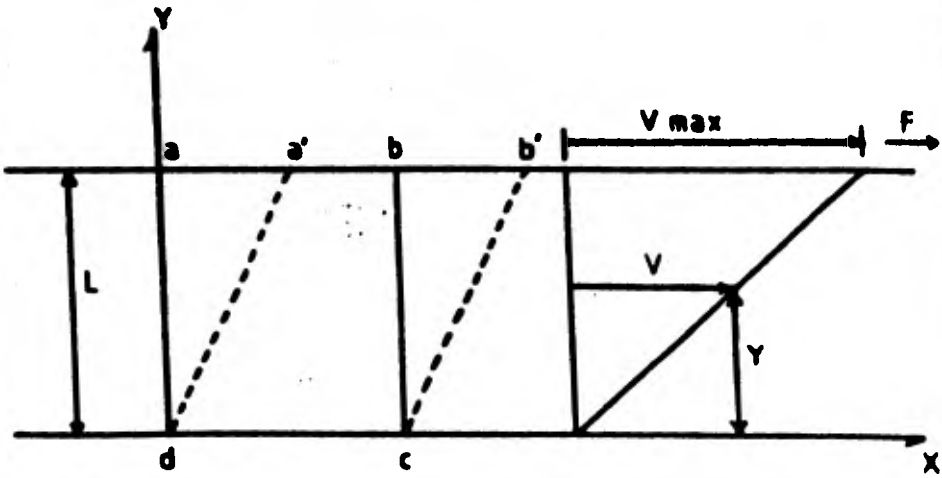


FIG. 1-3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA
DEFORMACION RESULTANTE: FLUIDO AFECTADO POR LA APLICACION DE UNA FUERZA CTE.
TESIS PROFESIONAL ATILANO FELIPE CENTENO METELIN
MEXICO D.F. JUL 1981 | LAMINA No 3

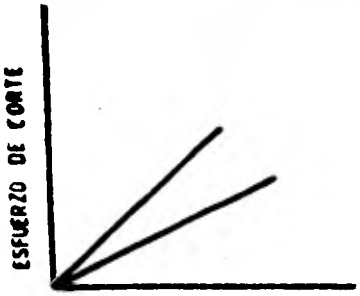


FIGURA No.1-4

FIGURA No. 1-5

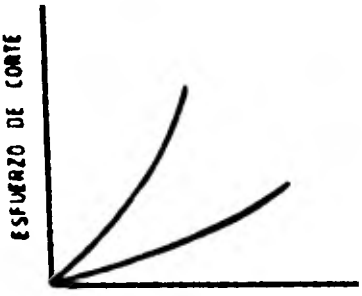


FIGURA No 1-6

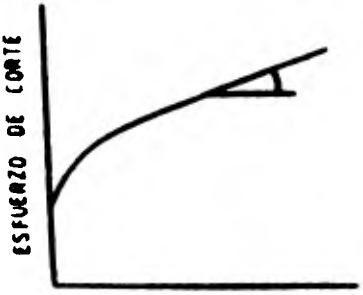


FIGURA No 1-7

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	
GRAFICAS DE COMPORTAMIENTO	
TESIS PROFESIONAL ATILANO FELIPE CENTENO METELIN	
MEXICO D.F. JUL.1981	LAMINA No 6

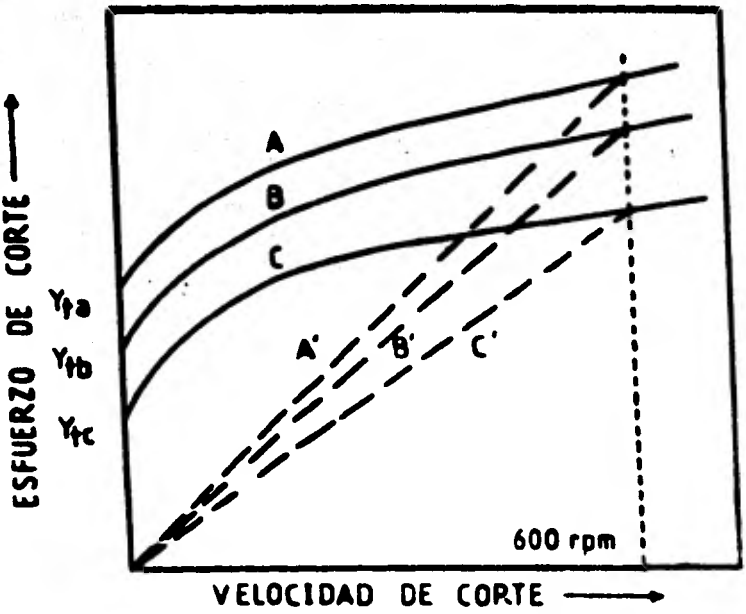
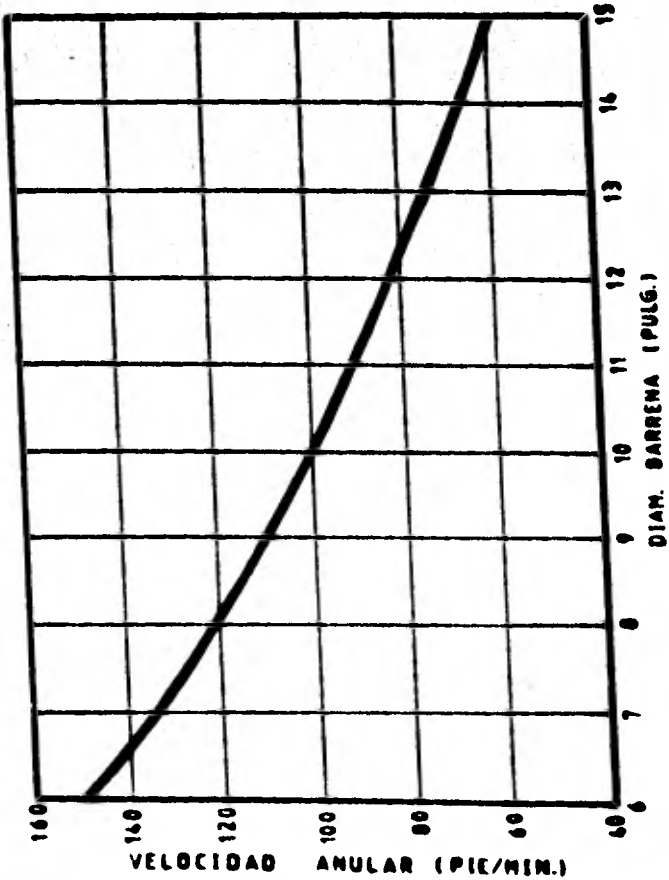


FIG. 1-8

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	
COMPORTAMIENTO DEL ESFUERZO DE CORTE VS LA VELOCIDAD DE C.	
TESIS PROFESIONAL ATILANO FELIPE CENTENO METELIN	
MEXICO DF JUL 1981	LAMINA No 5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	
VELOCIDAD ANULAR MINIMA NORMAL	
TESIS PROFESIONAL ATILANO FELIPE CENTENO METELIN	
MEXICO D.F. JUL.1981	LAMINA No. 6

CAPITULO II
HIDRAULICA OPTIMIZADA

Podemos definir la optimización, como el conjunto de procesos para encontrar las condiciones necesarias que proporcionen los mejores resultados para una situación dada.

El diseño de un programa hidráulico en general, consiste en elegir un gasto óptimo para cada profundidad de la perforación y que estará relacionado directamente con el efecto hidráulico que se esté considerando.

Los parámetros actualmente usados en el diseño de la hidráulica son:

1.- Potencia hidráulica en la barrena.
2.- Impacto hidráulico.
3.- Velocidad en la boquilla del chorro.
4.- Velocidad del fluído en el espacio anular.

Debido a que en la mayoría de las operaciones, los únicos dos métodos que se usan para el diseño del programa hidráulico son: Impacto Hidráulico y Potencia Hidráulica en la barrena, éstos serán los métodos que estudiaremos.

2.1 Máximo Caballaje Hidráulico.-

Potencia es la rapidez con que se ejecuta un trabajo,

la energía de la bomba(E) puede ser convertida a potencia hidráulica(H), multiplicando(E) por la masa(dl x Q), ésto es:

$$H = dl \times E \times Q = PB \times Q \text{ - - - - - - - - -(1)}$$

Si el gasto es expresado en Galones/Min. y la presión de bombeo en Libras/Pulg.cuadrada y H en caballos de fuerza, entonces:

$$H = \frac{PB \times Q}{1714} \text{ - - - - - - - - - - - - - - - - (2)}$$

Los caballos de fuerza hidráulicos, pueden definirse como la velocidad a la que el fluído hace trabajo en el sistema circulatorio; en realidad los caballos de fuerza son una velocidad definida de hacer trabajo.

Los incrementos contínuos de potencia hidráulica en la barrena ofrece la efectividad de mayores incrementos en la velocidad de penetración. Sin embargo, existe una cantidad óptima en la que el costo en pesos por metro de agujero, es el mínimo. (Cualquier incremento en la potencia hidráulica ya no trae consigo un aumento en el avance. Ver figura 2-1).-

El caballaje hidráulico desarrollado por la bomba se utiliza en parte en vencer la resistencia ofrecida al lodo por el sistema circulatorio, destinándole el resto a la barrena.

Si se aumenta indiscriminalmente la potencia superficial en general, se aumentará el gasto a presión constante, incrementándose por lo tanto las caídas de presión en el sistema. Esto trae como consecuencia(para una misma combinación de toberas), que aumente el caballaje destinado a vencer la resistencia

por circulación a costa del caballaje empleado en la barrena; lo cual significa que el parámetro que requiere optimizarse, es el caballaje en la barrena y no el superficial.

La presión de bombeo(PB) se consume en caídas de presión en el sistema, excluyendo la barrena(Pc) y caídas de presión en la barrena(Pb).

Esto es:

$$PB = Pc + Pb \quad \text{- - - - - - - - - - - - - -} \quad (3)$$

Las caídas de presión en el sistema, excluyendo la barrena se puede substituir por $K \times Q^m$.

Esto es:

$$PB = K \times Q^m + Pb \quad \text{- - - - - - - - - - - - -} \quad (4)$$

$$Pb = PB - K \times Q^m \quad \text{- - - - - - - - - - - - -} \quad (5)$$

Substituyendo (5) en (2)

$$H = \frac{PB \times Q - K \times Q^{m+1}}{1714} \quad \text{- - - - - - - - -} \quad (6)$$

Efectuando los cálculos para determinar el gasto al cual la potencia a la barrena es máximo.

$$\frac{dH}{dQ} = \frac{PB - (m + 1)\ K \times Q^m}{1714} = 0$$

$$PB = (m + 1)\ K \times Q^m = (m + 1) \times Pc$$

$$Pc = \frac{PB}{m + 1} \quad \text{- - - - - - - - - - - - - - - -} \quad (7)$$

En donde "K" representa todas las variables que permanecen constantes, mientras se varía la relación de flujo; y "m" es una constante la cual teóricamente tiene un valor de 1.86

substituyendo éste valor en la ecuación anterior:

$$Pc = 0.349 * 35\% \ PB$$

Esto nos indica que el 35% de la Presión disponible en la superficie, debe ser consumida en el circuito de perforación, excluyendo la barrena, por lo tanto:

$$Pb = PB - Pc = PB - 35\% \ PB = 65\% \ PB$$

Indicando que el 65% restante de la Presión de bombeo se debe consumir en la aceleración del fluído de perforación a - través de las toberas.

2.2. Máxima Fuerza de Impacto.-

La fuerza de impacto hidráulico, se define como la relación del cambio del momento del fluído con el tiempo. El momento del fluído a través de la barrena es un producto de la densidad del fluído, relación de circulación y velocidad en la boquilla.

Por trabajos experimentales reportados en la literatura especializada, se determinó que la velocidad del flujo a través del fondo es máxima cuando la fuerza de impacto es máxima; - dicha fuerza de impacto se define como:

$$Fb = \left(\frac{Q^2 \times Pb}{361}\right)^{1/2} \text{- - - - - - - - - - -(8)}$$

Substituyendo (5) en (8)

$$Fb = \left(\frac{Q^2 (PB - K \times Q^m)}{361}\right)^{1/2} = \left(\frac{PB \times Q^2 - K \times Q^{2+m}}{361}\right)^{1/2}$$

Derivando ésta ecuación e igualando a cero:

$$\frac{dFb}{dQ} = (1/361)^{1/2}\left(\frac{2\ PB \times Q - (2 + m)\ K \times Q^{1+m}}{2\ (PB \times Q^{2} - K \times Q^{2+m})^{1/2}}\right) = 0$$

Resolviendo la raíz:

$$PBQ = \left(\frac{2 + m}{2}\right) K\ Q^{1+m}$$

Simplificando:

$$PB = \left(\frac{2 + m}{2}\right) K\ Q^{m} = \left(\frac{2 + m}{2}\right) Pc$$

Y finalmente:

$$Pc = \left(\frac{2}{2 + m}\right) PB$$

Dando a m el valor de 1.86

$$Pc = 0.518\ PB \approx 50\%\ PB$$

Esto nos indica que el 50% de la presión disponible en la superficie, debe ser consumida en el circuito de perforación, excluyendo la barrena y el 50% de la presión restante en la superficie se debe consumir en la aceleración del fluído de perforación a través de las toberas.

2.3 Velocidad en las Toberas.-

Antes de que las barrenas de chorro fuesen utilizadas en la Industria Petrolera, el gasto utilizado era el correspondiente a la mínima velocidad anular requerida para levantar los recortes. Actualmente ésta práctica continúa hasta cierto punto El diámetro de toberas se calculan de manera que la presión superficial a gasto mínimo, sea igual a la presión superficial máxima permisible, entonces la velocidad en las toberas será la má

xima que pueda alcanzarse y aún levantar los recortes.

Es decir, la velocidad en las toberas es máxima, cuando la caída de presión disponible en la barrena es máxima. Esta caída de presión es máxima cuando la presión superficial es máxima y las pérdidas por fricción, Pc, son mínimas. Esto ocurre -- cuando el gasto es mínimo.

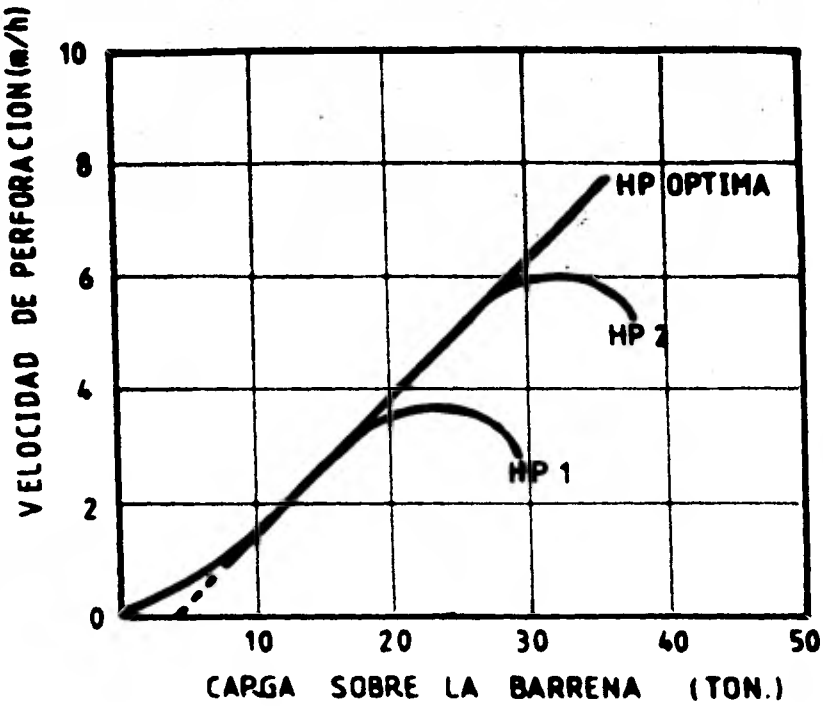
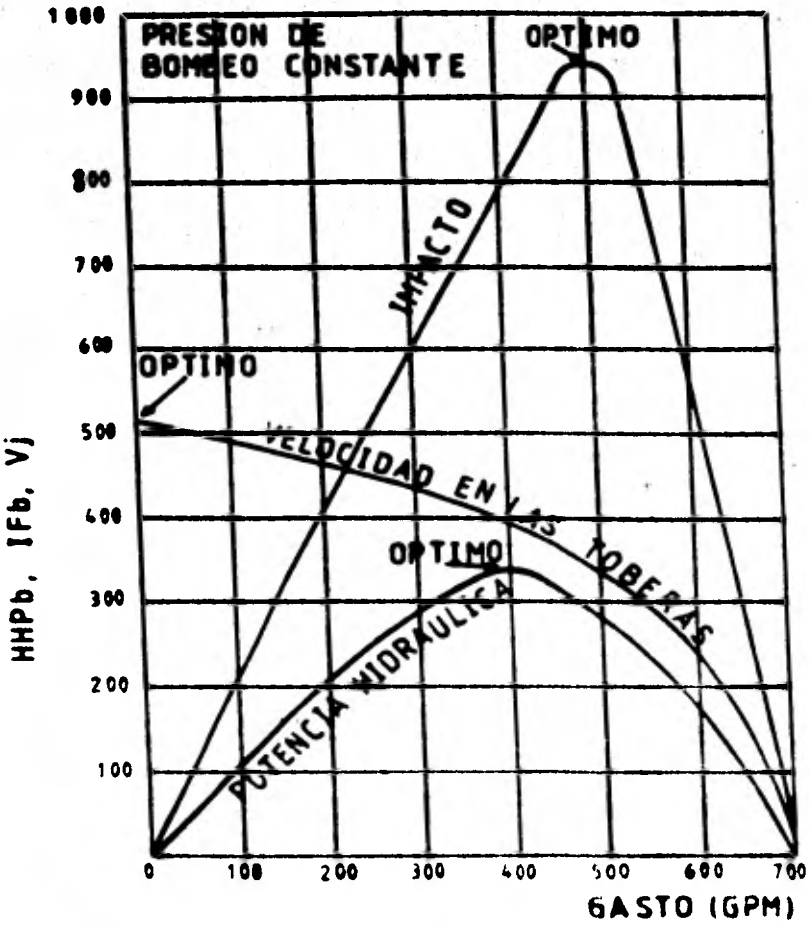


FIG.- 2-1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	
EFECTO DE LA POTENCIA HIDRAULICA SOBRE LA VELOCIDAD DE PERF	
TESIS PROFESIONAL ATILANO FELIPE CENTENO METELIN	
MEXICO D.F. JUL.1981	LAMINA No. 7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE INGENIERIA	
RELACION DE LOS PARAME-TROS HIDRAULICOS	
TESIS PROFESIONAL ATILANO FELIPE CENTENO METELIN	
MEXICO D.F. JUL. 1981	LAMINA No 8

CAPITULO III

PROGRAMA HIDRAULICO DE PERFORACION EN EL POZO CHIAPAS No.2

Con la finalidad de facilitar los cálculos empleados en el diseño de una hidráulica óptima, se han elaborado un conjunto de Programas de Cómputo para procesarse en una Calculadora Programable TI-59

Cada Programa consta de instructivo de manejo, diagrama de flujo, codificación y ecuaciones ó normas empleadas en el mismo.

Procedimiento de Operación de los Programas.

Datos de Entrada:

Las teclas literales A, A', B', C', fueron asignadas para introducir los datos en la Calculadora Texas Instrument 59; de acuerdo a cada programa, las instrucciones de datos de entrada puede utilizar una ó más de las teclas literales mencionadas.

Tecla A : Imprime el nombre del Programa y pide algunos datos que son especificados en cada Programa.

Tecla B : Revisa los datos de entrada.

Tecla C : Cambia ó corrige algún dato de entrada.

Tecla D : Visualiza los resultados cuando no se utiliza Impresora(Utilizar la Tecla E, cuando el resultado es único).

Tecla E : Obtiene los resultados Impresos en el papel Térmico que utiliza la Impresora.

Para introducir los datos de entrada, presionar la(s)- Tecla(s) literl(es) adecuada(s) e introducir el dato llamado de acuerdo a la lista de datos de entrada.

Es de vital importancia poner cuidadosa atención a las cantidades y unidades necesarias para cada dato de entrada.

Presionar R/S, después de cada valor de dato de entrada; aparecerá un cero en el visualizador después de introducir - el último dato de entrada.

Las teclas B, C, D, E, pueden ser presionadas en cualquier, orden siempre y cuando se hayan introducido los datos de - entrada.

Revisión de Datos:

La revisión de datos se efectúa presionando la Tecla B Es importante revisar los datos de entrada, particularmente cuando no se utiliza Impresora.

Al presionar la Tecla B, aparece el número de dato en un tiempo breve, enseguida aparece el Valor del dato en forma -- consecutiva.

Cambio en Datos de Entrada:

Si deseamos efectuar algún cambio en los datos de en-- trada, basta colocar en el visualizador el número de dato que deseamos cambiar, presionar la Tecla C(aparece en el visualizador

el dato que se desea cambiar), colocar en el visualizador el nuevo Valor y presionar la Tecla R/S; se visualizará el Valor cero y el cambio se habrá efectuado.

Resultados del Programa sin Impresora:

Presionando la Tecla E, la Calculadora ejecuta el Programa y el resultado lo visualiza directamente en la pantalla(en el caso de que el resultado sea exclusivamente un Valor).

Presionando la Tecla D, la Calculadora realiza el cálculo automáticamente, apareciendo el número del resultado y presionando R/S, aparece el Valor del resultado; presionando R/S en forma consecutiva hasta lograr visualizar todos los resultados.

Resultados del Programa con Impresora:

Presionando la Tecla E, el Programa se ejecuta automáticamente y los resultados los imprime al lado izquierdo del papel térmico y al lado derecho del mismo renglón se imprime la -- Simbología del resultado.

3.1 Caídas de Presión en el Sistema de Perforación, utilizando el Método Bingham, mediante TI-59

Pérdidas de presión en el interior de la Sarta de Perforación, empleando el modelo reológico de Bingham:

TARJETA UNICA

1	TEXAS INSTRUMENTS			2
ΔP Bingham	DI	E Ejecuta		
Vp	Yp	dl	Q	
A = Datos	reo.y dia.	A'= Datos	Long.	

Los datos de entrada son:

Descripción	Simbología	Unidades	Pedido por No.
Viscosidad Plástica.	Vp	Centipoise	1
Punto de Cedencia.	Yp	$lb/100p^2$	2
Densidad	dl	lb/Gal	3
Gasto	Q	Gal/min	4
Diámetro Interior de la Sección. *	Øi	pgs.	5 → 10
Longitud de la Sección. * *	L	pies	11 → 16

* En caso de no emplearse todas las secciones, pre--sionar la Tecla A' y de inmediato iniciar los da--tos de longitudes.

** En caso de no emplearse todas las secciones, pre--sionar la Tecla E, ejecutándose de inmediato el --Programa.

Los resultados obtenidos son:

a) Con Impresora, presionar la Tecla E aparecen impresos en el papel térmico

	ΔP Bingham
Valor del dato de diámetro interior	DX
Valor del dato de longitud	LY
Caída de presión en la sección	ΔP
Caída de presión acumulativa	$\Sigma \Delta P$

Los cuatro Valores se proporcionan para cada Sec---ción:

b) Sin Impresora, presionar la Tecla E

Aparece en el visualizador la suma de las caídas de presión, que se efectuaron en todas las secciones.

Carga del Programa:

a) Encender la Calculadora.

b) Presionar las Teclas CLR, 1

c) Introducir la Tarjeta magnética por la ranura inferior del lado derecho de la máquina, con el número

1 de la tarjeta al frente.

d) Presionar las Teclas CLR, 2

e) Introducir la Tarjeta con el número 2 invertido al frente.

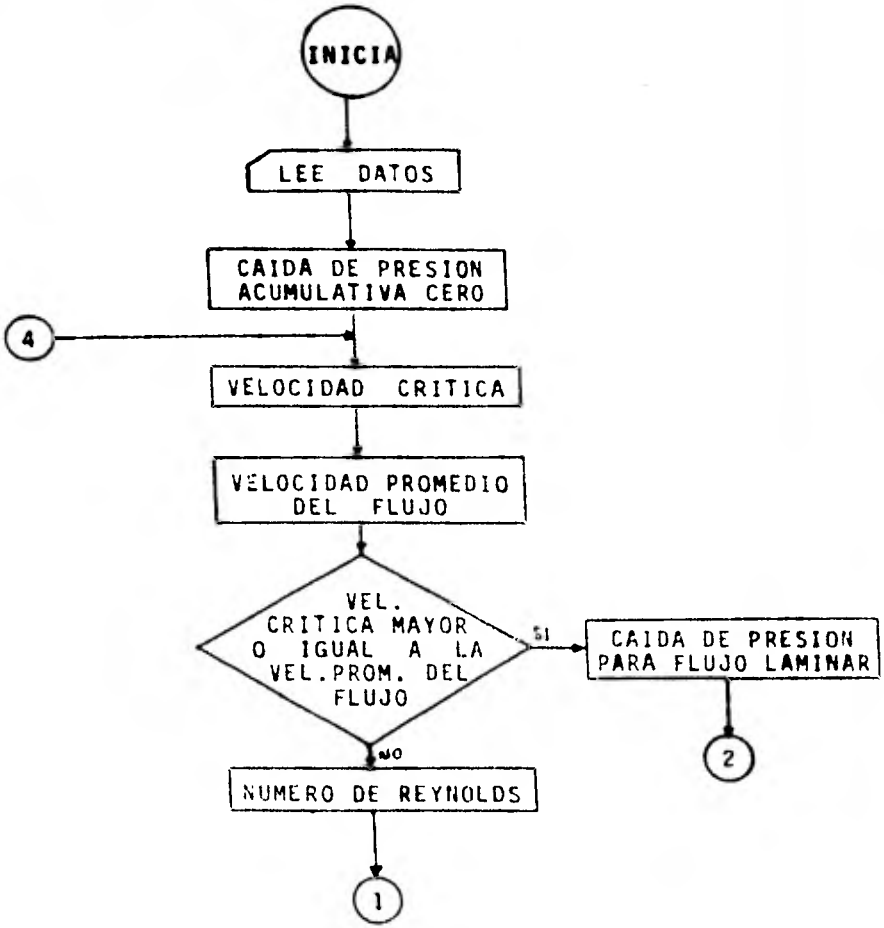
Introducción de datos:

Ejecutar	Visualización con ó sin Impresora	Impresión
Tecla A	1	ΔP Bingham D.I. 1
Dato No. 1, presionar R/S	2	XXX 2
Dato No. 2, presionar R/S	3	XXX 3
Dato No. 3, presionar R/S	4	XXX 4
. . .		
. . .		
. . .		
Dato No.10, presionar R/S	0	XXX
Tecla A'	11	Espacio 11
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Dato No.16, presionar R/S	0	XXX

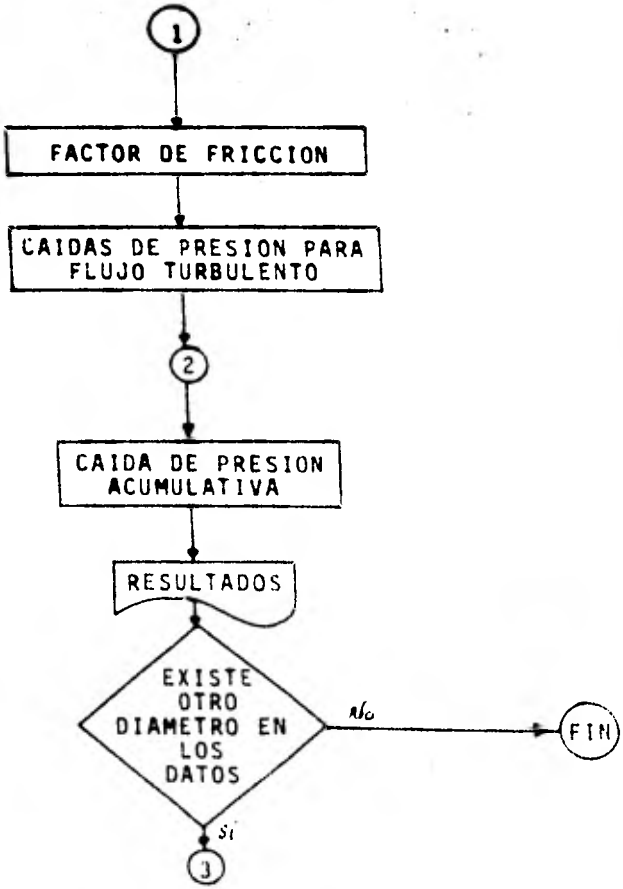
Ejecución del Programa: La ejecución del Programa se logra, --- oprimiendo la Tecla E con ó sin Impresora.

DIAGRAMA DE FLUJO

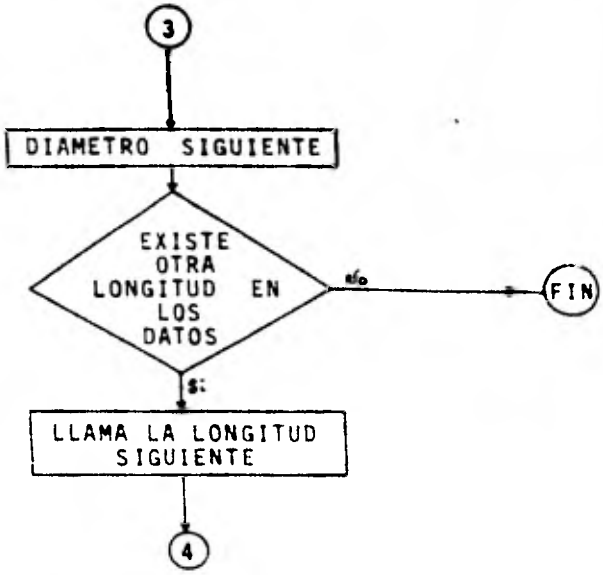
Pérdidas de Presión en el interior de la Sarta de Perforación empleando el Modelo Reológico de Bingham.



Pérdidas de Presión en el interior de la Sarta de Perforación empleando el Modelo Reológico de Bingham.



Pérdidas de Presión en el interior de la Sarta de Perforación empleando el Modelo Reológico de Bingham.



ECUACIONES DE FLUJO PARA FLUIDOS QUE OBEDECEN AL MODELO REOLOGICO DE BINGHAM.

	Interior de T.P.	Espacio Anular
Velocidad Crítica "Vc" en Pies/Min.	$\frac{64.57(Vp + \sqrt{Vp^2 + 9.9dl \times Db^2 \times Yp})}{dl \times Db}$	"Db" cambiarlo por: Db - dtp
Velocidad Media del flujo "V" en Pies/Min.	$24.51 \times Q \% Db^2$	$24.51 \times Q \%(Db^2 - dtp^2)$
Caídas de Presión para flujo laminar en Lb/Pg^2	$L\ (\frac{Yp}{281Db} + \frac{Vp \times V}{90,000\ Db^2})$	$L\ (\frac{Yp}{282(Db-dtp)} + \frac{Vp \times V}{90,000(Db-dtp)^2})$
Número de Reynolds	$49.56\ V \times dl \times Db \% Vp$	"Db" cambiarlo por: Db - dtp
Factor de fricción "f"	$0.079 \% R^{0.25}$	El mismo
Caídas de presión para flujo turbulento en Lbs/Pg^2	$L\ (\frac{f \times dl \times V^2}{93,000\ Db})$	"Db" cambiarlo por: Db - dtp

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (BINGHAM)

000	76	LBL	032	02	2	064	33	X2
001	11	A	033	04	4	065	01	1
002	69	OP	034	04	4	066	07	7
003	00	00	035	00	0	067	32	X⇄T
004	07	7	036	69	OP	068	43	RCL
005	05	5	037	04	04	069	00	00
006	03	3	038	69	OP	070	77	GE
007	03	3	039	05	05	071	34	√X
008	00	0	040	98	ADV	072	61	GTO
009	00	0	041	01	1	073	00	00
010	01	1	042	42	STO	074	63	63
011	04	4	043	00	00	075	76	LBL
012	02	2	044	71	SBR	076	33	X2
013	04	4	045	33	X2	077	43	RCL
014	69	OP	046	01	1	078	00	00
015	02	02	047	01	1	079	99	PRT
016	03	3	048	32	X⇄T	080	91	R/S
017	01	1	049	43	RCL	081	72	ST*
018	02	2	050	00	00	082	00	00
019	02	2	051	77	GE	083	99	PRT
020	02	2	052	34	√X	084	69	OP
021	03	3	053	61	GTO	085	20	20
022	01	1	054	00	00	086	92	RTN
023	03	3	055	44	44	087	76	LBL
024	03	3	056	76	LBL	088	34	√X
025	00	0	057	16	A'	089	25	CLR
026	69	OP	058	98	ADV	090	98	ADV
027	03	03	059	01	1	091	91	R/S
028	01	1	060	01	1	092	76	LBL
029	06	6	061	42	STO	093	12	B
030	04	4	062	00	00	094	01	1
031	00	0	063	71	SBR	095	07	7

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (BINGHAM)

096	32	X⇄T
097	01	1
098	42	STO
099	00	00
100	43	RCL
101	00	00
102	99	PRT
103	66	PAU
104	73	RC*
105	00	00
106	66	PAU
107	66	PAU
108	99	PRT
109	69	OP
110	20	20
111	43	RCL
112	00	00
113	77	GE
114	34	√X
115	61	GTO
116	00	00
117	99	99
118	76	LBL
119	13	C
120	98	ADV
121	99	PRT
122	42	STO
123	00	00
124	73	RC*
125	00	00
126	91	R/S
127	99	PRT
128	72	ST*
129	00	00
130	25	CLR
131	91	R/S
132	76	LBL
133	15	E
134	05	5
135	42	STO
136	00	00
137	01	1
138	01	1
139	42	STO
140	18	18
141	25	CLR
142	42	STO
143	19	19
144	76	LBL
145	17	B'
146	02	2
147	04	4
148	93	.
149	05	5
150	01	1
151	65	X
152	43	RCL
153	04	04
154	55	÷
155	73	RC*
156	00	00
157	33	X2
158	95	=
159	42	STO
160	21	21
161	32	X⇄T
162	06	6
163	04	4
164	93	.
165	05	5
166	07	7
167	65	X
168	53	(
169	43	RCL
170	01	01
171	85	+
172	53	(
173	43	RCL
174	01	01
175	33	X2
176	85	+
177	09	9
178	93	.
179	09	9
180	65	X
181	43	RCL
182	03	03
183	65	X
184	73	RC*
185	00	00
186	33	X2
187	65	X
188	43	RCL
189	02	02
190	54	)
191	34	√X

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (BINGHAM)

192	54	)
193	55	÷
194	53	(
195	43	RCL
196	03	03
197	65	X
198	73	RC*
199	00	00
200	54	)
201	95	=
202	77	GE
203	19	D'
204	04	4
205	09	9
206	93	.
207	05	5
208	06	6
209	65	X
210	43	RCL
211	21	21
212	65	X
213	43	RCL
214	03	03
215	65	X
216	73	RC*
217	00	00
218	55	÷
219	43	RCL
220	01	01
221	95	=
222	45	YX
223	93	.
224	02	2
225	05	5
226	95	=
227	35	1/X
228	65	X
229	93	.
230	00	0
231	07	7
232	09	9
233	65	X
234	43	RCL
235	03	03
236	65	X
237	43	RCL
238	21	21
239	33	X2
240	65	X
241	73	RC*
242	18	18
243	55	÷
244	53	(
245	09	9
246	03	3
247	00	0
248	00	0
249	00	0
250	65	X
251	73	RC*
252	00	00
253	54	)
254	95	=
255	42	STO
256	20	20
257	61	GTO
258	10	E'
259	76	LBL
260	19	D'
261	43	RCL
262	02	02
263	55	÷
264	53	(
265	02	2
266	08	8
267	01	1
268	65	X
269	73	RC*
270	00	00
271	54	)
272	85	+
273	43	RCL
274	01	01
275	65	X
276	43	RCL
277	21	21
278	55	÷
279	53	(
280	09	9
281	00	0
282	00	0
283	00	0
284	00	0
285	65	X
286	73	RC*
287	00	00

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (BINGHAM)

288	33	X2
289	54	)
290	95	=
291	65	X
292	73	RC*
293	18	18
294	95	=
295	42	STO
296	20	20
297	76	LBL
298	10	E'
299	44	SUM
300	19	19
301	98	ADV
302	25	CLR
303	69	OP
304	00	00
305	01	1
306	06	6
307	04	4
308	04	4
309	69	OP
310	04	04
311	73	RC*
312	00	00
313	69	OP
314	06	06
315	02	2
316	07	7
317	04	4
318	05	5
319	69	OP
320	04	04
321	73	RC*
322	18	18
323	69	OP
324	06	06
325	07	7
326	05	5
327	03	3
328	03	3
329	69	OP
330	04	04
331	43	RCL
332	20	20
333	69	OP
334	06	06
335	07	7
336	07	7
337	07	7
338	05	5
339	03	3
340	03	3
341	69	OP
342	04	04
343	43	RCL
344	19	19
345	69	OP
346	06	06
347	98	ADV
348	01	1
349	44	SUM
350	00	00
351	44	SUM
352	18	18
353	25	CLR
354	32	X⇄T
355	73	RC*
356	00	00
357	67	EQ
358	18	C'
359	73	RC*
360	18	18
361	67	EQ
362	18	C'
363	01	1
364	01	1
365	32	X⇄T
366	43	RCL
367	00	00
368	67	EQ
369	18	C'
370	01	1
371	07	7
372	32	X⇄T
373	43	RCL
374	18	18
375	77	GE
376	18	C'
377	61	GTO
378	17	B'
379	76	LBL
380	18	C'
381	25	CLR
382	69	OP
383	00	00

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (BINGHAM)

384	07	7
385	05	5
386	07	7
387	05	5
388	07	7
389	05	5
390	07	7
391	05	5
392	07	7
393	05	5
394	69	OP
395	01	01
396	01	1
397	03	3
398	02	2
399	01	1
400	01	1
401	05	5
402	03	3
403	00	0
404	07	7
405	05	5
406	69	OP
407	02	02
408	07	7
409	05	5
410	07	7
411	05	5
412	07	7
413	05	5
414	07	7
415	05	5
416	07	7
417	05	5
418	69	OP
419	03	03
420	69	OP
421	05	05
422	43	RCL
423	19	19
424	98	ADV
425	98	ADV
426	98	ADV
427	98	ADV
428	91	R/S

PROGRAMA

Pérdidas de Presión en el Espacio Anular empleando el Modelo Reológico de Bingham

TARJETA No. 1

1 ←	TEXAS INSTRUMENTS			→ 2
4 2nd OP 17	2 Tarjetas	ΔP Bingham EA.		
Vp	Yp	dl	Q	
A=reología y Dia.TP	A'=long.TP	B'=Dia.TR	C'=long.TR	

TARJETA No. 2

3 ←	TEXAS INSTRUMENTS			→ 4
4 2nd OP 17	2 Tarjetas	P Bingham EA.		
Vp	Yp	dl	Q	
A=reología y Dia.TP	A'=long.TP	B'=Dia.TR	C'=long.TR	

Datos de entrada:

Descripción	Simbología	Unidades	Pedido por No.
Viscosidad Plástica.	Vp	Centipoise	1
Punto de Cedencia	Yp	$lb/100p^2$	2
Densidad	dl	lb/Gal	3
Gasto	Q	Gal/min.	4
Diámetro Exterior de T.P.	ØETP	pgs	5 → 8
Longitud de T.P.	lTP	pies	9 → 12
Diámetro Interior de T.R.	ØiTR	pgs	13 → 16
Longitud de T.R.	lTR	pies	17 → 20

Resultados obtenidos:

a) Con Impresora:

Diámetro exterior de T.P.	**D.TP**
Diámetro interior de T.R.	**D.TR**
Longitud de la sección.	**l**
Caída de Presión en la sección.	**ΔP**
Caída de Presión acumulativa	**$\Sigma \Delta P$**

estos valores, se dan para cada sección.

b) Sin Impresora:

Aparece en el visualizador la suma de las caídas de presión, que se efectuaron en todas las secciones.

Carga del Programa:

a) Encender la Calculadora.

b) Presionar las Teclas CLR, 4, 2nd, OP, 17, CLR, 1

c) Introducir la Tarjeta Magnética No.1, por la ranura inferior del lado derecho de la máquina, con el No. 1 de la tarjeta al frente.

d) Presionar las Teclas CLR, 2

e) Introducir la Tarjeta No.1, con el No.2 de la tarjeta invertido al frente.

f) Presionar las Teclas CLR, 3

g) Introducir la Tarjeta No.2, con el No.3 de la tarjeta al frente.

h) Presionar las Teclas CLR, 4

i) Introducir la Tarjeta No.2, con el No.4 invertido -

al frente.

Introducción de datos:

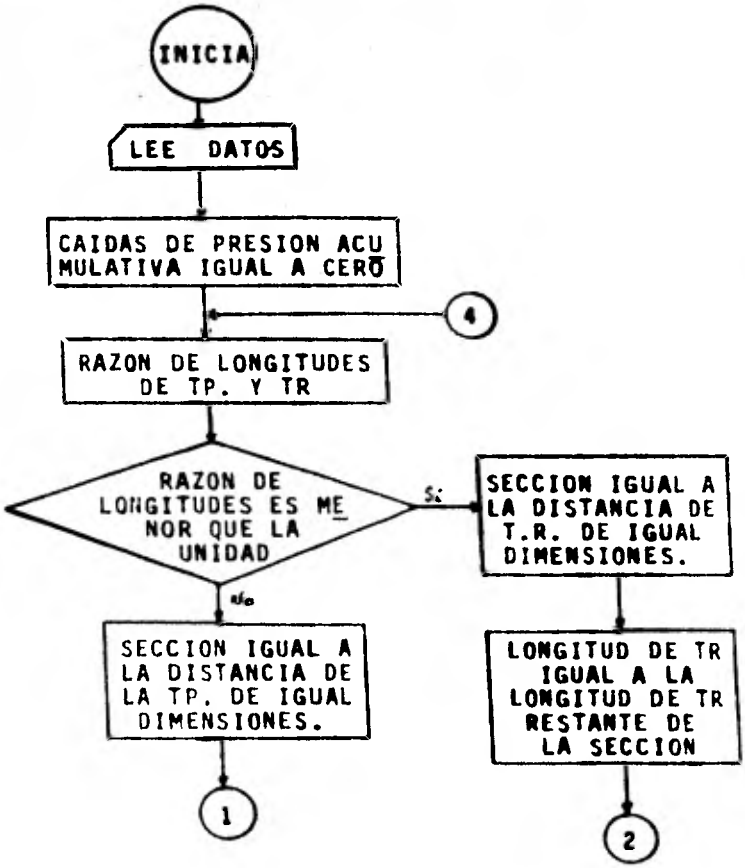
Ejecutar	Visualización con ó sin Impresora.	Impresión.
Tecla A	1	ΔP Bingham E.A. 1
Dato No. 1, presionar R/S	2	XXX 2
Dato No. 2, presionar R/S	3	XXX 3
. . .	.	.
. . .	.	.
Tecla A'	9	Espacio 9
Dato No. 9, presionar R/S	10	XXX 10
. . .	.	.
. . .	.	.
Tecla B'	13	Espacio 13
Dato No.13, presionar R/S	14	XXX 14
. . .	.	.
. . .	.	.
Tecla C'	17	Espacio 17
Dato No.17, presionar R/S	18	XXX 18
. . .	.	.
. . .	.	.
Dato No.20, presionar R/S	0	XXX

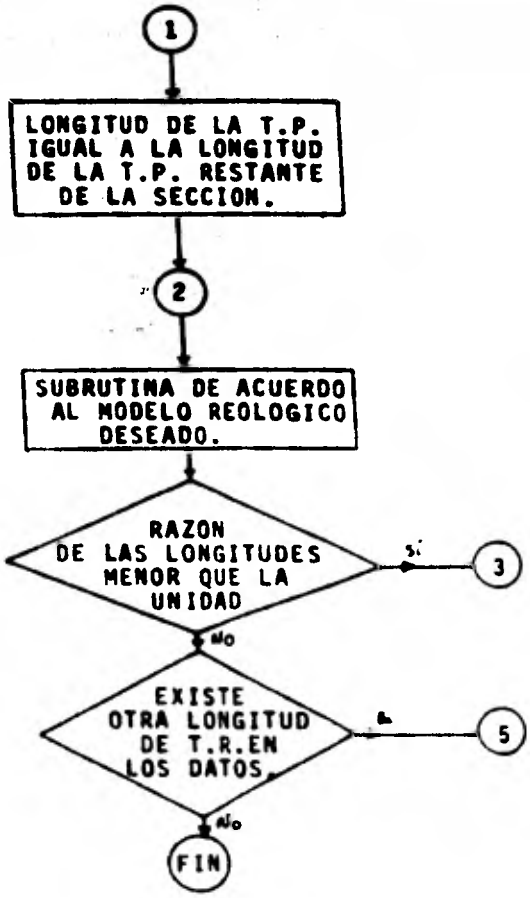
Ejecución del Programa: La ejecución del Programa se logra, pre

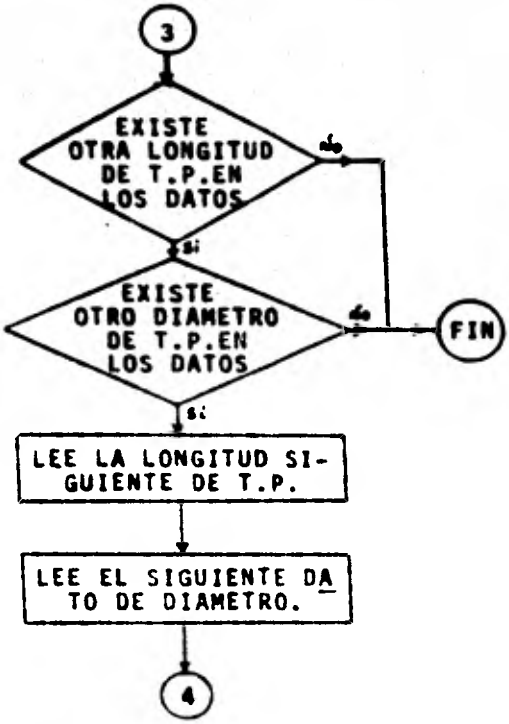
sionando la Tecla E con ó sin Impresora

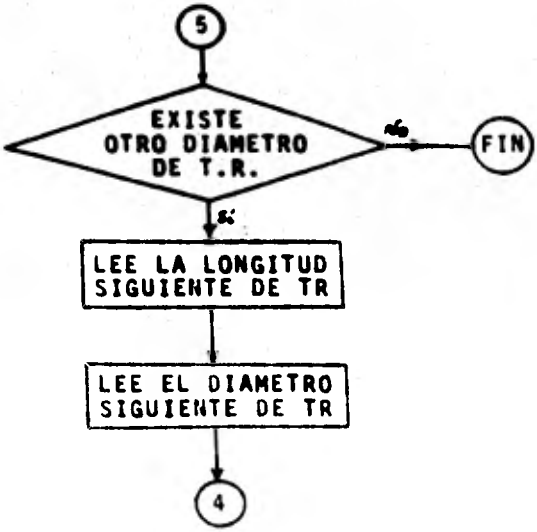
DIAGRAMA DE FLUJO

Pérdidas de Presión en el Espacio Anular




1
LONGITUD DE LA T.P. IGUAL A LA LONGITUD DE LA T.P. RESTANTE DE LA SECCION.
2
SUBRUTINA DE ACUERDO AL MODELO REOLOGICO DESEADO.
RAZON DE LAS LONGITUDES MENOR QUE LA UNIDAD
SI
3
NO
EXISTE OTRA LONGITUD DE T.R.EN LOS DATOS.
SI
5
NO
FIN


3
EXISTE OTRA LONGITUD DE T.P.EN LOS DATOS
no
si
EXISTE OTRO DIAMETRO DE T.P.EN LOS DATOS
no
FIN
si
LEE LA LONGITUD SIGUIENTE DE T.P.
LEE EL SIGUIENTE DATO DE DIAMETRO.
4



Las Subrutinas, emplean la misma secuencia de diáme--- tros Interiores, pero utilizan las ecuaciones correspondientes - al espacio anular.

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (BINGHAM)

000	76	LBL	032	00	0	064	42	STO
001	11	A	033	01	1	065	00	00
002	25	CLR	034	03	3	066	01	1
003	69	OP	035	04	4	067	03	3
004	00	00	036	00	0	068	42	STO
005	07	7	037	69	OP	069	21	21
006	05	5	038	04	04	070	61	GTO
007	03	3	039	69	OP	071	00	00
008	03	3	040	05	05	072	48	48
009	00	0	041	98	ADV	073	76	LBL
010	00	0	042	01	1	074	17	B'
011	01	1	043	42	STO	075	98	ADV
012	04	4	044	00	00	076	01	1
013	02	2	045	09	9	077	03	3
014	04	4	046	42	STO	078	42	STO
015	69	OP	047	21	21	079	00	00
016	02	02	048	71	SBR	080	01	1
017	03	3	049	33	X2	081	07	7
018	01	1	050	43	RCL	082	42	STO
019	02	2	051	21	21	083	21	21
020	02	2	052	32	X⇄T	084	61	GTO
021	02	2	053	43	RCL	085	00	00
022	03	3	054	00	00	086	48	48
023	01	1	055	77	GE	087	76	LBL
024	03	3	056	34	√X	088	18	C'
025	03	3	057	61	GTO	089	98	ADV
026	00	0	058	00	00	090	01	1
027	69	OP	059	48	48	091	07	7
028	03	03	060	76	LBL	092	42	STO
029	01	1	061	16	A'	093	00	00
030	07	7	062	98	ADV	094	02	2
031	04	4	063	09	9	095	01	1

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (BINGHAM)

096	42	STO
097	21	21
098	61	GTO
099	00	00
100	48	48
101	76	LBL
102	12	B
103	98	ADV
104	01	1
105	07	7
106	32	X⇄T
107	01	1
108	42	STO
109	00	00
110	43	RCL
111	00	00
112	99	PRT
113	66	PAU
114	73	RC*
115	00	00
116	66	PAU
117	66	PAU
118	99	PRT
119	69	OP
120	20	20
121	43	RCL
122	00	00
123	77	GE
124	34	√X
125	61	GTO
126	01	01
127	10	10
128	76	LBL
129	13	C
130	42	STO
131	00	00
132	99	PRT
133	73	RC*
134	00	00
135	91	R/S
136	99	PRT
137	72	ST*
138	00	00
139	25	CLR
140	91	R/S
141	76	LBL
142	33	X2
143	43	RCL
144	00	00
145	99	PRT
146	91	R/S
147	72	ST*
148	00	00
149	99	PRT
150	69	OP
151	20	20
152	92	RTN
153	76	LBL
154	34	√X
155	25	CLR
156	98	ADV
157	91	R/S
158	76	LBL
159	15	E
160	25	CLR
161	42	STO
162	22	22
163	09	9
164	42	STO
165	00	00
166	05	5
167	42	STO
168	23	23
169	01	1
170	07	7
171	42	STO
172	24	24
173	01	1
174	03	3
175	42	STO
176	25	25
177	76	LBL
178	19	D'
179	01	1
180	32	X⇄T
181	73	RC*
182	00	00
183	55	÷
184	73	RC*
185	24	24
186	95	=
187	42	STO
188	26	26
189	22	INV
190	77	GE
191	90	LST

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (BINGHAM)

192	73	RC*
193	00	00
194	55	÷
195	43	RCL
196	26	26
197	95	=
198	42	STO
199	27	27
200	22	INV
201	74	SM*
202	00	00
203	61	GTO
204	02	02
205	19	19
206	76	LBL
207	90	LST
208	73	RC*
209	24	24
210	65	X
211	43	RCL
212	26	26
213	95	=
214	42	STO
215	27	27
216	22	INV
217	74	SM*
218	24	24
219	71	SBR
220	30	TAN
221	01	1
222	32	X⇄T
223	43	RCL
224	26	26
225	22	INV
226	77	GE
227	10	E'
228	01	1
229	44	SUM
230	24	24
231	44	SUM
232	25	25
233	61	GTO
234	38	SIN
235	76	LBL
236	10	E'
237	01	1
238	44	SUM
239	00	00
240	44	SUM
241	23	23
242	76	LBL
243	38	SIN
244	25	CLR
245	32	X⇄T
246	73	RC*
247	23	23
248	67	EQ
249	89	π
250	73	RC*
251	25	25
252	67	EQ
253	89	π
254	09	9
255	32	X⇄T
256	43	RCL
257	23	23
258	77	GE
259	89	π
260	01	1
261	07	7
262	32	X⇄T
263	43	RCL
264	25	25
265	77	GE
266	89	π
267	61	GTO
268	19	D'
269	76	LBL
270	89	π
271	98	ADV
272	25	CLR
273	69	OP
274	00	00
275	07	7
276	05	5
277	07	7
278	05	5
279	07	7
280	05	5
281	07	7
282	05	5
283	07	7
284	05	5
285	69	OP
286	01	01
287	01	1

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (BINGHAM)

288	03	3	320	04	04	352	42	STO
289	02	2	321	69	OP	353	28	28
290	01	1	322	05	05	354	32	X⇄T
291	01	1	323	43	RCL	355	06	6
292	05	5	324	22	22	356	04	4
293	03	3	325	98	ADV	357	93	.
294	00	0	326	98	ADV	358	05	5
295	07	7	327	98	ADV	359	07	7
296	05	5	328	98	ADV	360	65	X
297	69	OP	329	98	ADV	361	53	(
298	02	02	330	91	R/S	362	43	RCL
299	07	7	331	76	LBL	363	01	01
300	05	5	332	30	TAN	364	85	+
301	07	7	333	02	2	365	53	(
302	05	5	334	04	4	366	43	RCL
303	07	7	335	93	.	367	01	01
304	05	5	336	05	5	368	33	X2
305	07	7	337	01	1	369	85	+
306	05	5	338	65	X	370	09	9
307	07	7	339	43	RCL	371	93	.
308	05	5	340	04	04	372	09	9
309	69	OP	341	55	÷	373	65	X
310	03	03	342	53	(	374	43	RCL
311	01	1	343	73	RC*	375	03	03
312	07	7	344	25	25	376	65	X
313	04	4	345	33	X2	377	53	(
314	00	0	346	75	-	378	73	RC*
315	01	1	347	73	RC*	379	25	25
316	03	3	348	23	23	380	75	-
317	04	4	349	33	X2	381	73	RC*
318	00	0	350	54	)	382	23	23
319	69	OP	351	95	=	383	54	)

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PEROIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (BINGHAM)

384	33	X2
385	65	X
386	43	RCL
387	02	02
388	34	√X
389	95	=
390	55	÷
391	53	(
392	43	RCL
393	03	03
394	65	X
395	53	(
396	73	RC*
397	25	25
398	75	-
399	73	RC*
400	23	23
401	54	)
402	54	)
403	95	=
404	77	GE
405	68	NOP
406	04	4
407	09	9
408	93	.
409	05	5
410	06	6
411	65	X
412	43	RCL
413	28	28
414	65	X
415	43	RCL
416	03	03
417	65	X
418	53	(
419	73	RC*
420	25	25
421	75	-
422	73	RC*
423	23	23
424	54	)
425	55	÷
426	43	RCL
427	01	01
428	95	=
429	45	YX
430	93	.
431	02	2
432	05	5
433	95	=
434	35	1/X
435	65	X
436	93	.
437	00	0
438	07	7
439	09	9
440	65	X
441	43	RCL
442	03	03
443	65	X
444	43	RCL
445	28	28
446	33	X2
447	65	X
448	43	RCL
449	27	27
450	55	÷
451	53	(
452	09	9
453	03	3
454	00	0
455	00	0
456	00	0
457	65	X
458	53	(
459	73	RC*
460	25	25
461	75	-
462	73	RC*
463	23	23
464	54	)
465	54	)
466	42	STO
467	29	29
468	61	GTO
469	28	LOG
470	76	LBL
471	68	NOP
472	43	RCL
473	02	02
474	55	÷
475	53	(
476	02	2
477	08	8
478	02	2
479	65	X

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (BINGHAM)

480	53	(
481	73	RC*
482	25	25
483	75	-
484	73	RC*
485	23	23
486	54	)
487	85	+
488	43	RCL
489	01	01
490	65	X
491	43	RCL
492	28	28
493	55	÷
494	53	(
495	09	9
496	00	0
497	00	0
498	00	0
499	00	0
500	65	X
501	53	(
502	73	RC*
503	25	25
504	75	-
505	73	RC*
506	23	23
507	33	X2
508	54	)
509	54	)
510	95	=
511	65	X
512	43	RCL
513	27	27
514	95	=
515	42	STO
516	29	29
517	76	LBL
518	28	LOG
519	44	SUM
520	22	22
521	98	ADV
522	01	1
523	06	6
524	04	4
525	00	0
526	03	3
527	07	7
528	03	3
529	03	3
530	69	OP
531	04	04
532	73	RC*
533	23	23
534	69	OP
535	06	06
536	01	1
537	06	6
538	04	4
539	00	0
540	03	3
541	07	7
542	03	3
543	05	5
544	69	OP
545	04	04
546	73	RC*
547	25	25
548	69	OP
549	06	06
550	02	2
551	07	7
552	69	OP
553	04	04
554	43	RCL
555	27	27
556	69	OP
557	06	06
558	07	7
559	05	5
560	03	3
561	03	3
562	69	OP
563	04	04
564	43	RCL
565	29	29
566	69	OP
567	06	06
568	07	7
569	07	7
570	07	7
571	05	5
572	03	3
573	03	3
574	69	OP
575	04	04

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (BINGHAM)

576	43	RCL
577	22	22
578	69	OP
579	06	06
580	92	RTN

3.2 Caídas de Presión en el Sistema de Perforación, utilizando el Método de Ley de Potencia, mediante TI-59

Pérdidas de Presión en el interior de la Sarta de Perforación, empleando el Modelo de Ley de Potencias.

TARJETA No. 1

1 ←	TEXAS INSTRUMENTS			→ 2
ΔP LEY DE POT. DI		4 2nd OP 17	2 Tarjetas	
Vp	Yp	dl	Q	
A = Reol.	y dia.	A' = Long.		

TARJETA No. 2

3 ←	TEXAS INSTRUMENTS			→ 4
ΔP LEY DE POT. DI		4 2nd OP 17	2 Tarjetas	
Vp	Yp	dl	Q	
A = Reol.	y dia.	A' = Long.		

Los Datos de Entrada y los Resultados, se obtienen del mismo modo que el Programa de diámetro interior del Modelo Bingham.

Carga del Programa:

a) Encender la Calculadora.

b) Presionar las Teclas CLR, 4, 2nd, OP, 17, CLR, 1

c) Introducir la Tarjeta magnética No.1, por la ranura inferior del lado derecho de la máquina, con el No. 1 de la Tarjeta al frente.

d) Presionar las Teclas CLR, 2

e) Introducir la Tarjeta No.1, con el No. 2 de la Tarjeta invertido al frente.

f) Presionar las Teclas CLR, 3

g) Introducir la Tarjeta No.2, con el No. 3 de la Tarjeta al frente.

h) Presionar las Teclas CLR, 4

i) Introducir la Tarjeta No.2, con el No. 4 invertido al frente.

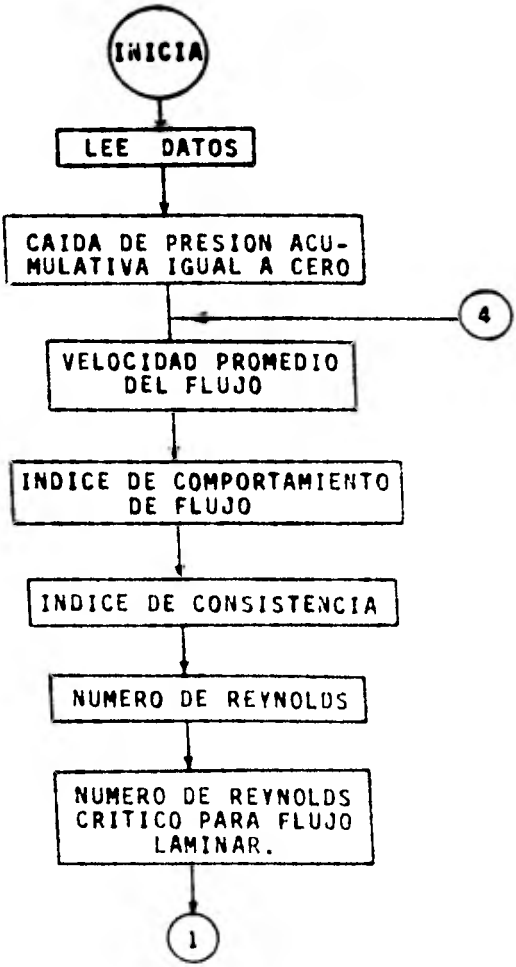
Introducción de datos:

La Introducción de datos, es el mismo que se emplea en el Programa de Caídas de Presión en el diámetro interior, utilizando el Modelo Reológico de Bingham.

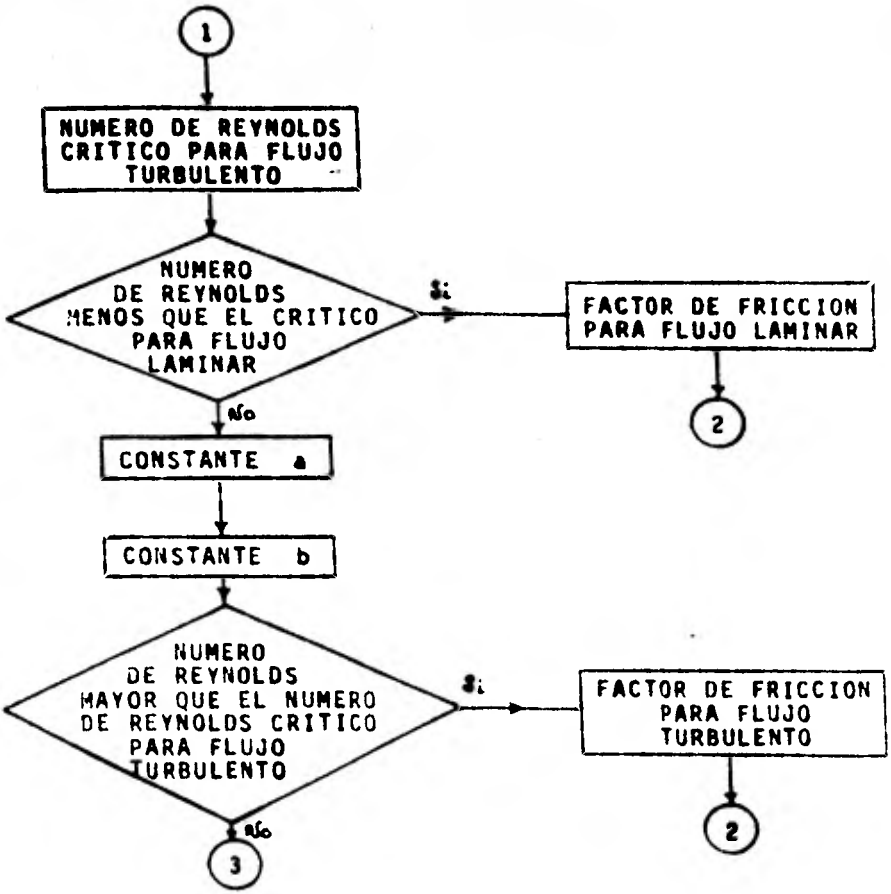
Ejecución del Programa: Se realiza presionando la Tecla E, tanto para Impresora como sin Impresora.

DIAGRAMA DE FLUJO

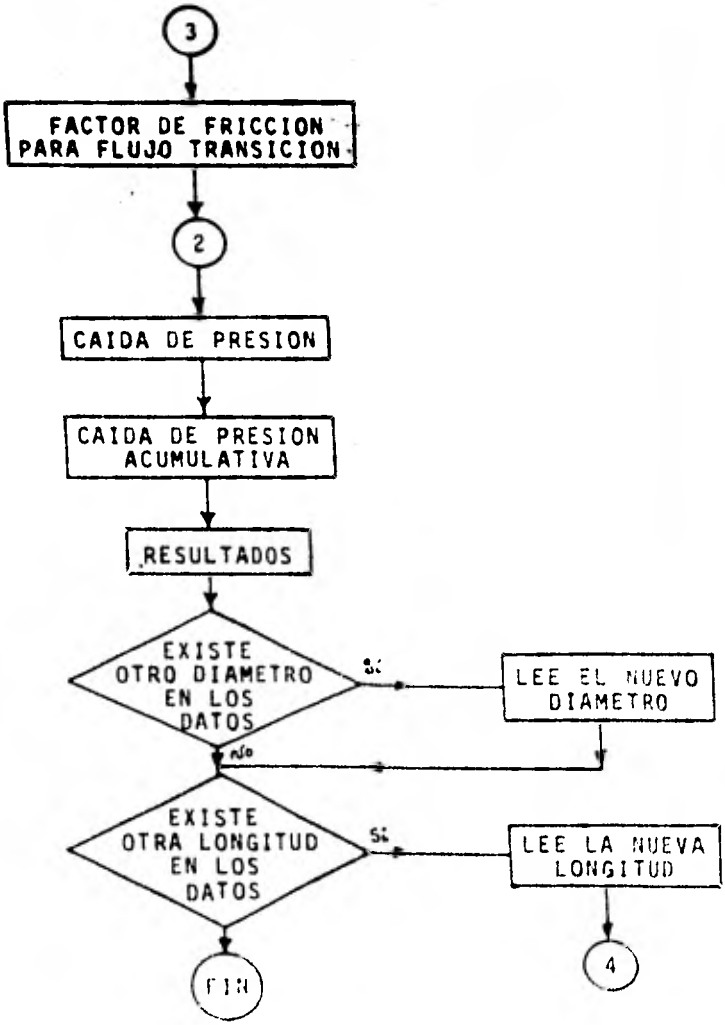
Pérdidas de Presión en el interior de la Sarta de Perforación empleando el Modelo Reológico de Ley de Potencias



Pérdidas de Presión en el interior de la Sarta de Perforación empleando el Modelo Reológico de Ley de Potencias.



Pérdidas de Presión en el interior de la Sarta de Perforación empleando el Modelo Reológico de Ley de Potencias.



ECUACIONES DE FLUJO PARA FLUIDOS QUE OBEDECEN A LA LEY DE POTENCIAS.

	INTERIOR DE T.P.	ESPACIO ANULAR
Velocidad Media del flujo "V" en pies/Min.	$24.51\ Q\%Db^2$	$24.51 \times Q\ \%\ (Db^2 - dtp^2)$
Indice de Comportamiento de flujo. "η"	$3.32 \log. \left(\frac{Yp + 2\ Vp}{Yp + Vp}\right)$	El mismo.
Indice de Consistencia "K"	$\frac{Yp + 2\ Vp}{100\ (1022)^{\eta}}$	El mismo.
Número de Reynolds "R"	$\frac{dl \times V^2}{1935\ K} \left(\frac{2.5\ \eta \times Db}{V\ (3\eta + 1)}\right)^{\eta}$	$\frac{dl \times V^2}{1935\ K} \left(\frac{1.25\ \eta \times (Db-dtp)}{V\ (2\eta + 1)}\right)^{\eta}$
Número de Reynolds Crítico para Flujo Laminar "RCfl"	$3470 - 1370 \times \eta$	El mismo.
Número de Reynolds Crítico para Flujo Turbulento "RCft"	$4270 - 1370 \times \eta$	El mismo

ECUACIONES DE FLUJO PARA FLUIDOS QUE OBEDECEN A LA LEY DE POTENCIAS.

	INTERIOR DE T.P.	ESPACIO ANULAR
Factor de fricción para Flujo Laminar "f"	16 % R	EL mismo
Factor de fricción para Flujo Transición "f"	$16\% \; RCfl + \left(\frac{R-RCfl}{800}\right)\left(\frac{a}{(RCYE)^{b}} - \frac{16}{RCfl}\right)$	El mismo
Factor de fricción para Flujo Turbulento "f"	a/R^{b}	El mismo
Caída de Presión	$f \times l \times V^{2} \times dl\% \; (93\,000 \times Db)$	Db cambiarlo por Db - dtp
Constante a	$\log\eta + 3.93 \; \% \; 50$	El mismo
Constante b	$1.75 - \log\eta \; \% \; 7$	El mismo

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (LEY DE POTENCIAS)

000	76	LBL	032	00	0	064	16	A'
001	11	A	033	69	OP	065	98	ADV
002	25	CLR	034	03	03	066	01	1
003	69	OP	035	01	1	067	01	1
004	00	00	036	06	6	068	42	STO
005	07	7	037	04	4	069	00	00
006	05	5	038	00	0	070	71	SBR
007	03	3	039	02	2	071	33	X2
008	03	3	040	04	4	072	01	1
009	00	0	041	04	4	073	07	7
010	00	0	042	00	0	074	32	X⇄T
011	69	OP	043	69	OP	075	43	RCL
012	01	01	044	04	04	076	00	00
013	02	2	045	69	OP	077	77	GE
014	07	7	046	05	05	078	34	√X
015	01	1	047	98	ADV	079	61	GTO
016	07	7	048	01	1	080	00	00
017	04	4	049	42	STO	081	70	70
018	05	5	050	00	00	082	76	LBL
019	00	0	051	71	SBR	083	33	X2
020	00	0	052	33	X2	084	43	RCL
021	01	1	053	01	1	085	00	00
022	06	6	054	01	1	086	99	PRT
023	69	OP	055	32	X⇄T	087	91	R/S
024	02	02	056	43	RCL	088	72	ST*
025	03	3	057	00	00	089	00	00
026	03	3	058	77	GE	090	99	PRT
027	03	3	059	34	√X	091	69	OP
028	02	2	060	61	GTO	092	20	20
029	03	3	061	00	00	093	92	RTN
030	07	7	062	51	51	094	76	LBL
031	04	4	063	76	LBL	095	34	√X

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (LEY DE POTENCIAS)

096	25	CLR
097	98	ADV
098	91	R/S
099	76	LBL
100	12	B
101	98	ADV
102	01	1
103	07	7
104	32	X⇄T
105	01	1
106	42	STO
107	00	00
108	43	RCL
109	00	00
110	99	PRT
111	66	PAU
112	73	RC*
113	00	00
114	66	PAU
115	66	PAU
116	99	PRT
117	69	OP
118	20	20
119	43	RCL
120	00	00
121	77	GE
122	34	√X
123	61	GTO
124	01	01
125	08	08
126	76	LBL
127	13	C
128	98	ADV
129	99	PRT
130	42	STO
131	00	00
132	73	RC*
133	00	00
134	91	R/S
135	99	PRT
136	72	ST*
137	00	00
138	25	CLR
139	91	R/S
140	76	LBL
141	15	E
142	25	CLR
143	42	STO
144	19	19
145	05	5
146	42	STO
147	00	00
148	01	1
149	01	1
150	42	STO
151	18	18
152	76	LBL
153	17	B'
154	02	2
155	04	4
156	93	.
157	05	5
158	01	1
159	65	X
160	43	RCL
161	04	04
162	55	÷
163	73	RC*
164	00	00
165	33	X2
166	95	=
167	42	STO
168	21	21
169	53	(
170	43	RCL
171	02	02
172	85	+
173	02	2
174	65	X
175	43	RCL
176	01	01
177	54	)
178	42	STO
179	30	30
180	55	÷
181	53	(
182	43	RCL
183	02	02
184	85	+
185	43	RCL
186	01	01
187	54	)
188	95	=
189	28	LOG
190	65	X
191	03	3

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (LEY DE POTENCIAS)

192	93	.
193	03	3
194	02	2
195	95	=
196	42	STO
197	22	22
198	43	RCL
199	30	30
200	55	÷
201	53	(
202	01	1
203	00	0
204	02	2
205	02	2
206	45	YX
207	43	RCL
208	22	22
209	65	X
210	01	1
211	00	0
212	00	0
213	54	)
214	95	=
215	42	STO
216	23	23
217	02	2
218	93	.
219	05	5
220	65	X
221	43	RCL
222	22	22
223	65	X
224	73	RC*
225	00	00
226	55	÷
227	53	(
228	53	(
229	03	3
230	65	X
231	43	RCL
232	22	22
233	85	+
234	01	1
235	54	)
236	65	X
237	43	RCL
238	21	21
239	54	)
240	95	=
241	45	YX
242	43	RCL
243	22	22
244	65	X
245	43	RCL
246	03	03
247	65	X
248	43	RCL
249	21	21
250	33	X2
251	55	÷
252	53	(
253	01	1
254	09	9
255	03	3
256	05	5
257	65	X
258	43	RCL
259	23	23
260	54	)
261	95	=
262	42	STO
263	24	24
264	03	3
265	04	4
266	07	7
267	00	0
268	75	-
269	01	1
270	03	3
271	07	7
272	00	0
273	65	X
274	43	RCL
275	22	22
276	95	=
277	42	STO
278	25	25
279	32	X⇄T
280	04	4
281	02	2
282	07	7
283	00	0
284	75	-
285	01	1
286	03	3
287	07	7

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (LEY DE POTENCIAS)

288	00	0
289	65	X
290	43	RCL
291	22	22
292	95	=
293	42	STO
294	26	26
295	43	RCL
296	24	24
297	22	INV
298	77	GE
299	10	E'
300	53	(
301	43	RCL
302	22	22
303	28	LOG
304	85	+
305	03	3
306	93	.
307	09	9
308	03	3
309	54	)
310	55	÷
311	05	5
312	00	0
313	95	=
314	42	STO
315	28	28
316	53	(
317	01	1
318	93	.
319	07	7
320	05	5
321	75	-
322	43	RCL
323	22	22
324	28	LOG
325	54	)
326	55	÷
327	07	7
328	95	=
329	42	STO
330	29	29
331	43	RCL
332	26	26
333	32	X⇄T
334	43	RCL
335	24	24
336	77	GE
337	19	D'
338	53	(
339	43	RCL
340	28	28
341	55	÷
342	53	(
343	43	RCL
344	26	26
345	45	YX
346	43	RCL
347	29	29
348	54	)
349	75	-
350	01	1
351	06	6
352	55	÷
353	43	RCL
354	25	25
355	54	)
356	65	X
357	53	(
358	43	RCL
359	24	24
360	75	-
361	43	RCL
362	25	25
363	54	)
364	55	÷
365	08	8
366	00	0
367	00	0
368	85	+
369	01	1
370	06	6
371	55	÷
372	43	RCL
373	25	25
374	95	=
375	42	STO
376	27	27
377	61	GTO
378	39	COS
379	76	LBL
380	19	D'
381	43	RCL
382	28	28
383	55	÷

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (LEY DE POTENCIAS)

384	53	(
385	43	RCL
386	24	24
387	45	YX
388	43	RCL
389	29	29
390	54	)
391	95	=
392	42	STO
393	27	27
394	61	GTO
395	39	COS
396	76	LBL
397	10	E'
398	01	1
399	06	6
400	55	÷
401	43	RCL
402	24	24
403	95	=
404	42	STO
405	27	27
406	76	LBL
407	39	COS
408	65	X
409	73	RC*
410	18	18
411	65	X
412	43	RCL
413	21	21
414	33	X2
415	65	X
416	43	RCL
417	03	03
418	55	÷
419	53	(
420	09	9
421	03	3
422	00	0
423	00	0
424	00	0
425	65	X
426	73	RC*
427	00	00
428	54	)
429	95	=
430	42	STO
431	20	20
432	44	SUM
433	19	19
434	98	ADV
435	01	1
436	06	6
437	05	5
438	05	5
439	04	4
440	04	4
441	05	5
442	06	6
443	69	OP
444	04	04
445	73	RC*
446	00	00
447	69	OP
448	06	06
449	02	2
450	07	7
451	05	5
452	05	5
453	04	4
454	05	5
455	05	5
456	06	6
457	69	OP
458	04	04
459	73	RC*
460	18	18
461	69	OP
462	06	06
463	07	7
464	05	5
465	03	3
466	03	3
467	69	OP
468	04	04
469	43	RCL
470	20	20
471	69	OP
472	06	06
473	07	7
474	07	7
475	07	7
476	05	5
477	03	3
478	03	3
479	69	OP

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL INT. DE LA SARTA (LEY DE POTENCIAS)

480	04	04
481	43	RCL
482	19	19
483	69	OP
484	06	06
485	01	1
486	44	SUM
487	00	00
488	44	SUM
489	18	18
490	25	CLR
491	32	X⇄T
492	73	RC*
493	00	00
494	67	EQ
495	18	C'
496	73	RC*
497	18	18
498	67	EQ
499	18	C'
500	01	1
501	01	1
502	32	X⇄T
503	43	RCL
504	00	00
505	77	GE
506	18	C'
507	61	GTO
508	17	B'
509	76	LBL
510	18	C'
511	98	ADV
512	25	CLR
513	69	OP
514	00	00
515	07	7
516	05	5
517	07	7
518	05	5
519	07	7
520	05	5
521	07	7
522	05	5
523	07	7
524	05	5
525	69	OP
526	01	01
527	01	1
528	03	3
529	02	2
530	01	1
531	01	1
532	05	5
533	03	3
534	00	0
535	07	7
536	05	5
537	69	OP
538	02	02
539	07	7
540	05	5
541	07	7
542	05	5
543	07	7
544	05	5
545	07	7
546	05	5
547	07	7
548	05	5
549	69	OP
550	03	03
551	01	1
552	06	6
553	04	4
554	00	0
555	02	2
556	04	4
557	04	4
558	00	0
559	69	OP
560	04	04
561	69	OP
562	05	05
563	43	RCL
564	19	19
565	98	ADV
566	98	ADV
567	98	ADV
568	98	ADV
569	91	R/S

PROGRAMA

Pérdidas de Presión en el Espacio Anular empleando el Modelo de Ley de Potencias.

TARJETA No. 1

1 ←	TEXAS INSTRUMENTS			→ 2
ΔP L D P	4 2nd OP 17	2 Tarjetas	Esp. Anular	
Vp	Yp	dl	Q	
A= reo. y dia. TP.	A'= long.TP	B'=Dia.TR	C'= long.TR	

TARJETA No. 2

3 ←	TEXAS INSTRUMENTS			→ 4
ΔP L D P	4 2nd OP 17	2 Tarjetas	Esp. Anular	
Vp	Yp	dl	Q	
A= reol.y	dia.TP	A'=long.TP	B'=Dia.TR	C'=long.TR

Los datos de Entrada, los Resultados obtenidos, la Carga del Programa, Introducción y ejecución del Programa, se realiza con la misma secuencia del Programa de Caídas de Presión en Espacio Anular, empleando el Modelo Reológico de Bingham.

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (LEY DE POTENCIAS)

000	76	LBL	032	00	00	064	26	26
001	11	A	033	77	GE	065	76	LBL
002	25	CLR	034	34	√X	066	18	C'
003	69	OP	035	61	GTO	067	98	ADV
004	00	00	036	00	00	068	01	1
005	07	7	037	26	26	069	07	7
006	05	5	038	76	LBL	070	42	STO
007	03	3	039	16	A'	071	00	00
008	03	3	040	98	ADV	072	02	2
009	02	2	041	09	9	073	01	1
010	07	7	042	42	STO	074	42	STO
011	01	1	043	00	00	075	21	21
012	06	6	044	01	1	076	61	GTO
013	03	3	045	03	3	077	00	00
014	03	3	046	42	STO	07B	26	26
015	69	OP	047	21	21	079	76	LBL
016	02	02	048	61	GTO	080	12	B
017	69	OP	049	00	00	081	9B	ADV
018	05	05	050	26	26	082	01	1
019	98	ADV	051	76	LBL	083	07	7
020	01	1	052	17	B'	084	32	X⇄T
021	42	STO	053	9B	ADV	085	01	1
022	00	00	054	01	1	086	42	STO
023	09	9	055	03	3	087	00	00
024	42	STO	056	42	STO	088	43	RCL
025	21	21	057	00	00	089	00	00
026	71	SBR	058	01	1	090	99	PRT
027	33	X2	059	07	7	091	66	PAU
028	43	RCL	060	42	STO	092	73	RC*
029	21	21	061	21	21	093	00	00
030	32	X⇄T	062	61	GTO	094	66	PAU
031	43	RCL	063	00	00	095	66	PAU

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESIO EN EL ESPACIO ANULAR (LEY DE POTENCIAS)

096	99	PRT
097	69	OP
098	20	20
099	43	RCL
100	00	00
101	77	GE
102	34	√X
103	61	GTO
104	00	00
105	88	88
106	76	LBL
107	13	C
108	42	STO
109	00	00
110	99	PRT
111	73	RC*
112	00	00
113	91	R/S
114	99	PRT
115	72	ST*
116	00	00
117	25	CLR
118	91	R/S
119	76	LBL
120	33	X2
121	43	RCL
122	00	00
123	99	PRT
124	91	R/S
125	72	ST*
126	00	00
127	99	PRT
128	69	OP
129	20	20
130	92	RTN
131	76	LBL
132	34	√X
133	25	CLR
134	98	ADV
135	91	R/S
136	76	LBL
137	15	E
138	25	CLR
139	42	STO
140	22	22
141	09	9
142	42	STO
143	00	00
144	05	5
145	42	STO
146	23	23
147	01	1
148	07	7
149	42	STO
150	24	24
151	01	1
152	03	3
153	42	STO
154	25	25
155	76	LBL
156	19	D'
157	01	1
158	32	X*◄T
159	73	RC*
160	00	00
161	55	÷
162	73	RC*
163	24	24
164	95	=
165	42	STO
166	26	26
167	22	INV
168	77	GE
169	90	LST
170	73	RC*
171	00	00
172	55	÷
173	43	RCL
174	26	26
175	95	=
176	42	STO
177	27	27
178	22	INV
179	74	SM*
180	00	00
181	61	GTO
182	01	01
183	97	97
184	76	LBL
185	90	LST
186	73	RC*
187	24	24
188	65	X
189	43	RCL
190	26	26
191	95	=

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (LEY DE POTENCIAS)

192	42	STO
193	27	27
194	22	INV
195	74	SM*
196	24	24
197	71	SBR
198	30	TAN
199	01	1
200	32	X⇄T
201	43	RCL
202	26	26
203	22	INV
204	77	GE
205	10	E'
206	01	1
207	44	SUM
208	24	24
209	44	SUM
210	25	25
211	61	GTO
212	38	SIN
213	76	LBL
214	10	E'
215	01	1
216	44	SUM
217	00	00
218	44	SUM
219	23	23
220	76	LBL
221	38	SIN
222	25	CLR
223	32	X⇄T
224	73	RC*
225	23	23
226	67	EQ
227	89	π
228	73	RC*
229	25	25
230	67	EQ
231	89	π
232	09	9
233	32	X⇄T
234	43	RCL
235	23	23
236	77	GE
237	89	π
238	01	1
239	07	7
240	32	X⇄T
241	43	RCL
242	25	25
243	77	GE
244	89	π
245	61	GTO
246	19	D'
247	76	LBL
248	89	π
249	98	ADV
250	25	CLR
251	69	OP
252	00	00
253	01	1
254	03	3
255	02	2
256	01	1
257	01	1
258	05	5
259	69	OP
260	02	02
261	03	3
262	00	0
263	07	7
264	05	5
265	07	7
266	05	5
267	01	1
268	07	7
269	01	1
270	03	3
271	69	OP
272	03	03
273	69	OP
274	05	05
275	43	RCL
276	22	22
277	98	ADV
278	98	ADV
279	98	ADV
280	98	ADV
281	91	R/S
282	76	LBL
283	30	TAN
284	02	2
285	04	4
286	93	.
287	05	5

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (LEY DE POTENCIAS)

288	01	1
289	65	X
290	43	RCL
291	04	04
292	55	÷
293	53	(
294	73	RC*
295	25	25
296	33	X2
297	75	-
298	73	RC*
299	23	23
300	33	X2
301	54	)
302	95	=
303	42	STO
304	28	28
305	53	(
306	43	RCL
307	02	02
308	85	+
309	02	2
310	65	X
311	43	RCL
312	01	01
313	54	)
314	42	STO
315	39	39
316	55	÷
317	53	(
318	43	RCL
319	02	02
320	85	+
321	43	RCL
322	01	01
323	54	)
324	95	=
325	28	LOG
326	65	X
327	03	3
328	93	.
329	03	3
330	02	2
331	95	=
332	42	STO
333	30	30
334	43	RCL
335	39	39
336	55	÷
337	53	(
338	01	1
339	00	0
340	02	2
341	02	2
342	45	YX
343	43	RCL
344	30	30
345	65	X
346	01	1
347	00	0
348	00	0
349	54	)
350	95	=
351	42	STO
352	31	31
353	53	(
354	01	1
355	93	.
356	02	2
357	05	5
358	65	X
359	43	RCL
360	30	30
361	65	X
362	53	(
363	73	RC*
364	25	25
365	75	-
366	73	RC*
367	23	23
368	54	)
369	55	÷
370	53	(
371	43	RCL
372	28	28
373	65	X
374	53	(
375	02	2
376	65	X
377	43	RCL
378	30	30
379	85	+
380	01	1
381	54	)
382	54	)
383	54	)

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (LEY DE POTENCIAS)

384	45	YX
385	43	RCL
386	30	30
387	65	X
388	43	RCL
389	03	03
390	65	X
391	43	RCL
392	28	28
393	33	X2
394	55	÷
395	53	(
396	01	1
397	09	9
398	03	3
399	05	5
400	65	X
401	43	RCL
402	31	31
403	54	)
404	95	=
405	42	STO
406	32	32
407	03	3
408	04	4
409	07	7
410	00	0
411	75	-
412	01	1
413	03	3
414	07	7
415	00	0
416	65	X
417	43	RCL
418	30	30
419	95	=
420	42	STO
421	34	34
422	32	X⇄T
423	04	4
424	02	2
425	07	7
426	00	0
427	75	-
428	01	1
429	03	3
430	07	7
431	00	0
432	65	X
433	43	RCL
434	30	30
435	95	=
436	42	STO
437	35	35
438	43	RCL
439	32	32
440	22	INV
441	77	GE
442	28	LOG
443	43	RCL
444	30	30
445	28	LOG
446	85	+
447	03	3
448	93	.
449	09	9
450	03	3
451	95	=
452	55	÷
453	05	5
454	00	0
455	95	=
456	42	STO
457	37	37
458	01	1
459	93	.
460	07	7
461	05	5
462	75	-
463	43	RCL
464	30	30
465	28	LOG
466	95	=
467	55	÷
468	07	7
469	95	=
470	42	STO
471	38	38
472	43	RCL
473	35	35
474	32	X⇄T
475	43	RCL
476	32	32
477	77	GE
478	48	EXC
479	53	(

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (LEY DE POTENCIAS)

480	43	RCL
481	37	37
482	55	÷
483	53	(
484	43	RCL
485	35	35
486	45	YX
487	43	RCL
488	38	38
489	54	)
490	75	-
491	01	1
492	06	6
493	55	÷
494	43	RCL
495	34	34
496	54	)
497	65	X
498	53	(
499	43	RCL
500	32	32
501	75	-
502	43	RCL
503	34	34
504	54	)
505	55	÷
506	08	8
507	00	0
508	00	0
509	85	+
510	01	1
511	06	6
512	55	÷
513	43	RCL
514	34	34
515	95	=
516	42	STO
517	36	36
518	61	GTO
519	42	PRD
520	76	LBL
521	28	LOG
522	01	1
523	06	6
524	55	÷
525	43	RCL
526	32	32
527	95	=
528	42	STO
529	36	36
530	61	GTO
531	49	PRD
532	76	LBL
533	48	EXC
534	43	RCL
535	37	37
536	55	÷
537	53	(
538	43	RCL
539	32	32
540	45	YX
541	43	RCL
542	38	38
543	54	)
544	95	=
545	42	STO
546	36	36
547	76	LBL
548	49	PRD
549	43	RCL
550	36	36
551	65	X
552	43	RCL
553	27	27
554	65	X
555	43	RCL
556	28	28
557	33	X2
558	65	X
559	43	RCL
560	03	03
561	55	÷
562	53	(
563	09	9
564	03	3
565	00	0
566	00	0
567	00	0
568	65	X
569	53	(
570	73	RC*
571	25	25
572	75	-
573	73	RC*
574	23	23
575	54	)

CODIFICACION DEL PROGRAMA
PERDIDAS DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR (LEY DE POTENCIAS)

576	54	)	608	07	7
577	95	=	609	69	OP
578	42	STO	610	04	04
579	29	29	611	43	RCL
580	44	SUM	612	27	27
581	22	22	613	69	OP
582	98	ADV	614	06	06
583	01	1	615	07	7
584	06	6	616	05	5
585	03	3	617	03	3
586	07	7	618	03	3
587	03	3	619	69	OP
588	03	3	620	04	04
589	69	OP	621	43	RCL
590	04	04	622	29	29
591	73	RC*	623	69	OP
592	23	23	624	06	06
593	69	OP	625	07	7
594	06	06	626	07	7
595	01	1	627	07	7
596	06	6	628	05	5
597	03	3	629	03	3
598	07	7	630	03	3
599	03	3	631	69	OP
600	05	5	632	04	04
601	69	OP	633	43	RCL
602	04	04	634	22	22
603	73	RC*	635	69	OP
604	25	25	636	06	06
605	69	OP	637	92	RTN
606	06	06	638	00	0
607	02	2	639	00	0

3.3 Diseño de la Hidráulica Optimizada, mediante el uso de la TI-59

TARJETA No. 1

1 ←	TEXAS INSTRUMENTS			→ 2
Diseño Hidr.Opt	2-Tarjetas	4 2nd OP 17	Datos	
P.máx.	P 1	dl	Db	dtp
Q u	H			

TARJETA No. 2

1 ←	TEXAS INSTRUMENTS			→ 2
Diseño Hidr.Opt	2 Tarjetas	4 2nd OP 17	Resultados	
Q u	Q	HPu	HPj	HP
PB	Pj	% PC	j3T	j2T

Datos de entrada:

Descripción	Simbología	Unidades	Pedido por No.
Presión Máxima de Bombeo.	P.máx.	psi	1
Caída de Presión en el Circuito.	ΔP	psi	2
Densidad	dl	lb/Gal	3
Diámetro de barrena	Db	pg	4
Diámetro exterior - de T.P.	dtp	pg	5
Gasto Unitario	Q	Gpm	6
Potencia Unitaria	H	psi/pg^2	7

Resultados obtenidos:

Sin Impresora presionar la Tecla D			Con Impresora(Tecla E) el Programa corre automáticamente.		
Visualiza	Presionar	Valor Obtenido	Presionar	Hidr.	Optimizada
1	R/S	Resultado No.1	R/S	XXX	Qu
2	R/S	Resultado No.2	R/S	XXX	Q
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
10	R/S	Resultado No.10	R/S	XXX	j2

Simbología	Descripción	Unidades
Qu	Gasto Unitario	Gpm/pg
Q	Gasto	Gpm
HPu	H.P.Unitarios en la barrena	HP/pg^2
HPj	H.P.en la barrena	H.P.
HP	H.P.	H.P.
PB	Presión de Bombeo	psi
Pj	Presión disponible en la barrena	psi
%PC	% Presión en el Circuito excluyendo la barrena	-
j3	3 Toberas de	1/32"
j2	2 Toberas de	1/32"

Carga del Programa:

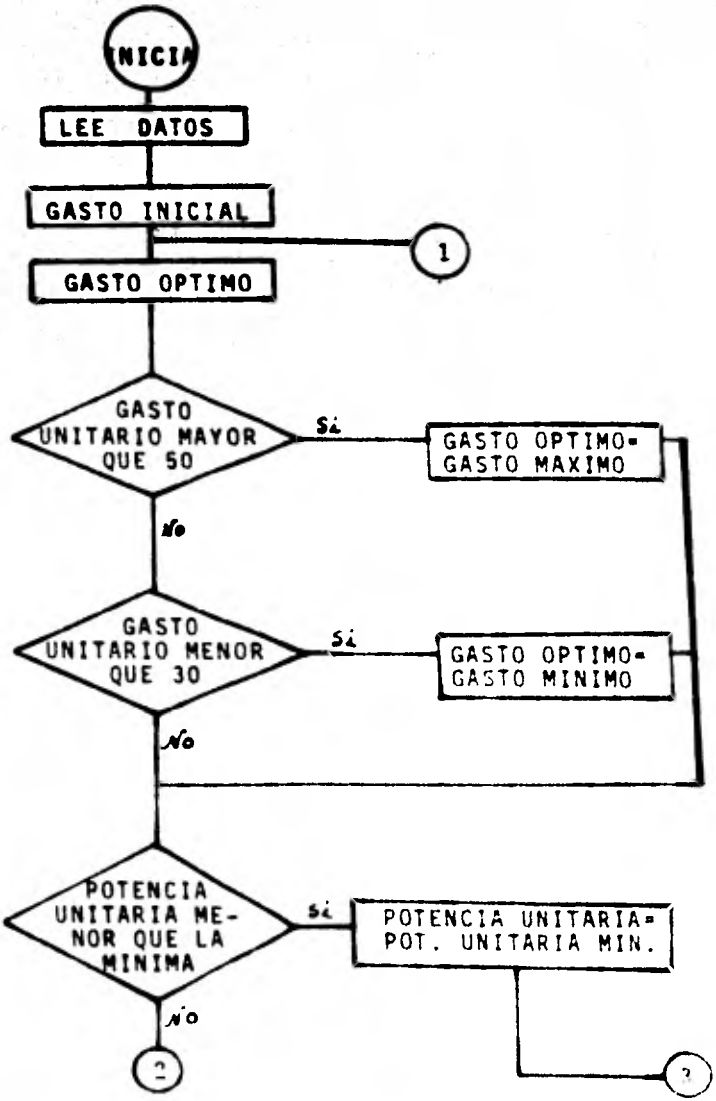
Del mismo modo que los Programas de Caídas de Presión en el Espacio Anular.

Introducción de datos:

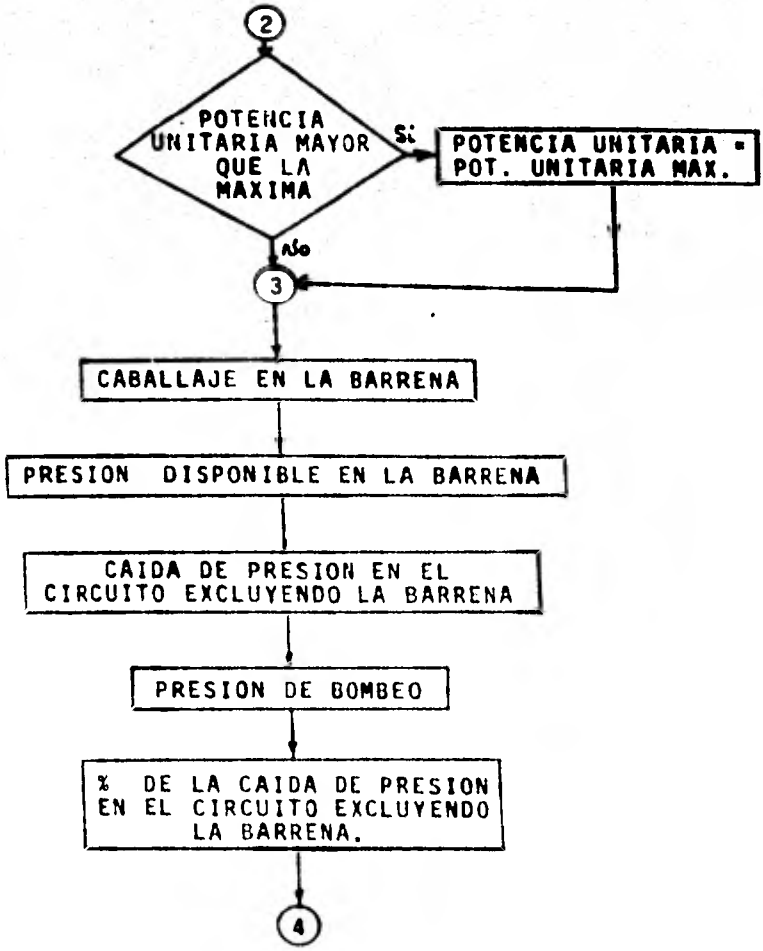
Ejecutar	Visualización con ó sin Impresora	Impresión
Tecla A	1	Hidr. Optimizada 1
Dato No.1, presionar R/S	2	XXX 2
Dato No.2, presionar R/S	3	XXX 3
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Dato No.7, presionar R/S	0	XXX

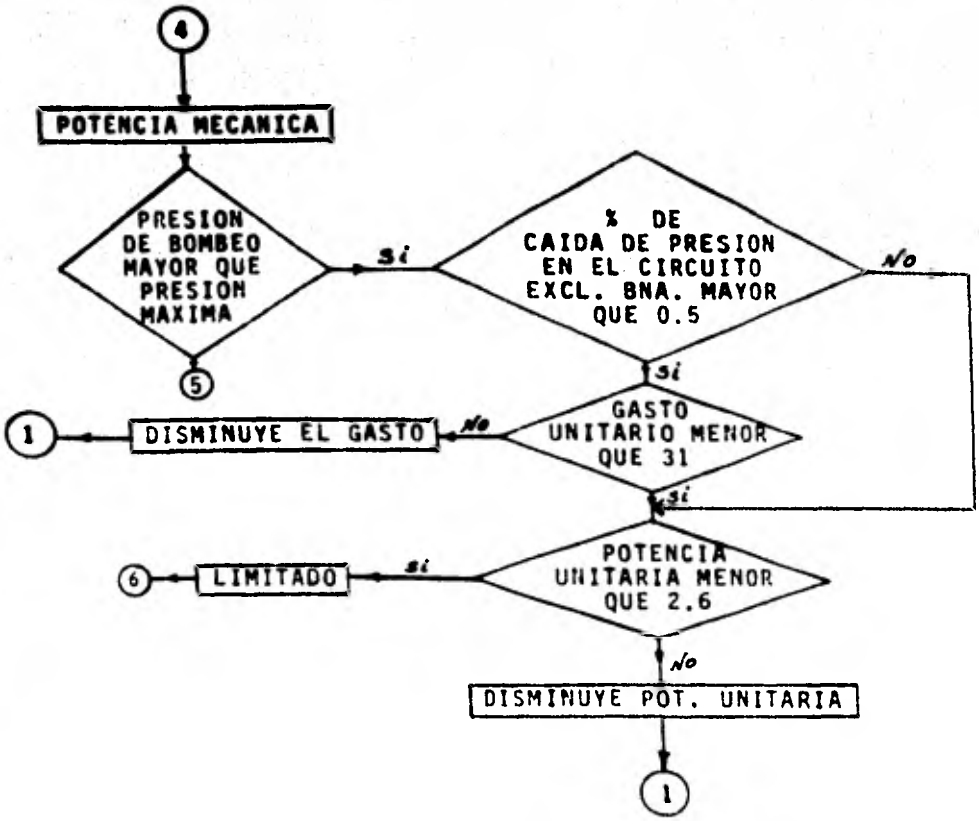
DIAGRAMA DE FLUJO

HIDRAULICA OPTIMIZADA

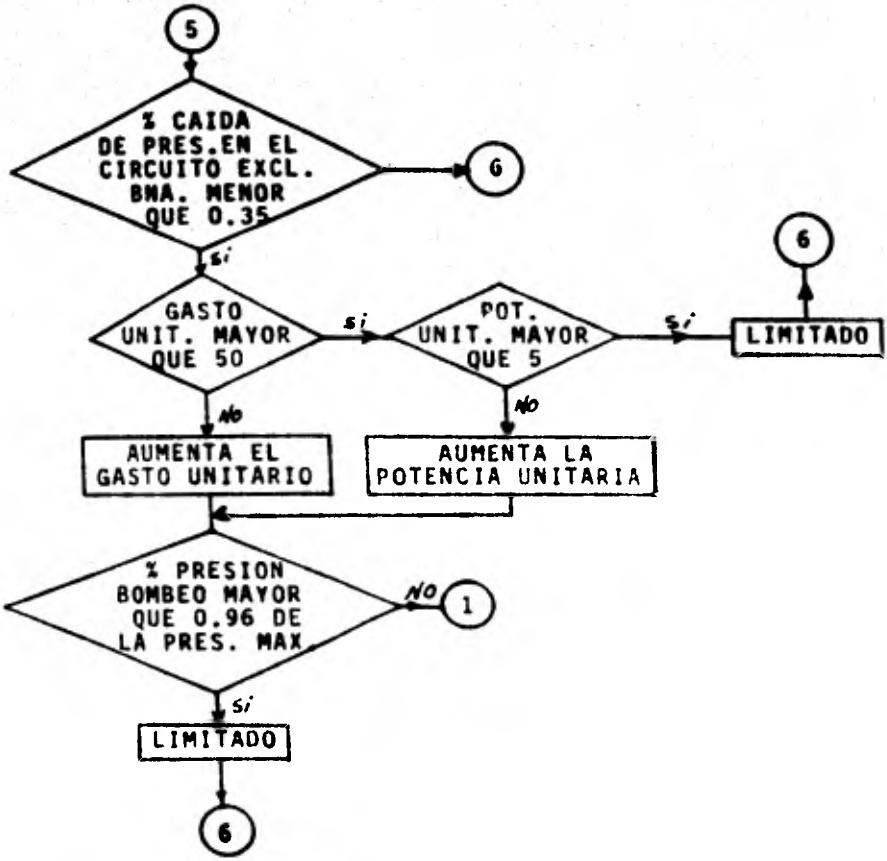


HIDRAULICA OPTIMIZADA

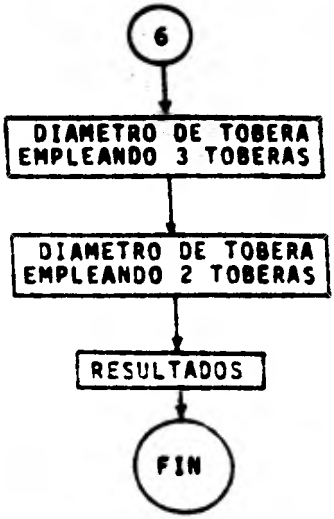



4
POTENCIA MECANICA
PRESION DE BOMBEO MAYOR QUE PRESION MAXIMA
Si
% DE CAIDA DE PRESION EN EL CIRCUITO EXCL. BNA. MAYOR QUE 0.5
No
5
Si
1
DISMINUYE EL GASTO
No
GASTO UNITARIO MENOR QUE 31
Si
6
LIMITADO
Si
POTENCIA UNITARIA MENOR QUE 2.6
No
DISMINUYE POT. UNITARIA
1

HIDRAULICA OPTIMIZADA



HIDRAULICA OPTIMIZADA



NORMAS DE LA HIDRAULICA OPTIMIZADA

GASTO	El Gasto mínimo empleado debe ser 30 veces el diámetro de la barrena.
	El Gasto máximo empleado debe ser 50 veces el diámetro de la barrena.
POTENCIA UNITARIA EN LA BARRENA	La Potencia unitaria mínima debe ser 2.5 veces el área de la barrena.
	La Potencia unitaria máxima debe ser 5 veces el área de la barrena
CABALLAJE EN LA - BARRENA	El 65% de la Potencia de las Bombas se debe emplear en desplazar - el Fluído a través de las Toberas como máximo y el 50% como mínimo
NUMERO DE TOBERAS	Se recomienda utilizar 2 Toberas para diámetros de barrena menores de 9.5 pgs. de diámetro y con ritmo de penetración esperados mayores que 3.9 min/mt.

CODIFICACION DEL PROGRAMA
DISEÑO DE LA HIDRAULICA OPTIMA

000	76	LBL
001	11	A
002	25	CLR
003	69	OP
004	00	00
005	02	2
006	03	3
007	02	2
008	04	4
009	01	1
010	06	6
011	03	3
012	05	5
013	01	1
014	03	3
015	69	OP
016	01	01
017	04	4
018	01	1
019	02	2
020	07	7
021	02	2
022	04	4
023	04	4
024	00	0
025	00	0
026	00	0
027	69	OP
028	02	02
029	03	3
030	02	2
031	03	3
032	03	3
033	03	3
034	07	7
035	02	2
036	04	4
037	03	3
038	00	0
039	69	OP
040	03	03
041	02	2
042	04	4
043	04	4
044	06	6
045	01	1
046	03	3
047	01	1
048	06	6
049	01	1
050	03	3
051	69	OP
052	04	04
053	69	OP
054	05	05
055	98	ADV
056	01	1
057	42	STO
058	00	00
059	43	RCL
060	00	00
061	99	PRT
062	91	R/S
063	72	ST*
064	00	00
065	99	PRT
066	69	OP
067	20	20
068	08	8
069	32	X⇄T
070	43	RCL
071	00	00
072	77	GE
073	34	√X
074	61	GTO
075	00	00
076	59	59
077	76	LBL
078	12	B
079	01	1
080	42	STO
081	00	00
082	43	RCL
083	00	00
084	99	PRT
085	66	PAU
086	73	RC*
087	00	00
088	99	PRT
089	66	PAU
090	66	PAU
091	69	OP
092	20	20
093	08	8
094	32	X⇄T
095	43	RCL

CODIFICACION DEL PROGRAMA
DISEÑO DE LA HIDRAULICA OPTIMA

096	00	00
097	77	GE
098	34	√X
099	61	GTO
100	00	00
101	82	82
102	76	LBL
103	13	C
104	42	STO
105	00	00
106	73	RC*
107	00	00
108	91	R/S
109	72	ST*
110	00	00
111	25	CLR
112	91	R/S
113	76	LBL
114	34	√X
115	25	CLR
116	98	ADV
117	91	R/S
118	76	LBL
119	14	D
120	86	STF
121	00	00
122	61	GTO
123	01	01
124	30	30
125	76	LBL
126	15	E
127	22	INV
128	86	STF
129	00	00
130	43	RCL
131	06	06
132	42	STO
133	30	30
134	43	RCL
135	07	07
136	42	STO
137	32	32
138	43	RCL
139	30	30
140	65	X
141	43	RCL
142	04	04
143	95	=
144	42	STO
145	27	27
146	76	LBL
147	10	E'
148	43	RCL
149	30	30
150	65	X
151	43	RCL
152	04	04
153	95	=
154	42	STO
155	31	31
156	05	5
157	00	0
158	32	X⇄T
159	43	RCL
160	30	30
161	77	GE
162	38	SIN
163	03	3
164	00	0
165	32	X⇄T
166	43	RCL
167	30	30
168	22	INV
169	77	GE
170	39	COS
171	61	GTO
172	30	TAN
173	76	LBL
174	38	SIN
175	05	5
176	00	0
177	65	X
178	43	RCL
179	04	04
180	95	=
181	42	STO
182	31	31
183	61	GTO
184	30	TAN
185	76	LBL
186	39	COS
187	03	3
188	00	0
189	65	X
190	43	RCL
191	04	04

CODIFICACION DEL PROGRAMA
DISEÑO DE LA HIDRAULICA OPTIMA

192	95	=
193	42	STO
194	31	31
195	76	LBL
196	30	TAN
197	02	2
198	93	.
199	05	5
200	32	X⇄T
201	43	RCL
202	32	32
203	22	INV
204	77	GE
205	48	EXC
206	05	5
207	32	X⇄T
208	43	RCL
209	32	32
210	77	GE
211	49	PRD
212	61	GTO
213	28	LOG
214	76	LBL
215	48	EXC
216	02	2
217	93	.
218	05	5
219	42	STO
220	32	32
221	61	GTO
222	28	LOG
223	76	LBL
224	49	PRD
225	05	5
226	42	STO
227	32	32
228	76	LBL
229	28	LOG
230	43	RCL
231	32	32
232	65	X
233	89	π
234	65	X
235	43	RCL
236	04	04
237	33	X2
238	55	÷
239	04	4
240	95	=
241	42	STO
242	33	33
243	65	X
244	01	1
245	07	7
246	01	1
247	04	4
248	55	÷
249	43	RCL
250	31	31
251	95	=
252	42	STO
253	36	36
254	43	RCL
255	31	31
256	55	÷
257	43	RCL
258	27	27
259	95	=
260	45	YX
261	01	1
262	93	.
263	08	8
264	06	6
265	65	X
266	43	RCL
267	02	02
268	95	=
269	42	STO
270	29	29
271	85	+
272	43	RCL
273	36	36
274	95	=
275	42	STO
276	35	35
277	35	1/X
278	65	X
279	43	RCL
280	29	29
281	95	=
282	42	STO
283	37	37
284	43	RCL
285	35	35
286	65	X
287	43	RCL

CODIFICACION DEL PROGRAMA
DISEÑO DE LA HIDRAULICA OPTIMA

288	31	31
289	55	÷
290	01	1
291	07	7
292	01	1
293	04	4
294	95	=
295	42	STO
296	34	34
297	43	RCL
298	01	01
299	32	X⇄T
300	43	RCL
301	35	35
302	77	GE
303	29	CP
304	93	.
305	05	5
306	01	1
307	32	X⇄T
308	43	RCL
309	37	37
310	77	GE
311	29	CP
312	61	GTO
313	36	PGM
314	76	LBL
315	29	CP
316	93	.
317	05	5
318	01	1
319	32	X⇄T
320	43	RCL
321	37	37
322	77	GE
323	03	03
324	28	28
325	61	GTO
326	03	03
327	43	43
328	03	3
329	01	1
330	32	X⇄T
331	43	RCL
332	30	30
333	22	INV
334	77	GE
335	03	03
336	43	43
337	01	1
338	22	INV
339	44	SUM
340	30	30
341	61	GTO
342	10	E'
343	02	2
344	93	.
345	06	6
346	32	X⇄T
347	43	RCL
348	32	32
349	22	INV
350	77	GE
351	68	NOP
352	93	.
353	01	1
354	22	INV
355	44	SUM
356	32	32
357	61	GTO
358	10	E'
359	76	LBL
360	36	PGM
361	93	.
362	03	3
363	05	5
364	32	X⇄T
365	43	RCL
366	37	37
367	22	INV
368	77	GE
369	98	ADV
370	53	(
371	43	RCL
372	03	03
373	55	÷
374	43	RCL
375	36	36
376	95	=
377	34	√X
378	65	X
379	43	RCL
380	31	31
381	95	=
382	34	√X
383	54	)

CODIFICACION DEL PROGRAMA
DISEÑO DE LA HIDRAULICA OPTIMA

384	42	STO
385	28	28
386	65	X
387	02	2
388	93	.
389	00	0
390	04	4
391	02	2
392	95	=
393	42	STO
394	38	38
395	43	RCL
396	28	28
397	65	X
398	02	2
399	93	.
400	05	5
401	00	0
402	01	1
403	95	=
404	42	STO
405	39	39
406	61	GTO
407	90	LST
408	76	LBL
409	98	ADV
410	05	5
411	00	0
412	32	X⇄T
413	43	RCL
414	30	30
415	77	GE
416	04	04
417	35	35
418	93	.
419	09	9
420	06	6
421	32	X⇄T
422	43	RCL
423	35	35
424	55	÷
425	43	RCL
426	01	01
427	95	=
428	77	GE
429	68	NOP
430	01	1
431	44	SUM
432	30	30
433	61	GTO
434	10	E'
435	05	5
436	32	X⇄T
437	43	RCL
438	32	32
439	77	GE
440	68	NOP
441	93	.
442	01	1
443	44	SUM
444	32	32
445	61	GTO
446	04	04
447	21	21
448	76	LBL
449	90	LST
450	01	1
451	42	STO
452	25	25
453	03	3
454	00	0
455	42	STO
456	26	26
457	87	IFF
458	00	00
459	19	D'
460	03	3
461	04	4
462	04	4
463	01	1
464	71	SBR
465	18	C'
466	03	3
467	04	4
468	71	SBR
469	18	C'
470	02	2
471	03	3
472	03	3
473	03	3
474	04	4
475	01	1
476	71	SBR
477	18	C'
478	02	2
479	03	3

CODIFICACION DEL PROGRAMA
DISEÑO DE LA HIDRAULICA OPTIMA

480	03	3
481	03	3
482	02	2
483	05	5
484	71	SBR
485	18	C'
486	02	2
487	03	3
488	03	3
489	03	3
490	71	SBR
491	18	C'
492	03	3
493	03	3
494	01	1
495	04	4
496	71	SBR
497	18	C'
498	03	3
499	03	3
500	02	2
501	05	5
502	71	SBR
503	18	C'
504	06	6
505	01	1
506	03	3
507	03	3
508	01	1
509	05	5
510	71	SBR
511	18	C'
512	02	2
513	05	5
514	00	0
515	04	4
516	71	SBR
517	18	C'
518	02	2
519	05	5
520	00	0
521	03	3
522	71	SBR
523	18	C'
524	76	LBL
525	18	C'
526	69	OP
527	04	04
528	04	4
529	00	0
530	32	X:T
531	43	RCL
532	26	26
533	77	GE
534	17	B'
535	73	RC*
536	26	26
537	69	OP
538	06	06
539	01	1
540	44	SUM
541	26	26
542	92	RTN
543	76	LBL
544	17	B'
545	98	ADV
546	25	CLR
547	69	OP
548	00	00
549	07	7
550	05	5
551	07	7
552	05	5
553	69	OP
554	02	02
555	07	7
556	05	5
557	07	7
558	05	5
559	01	1
560	03	3
561	02	2
562	01	1
563	01	1
564	05	5
565	69	OP
566	03	03
567	03	3
568	00	0
569	07	7
570	05	5
571	07	7
572	05	5
573	07	7
574	05	5
575	07	7

CODIFICACION DEL PROGRAMA
DISEÑO DE LA HIDRAULICA OPTIMA

576	05	5
577	69	OP
578	04	04
579	69	OP
580	05	05
581	25	CLR
582	98	ADV
583	98	ADV
584	98	ADV
585	98	ADV
586	91	R/S
587	76	LBL
588	19	D'
589	43	RCL
590	25	25
591	91	R/S
592	73	RC*
593	26	26
594	91	R/S
595	03	3
596	09	9
597	32	X:T
598	43	RCL
599	26	26
600	77	GE
601	17	B'
602	01	1
603	44	SUM
604	25	25
605	44	SUM
606	26	26
607	61	GTO
608	19	D'
609	76	LBL
610	68	NOP
611	25	CLR
612	69	OP
613	00	00
614	02	2
615	07	7
616	02	2
617	04	4
618	03	3
619	00	0
620	69	OP
621	02	02
622	02	2
623	04	4
624	03	3
625	07	7
626	01	1
627	03	3
628	01	1
629	06	6
630	03	3
631	02	2
632	69	OP
633	03	03
634	69	OP
635	05	05
636	98	ADV
637	61	GTO
638	03	03
639	69	69

3.4 Ejemplo de Aplicación y Operación.

Se programó perforar el Pozo Cárdenas 141 con barrena de 9.1/2" en el intervalo 3,033 - 4,500 mts. con lodo de Emulsión Inversa.

Efectuar el Cálculo de la hidráulica que debe de emplearse:

Datos:

Utilizar:

20 Lastrabarrenas normales de 7.1/4" x 2.13/16"

1 Lastrabarrena corto de 7.1/4" x 2.13/16"

4 Estabilizadores de 9.1/2"

Ultima T.R. 10.3/4", P-110, 60.7 lb/pie, cementada a - 3,028 mts.

El Equipo utiliza las conexiones superficiales Tipo IV T.P. 5" XH, 19.5 lb/pie,

del estudio de correlaciones se obtuvo:

Profundidad (mts)	Densidad (gr/cc)
3,033	1.90
3,670	1.92
4,070	1.95
4,270	1.95
4,350	1.96
4,500	1.98

PROCEDIMIENTO A SEGUIR

Seleccionamos un gasto:

Q = 40 Db = 380 Gpm

Presión máxima superficial = 2,700 lbs/pg^2

Calculamos las Caídas de Presión en el circuito excluyendo la barrena. Corriendo el Programa que utiliza el Modelo - Reológico de Ley de Potencias.

Para la profundidad 3,033 mts.

Interior de la Sarta:

Concepto	Dia.Int.(pg)	Longitud(pies)
Conex. Superf.	3	98.4
Tubería de Perf.	4.267	9,290.78
Lastrabarrenas	2.8125	656

Viscosidad Plástica = 60

Punto de Cedencia = 25

Densidad = 15.833

Geometría del Espacio Anular:

Dia.Ext.de T.P.(pg)	Long.de T.P.(pie)	Dia.Int.TR.(pg)	Long.TR(pie)
5	9,290.78	9.66	9,948.24
7.25	656		

Caídas de Presión en el circuito, excluyendo la barrena es:

1164 + 176 = 1,340 lb/pg^2

Corremos el Programa de diseño de hidráulica, con los siguientes datos:

Presión máxima superficial = 2,600 lb/pg^2

Caídas de Presión en el circuito = 1,340 lb/pg^2

Densidad del fluído de perforacion = 15.833 lb/gal

Diámetro de barrena = 9.5"

Diámetro ext.de la tubería de perforación=5"

Gasto unitario = 40

Potencia unitaria = 5

Enviando los siguientes resultados:

Gasto Unitario = 39.

Gasto = 370.5

Potencia unitaria = 4.0

Potencia en la barrena = 283.52

Potencia mecánica = 559.86

Presión de Bombeo = 2,590

Presión destinada a la barrena = 1,311.65

% Presión en el circuito = 49.35

Diámetro para 3 Toberas = 13.02

Diámetro para 2 Toberas = 15.95

La cuál nos indica que el gasto adecuado es 39 veces - el diámetro de la barrena(370.5 Gpm), y debe utilizar 3 Toberas de 13/32"

En algunos casos el paso siguiente, será correr el Programa "Hidráulico", motivado por el valor fraccionario en la selección de Toberas, por ejemplo: si el Programa nos indica utilizar Toberas de 13.756, podemos elegir 2 Toberas de 13 y 1 Tobera de 14, ó bien podemos seleccionar 2 toberas de 14 y una de 13.

La selección adecuada la logramos corriendo el Programa de "Hidráulica"; recordando siempre que la Presión de bombeo es la suma de las Caídas de Presión en el circuito, excluyendo la barrena y la Caída de Presión en la barrena.

Cálculo de la hidráulica para la profundidad de 3,670 mts.

Gasto unitario =	34
Viscosidad Plástica =	63
Punto de Cedencia =	25
Densidad del fluído =	16
Gasto =	323

Caídas de Presión en el circuito.

Concepto	Dia.Int.(pg)	Longitud(pies)
Conex.superficiales	3	98.4
Tubería de Perf'n.	4.267	11,381.4
Lastrabarrenas	2.8125	656

Geometría del Espacio Anular.

Dia.ext.de TP(pg)	Long.de TP(pie)	Dia.int.TR(pg)	Long.de TR(pie)
5	11,381.4	9.66	9,948.24
7.25	656	9.5	2,089.36

Caídas de Presión en el circuito, excluyendo la barrena es:

1,040 + 194 = 1,234

Corremos el Programa de diseño de hidráulica; proporcionando los datos:

Caídas de Presión =	1,234
Densidad del fluído =	16

Gasto Unitario = 34

Potencia unitaria = 4

obteniendo los resultados:

Gasto = 323 Gpm

% Presión en el circuito = 47.67

siguiendo la misma secuencia, logramos obtener el Programa hi--- dráulico de perforación, de la siguiente manera:

PROF. Mts.	DENS. gr/cc	GASTO Gpm	TOB. 1/32	PRES.BOMB. lb/pg^2	%BMA. - Camisa	EMBOLADAS 6 1/4X9 1/4	6 1/4X10
3033	1.90	370	3-13	2,650	50.71	112	103
3670	1.92	323	3-12	2,650	53.16	98	90
4070	1.95	304	3-12	2,500	50.53	92	85
4270	1.95	285	2-11 1-12	2,500	56-24	86	80
4350	1.96	285	2-11 1-12	2,500	55.89	86	80
4500	1.98	285	2-11 1-12	2,550	55.31	86	80

Se utilizará una sola Bomba.

3.5 Programa del Comportamiento Hidráulico de un pozo en Perforación.

El Programa "Hidráulica de Perforación", no es el diseño de la misma, sino la revisión de ésta.

Si deseamos conocer la hidráulica con la que opera un equipo de perforación en un momento determinado. Podemos hacer uso de dicho Programa.

TARJETA UNICA

1 ⇦	TEXAS INSTRUMENTS			⇨ 2
Hidráulica	1 = Qu 2 = ΔPb	3 = HP 4 = HPj	5 = HPu 6 = VI	
Q	PB	d1	Db	dtp
j1	j2	j3	7=j	8 = Va 9 = V_{Bna}

Datos de entrada:

Descripción	Simbología	Pedido por No.
Gasto	Q	1
Presión de bombeo	PB	2
Densidad	d1	3
Diámetro de barrena	Db	4
Diámetro exterior de T.P.	dtp	5
Diámetro de Tobera No. 1	j1	6
Diámetro de Tobera No. 2	j2	7
Diámetro de Tobera No. 3	j3	8

Resultados obtenidos:

	Sin Impresora presionar la Tecla D		Con Impresora presionar la Tecla E (el Programa corre automáticamente.		
Visualiza	Presionar	Valor Obtenido	Presionar		Hidráulica
1	R/S	XXX	R/S	XXX	Qu
2	R/S	XXX	R/S	XXX	Pb
3	R/S	XXX	R/S	XXX	HP
4	R/S	XXX	R/S	XXX	HPj
5	R/S	XXX	R/S	XXX	HPu
6	R/S	XXX	R/S	XXX	Vj
7	R/S	XXX	R/S	XXX	I
8	R/S	XXX	R/S	XXX	Va
9	R/S	XXX	R/S	XXX	% Bna

Simbología	Descripción	Unidades
Qu	Gasto Unitario	Gpm/Db
Pb	Caída de Presión en la barrena	psi
HP	Caballaje hidráulico	HP
HPj	Caballaje en la barrena	HP
HPu	Caballaje unitario en la barrena	HP/Ab
Vj	Velocidad en las Toberas	pies/seg
I	Impacto	lbs.
Va	Velocidad Anular	pies/min
% Bna	% de Presión superficial en la barrena	--

Carga del Programa:

a) Encender la Calculadora.

b) Presionar CLR, 1

c) Introducir la Tarjeta por el lado No.1

d) Presionar CLR, 2

e) Introducir la Tarjeta por el lado No.2

Introducción de datos:

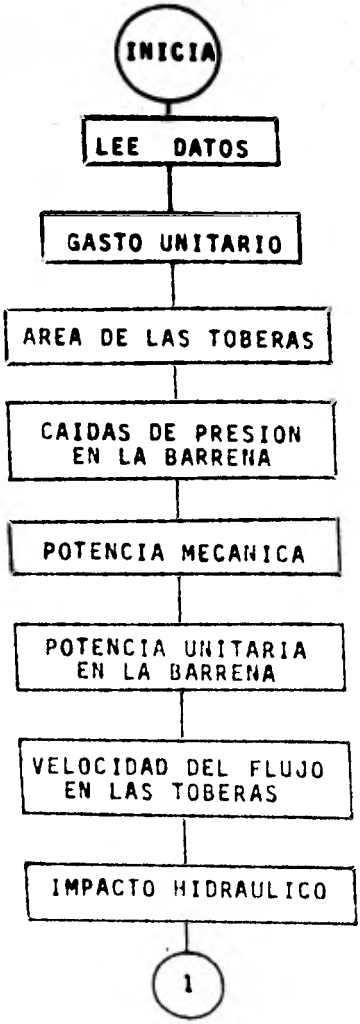
Ejecutar	Visualización con ó sin Impresora	Impresión
Tecla A	1	Hidráulica 1
Dato No.1, presionar R/S	2	XXX 2
Dato No.2, presionar R/S	3	XXX 3
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Dato No.8, presionar R/S	0	XXX

Ejecución del Programa:

a) Sin Impresora presionar la Tecla D

b) Con Impresora presionar la Tecla E

DIAGRAMA DE FLUJO
HIDRAULICA DE PERFORACION



HIDRAULICA DE PERFORACION

ECUACIONES EMPLEADAS PARA OBTENER LA HIDRAULICA DE PERFORACION

Area de las Toberas "An" en pg^2	$\frac{\pi}{4096} \times (j1^2 + j2^2 + j3^2)$
Caída de Presión en la barrena Pb en lb/pg^2	$(dl \% 0.12) \times Q^2 \% (10858 \times An^2)$
Potencia Mecánica en HP	$PB \times Q \% 1714$
Potencia Unitaria "HPu" en HP	$HPj \% (\pi \times Db \% 4)$
Presión disponible en la barrena "Pj" en lb/pg^2	$HPu \times 1714 \% Q$
Velocidad del flujo en las toberas "Vj" en pies/seg	$418.3 \times Q \% (j1^2 + j2^2 + j3^2)$
Impacto hidráulico "I" en lbs.	$Q \times (dl \% 0.12) \times Vj \% 1932$
Potencia en la barrena "HPj" en H.P.	$HPu \times (\pi \times Db \% 4)$

CODIFICACION DEL PROGRAMA HIDRAULICA DE PERFORACION

000	76	LBL
001	11	A
002	25	CLR
003	69	OP
004	00	00
005	02	2
006	03	3
007	02	2
008	04	4
009	01	1
010	06	6
011	03	3
012	05	5
013	01	1
014	03	3
015	69	OP
016	02	02
017	04	4
018	01	1
019	02	2
020	07	7
021	02	2
022	04	4
023	01	1
024	05	5
025	01	1
026	03	3
027	69	OP
028	03	03
029	69	OP
030	05	05
031	01	1
032	42	STO
033	00	00
034	98	ADV
035	43	RCL
036	00	00
037	99	PRT
038	91	R/S
039	72	ST*
040	00	00
041	99	PRT
042	69	OP
043	20	20
044	09	9
045	32	X⇄T
046	43	RCL
047	00	00
048	77	GE
049	00	00
050	93	93
051	61	GTO
052	00	00
053	35	35
054	76	LBL
055	12	B
056	01	1
057	42	STO
058	00	00
059	43	RCL
060	00	00
061	99	PRT
062	66	PAU
063	73	RC*
064	00	00
065	99	PRT
066	66	PAU
067	66	PAU
068	69	OP
069	20	20
070	09	9
071	32	X⇄T
072	43	RCL
073	00	00
074	77	GE
075	00	00
076	93	93
077	61	GTO
078	00	00
079	59	59
080	76	LBL
081	13	C
082	42	STO
083	00	00
084	99	PRT
085	73	RC*
086	00	00
087	91	R/S
088	72	ST*
089	00	00
090	99	PRT
091	25	CLR
092	91	R/S
093	25	CLR
094	98	ADV
095	91	R/S

CODIFICACION DEL PROGRAMA HIDRAULICA DE PERFORACION

096	76	LBL
097	14	0
098	86	STF
099	00	00
100	61	GTO
101	01	01
102	06	06
103	76	LBL
104	15	E
105	22	INV
106	86	STF
107	00	00
108	43	RCL
109	01	01
110	55	÷
111	43	RCL
112	04	04
113	95	=
114	42	STO
115	11	11
116	53	(
117	43	RCL
118	06	06
119	33	X2
120	85	+
121	43	RCL
122	07	07
123	33	X2
124	85	+
125	43	RCL
126	08	08
127	33	X2
128	54	)
129	42	STO
130	09	09
131	65	X
132	89	π
133	55	÷
134	04	4
135	00	0
136	09	9
137	06	6
138	95	=
139	42	STO
140	10	10
141	53	(
142	43	RCL
143	03	03
144	55	÷
145	93	.
146	01	1
147	02	2
148	65	X
149	43	RCL
150	01	01
151	33	X2
152	54	)
153	55	÷
154	53	(
155	01	1
156	00	0
157	08	8
158	05	5
159	08	8
160	65	X
161	43	RCL
162	10	10
163	33	X2
164	54	)
165	95	=
166	42	STO
167	12	12
168	53	(
169	43	RCL
170	02	02
171	65	X
172	43	RCL
173	01	01
174	55	÷
175	01	1
176	07	7
177	01	1
178	04	4
179	54	)
180	42	STO
181	13	13
182	53	(
183	43	RCL
184	12	12
185	65	X
186	43	RCL
187	01	01
188	55	÷
189	01	1
190	07	7
191	01	1

CODIFICACION DEL PROGRAMA HIDRAULICA DE PERFORACION

192	04	4
193	54	)
194	42	STO
195	14	14
196	55	÷
197	53	(
198	89	π
199	65	X
200	43	RCL
201	04	04
202	33	X2
203	55	÷
204	04	4
205	54	)
206	95	=
207	42	STO
208	15	15
209	04	4
210	01	1
211	08	8
212	93	.
213	03	3
214	65	X
215	43	RCL
216	01	01
217	55	÷
218	43	RCL
219	09	09
220	95	=
221	42	STO
222	16	16
223	65	X
224	43	RCL
225	03	03
226	65	X
227	43	RCL
228	01	01
229	55	÷
230	93	.
231	01	1
232	02	2
233	55	÷
234	01	1
235	09	9
236	03	3
237	02	2
238	95	=
239	42	STO
240	17	17
241	02	2
242	04	4
243	93	.
244	05	5
245	01	1
246	65	X
247	43	RCL
248	01	01
249	55	÷
250	53	(
251	43	RCL
252	04	04
253	33	X2
254	75	-
255	43	RCL
256	05	05
257	33	X2
258	54	)
259	95	=
260	42	STO
261	18	18
262	43	RCL
263	12	12
264	55	÷
265	43	RCL
266	02	02
267	65	X
268	01	1
269	00	0
270	00	0
271	95	=
272	42	STO
273	19	19
274	87	IFF
275	00	00
276	03	03
277	79	79
278	03	3
279	04	4
280	04	4
281	01	1
282	69	OP
283	04	04
284	43	RCL
285	11	11
286	69	OP
287	06	06

CODIFICACION DEL PROGRAMA HIDRAULICA DE PERFORACION

288	07	7
289	05	5
290	03	3
291	03	3
292	01	1
293	04	4
294	69	OP
295	04	04
296	43	RCL
297	12	12
298	69	OP
299	06	06
300	02	2
301	03	3
302	03	3
303	03	3
304	69	OP
305	04	04
306	43	RCL
307	13	13
308	69	OP
309	06	06
310	02	2
311	03	3
312	03	3
313	03	3
314	02	2
315	05	5
316	69	OP
317	04	04
318	43	RCL
319	14	14
320	69	OP
321	06	06
322	02	2
323	03	3
324	03	3
325	03	3
326	04	4
327	01	1
328	69	OP
329	04	04
330	43	RCL
331	15	15
332	69	OP
333	06	06
334	04	4
335	02	2
336	02	2
337	05	5
338	69	OP
339	04	04
340	43	RCL
341	16	16
342	69	OP
343	06	06
344	02	2
345	04	4
346	69	OP
347	04	04
348	43	RCL
349	17	17
350	69	OP
351	06	06
352	04	4
353	02	2
354	01	1
355	03	3
356	69	OP
357	04	04
358	43	RCL
359	18	18
360	69	OP
361	06	06
362	06	6
363	01	1
364	01	1
365	04	4
366	03	3
367	01	1
368	01	1
369	03	3
370	69	OP
371	04	04
372	43	RCL
373	19	19
374	69	OP
375	06	06
376	98	ADV
377	61	GTO
378	28	LOG
379	01	1
380	01	1
381	42	STO
382	20	20
383	01	1

CODIFICACION DEL PROGRAMA
HIDRAULICA DE PERFORACION

384	42	STO
385	30	30
386	43	RCL
387	30	30
388	91	R/S
389	73	RC*
390	20	20
391	91	R/S
392	01	1
393	44	SUM
394	20	20
395	44	SUM
396	30	30
397	02	2
398	00	0
399	32	X:T
400	43	RCL
401	20	20
402	67	EQ
403	28	LOG
404	61	GTO
405	03	03
406	86	86
407	76	LBL
408	28	LOG
409	25	CLR
410	69	OP
411	00	00
412	07	7
413	05	5
414	07	7
415	05	5
416	07	7
417	05	5
418	07	7
419	05	5
420	07	7
421	05	5
422	69	OP
423	01	01
424	07	7
425	05	5
426	01	1
427	03	3
428	02	2
429	01	1
430	01	1
431	05	5
432	03	3
433	00	0
434	69	OP
435	02	02
436	07	7
437	05	5
438	07	7
439	05	5
440	07	7
441	05	5
442	07	7
443	05	5
444	07	7
445	05	5
446	69	OP
447	03	03
448	69	OP
449	05	05
450	25	CLR
451	98	ADV
452	98	ADV
453	98	ADV
454	98	ADV
455	91	R/S

3.6 Ejemplo del comportamiento hidráulico.

Es importante analizar la hidráulica con la que opera un pozo en perforación. Al llegar al equipo se debe hacer un -- análisis reológico al fluído de perforación, contar las embola-- das de las bombas y anotar la presión que indique el manómetro - del tubo vertical (Stand Pipe).

Esto se debe hacer en el campo y en oficina, obteniendo la información de los reportes diarios de perforación. Esto es con la finalidad de verificar que se lleve a cabo el Programa hidráulico proporcionado, antes de iniciar la etapa de perfora-- ción, ó bien si por alguna razón fuera de lo previsto se ha tenido que modificar el peso del lodo, pudiendo de ésta manera seleccionar la hidráulica a seguir.

Analizando la hidráulica con la que opera el pozo Gi-- raldas No. 8, a la profundidad de 2,642 Mts.

Vemos que:

Gasto =	465.4
Presión de bombeo =	2000 lb/pg^2
Densidad del fluído =	1.45 gr/c[illegible]
Diámetro de Bna. =	14.3/4"
Diámetro exterior de la T.P.=	5"
Diámetro de Tobera No.1 =	15/32
Diámetro de Tobera No.2 =	15/32
Diámetro de Tobera No.3 =	[illegible]

Aquí corremos el Programa "Hidráulica", con los datos antes mencionados, obteniendo los resultados siguientes:

Gasto unitario =	31.55	
Caída de Presión en la barrena =	899.2	
Potencia Mecánica =	543	H.P.
Potencia en la barrena =	244	H.P.
Potencia unitaria en la barrena =	1.429	HP/pg^2
Velocidad en las toberas =	288	pies/seg
Impacto =	839.4	lbs
Velocidad anular =	59.2	pies/min
% de Presión sup. en la barrena =	44.96	

Se ve claramente que es necesario disminuir el diámetro de Toberas, debido a que el caballaje en la barrena es pobre y la mayor parte de la Presión de bombeo se consume en pérdidas por fric--- ción en la sarta. El impacto y la velocidad en las Toberas también están bajos.

Corremos por segunda ocasión el Programa "Hidráulica" con los datos anteriores, solo que en vez de introducir 3 Tobe-- ras de 15, se introducen 3 de 13.

Entre los Resultados obtenidos, vemos que:

La Potencia unitaria es =	2.53	
La Caída de Presión en la barrena =	1,594	lb/pg^2

La Presión de bombeo con 3 Toberas de 13, será:

$$(2000 - 899) + 1594 = 2695 \approx 2700 \ lb/pg^2$$

Por lo tanto, cambiamos el dato No.2, que es 2000 por el nuevo Valor 2700 y corremos nuevamente el Programa, dando los

siguientes resultados:

Gasto unitario =	31.55	
Caída de Presión en la barrena =	1,594	lb/pg^2
Potencia Mecánica =	733	H.P.
Potencia en la barrena =	432.8	H.P.
Potencia unitaria en la barrena =	2.53	H.P.
Velocidad en las Toberas =	383.97	pies/seg
Impacto =	1,117.66	lbs
Velocidad anular =	59.23	pies/min
% de Presión sup.sobre la barrena =	59.03	

Vemos que con ésta Hidráulica se mejoran todas las condiciones.

En casos donde el gasto es mínimo y la presión de bombeo al efectuar el cambio de Hidráulica, es mayor a la permisible se tendrá que aumentar el diámetro de Toberas, hasta alcanzar la presión permisible.

Se perforó el pozo Chiapas No.2 a la profundidad total de 4,500 mts., cuyo objetivo es obtener producción comercial de Aceite en las rocas Carbonatadas del Cretácico.

El Programa de perforación nos dice:

T.R.(pg)	Intervalo(mts)	Densidad	Lodo
16	0.0 - 700.0	1.26	Bentonítico
10.3/4	700.0 - 2850.0	1.26 - 1.45	LSE
7.5/8	2850.0 - 3750.0	1.45 - 1.85	DRILEX
5	3750.0 - 4500.0	1.30	LSE

Del estudio de correlación con los pozos Chiapas 1-A, Chiapas 11 y Chiapas 21, se obtuvieron los siguientes pesos del fluído de perforación.

PRIMERA ETAPA PROFUNDIDAD	DENSIDAD	SEGUNDA ETAPA PROFUNDIDAD	DENSIDAD
500	1.22	700	1.26
700	1.26	1750	1.35
		2400	1.39

TERCERA ETAPA PROFUNDIDAD	DENSIDAD	CUARTA ETAPA PROFUNDIDAD	DENSIDAD
2400	1.65	3600	1.22
2900	1.69	3800	1.22
3100	1.73	3940	1.23
3300	1.76		
3750	1.76		

La Hidráulica que utilizará la Primera Etapa:

Profundidad mts	Densidad gr/cc	Gasto Gpm	Toberas 1/32	Emboladas(2 Bombas) Camisas 6 x 9.1/4
500	1.22	854	Conv.	140
700	1.26	854	Conv.	140

La Hidráulica de la Segunda Etapa:

Profundidad mts	Gasto Gpm	EPM(2 bombas) 6 x 9.1/4	Toberas 1/32 pg	Densidad gr/cc
700	678.5	110	3-16	1.25
1500	678.5	110	2-16, 1-15	1.25
1750	560	92	2-14, 1-15	1.35
2150	560	92	2-14, 1-15	1.35
2400	516	85	3-14	1.40

La Hidráulica de la Tercera Etapa:

Prof. mts	Densidad gr/cc	Gasto Gpm	Toberas 1/32 pg	Presión lb/pg^2	%Bna --	Emboladas 6.1/4X10	6X9.1/4
2400	1.65	390	2-12, 1-14	2380	59	98	115
2900	1.69	390	2-13, 1-14	2330	51	98	115
3100	1.73	361	1-12, 2-13	2360	54	91	107
3300	1.76	342	2-12, 1-14	2220	51	86	101
3500	1.76	333	2-12, 1-13	2290	53	84	98
3750	1.76	314	3-12	2330	52	79	93

La Hidráulica de la Cuarta Etapa:

Profundidad mts	Densidad gr/cc	Gasto Gpm	Toberas 1/32 pg	Presión Bombeo (lb/pg^2)	Emboladas * 5X9.1/4	5X 10
3600	1.22	234	S/T	2000	110	102
3800	1.22	234	S/T	2000	110	102
3940	1.23	234	S/T	2000	110	102

* Se utilizará una sola Bomba.

Es de vital importancia, la aplicación de la hidráulica optimizada, debido a que con ello se obtiene una disminución en el costo por metro perforado y esto se debe a que se reduce notablemente el numero de barrenas empleadas, ahorrando por lo tanto tiempo en viajes redondos, llegando a la terminación del pozo en el menor tiempo posible, redundando todo ésto en el aspecto economíco.

A continuación presentaré dos pozos, en uno de los cuales se utilizarón métodos de optimización de la hidráulica y el otro donde no se emplearón dichas condiciones, resultando lo siguiente:

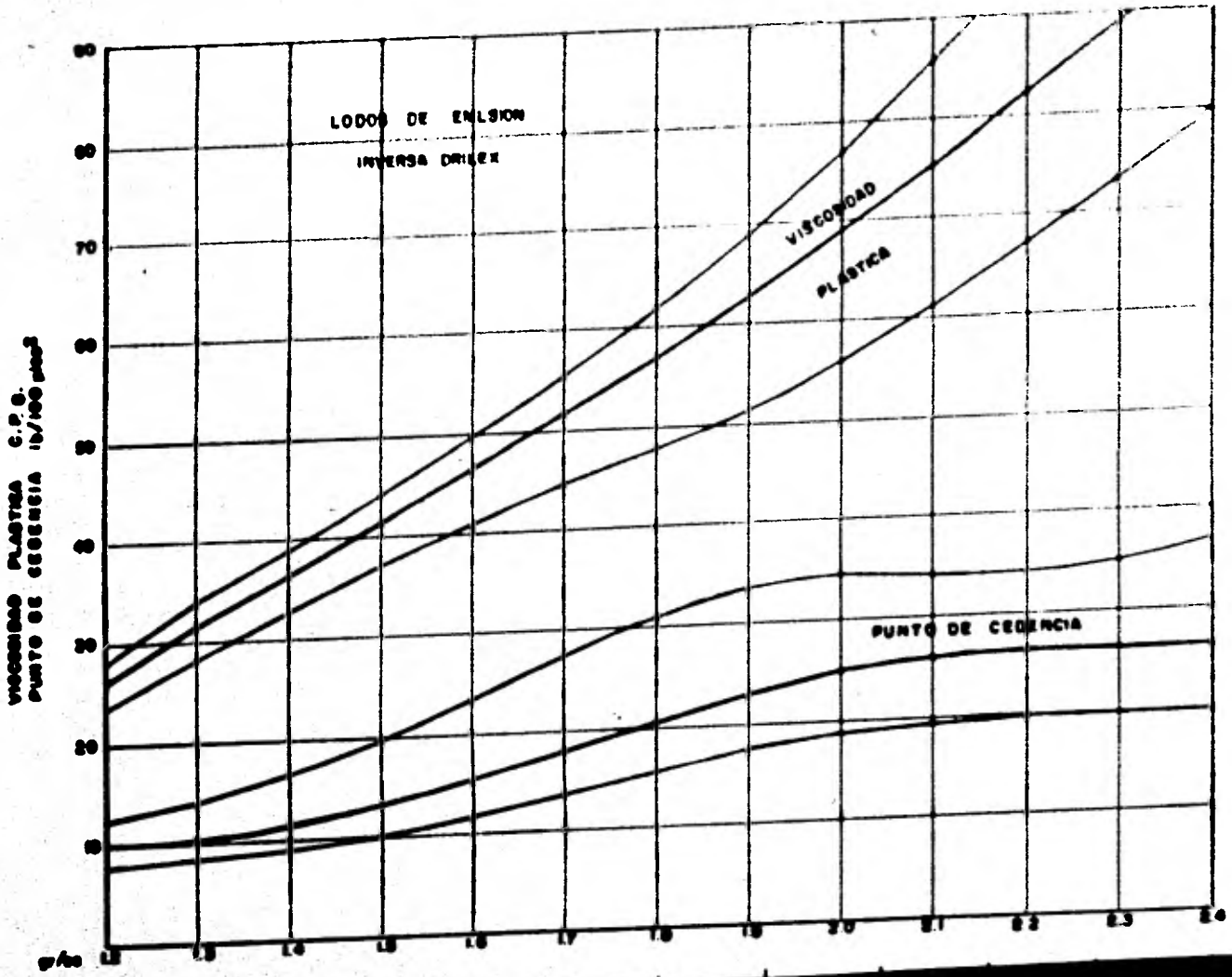
En el pozo Chiapas n°2 en el intervalo de 2395 a 3600 (tramo de 1205m), correspondiente a la tercera etapa de perforación, para él cuál se emplearón 11 barrenas, con un promedio de 109m por barrena, obteniendose un costo promedio de 2300 pesos por metro perforado.

En cambio en el pozo Chiapas n°21, perforó las mismas formaciones, en un intérvalo de 3203 a 3858(tramo de 655m), para él cuál se utilizarón 14 barrenas, con unpromedio de 47 metros por barrena, con lo que podemos concluir; que para perforar el mismo tramo donde no se utilizan dichos metodos, nécesitamos el doble ó

quizas mayor número de barrenas y por lo tanto mayor tiempo en la terminación del pozo, provocando un incremento notable en - el costo por metro perforado. De ahi la importancia, de la -- aplicación de dichos métodos.

RANGOS PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE UN LODO BASE AGUA

DENSIDAD gr/cc	VISCOSIDAD PLASTICA cps	PUNTO DE CEDENCIA lb/100 ft^2	% SOLIDOS
1.20	12 - 16	2.5 - 7	10 - 12
1.25	14 - 18	3.5 - 8	11 - 13
1.30	15 - 20	4.5 - 9	13 - 15
1.35	16.5 - 22	5 - 9.5	14 - 16
1.40	18.5 - 24	5.5 - 10	16 - 18
1.45	20 - 26.5	6.0 - 10.5	18 - 20
1.50	22 - 29	6.5 - 11	20 - 23
1.55	26 - 30.5	7.0 - 12	22 - 25
1.60	28.5 - 34	7.5 - 12.5	23 - 26
1.65	29.5 - 36.5	7.5 - 13.0	24 - 27
1.70	32.0 - 38.5	8.0 - 14.0	25 - 28
1.75	35.0 - 41.5	8.0 - 14.5	27 - 30
1.80	38 - 46	9.0 - 15.5	28 - 32
1.85	41 - 48	10.0 - 16.5	30 - 34
1.90	44 - 51	10.5 - 17.5	32 - 36
1.95	46.5 - 54.5	11.0 - 18.5	33 - 37
2.00	49.5 - 57.5	12.0 - 19.5	35 - 39
2.05	52.3 - 61.6	13.0 - 20.0	36 - 40


LODOS DE EMULSION
INVERSA DRILEX
VISCOSIDAD
PLASTICA
PUNTO DE CEDENCIA
VISCOSIDAD PLASTICA C.P.S.
PUNTO DE CEDENCIA lb/100 pies²
90
80
70
60
50
40
30
20
10
g/cc
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2.0
2.1
2.2
2.3
2.4

C O N C L U S I O N E S.

Del ejemplo analizado en él capitulo tres, se interpreta las ventajas obtenidas con la perforación optimizada.

Observandose que:

El porcentaje de barrenas, el tiempo promedio de perforación y el costo de perforación se disminuyen notablemente; la primera en un porcentaje de 50%, el segundo en un 40% y el ultimo que normalmente es de 3200 pesos por metro perforado se - reduce en un 40%, de lo anterior se cocluye que el costo por pozo perforado disminuye considerablemente, notandose que los riesgos mecanicos y de accidentes del personal se reducen casí en forma similar a los porcentajes anteriores.

R E F E R E N C I A S .

1.- B. V. Randall
"Optimum Hydraulics in the oil patch"
Petroleum Engineer, September 1975 Pag. 43-52

2.- Scott, Kenneth F.
"New Practical Approach to rotary drilling Hidraulics"
SPE 3530, Presented at the 46th annual Fall Meeting, Oct. 3-6, 1971

3.- H.A. Kendall, and W.C. Goins, Jr.
"Design and operation of Jet-Bit programs for maximum Hy--draulic Horsepower, Impact Force or Jet Velocity"
Petroleum transactions reprint Series, No.6 (Drilling).

4.- Ing. Mario Zamora G. e Ing. Edgar E. Nova A.
"Análisis Gráfico de hidráulicas para fluídos de perfora--ción"
Imco Services.

5.- René Berber G.
"Pruebas Físicas y Químicas efectuadas a los lodos de per-foración"
Ingeniería Petrolera, Enero 1964, Pag. 5-42

6.- David A. Smalling and Thomas A. Key
Optimization of Jet-Bit Hidraulics using impact pressure"
Imco Services. SPE 8440

7.- Kennet F Scott
"A new approach to drilling Hidraulics"

Petroleum Engineer, September 1972, Pag. 50-62

8.= Preston L. Moore y Frank H Cole
"Manual de Operaciones de perforación"
Cap. 9, Instituto Mexicano del Petróleo.

9.= Ing. Eugenio Alvarez Herrera
"Hidráulica aplicada a los Pozos en perforación"
Presentado en la VII Convención Nacional de la Asociación de Ingenieros Petroleros de México, Abril 1969

10.= J.C. Melrose, J.G. Savins, W.R. Foster, E.R. Parish
"A Practical utilization of the Theory of Bingham plastic flows in stationary pipes and annuli"
Petroleum Transactions AIME, Vol. 213, 1958 Pag. 316-324

11.= Michael C. Crowley
"Drilling Hidraulics should be updated continuously"
Part. 1, World Oil, March 1976, Pag. 54-62

12.= Michael C Crowley
"Drilling Hidraulics should be updated continuously"
Part. 2, World Oil, April 1976, Pag. 74-76

13.= J.G. Savins
"Generalized Newtonian (Pseudoplastic) Flow in stationary pipes and annuli"
T.P. 8044 Vol. 213, 1958 Pag. 325-332

14.= McLean, R.H.
"Crossflow and Impact under Jet Bits"
Journal Petroleum Technology (Nov. 1964) Pag. 1299-1306

15.- White, Rae B.
"Impact Hidraulics Simplified for Rig floor use"
Petroleum Engineer (Oct. 1967) Pag. 56-60