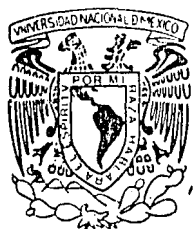


39
205

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería



CALCULO AUTOMATIZADO DE LA HIDRAULICA,
CONTROL Y PERFORACION DIRECCIONAL
DE POZOS

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :
LUIS REYNOL MARTINEZ SANCHEZ



México, D. F.,

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección
60-I-252

Señor MARTINEZ SANCHEZ LUIS REYNOL.
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Profr. Ing. Juan Gilberto León Loya, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO PETROLERO.

"CALCULO AUTOMATIZADO DE LA HIDRAULICA, CONTROL Y PERFORACION DIRECCIONAL DE POZOS"

- I INTRODUCCION.
- II GENERALIDADES.
- III HIDRAULICA DE PERFORACION.
- IV CONTROL DE POZOS.
- V PERFORACION DIRECCIONAL.
- VI INSTRUCTIVO DE OPERACION DEL PAQUETE.
- VII EJEMPLOS DE APLICACION.
BIBLIOGRAFIA.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con 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 Coordinación de la Administración -- Escolar 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., Noviembre 15 de 1985.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

24
OARCH'MRV:gtg

I N D I C E

- I. INTRODUCCION
- II. GENERALIDADES
- III. HIDRAULICA DE PERFORACION
 - 3.1 Caídas de presión, por fricción en el sistema circulatorio.
 - 3.1.1 Determinación de las caídas de presión en el interior de la sarta de perforación y en el espacio anular.
 - 3.1.2 Determinación de las caídas de presión en las toberas de la barrena.
 - 3.1.3 Determinación de las caídas de presión en las conexiones superficiales.
 - 3.2 Optimización de la hidráulica.
 - 3.2.1 Criterios de optimización.
 - 3.2.2 Determinación de la hidráulica óptima.
 - 3.3 Estructura del programa
 - Nomenclatura.
- IV. CONTROL DE POZOS
 - 4.1 Causas de un brote.
 - 4.2 Detección de brotes.
 - 4.3 Procedimiento de cierre del pozo.

4.4 Información necesaria para el control de un brote.

4.5 Cálculos requeridos antes de circular el brote.

4.6 Métodos de control de brotes.

4.6.1 Método del Ingeniero

4.6.2 Método del perforador.

4.7 Estructura del programa.

Nomenclatura.

V. PERFORACION DIRECCIONAL.

5.1 Aplicaciones de la perforación direccional.

5.2 Configuraciones de pozos direccionales.

5.3 Planeación de pozos direccionales.

5.3.1 Parámetros necesarios en la planeación.

5.3.2 Parámetros obtenidos de la planeación.

5.3.3 Ecuaciones utilizadas en la planeación.

5.4 Cálculo de las coordenadas de un punto en la trayectoria perforada de un pozo.

5.4.1 Método del ángulo medio

5.4.2 Método del radio de curvatura.

5.4.3 Severidad del cambio en el ángulo de inclinación y/o rumbo.

5.4.4 Estructura del programa.

Nomenclatura

VI. INSTRUCTIVO DE OPERACION DEL PAQUETE.

6.1 Introducción de datos.

6.2 Presentación de los resultados.

VII. EJEMPLOS DE APLICACION

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

APENDICE

I. INTRODUCCION

La perforación de pozos petroleros comprende una serie de aspectos ligados intimamente entre sí. Entre éstos se encuentran el programa hidráulico, el diseño de sartas de perforación y revestimiento, la determinación de presiones de formación y fractura, el control de pozos y en muchos casos la perforación direccional.

En muchos de estos temas, los cálculos involucrados son secuenciales, resultando frecuentemente largos y tediosos. Esta situación puede ocasionar errores, que en ciertos casos, resultan muy costosos.

El uso de la computadora representa una gran alternativa al llevar a cabo -- eficazmente los cálculos requeridos en los diferentes temas mencionados, ya que esto ocasiona un margen mínimo de error; además de que los tiempos en -- los que se tienen los resultados requeridos, son muy pequeños. En forma general, esto ocasionará un abatimiento de los costos al mejorarse las operaciones y reducirse los tiempos utilizados en las mismas.

El objetivo de este trabajo, es programar las ecuaciones y procedimientos resultantes de la investigación de laboratorio, así como de la experiencia obtenida de la práctica en el campo.

Se presentan una serie de programas de cómputo destinados a calcular los parámetros básicos de la hidráulica, el control de pozos y la perforación direccional. Estructurados de tal forma que el usuario pueda utilizarlos fácilmente, eficaz y correctamente.

Con la programación de las ecuaciones y la presentación de los resultados obtenidos, se alienta el uso de la computadora como una herramienta en el desempeño profesional del ingeniero, recalándose que la decisión final estará a cargo del mismo.

II. GENERALIDADES

Las opciones de cálculo disponibles, que se incluyen en el paquete de cómputo son tres:

- Hidráulica en general
- Control de pozos
- Perforación direccional.

Hidráulica en general.

En este tema se comprenden dos alternativas, una de las cuales es la determinación de las caídas de presión por fricción en el sistema circulatorio del pozo, utilizando uno de tres modelos reológicos: Bingham, Ley de Potencias o Ley de Potencias con punto de cedencia. La otra opción de cálculo la constituye la optimización de la hidráulica, en la cual se consideran tres criterios de optimización: máxima potencia hidráulica, máximo impacto hidráulico y máxima velocidad en las toberas.

Control de pozos.

El control de pozos abarca los cálculos y procedimientos para aplicar un método de control cuando se presenta un brote. Como opciones de métodos de control, se presentan el método del ingeniero y el método del perforador.

Perforación direccional.

Aquí se abarcan dos etapas básicas en la perforación de un pozo direccional:

la planeación de la trayectoria y la determinación de las coordenadas rectangulares de cada punto a lo largo de la sección perforada.

Los conceptos mencionados en cada opción, son tratados con mayor profundidad en los capítulos siguientes, indicándose su importancia y su forma de cálculo, además, se proporciona un capítulo con el instructivo de operación, así como uno de ejemplos ilustrativos.

Los programas fueron realizados en LENGUAJE FORTRAN, e implementados en una microcomputadora CROMEMCO SYSTEM ONE, utilizando para su elaboración y ejecución discos flexibles. Los listados de los programas y ejemplos, se obtuvieron por medio de una impresora CROMEMCO modelo 3703.

Es importante señalar que estos programas pueden ser implementados, salvo ligeras modificaciones en las unidades de entrada y salida, en cualquier sistema de cómputo.

Actualmente, Petróleos Mexicanos renta una red de teleproceso que comprende a todas las zonas petroleras del país, pero dado que el costo por el servicio es muy alto, la tendencia es substituir a éste, por un conjunto de microcomputadoras que permitan realizar el trabajo que hasta ahora se viene desarrollando; es aquí donde se presenta una aplicación potencial de los trabajos como el aquí presentado, ya que dadas sus características, tendría todas las condiciones necesarias para implementarse, con los correspondientes beneficios que esto generaría.

III. HIDRAULICA DE PERFORACION

A medida que el tiempo ha transcurrido, la investigación aplicada ha demostrado la importancia que representa contar con un adecuado programa hidráulico al perforar un pozo petrolero. Considerando las fuertes inversiones económicas que se llevan a cabo al perforar un pozo, la optimización también -- constituye un elemento indispensable en todas las operaciones llevadas a cabo.

La necesidad de conocer cada vez con mayor precisión el comportamiento del fluido de perforación en el pozo y su interacción con éste, ha impulsado la investigación en distintas áreas involucradas en la perforación. Específicamente en este trabajo, se consideran las diferentes expresiones matemáticas desarrolladas para reproducir las caídas de presión en el sistema circulatorio de un pozo, así como algunos de los diferentes criterios de optimización existentes.

Conforme los fluidos de perforación se fueron haciendo más complejos, fue necesario desarrollar nuevos modelos reológicos, que caracterizaran el comportamiento viscoso del fluido en cuestión, y en consecuencia se obtuvieron nuevas ecuaciones de flujo. Entre los modelos reológicos más utilizados para la determinación de las caídas de presión, se encuentran el modelo de Bingham, el de Ley de Potencias y el de Ley de Potencias con Punto de Cedencia.

En las secciones posteriores, se presentan las ecuaciones para calcular las caídas de presión por fricción, de acuerdo con los modelos mencionados anteriormente, así como las correspondientes a los criterios de optimización de

la hidráulica de perforación.

3.1 Caídas de Presión por Fricción en el Sistema Circulatorio.

Las caídas de presión por fricción deben ser determinadas para el cálculo de una serie de parámetros importantes en la perforación de un pozo petrolero.

Entre estos parámetros se encuentran los siguientes:

- La presión de fondo estática o dinámica y la densidad equivalente de circulación durante las operaciones de perforación, cementación o viajes.
- El programa hidráulico (óptima presión de bombas, gastos de flujo y tamaño de las toberas).
- Capacidad de acarreo de los recortes.
- Las presiones de fondo y superficiales que ocurrirán durante las operaciones de control del pozo, a varios gastos de flujo.

Dentro del sistema circulatorio de un pozo, pueden definirse 4 zonas (Figura 3.1), en las cuales se llevan a cabo las caídas de presión por fricción más severas, éstas son:

- Conexiones superficiales
- Interiorde la sarta de perforación
- Barrena
- Espacio anular.

Dependiendo de la zona, el régimen de flujo puede ser turbulento o laminar.

La experiencia ha demostrado que en las conexiones superficiales, interior -

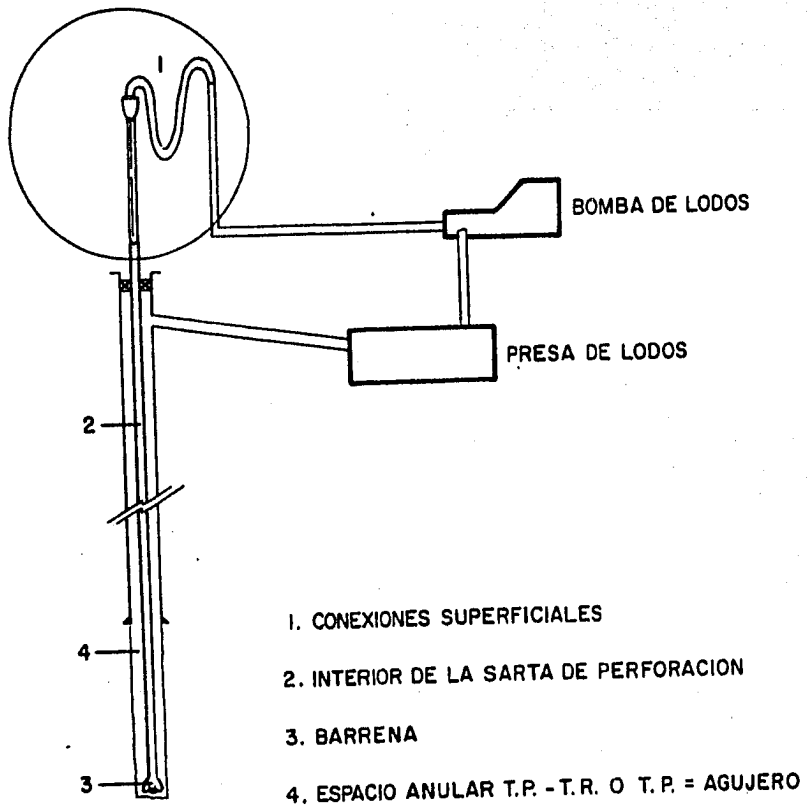


FIG. 3.1 ZONAS LOCALIZADAS DE MAYORES CAIDAS DE PRESION EN EL SISTEMA CIRCULATORIO DE UN POZO

de la sarta y a través de la barrena, el régimen de flujo es turbulento; -- mientras que en el espacio anular el flujo es laminar.

Los distintos modelos reológicos contemplan ecuaciones diferentes para el -- cálculo de las caídas de presión en el interior de la sarta y en el espacio anular, a la vez que consideran el tipo de régimen de flujo que está presente en la zona considerada.

3.1.1 Determinación de las caídas de presión en el interior de la -- sarta de perforación y en el espacio anular.

Para efectuarse la determinación de estas caídas de presión, debe realizarse un procedimiento mecanizado; el cual consiste en elegir el modelo reológico más adecuado (que caracterice al fluido bajo estudio), calcular la velocidad media del lodo la velocidad crítica o el Número de Reynolds para determinar el régimen de flujo presente y posteriormente elegir las ecuaciones corres-- pondientes a éste.

Para simplificar la presentación de las ecuaciones correspondientes a cada -- modelo, éstas se proporcionan en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3. En estas tablas se indican el modelo, los parámetros a calcular y la zona de cálculo (interior de la sarta de perforación o espacio anular).

3.1.2 Determinación de las caídas de presión en las toberas de la barrena.

Como se indicó anteriormente, la barrena, mejor dicho las toberas de la ba-- rrena, constituyen un punto de caída de presión en el sistema circulatorio -- de un pozo. Un alto porcentaje de la presión generada en la superficie es --

TABLA 3.1.- MODELO DE BINGHAM. ECUACIONES DE FLUJO.

PARAMETROS	INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACION	ESPACIO ANULAR
VP	$\theta_{600} - \theta_{300}$	$\theta_{600} - \theta_{300}$
PC	$\theta_{300} - VP$	$\theta_{300} - VP$
V	$V = 24.51 \frac{Q}{Di^2}$	$V = 24.51 \frac{Q}{D_H^2 - D_P^2}$
Vc	$\frac{7.75 VP + 7.75 \sqrt{VP^2 + 109.83 \rho \cdot Di^2 \cdot PC}}{\rho Di}$	$\frac{7.75 VP + 7.75 \sqrt{VP^2 + 82.37 \rho (D_H - D_P)^2 PC}}{\rho (D_H - D_P)}$
ΔP REGIMEN LAMINAR ($V < V_c$)	$P_L = \frac{PC \cdot L}{607 Di} + \frac{V VP \cdot L}{389081 Di^2}$	$\Delta P_L = \frac{VP \cdot L \cdot V}{259387 (D_H - D_P)^2} + \frac{PC \cdot L}{812.6 (D_H - D_P)}$
Re	$129 \frac{Di \cdot V \cdot \rho}{VP}$	$129 \frac{(D_H - D_P) \cdot V \cdot \rho}{VP}$
f	$\frac{0.079}{Re^{0.25}}$	$\frac{0.079}{Re^{0.25}}$
ΔP REGIMEN TURBULENTO ($V > V_c$)	$\Delta P_T = \frac{f \rho V^2 L}{48251 Di}$	$\Delta P_T = \frac{f \rho V^2 L}{48251 (D_H - D_P)}$

TABLA 3.2.- MODELO DE LEY DE POTENCIAS. ECUACIONES DE FLUJO.

PARAMETROS	INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACION	ESPACIO ANULAR
n	$3.32 \text{ Log } (\theta_{600}/\theta_{300})$	$3.32 \text{ Log } (\theta_{600}/\theta_{300})$
K	$\frac{\theta_{300}}{511^n} ; \frac{\theta_{600}}{1022^n}$	$\frac{\theta_{300}}{511^n} ; \frac{\theta_{600}}{1022^n}$
v	$24.51 \frac{Q}{D_i^2}$	$24.51 \frac{Q}{(D_H - D_p)^2}$
Re	$\frac{v^2}{2.319 K} \left[\frac{2.5 D_i n}{V (3n+1)} \right]^n$	$\frac{\rho v^2}{1.65 K} \left[\frac{1.25 n (D_H - D_p)}{V (2n+1)} \right]^n$
R _{ctr}	3470 - 1370 n	3470 - 1370 n
R _{ctu}	4270 - 1370 n	4270 - 1370 n
ΔP REGIMEN LAMINAR (Re < R _{ctr})	$\frac{K L}{1300.5 D_i} \left[\frac{(3n+1) V}{2.5 D_i n} \right]^n$	$\frac{K L}{1300.5 (D_H - D_p)} \left[\frac{(2n+1) V}{1.25 (D_H - D_p) n} \right]^n$
a	$\frac{\log n + 3.93}{50}$	$\frac{\log n + 3.93}{50}$
b	$\frac{1.75 - \log n}{7}$	$\frac{1.75 - \log n}{7}$
f _{tr}	$\frac{16}{R_{ctr}} + \left(\frac{Re - R_{ctr}}{800} \right) \left(\frac{a}{R_{ctu}^b} - \frac{16}{R_{ctr}} \right)$	$\frac{24}{R_{ctr}} + \left(\frac{Re - R_{ctr}}{800} \right) \left(\frac{a}{R_{ctu}^b} - \frac{24}{R_{ctr}} \right)$
ΔP TRANSICION R _{ctr} < Re < R _{ctu}	$\frac{f_{tr} \rho v^2 L}{48251 D_i}$	$\frac{f_{tr} \rho v^2 L}{48251 (D_H - D_p)}$
f _{tr}	$\frac{a}{Re^b}$	$\frac{a}{Re^b}$
ΔP REGIMEN TURBULENTO (Re < R _{ctu})	$\frac{f_{tu} \rho v^2 L}{48251 D_i}$	$\frac{f_{tu} \rho v^2 L}{48251 (D_H - D_p)}$

TABLA 3.3.- MODELO DE LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE CEDENCIA. ECUACIONES DE FLUJO.

PARAMETROS	INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACION	ESPACIO ANULAR
n	$3.32 \text{ Log} \left(\frac{\theta_{600} - \theta_0}{\theta_{300} - \theta_0} \right)$	$3.32 \text{ Log} \left(\frac{\theta_{600} - \theta_0}{\theta_{300} - \theta_0} \right)$
K	$\frac{\theta_{600} - \theta_0}{600^n} \delta \frac{\theta_{300} - \theta_0}{300^n}$	$\frac{\theta_{600} - \theta_0}{600^n} \delta \frac{\theta_{300} - \theta_0}{300^n}$
V	$24.51 \frac{Q}{D_I^2}$	$24.51 \frac{Q}{(D_H^2 - D_P^2)}$
X	—	$0.37 (n)^{-0.14}$
α	—	D_P/D_H
C	—	$1 - (1 - \alpha^X)^{1/X}$
G	$\left(\frac{3n+1}{4n} \right) 8.13n (0.123)^{1/n}$	$\left(\frac{(3-C)n+1}{(4-C)n} \right) \left(1 + \frac{C}{2} \right) \left(8.13n (0.123)^{1/n} \right)$
θ	$\theta_0 + KR^n$	$\theta_0 + KR^n$
R	$0.939 \frac{GV}{D_I^3}$	$0.939 \frac{GV}{(D_H^3 - D_P^3)}$
Re	$\frac{V^2}{2.474} \frac{\rho}{\theta}$	$\frac{V^2}{2.474} \frac{\rho}{\theta}$
R _{ctr}	3470 - 1370 n	3470 - 1370 n
R _{ctu}	4370 - 1370 n	4270 - 1370 n

TABLA 3.3 CONTINUACION.

PARAMETROS	INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACION	ESPACIO ANULAR
ΔP REGIMEN LAMINAR ($Re < R_{ctr}$)	$\frac{\theta L}{1218.8 D_i}$	$\frac{\theta L}{1218.8 (D_H - D_p)}$
f_{tr}	$\frac{16}{R_{ctr}} + \left[\frac{Re - R_{ctr}}{800} \right] \left[\frac{a}{R_{ctu}^b} - \frac{16}{R_{ctr}} \right]$	$\frac{24}{R_{ctr}} + \left[\frac{Re - R_{ctr}}{800} \right] \left[\frac{a}{R_{ctu}^b} - \frac{24}{R_{ctr}} \right]$
ΔP TRANSICION ($R_{ctr} < Re < R_{ctu}$)	$\frac{f_{tr} \rho V^2 L}{48251 D_i}$	$\frac{f_{tr} \rho V^2 L}{48251 (D_H - D_p)}$
f_{tu}	$\frac{a}{Re^b}$	$\frac{a}{Re^b}$
a	$\frac{\log n + 3.93}{50}$	$\frac{\log n + 3.93}{50}$
b	$\frac{1.75 - \log n}{7}$	$\frac{1.75 - \log n}{7}$
ΔP REGIMEN TURBULENTO ($Re > R_{ctu}$)	$\frac{f_{tu} \rho V^2 L}{48251 D_i}$	$\frac{f_{tu} \rho V^2 L}{48251 (D_H - D_p)}$

gastada a través de las toberas; dicha presión gastada es necesaria para remover los recortes del fondo del pozo. Diferentes estudios han demostrado -- que en cuanto más rápida sea la remoción de recortes, mayor será la velocidad de penetración, esto se debe a que la barrena no remuele los recortes generados, estando siempre en contacto efectivo con la formación.

La caída de presión que se lleva a cabo en las toberas de la barrena, está expresada por la siguiente ecuación*:

$$\Delta P_B = \frac{\rho Q^2}{20462.2 A_t^2 \cdot C_d^2} \dots \dots \dots \text{(ec. 3.1)}$$

en donde:

$$A_t = \frac{\pi}{4096} (d_{t_1}^2 + d_{t_2}^2 + d_{t_3}^2)$$

3.1.3 Determinación de las caídas de presión en las conexiones superficiales.

En las conexiones superficiales se incluyen los aditamentos y conexiones por los cuales fluye el lodo de perforación desde la descarga de la bomba hasta la parte terminal de la flecha.

Los equipos de perforación normalmente no están dotados con las mismas conexiones superficiales, resultando por lo tanto variable la caída de presión en dichas conexiones.

Para determinar la caída de presión en las conexiones superficiales, lo que

* Nomenclatura al final del capítulo.

se hace es considerar la tubería vertical (o de pie), la manguera, la unión giratoria y la flecha como una sección de tubería de perforación a la cual se le asigna un diámetro y una longitud equivalente de tubería de perforación. Posteriormente, se lleva a cabo el procedimiento indicado para el cálculo de las caídas de presión en el interior de la sarta de perforación.

En la tabla 3.4, se proporcionan las cuatro combinaciones típicas de conexiones superficiales, con las cuales se encuentran dotados los equipos de perforación.

3.2 Optimización de la Hidráulica.

El hecho de maximizar o minimizar a una función objetivo utilizando los recursos disponibles, se le conoce como optimización. El empleo óptimo de los recursos presentes en cualquier actividad, redundará en los resultados obtenidos al llevar a cabo dicha actividad. Específicamente en la perforación rotatoria el buen aprovechamiento de la potencia proporcionada por las bombas de lodos, ocasionará en el fondo del pozo una limpieza efectiva de recortes, provocando esto un incremento en la velocidad de penetración.

Dado que el objetivo primario de la optimización de la hidráulica es mantener la mayor limpieza posible en el fondo del pozo utilizando la menor potencia en la superficie, el punto clave de optimización lo constituye la barrena, más bien las toberas de la barrena; ya que éstas conforman el medio más adecuado para variar las condiciones de flujo en el fondo del pozo.

Para poder determinar las condiciones de operación óptimas de la bomba en su relación gasto-presión, es necesario tener conocimiento de cada uno de los elementos que consumen potencia, asimismo de su evaluación analítica.

T A B L A 4.3

COMBINACIONES TÍPICAS DE CONEXIONES SUPERFICIALES

COMPONENTES DE CONEX. SUPS.	CASO 1		CASO 2		CASO 3		CASO 4	
	DIAM. INT. (PG)	LONG. (M)	DIAM. INT. (PG)	LONG. (M)	DIAM. INT. (PG)	LONG. (M)	DIAM. INT. (PG)	LONG. (M)
STANDPIPE	3	12.2	3 1/2	12.2	4	13.7	4	37.7
MANGUERA	2	13.7	2 1/2	16.8	3	16.8	3	16.8
SWIVEL Y CUELLO DE GANSO	2	1.2	2 1/2	1.5	2 1/2	1.5	3	1.8
KELLY	2 1/4	12.2	3 1/4	12.2	3 1/4	12.2	4	12.2

TUBERIA DE PERF.			LONGITUD EQUIVALENTE DE CONEXIONES SUPERFICIALES EN METROS			
D.E.	PESO	D.I.	DE TUBERIA DE PERFORACION			
(PG)	(lb/pie)	(PG)				
3 1/2	13.3	2.764	133.2	49.1	-	-
4 1/2	16.6	3.826	-	232.0	146.0	103.7
5	19.5	4.276	-	-	248.8	176.5

Los elementos que se consideran en la optimización de la hidráulica son cuatro:

- Gasto de flujo
- Presión de la bomba
- Relación gasto-potencia de la bomba
- Fluido de perforación.

El balance adecuado de estos elementos dará como resultado conocer las condiciones óptimas en la relación gasto-potencia, llegándose entonces al nivel de "hidráulica óptima".

El conocimiento de cuando se han encontrado las condiciones óptimas de la hidráulica, resulta un punto de cierta dificultad en la evaluación analítica, sin embargo puede ser más comprensible este problema, si se presenta -- gráficamente el comportamiento del gasto contra la potencia superficial y -- la potencia entregada en la barrena (a un tamaño fijo de toberas), manteniendo la presión superficial constante. La interrelación se muestra en -- la figura 3.2.

En la figura se observa que aún cuando se desarrolle la potencia máxima en la bomba, la potencia entregada a las toberas será menor que en otros casos, esto debido a que al aumentar el gasto, las caídas de presión en el -- sistema también crecen y dado que la presión superficial es constante, la -- presión disponible en las toberas deberá disminuir.

Como se dijo anteriormente, en el sistema circulatorio del pozo se distinguen cuatro zonas de pérdidas de presión por fricción:

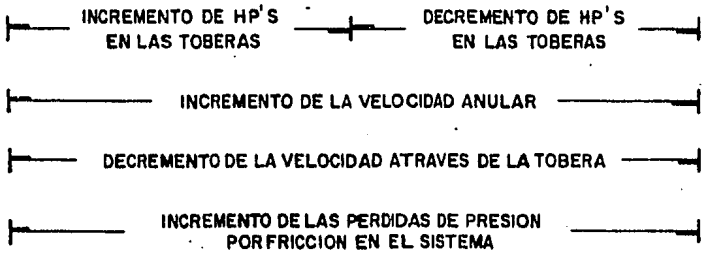
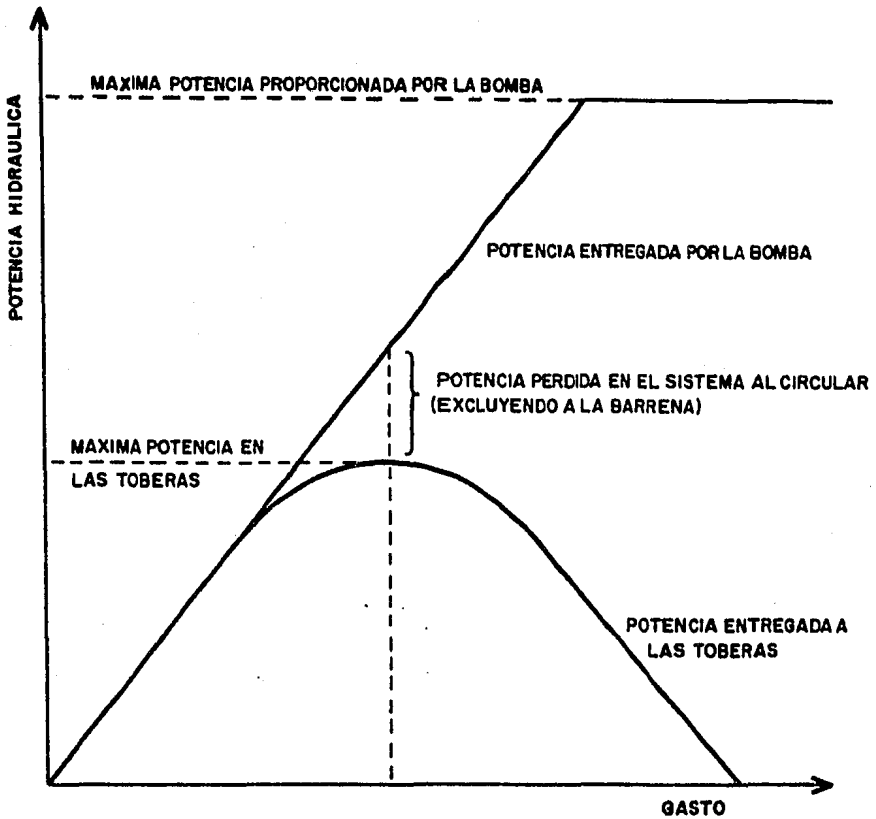


FIG. 3.2 INTERRELACION DEL GASTO Y LA POTENCIA A PRESION CONSTANTE

- Conexiones superficiales.
- Interior de la sarta de perforación.
- Espacio anular
- Toberas de la barrena.

La presión superficial necesaria para vencer las caídas de presión por fricción en el sistema, es:

$$P_s = \Delta P_{CS} + \Delta P_{TP} + \Delta P_{LB} + \Delta P_B + \Delta P_{ALB} + \Delta P_{ATP} \dots \dots \dots \text{(ec. 3.2)}$$

$$\text{Si } \Delta P_{TP} + \Delta P_{LB} = \Delta P_{SP} \quad \text{y} \quad \Delta P_{ALB} + \Delta P_{ATP} = \Delta P_{EA}$$

Si se agrupan en un solo término las caídas de presión por fricción llevadas a cabo en las conexiones superficiales, en el interior de la sarta y en el espacio anular, se tendrá:

$$P_c = \Delta P_{CS} + \Delta P_{SP} + \Delta P_{EA}$$

por lo tanto:

$$P_s = P_c + \Delta P_B \dots \dots \dots \text{(ec. 3.3)}$$

Las caídas de presión por fricción (P_c) que excluyen a la barrena, son conocidas también como presiones parásitas; ésto se debe a que siempre estarán presentes cuando se circule a cualquier gasto.

Diversos estudios han demostrado que la presión parásita puede expresarse, en función del gasto, como:

$$P_c = BQ^m \dots \dots \dots \text{(ec. 3.4)}$$

donde B y m, son constantes que dependen de las propiedades del lodo, de la

geometría del agujero y del régimen de flujo en el sistema circulatorio.

La constante m , puede ser determinada en el campo o bien puede considerarse igual a 1.80.

3.2.1 Criterios de optimización.

La experiencia ha demostrado que de los diversos criterios de optimización - existentes, sometidos a estudios, los que mejores resultados han proporcionado son:

- Máxima potencia hidráulica
- Máximo impacto hidráulico
- Máxima velocidad en las toberas.

Criterio de máxima potencia hidráulica.

La potencia en términos generales, puede ser definida como la capacidad para realizar trabajo en un periodo de tiempo. Referido a la perforación de pozos, la potencia hidráulica en las toberas de la barrena representa la capacidad o la disponibilidad de energía para la remoción de los recortes del fondo del pozo, incluyéndose con esto el trabajo que representa la elevación del recorte desde que se genera hasta su incorporación al flujo en camino a la superficie.

Se han observado que cuando se está trabajando la bomba de lodos a una potencia inferior a la óptima, al llevarse a cabo sucesivos incrementos de potencia a una presión constante la velocidad de perforación aumenta, esto, como ya se dijo antes, debido a la mayor efectividad en la limpieza del fondo; --

pero una vez que ha alcanzado el nivel óptimo de potencia en las toberas, cualquier incremento de la potencia superficial originará un aumento en la potencia destinada a vencer las caídas de presión por fricción, resultando por lo tanto una disminución en la potencia disponible en la barrena.

La potencia hidráulica en la barrena se calcula como:

$$HHP_B = \frac{\Delta P_B \cdot Q}{120.7} \dots \dots \dots (ec. 3.5)$$

Combinando las ecuaciones 3.3 y 3.4, substituyendo en la ecuación 3.5, derivando ésta con respecto al gasto e igualando a cero, se obtiene:

$$P_{MAX} = (m + 1) BQ^m \dots \dots \dots (ec.3.6)$$

Considerando la ecuación 3.4, la expresión anterior toma la forma:

$$P_{MAX} = (m + 1) P_{COP} \dots \dots \dots (ec. 3.7)$$

de donde:

$$P_{COP} = \frac{P_{MAX}}{(m+1)} \dots \dots \dots (ec. 3.8)$$

y

$$P_{BOP} = \frac{m P_{MAX}}{(m+1)} \dots \dots \dots (ec. 3.9)$$

Las ecuaciones 3.8 y 3.9 indican que para el criterio de máxima potencia hidráulica, la caída de presión por fricción en el sistema (sin tomar en cuenta la llevada a cabo en las toberas de la barrena) es una fracción - - - - (1/ (m+1)) de la presión superficial máxima disponible y la caída de pre-

sión en la barrena es $(m / (m+1))$ de la misma presión superficial, respectivamente.

Criterio de máximo impacto hidráulico.

La colisión de dos cuerpos, de la cual resultan fuerzas relativamente grandes en un tiempo relativamente corto, recibe el nombre de impacto. Cuando un chorro de agua golpea una placa plana en forma perpendicular, la fuerza ejercida sobre la placa por el agua es igual a $\frac{w}{gt}$ donde w es el peso del agua que golpea a la placa en un tiempo t , a es la aceleración del chorro y g la aceleración de la gravedad.

Considerando que el chorro llega al fondo del pozo en una línea perpendicular y la fuerza de impacto como una función de la densidad, del gasto y de la caída de presión en las toberas de la barrena, se obtiene:

$$F_B = \left(\frac{\rho Q^2 \Delta P_B}{F} \right)^{1/2} \dots \dots \dots \text{(ec. 3.10)}$$

Combinando las ecuaciones 3.3 y 3.4; substituyendo en la ecuación 3.10, derivando ésta con respecto al gasto, igualando a cero y resolviéndola, resulta:

$$P_{MAX} = \frac{(2 + m)}{2} BQ^m \dots \dots \dots \text{(ec. 3.11)}$$

de donde:

$$P_{COP} = 2 \cdot P_{MAX} / (2+m) \dots \dots \dots \text{(ec. 3.12)}$$

$$\Delta P_{BOP} = \frac{m \cdot P_{MAX}}{(2+m)} \dots \dots \dots \text{(ec. 3.13)}$$

La ecuación 3.12, indica que cuando se utilice el criterio de máximo impacto hidráulico, la presión parásita en el sistema será una fracción $(2/(2+m))$ de la presión superficial aplicada; asimismo, la caída de presión óptima en la barrena, será una fracción $(m / (2+m))$ de la presión superficial presente, como se indica en la ecuación 3.13.

Criterio de máxima velocidad en las toberas.

Este criterio se basa en que las condiciones óptimas de flujo en la barrena, se alcanzarán cuando la velocidad del lodo a través de las toberas sea máxima.

La velocidad de las toberas se expresa en función de la densidad y de la caída de presión en las mismas, como:

$$V_n = (K \cdot \Delta P_B / \rho)^{1/2} \dots \dots \dots \text{(ec. 3.14)}$$

Utilizando las ecuaciones 3.3 y 3.4, substituyéndolas en la ecuación 3.14 derivando con respecto al gasto e igualando a cero, resulta:

$$- MBQ^{m-1} = 0 \dots \dots \dots \text{(ec. 3.15)}$$

De la ecuación anterior, se observa que como M y B no son iguales a cero, - para que ésta igualdad se cumpla, Q deberá serlo; concluyéndose entonces que la máxima velocidad en las toberas se alcanzará cuando no existe flujo. Pero dado que se necesita tener una velocidad mínima de flujo para transportar el recorte, la velocidad óptima para este criterio será igual a la velocidad mínima de flujo.

Es decir:

$$Q_{OP} = Q_{min}$$

Por lo tanto:

$$P_{COP} = P_C \text{ a } Q_{OP}$$

$$\text{y } \Delta P_{BOP} = P_{MAX} - P_{COP} \dots \dots \dots \text{(ec. 3.16)}$$

3.2.2 Determinación de la hidráulica óptima.

El uso en el campo de las barrenas con toberas, está limitado a la máxima -- presión de la boma, el máximo gasto (para un tamaño dado de camisa) y el gasto mínimo necesario para transportar el recorte. La mínima velocidad anular requerida para transportar el recorte al exterior del pozo puede ser determinada por alguno de los diferentes modelos existentes para tal fin. Esta velocidad fija el gasto de flujo requerido para evitar problemas de asenta--meitno de recortes.

Para iniciar el cálculo de la optimización, se necesitan conocer las restricciones mencionadas anteriormente, además, es requisito contar con un valor - de presión de circulación (P_C) a un gasto de flujo (Q_1). Un dato adicional e importante, es el referente a la barrena en uso de la cual se deberá conoceer el diámetro de cada una de las toberas utilizadas.

En forma general, el procedimiento de cálculo tiene la siguiente secuencia:

El primer paso consiste en calcular m y las caídas de presión en el sistema al gasto Q_1 ; esto puede hacerse de dos formas:

1. Si se cuenta con dos juegos de datos de presiones superficiales a dos --

gastos, se puede utilizar el llamado método de campo para optimizar la hidráulica.

Cabe aclarar que este método no constituye por sí solo un medio para optimizar, sino que permite conocer el valor real de m , luego aunado a algún criterio de optimización se puede completar la evaluación.

Primero se calcula el valor de la caída de presión en las toberas (ecuación 3.1) a cada gasto. Dado que se conoce la presión superficial aplicada en cada caso, por diferencia es posible calcular la caída de presión restante (P_C), es decir:

$$P_{C1} = P_{S1} - \Delta P_{1B}$$

y

$$P_{C2} = P_{S2} - \Delta P_{2B}$$

posteriormente, mediante la siguiente expresión, se calcula m .

$$m = \log (P_{C1} / P_{C2}) / \log (Q_1 / Q_2)$$

2. La segunda opción de cálculo consiste en elegir un modelo reológico y luego con las ecuaciones de flujo anotadas en las tablas 3.1, 3.2 y 3.3, se calculan las caídas de presión por fricción al gasto Q_1 . El valor de m , puede ser considerado igual a 1.8 (en el programa de cómputo, m fue considerada igual a 1.8)

- Un vez obtenidos el valor de m y el de P_{C1} a Q_1 , el siguiente paso consiste en calcular el gasto óptimo el cual permitirá conocer la presión de circulación óptima.

Combinando las ecuaciones 3.4 y 3.8, evaluando para las condiciones óptimas de operación de la bomba (Q_{OP} y P_{COP}) y para un gasto y presión de circulación cualquiera, se obtiene que para el criterio de máximo impacto hidráulico, el gasto óptimo puede calcularse con la expresión siguiente:

$$Q_{OP} = Q_1 \cdot \left(\frac{P_{MAX}}{(1+m) P_{C1}} \right)^{1/m}$$

Para el criterio de máximo impacto hidráulico se procede en forma similar al criterio de máxima potencia en la barrena, pero combinando las ecuaciones 3.4 y 3.12, la expresión resultante es:

$$Q_{OP} = Q_1 \left(\frac{2 P_{MAX}}{(2+m) P_{C1}} \right)^{1/m}$$

Para el criterio de máxima velocidad en las toberas, basado en el análisis realizado para el mismo, el gasto óptimo será el gasto mínimo, o sea:

$$Q_{OP} = Q_{min.}$$

- Ahora bien, ya que se tiene el gasto óptimo, éste debe ser comparado contra el gasto mínimo y el gasto máximo, de tal forma que se puede saber si éste gasto óptimo se encuentra en el área de recursos disponibles, la cual es delimitada por el gasto máximo, el gasto mínimo y la presión superficial máxima disponible. Al realizar esto, se obtendrá el gasto adecuado a las restricciones existentes, dicho gasto puede ser el óptimo calculado o en su defecto, el disponible más cercano.

Si Q_{OP} calculado $<$ Q_{min} , entonces $Q_{OP} = Q_{min}$

Si $Q_{min} < Q_{OP}$ calculado $< Q_{max}$, entonces $Q_{OP} = Q_{OP}$ calculado

Si Q_{OP} calculado $> Q_{max}$, entonces $Q_{OP} = Q_{max}$.

Con el gasto óptimo resultante del análisis anterior, se calcula la caída de presión óptima en el sistema; la expresión utilizada para este fin, se obtiene evaluando la ecuación 3.4 para el gasto óptimo y la caída de presión óptima, y para Q_1 y P_{C1} . Combinando las ecuaciones, generadas de la evaluación, se encuentra que:

$$PCOP = P_{C1} \cdot \left(\frac{Q_{OP}}{Q_1} \right)^m$$

y la caída de presión óptima puede ser determinada mediante la ecuación 3.16.

Utilizando la ecuación 3.1, se calcula el área de toberas óptima, y posteriormente el diámetro de cada una de ellas.

Si el diámetro de alguna de ellas es menor a 7/32 de pg., o mayor de una pulgada, éste se hace igual a uno de estos límites, según sea el caso.

Si es necesario hacer algún ajuste en los diámetros de las toberas, la caída de presión por fricción en la barrena deberá ser recalculada, utilizando los diámetros finales, mediante la ecuación 3.1.

- Finalmente, se procede a calcular la presión superficial óptima (PSUOP) la potencia superficial óptima (POTSUP) y el porcentaje (POR) de la potencia hidráulica aplicada en la barrena.

$$PSUOP = PCOP + \Delta P_{BOP}$$

$$POTSUP = \frac{PSUOP \cdot Q_{OP}}{120.7}$$

$$POR = \frac{\Delta P_{BOP}}{PSUOP}$$

Este procedimiento puede repetirse para diferentes profundidades y formar - de esta manera, un programa hidráulico optimizado completo.

3.3 Estructura del Programa.

Esta sección del paquete fue formada por una serie de subrutinas con el fin de hacer más rápida y con menos ocupación de memoria la ejecución del programa.

En la fig 3.3 se presenta esquemáticamente la organización del programa correspondiente a hidráulica en general.

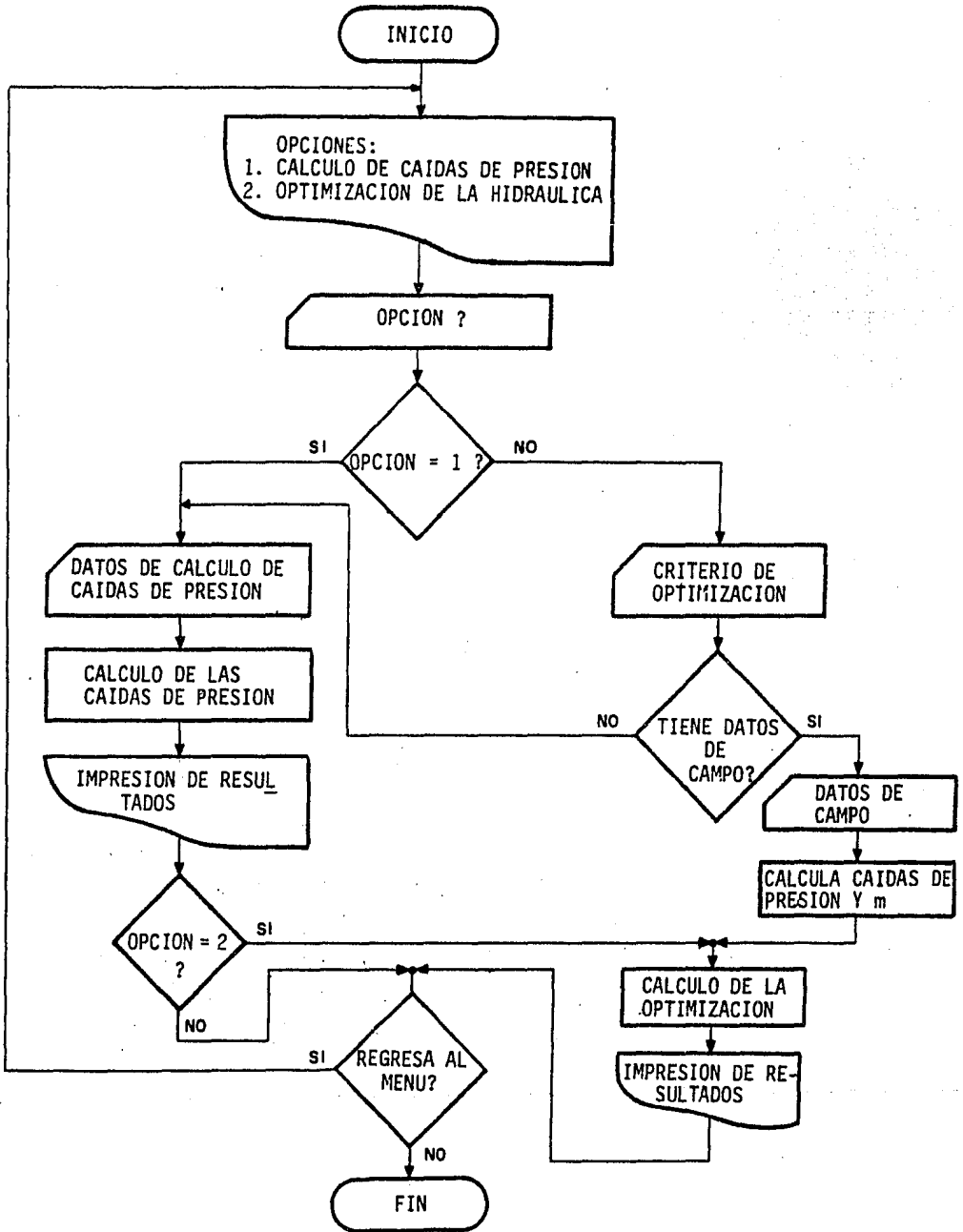


FIGURA 3.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LAS CAIDAS DE PRESION Y DE LA OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA.

NOMENCLATURA

- A_t = área de toberas (pg^2)
- a = coeficiente para el cálculo del factor de fricción
- B = constante que depende de la geometría del pozo y de las propiedades del lodo.
- b = coeficiente para el cálculo del factor de fricción
- C = coeficiente del factor geométrico
- C_d = coeficiente de descarga
- D_i = diámetro interior de la tubería -T.P. o D.C.- (pg)
- D_h = diámetro del agujero o del interior de la T.R. (pg)
- D_t = diámetro exterior de la tubería -T.P. o D.C.- (pg)
- d_t = diámetro de la tobera (32 avos de pg)
- F = factor de conversión
- f = factor de fricción
- F_B = fuerza de impacto proporcionada por el flujo en la toberas de la barrena (Kg)
- f_{+r} = factor de fricción en transición
- f_{+u} = factor de fricción an turbulencia
- G = factor geométrico
- HHP_B = potencia hidráulica en la barrena (HP)
- K = índice de consistencia ($lbs\text{-seg}^n / 100 \text{ piés}^2$)
- L = longitud (m)
- m = constante que depende de la geometría del pozo y de las propiedades del lodo.
- n = índice de comportamiento

- P_C = punto de cedencia (lb / 100 pies²)
 P_C = caída de presión en las conexiones superficiales, interior de la sarta y en el espacio anular (Kg/cm²)
 P_{COP} = caída de presión óptima en el sistema (excluyendo a la barrena) (Kg/cm²)
 POR = porcentaje de la potencia superficial óptima suministrada a la barrena.
 POTSUP = potencia superficial óptima (HP)
 P_s = presión superficial (Kg/cm²)
 $PSUOP$ = presión superficial óptima (Kg/cm²)
 Q = gasto (gpm)
 Q_{max} = gasto máximo permisible para un tamaño de camisa dada (gpm)
 Q_{min} = gasto mínimo necesaria para transportar los recortes (gpm)
 Q_{op} = gasto óptimo (gpm)
 R_e = número de Reynolds
 R_{ectr} = número de Reynolds crítico de transición
 T_{ectv} = número de Reynolds crítico de turbulencia
 V = velocidad media de flujo (pies/min)
 V_c = velocidad crítica (pies/min)
 V_n = velocidad en las toberas (pies/seg)
 VP = viscosidad plástica (cp)
 X = coeficiente del factor geométrico
 Δp = caída de presión (Kg/cm²)
 ΔP_{ALB} = caída de presión entre el agujero y lastrabarrenas (Kg/cm²)
 ΔP_{ATP} = caída de presión entre el agujero y la T.P. (Kg/cm²)

- ΔP_B = caída de presión en las toberas de la barrena (Kg/cm²)
 ΔP_{BOP} = caída de presión en la barrena óptima (Kg/cm²)
 ΔP_{EA} = caída de presión en el espacio anular (Kg/cm²)
 ΔP_{CS} = caída de presión en conexiones superficiales (Kg/cm²)
 ΔP_{LB} = caída de presión en el interior de la tubería lastrabarrena
 (Kg/cm²)
 ΔP_{SP} = caída de presión en el interior de la sarta de perforación
 (Kg/cm²)
 ΔP_{TP} = caída de presión en el interior de la T.P. (Kg/cm²)
 α = relación de diámetros
 ρ = densidad del lodo (gr/cm³)
 θ = esfuerzo de corte (lb/100 pies²)
 θ_{600} = esfuerzo de corte leído en el viscosímetro FANN a 600 RPM (lb/100 pies²)
 θ_{300} = esfuerzo de corte leído en el viscosímetro FANN a 300 RPM (lb/100 pies²)
 θ_3 = esfuerzo de corte leído en el viscosímetro FANN a 3 RPM (lb/100 pies²)

IV. CONTROL DE POZOS

La perforación de un pozo petrolero se lleva a cabo de acuerdo a un programa preestablecido; en el cual entre otras cosas, se especifica la densidad que debe tener el fluido de perforación a lo largo de la profundidad a perforar, para controlar la presión existente en la formación.

La presión de formación, se conoce también como presión de poro, y es la presión a la cual se encuentran sometidos los fluidos contenidos en la roca.

Cuando la presión ejercida por la columna hidrostática en un punto determinado es menor que la presión de formación, los fluidos contenidos en la roca se introducen al pozo; dando lugar a lo que se conoce como un brote; si el brote no es detectado y/o circulado oportuna y adecuadamente, puede originar el flujo descontrolado de fluidos hacia la superficie provocando un reventón, el cual en la mayoría de los casos va acompañado de una considerable pérdida económica y en el peor de ellos, de pérdidas humanas.

En este capítulo, se proporciona el procedimiento mecanizado para llevar a cabo un control adecuado del brote. Tratando con esto de mantener condiciones seguras y un margen de error menor por participación humana en los cálculos requeridos.

4.1 Causas de un Brote.

La experiencia acumulada, ha permitido delimitar una serie de situaciones que originan un brote, dentro de las cuales se encuentran las siguientes:

- Formaciones con presión alta.

La densidad del lodo de perforación debe ser tal que origine una presión hidrostática que sea igual o mayor que la presión de la formación para evitar un brote. En algunas situaciones, se presenta el caso en que se requiere un lodo de mayor densidad para controlar la presión en ciertas formaciones.

Cuando el gradiente de fluido requerido para controlar la presión de formación es mayor que el gradiente de presión de formación normal establecido para la zona, se dice que la formación tiene presión anormal alta.

Si en los estudios realizados con anterioridad a la perforación del pozo, no fueron detectadas las zonas con presión anormal, la probabilidad de ocurrencia de un brote será muy alta.

- Movimientos de tubería.

Cuando se introduce o extrae la sarta de perforación en forma inadecuada, se producen condiciones favorables a la presencia de un brote.

Un exceso en la velocidad de introducción, origina lo que se llama "presión de empuje", la cual es una presión adicional impuesta a la formación; el aumento de presión puede causar que la formación falle mecánicamente, produciendo una pérdida de circulación con la consecuente disminución en la presión hidrostática.

Al mover la sarta hacia arriba, el lodo es movido también hacia el exterior; si la velocidad de extracción es muy alta, el lodo no ocupa el lugar dejado por la sarta con la misma rapidez con que ésta lo hace; en consecuencia se origina una severa reducción de la presión hidrostática en el fondo, lo - -

cual permite la entrada de fluidos al pozo. Este efecto puede ser comparado con el émbolo de una jeringa el cual, al ser extraído crea un vacío, provocando una presión diferencial entre, el émbolo y el exterior, que en el caso del pozo, sería una presión favorable a la formación, la cual permitiría el acceso de los fluidos contenidos en la misma. A la presión diferencial anotada anteriormente, se le conoce como "presión de succión".

- Pérdidas de circulación.

Una pérdida de circulación, es el fenómeno en el cual el lodo fluye del pozo hacia la formación. La vía a través de la cual se presenta el flujo, -- puede ser de origen natural, o provocadas por la incorrecta introducción de las tuberías.

Si la pérdida de circulación es muy severa, puede presentarse una disminu-- ción en el nivel del fluido en el espacio anular, de tal manera que la presión hidrostática disminuirá en todos los puntos dentro del pozo, con el -- riesgo potencial de un brote en un punto alejado de la zona de pérdida.

- Llenado incorrecto del pozo al extraer tuberías.

El espacio dejado por la tubería, debe ser ocupado por el lodo de perfora-- ción para mantener la presión hidrostática necesaria. Como la extracción - de tubería se hace con las bombas paradas, es requisito indispensable que - después de sacar un cierto número (calculado) de metros de tubería, el pozo debe ser vuelto a llenar.

Si no se tiene cuidado de llevar a la práctica esta recomendación, un brote

puede ser inevitable.

Este efecto es más severo cuando se extrae tubería de gran desplazamiento - tales como los lastrabarrenas.

- Fluidos aportados por la formación.

La adición al lodo de perforación de los fluidos contenidos en la roca recién cortada, puede ser otra causa de un brote, principalmente si se trata de gas.

Al perforar demasiado rápido, el gas contenido en los recortes se desprende en tal cantidad, que puede reducir considerablemente la densidad del lodo - y en consecuencia la presión hidrostática en el agujero. Por lo tanto, si ésta llega a ser menor que la de formación, entrará al pozo una cantidad -- adicional de fluidos provocando un brote.

4.2 Detección de Brotes.

Cuando ocurre un brote, el fluido de la formación desplaza un cierto volumen de lodo del agujero; constituyéndose este hecho en un indicativo claro de la presencia de un brote.

Además, la observación en la práctica ha permitido reconocer un conjunto de manifestaciones indirectas que indican la presencia de un brote. A continuación se enumeran las más representativas.

- Aumento de volumen en presas.

Si no se añade intencionalmente un volumen extra al lodo presente, y una --

ganancia en el volumen de presas es detectado, este es un signo seguro de - que se tiene un brote.

- Flujo sin circulación.

Si las bombas de lodo están paradas y el pozo está fluyendo, es seguro que un brote está presente. Siendo el volumen de fluido aportado por la formación el que está desplazando el lodo del pozo al exterior.

- Aumento del gasto en la línea de salida.

Si ninguna alteración en las emboladas por minuto ha sido llevada a cabo, y a pesar de ello, el gasto de salida aumenta, esto es indicativo de que un - brote está ocurriendo.

- En viajes, el pozo recibe menos lodo o fluye de él más que el normal.

Cuando se realiza un viaje, resulta más difícil detectar un brote, ya sea - que se introduzca o extraiga tubería. Para poder detectar un brote al originarse, es necesario llevar un control del volumen de tubería introducido o extraído del pozo y el correspondiente volumen de lodo desplazado o requerido para su llenado; de tal manera que sea posible registrar cualquier variación en los volúmenes anotados anteriormente por medio de la cual se podrá reconocer la presencia de un brote.

Al meter tubería al pozo, el volumen de acero desalojará un volumen igual - de lodo. Si el volumen de lodo desplazado es mayor que el de acero introducido, fluidos de la formación estarán entrando al pozo. Si el volumen de -

lodo desplazado es menor que el previsto, indicará entonces una pérdida de circulación.

Cuando se está sacando tubería, el volumen de lodo requerido para llenar el pozo, debe ser igual al volumen de acero extraído. Si por el contrario, -- una cantidad menor es requerida, se tendrá entonces la indicación de un brote. Ahora bien, si la cantidad de lodo necesaria para llenar el pozo es mayor, se registrará en este caso una pérdida de circulación.

- Disminución de la presión de circulación y/o aumento de las emboladas.

Se ha observado que cuando se está perforando o circulando en el fondo y -- ocurre un brote, la presión de circulación disminuye, asimismo puede presentarse un aumento en las emboladas de la bomba.

Este fenómeno es debido a que los fluidos introducidos, de menor densidad que el fluido de perforación, reducen la densidad del lodo en el espacio -- anular, produciendo una disminución en la presión hidrostática en todos los puntos situados en el exterior de la sarta de perforación por abajo de la -- cima del brote. Al presentarse esto, la presión necesaria en la bomba para vencer la presión hidrostática anular original, disminuye; dando por resultado los efectos ya indicados.

Este indicador debe manejarse con cuidado, ya que la disminución en la presión de circulación también puede deberse a otras causas, por ejemplo: a -- una pérdida de circulación, a una fuga en la tubería de perforación, a una reducción en el gasto de circulación o a un cambio en las propiedad del lodo.

- Aumento en el ritmo de penetración.

El ritmo de penetración es función entre otros parámetros de la presión diferencial existente entre el lodo del pozo y la formación. El ligero desequilibrio en la presión, a favor de la formación, producirá una variación o quiebre en la velocidad de penetración, considerándose este hecho como -- indicativo de la presencia de un brote.

- Aumento del contenido de agua, cloruros, gas de viaje, gas de conexión y/o gas de fondo.

La detección en el lodo de un aumento en el contenido de agua, es una indicación que fluidos de la formación han entrado al pozo y esto en consecuencia puede ser originado por un brote.

Un aumento en los cloruros puede ser también un indicativo de la entrada de agua al pozo, aunque puede ser producto de la perforación de formaciones sa linas. Siendo entonces necesario llevar a cabo una observación del pozo pa ra asegurar o no la presencia de un brote.

El aumento en el gas de salida, indica, o que fluidos de la formación han - entrado al pozo, o que el gas de núcleos a aumentado. En cualquier caso, - es recomendable observar el pozo.

4.3 Procedimiento de Cierre.

Una vez detectado un brote, el pozo debe cerrarse. Entre las ventajas de ce rrar adecuadamente el pozo se encuentran las siguientes: la situación está

esencialmente bajo control; al equilibrarse la presión en la T.R. con la de formación, se suspenderá el flujo de fluidos hacia el pozo; se puede determinar la densidad del lodo de control y el brote puede circularse fuera del pozo utilizando un método que permita mantener constante la presión en el fondo.

El procedimiento de cierre estará en función de la situación en la cual se encuentre el pozo, es decir, el pozo puede tener la barrena en el fondo, -- arriba del fondo o afuera.

Dentro de los procedimientos de cierre, se encuentran el llamado cierre suave y el cierre duro. La diferencia entre los dos cierres radica en el hecho de que el primero contempla la apertura total del estrangulador antes de cerrar por medio de los preventores el pozo, y el segundo lo cierra sin abrir el estrangulador. En el cierre suave, la onda de presión generada es menor que la del cierre duro, pero a su vez la ejecución de este último, requiere de menos tiempo.

A continuación se describe la mecánica de cierre suave a seguir cuando ocurre un brote y el pozo presenta alguna de las situaciones ya anotadas.

- Brote con la barrena en el fondo.

La barrena puede estar en el fondo por dos razones: por estar perforando o por estar circulando. En cualquiera de los dos casos, el procedimiento de cierre es el mismo:

- Levantar la flecha a la altura de la mesa rotatoria.
- Suspender el bombeo

- Abrir la línea de estrangulación
 - Cerrar el preventor anular o el de arietes.
 - Cerrar el estrangulador y luego la válvula de bloque
 - Anotar la presión de cierre en T.P.
 - Anotar la presión de cierre en T.R.
 - Determinar el incremento de volumen en presas.
- Brotes con la barrena arriba del fondo.

La barrena puede tenerse arriba del fondo por estar viajando. Una vez detectado el brote, se debe seguir la siguiente secuencia para cerrarlo.

- Suspender la operación de viaje y asentar la sarta de perforación en las cuñas.
- Instalar la válvula de seguridad y/o el preventor interior (válvula)
- Abrir la línea de estrangulación
- Cerrar el preventor anular o un preventor de arietes.*
- Cerrar el estrangulador y luego cerrar la válvula de bloque.
- Conectar la flecha y romper circulación.
- Anotar la presión de cierre en T.P.
- Anotar la presión de cierre en T.R.
- Determinar el incremento de volumen en presas.

* Si el tubo que está asentado en las cuñas es un lastrabarrena, éste se deberá encadenar antes de cerrar el pozo, ya que el preventor anular no puede sujetarlos y la presión puede ser lo suficiente para lanzarlos hacia arriba.

- Brote con la tubería afuera del pozo.

Cuando la tubería está completamente afuera del pozo, se recomienda el siguiente procedimiento de cierre;

- Abrir la línea de estrangulación.
- Cerrar el preventor con arietes ciegos.
- Cerrar el estrangulador y luego cerrar la válvula de bloque
- Anotar la presión de cierre en T.R.
- Determinar el aumento de volumen en presas.

4.4 Información Necesaria Para el Control del Brote.

La recopilación de la información necesaria se puede dividir en dos etapas: etapa anterior al brote y etapa posterior al brote.

- Etapa anterior al brote.

A los datos que pueden obtenerse en forma anterior a la ocurrencia del brote, se les conoce como datos preliminares. Debido a que no se puede saber cuándo va ocurrir un brote, estos datos deben ser actualizados continuamente, a medida que las condiciones de operación vayan cambiando. Además, deberán tenerse todo el tiempo en un lugar disponible. Estos datos son:

- La máxima presión permisible en la T.R. basada en la presión de trabajo del conjunto de preventores y la presión de ruptura de la T.R.
- La presión de fractura de la formación expuesta (si se conoce) y - la máxima presión permisible en la T.R. basada en la de fractura.

- Los factores de capacidad de la tubería de perforación, de los lastra barrenas y de las diferentes secciones del espacio anular.
 - El factor de bomba y la eficiencia de la misma.
 - La presión reducida y el gasto reducido de circulación.
 - El volumen activo de lodo en el sistema.
 - La densidad original del lodo de perforación.
- Etapa posterior al brote.

Una vez detectado un brote, se debe proceder a cerrar el pozo utilizando alguna de las secuencias descritas anteriormente, registrándose los datos si-guientes:

- Presión de cierre estabilizada en la T.R.
- Presión de cierre estabilizada en la T.P.
- Aumento de volumen en presas.
- La profundidad medida o desarrollada y la profundidad vertical ver-dadera de la barrena o del fondo de la sarta de perforación.

La adecuada interpretación y combinación de los dos conjuntos de datos, pro-porcionarán la pauta para llevar a cabo un control correcto del brote.

4.5 Cálculos Requeridos Antes de Circular el Brote.

Los métodos de control varían uno de otro principalmente en la forma en que circulan el brote fuera del pozo; pero los parámetros en los cuales están - basados son los mismos.

Los cálculos realizados antes de aplicar un método de control están enfoca-

dos hacia la obtención de los siguientes parámetros básicos:

- Densidad del lodo de control.
- Cantidad de barita requerida para densificar el lodo.
- Incremento de volumen en presas debido al aumento de densidad.
- Volumen y emboladas necesarias para llenar la sarta y el espacio anular
- Tipo de fluido invasor.
- Presión inicial de circulación en la tubería de perforación.
- Presión final de circulación en la tubería de perforación.
- Cédula de bombeo.

- Densidad del lodo de control.- Su conocimiento es de suma importancia, ya que proporcionará la base para llevar a cabo la operación de "matar" el pozo. Una vez circulado el brote y con el pozo lleno de lodo de control, si el pozo es cerrado en ese momento no se deberá registrar presión en la T.P. ni en la T.R.

La densidad de control se calcula en base a la presión de cierre en T.P.; debido a que el lodo en el interior de la T.P. no está contaminado por fluido invasor, el valor de presión registrado en la T.P. al cerrar el pozo será el desbalance entre la presión hidrostática ejercida por el lodo y la -- presentada por la formación, así*:

$$\rho_{\text{control}} = \rho_{\text{original}} + 10. \frac{\text{PCTP}}{\text{PVV}}$$

* Nomenclatura al final del capítulo.

- Cantidad de barita requerida para densificar el lodo.- Una vez que se conoce la densidad de control, es necesario calcular la cantidad de barita requerida para poder elevar la densidad del lodo circulante hasta la densidad de control. La ecuación que permite calcular la cantidad de barita necesaria para densificar un cierto volumen de lodo es:

$$W \text{ barita} = 1000 \times V_l \rho_{\text{barita}} \frac{\rho_{\text{control}} - \rho_{\text{original}}}{\rho_{\text{barita}} - \rho_{\text{control}}}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de sacos} = \frac{W \text{ barita}}{50 \text{ Kgs/saco}}$$

- Incremento de volumen debido al aumento de densidad.- Al añadir barita al lodo, es necesario añadir una cierta cantidad de agua para evitar que las propiedades reológicas del lodo original se alteren. La adición de agua es a razón de 4 lts por cada saco de barita. Por lo tanto, el incremento de volumen será:

$$\Delta V = \text{N}^\circ \text{ de sacos} \times 0.004 + \frac{1 \cdot W \text{ barita}}{1000 \rho_{\text{barita}}}$$

- Volumen y emboladas necesarias para llenar la sarta de perforación y el espacio anular.- El control de los volúmenes desplazados hacia y del pozo son muy importantes, ya que constituyen en determinado momento, el punto de apoyo para proseguir con la ejecución del método de control. Específicamente los volúmenes necesarios para llenar la tubería de perforación y el espacio anular son requeridos en el método del perforador y del ingeniero. Contabilizar el volumen desplazado, puede representar un problema si no se --

cuenta con los dispositivos de medición adecuados; por lo tanto una manera simple de hacerlo es por medio del número de emboladas.

Ecuaciones involucradas en el cálculo:

$$V.T.P. = \sum (CTPLB \times LS)$$

$$VEA = \sum (CEA \times LSA)$$

$$N^{\circ} \text{ emboladas para llenar T.P.} = \frac{1000 \text{ VTP}}{DB}$$

$$N^{\circ} \text{ emboladas para llenar e.a.} = \frac{1000 \text{ VEA}}{DB}$$

- Tipo de fluido invasor.- El conocimiento del fluido que entró al pozo resulta de suma importancia, ya que en base a ello se podrán tomar las medidas precautorias adecuadas al realizar la operación de control del brote.

La densidad del fluido invasor, indicará el tipo de fluido que entró al pozo; para obtener dicha densidad, aplicar:

$$\rho_{fi} = \rho_{original} - \frac{10 (PCTR - PCTP)}{AFI}$$

$$AFI = \frac{IVP}{CEA}$$

En base a la experiencia y a diferentes estudios realizados, se han determinado los rangos que indican el tipo de fluido invasor, estos son:

$\rho_{fi} < 0.4 \text{ gr/cm}^3$, fluido invasor gas

$\rho_{fi} > 0.9 \text{ gr/cm}^3$, fluido invasor agua salada

0.4 < ρ_{fi} < 0.9 gr/cm³, fluido invasor mezcla de aceite, gas y/o agua.

- Presión inicial de circulación en la tubería de perforación.- Cuando un pozo que presenta un brote se cierra, los fluidos de la formación continúan entrando, hasta que la presión en el fondo del pozo se iguala con la de formación. Al circular el brote, la presión en el fondo debe ser igual o mayor que la de la formación para evitar la entrada posterior de fluidos; como se desconoce la composición del fluido invasor debido a la contaminación que existe en el espacio anular y a que en la T.P. hay lodo original de densidad conocida, se recomienda controlar la presión de fondo controlando la presión en la T.P.

Para lograr circular el brote, es necesario vencer las caídas de presión -- por fricción en el sistema manteniendo además, la presión necesaria en el fondo del pozo.

Las caídas de presión se logran vencer aplicando una presión igual a la presión reducida de circulación y la presión necesaria para evitar la entrada adicional de fluidos al pozo, es una presión igual a la de cierre en la T.P.

Por lo tanto, la presión inicial de circulación estará dada por la suma de la presión reducida de circulación más la presión de cierre en la T.P.

Es decir:

$$PIC = PRC + PCTP$$

- Presión final de circulación en T.P.- A medida que el lodo más pesado -

se bombea por la T.P., se requiere menor presión en la superficie para mantener constante la presión de fondo. Cuando el lodo de control ha llegado a la barrena, la presión hidrostática del lodo en la T.P. debe ser capaz de controlar la presión de formación. Dado que el espacio anular y la tubería de perforación se comportan como un tubo en "U", a medida que el lodo de control es desplazado de la T.P. hacia el espacio anular, se crea en éste una presión hidrostática mayor a la que existía antes; oponiéndose dicha presión a la presión superficial en T.P. Es ésta la razón por la que es necesario mantener constante la presión final de circulación, ya que en ella se contempla la diferencia de densidades existente entre la densidad original y la densidad de control.

Manteniendo el gasto constante, la presión final de circulación estará dada por la siguiente expresión:

$$PFC = PRC \times \frac{P_{\text{control}}}{P_{\text{original}}}$$

- Cédula de bombeo.- Por medio de la cédula de bombeo, se tiene la manera de saber en qué momento la tubería de perforación está llena de lodo de control, verificándose esto por medio de la presión registrada en la T.P. a un cierto número de emboladas.

La cédula de bombeo se construye por medio de una interpretación entre la PIC, la PFC y el número de emboladas para llenar la T.P. o el volumen total de la T.P.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

A la reducción de la presión desde la PIC hasta la PFC le corresponde un volumen igual al necesario para llenar la T.P. y en consecuencia un número de emboladas para desplazar dicho volumen.

Por una regla de tres simple, es posible obtener a cada número de emboladas la presión correspondiente en la T.P. y el volumen desplazado.

Es decir:

$$\frac{\text{Nº emboladas}}{1 \text{ kg/cm}^2} = \frac{\text{NETP}}{\text{PIC} - \text{PFC}}$$

Ahora bien, para reducir la presión en T.P. desde PIC hasta PFC en un intervalo definido de reducción de presión, se requiere:

$$\text{IE} = \frac{\text{RP} \cdot \text{NETP}}{\text{PIC} - \text{PFC}}$$

Así para reducir la presión en un valor igual a la reducción seleccionada, se requerirán bombear:

$$\text{VD} = \text{IE} \cdot \text{DB}$$

4.6 Métodos de Control de Brotes.

Para determinar qué método de control se utilizará en cierta situación, deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones: tiempo requerido para ejecutar el procedimiento completo, las presiones superficiales generadas por el brote, la complejidad del método referido a su facilidad de implementación y los esfuerzos aplicados a la formación durante el desarrollo de la operación de control.

En este trabajo se eligieron el método del ingeniero (método de una circulación) y el método del perforador (método de dos circulaciones); ya que se ha demostrado la eficacia de su aplicación, además, su relativa facilidad de implementación constituye una ventaja sobre otros métodos.

4.6.1 Método del Ingeniero.

El procedimiento a seguir para desarrollar este método, se proporciona a -- continuación.

1.- Inicie el bombeo de lodo de control con presión inicial de circulación, el número de emboladas será constante e igual a las emboladas reducidas de circulación. La presión en la T.R. en ningún momento de la operación, deberá exceder la correspondiente a la máxima presión permisible en la superficie.

La circulación del lodo de control continuará hasta que se alcancen las emboladas necesarias para llenar la T.P. anotadas en la cédula de bombeo, esta situación se comprobará observando la presión registrada en la T.P., el valor de presión deberá de ser igual al de la presión final de circulación.

Si lo anterior no se cumple, se deberán bombear de 1 a 2 metros cúbicos más de lodo hasta asegurar que el lodo original ha sido desplazado de la -- T.P.

Si se tiene la seguridad de que el lodo de control alcanzó la barrena y a pesar de ello la presión en la T.P. no es la presión final de circulación -- determinada, esto indicará la existencia de algún problema. En este caso --

cierre el pozo, registre la presión de la T.P. y recalculé la densidad de control junto con los otros parámetros involucrados. Repita el procedimiento antes descrito.

2.- Una vez que se ha comprobado que el lodo de control se encuentra en el fondo del pozo, desplace hacia el espacio anular el fluido de control. Durante este período, mantenga la presión en la T.P. constante e igual a la presión final de circulación, utilizando para ello el estrangulador ajustable cuantas veces se requiera. Para saber cuando el pozo esté lleno de fluido de control, contabilice las emboladas necesarias para llenar el espacio anular.

Cumplido el punto anterior, cierre el pozo y observe las presiones en la T.P. y la T.R.; éstas deberán ser igual a cero. Si lo anterior no se cumple, anotar el valor de las presiones: si la presión en la T.P. es igual a cero pero la de la T.R. no lo es, esto indicará que la densidad del lodo de control es la correcta, debiéndose purgar el pozo para desfogar la presión en la T.R. Esta presión puede deberse a gas del brote original que no fue desalojado y/o algún volumen de lodo original que aún permanece en el espacio anular. Desplace cuantas veces sea necesario, lodo de control repitiendo el cierre y la observación del pozo hasta tener un valor igual a cero en dichas presiones. Si al cerrar el pozo la presión en la T.P. no es igual a cero, entonces se tendrá la presencia de un segundo brote, siendo necesario anotar las presiones estabilizadas en T.P. y T.R., calcular todos los parámetros básicos y reiniciar el método de control.

Las presiones generadas en el pozo al aplicar este método, siguen el comportamiento ilustrado en la figura 4.1, mismo que a continuación se describe:

En A, se lleva a cabo la aceleración de la bomba hasta alcanzar la velocidad reducida de circulación así como la presión inicial de circulación.

En B, se llena la T.P. con lodo de control.

En C, se realiza el llenado del espacio anular con fluido de control.

En D, se realiza el desplazamiento del brote con correspondiente expansión al ascender por el espacio anular.

En E, se registra una disminución en la presión de la T.R. debido a que el lodo de control está desplazando al lodo original del espacio anular. Posteriormente se lleva a cabo un aumento brusco en la presión debido a que el gas se encuentra ya muy cerca de la superficie y la expansión es muy rápida.

En F, el volumen de gas es desalojado del pozo hasta el punto G, donde la extracción se termina.

En H, se desplaza el lodo original para tener el pozo lleno de lodo de control.

4.6.2 Método del perforador.

Este método requiere de más tiempo de desarrollo que el método del ingeniero, pero en lo que se refiere al tiempo de preparación del lodo de control es ventajoso ya que puede iniciarse la circulación del brote densificando al mismo tiempo.

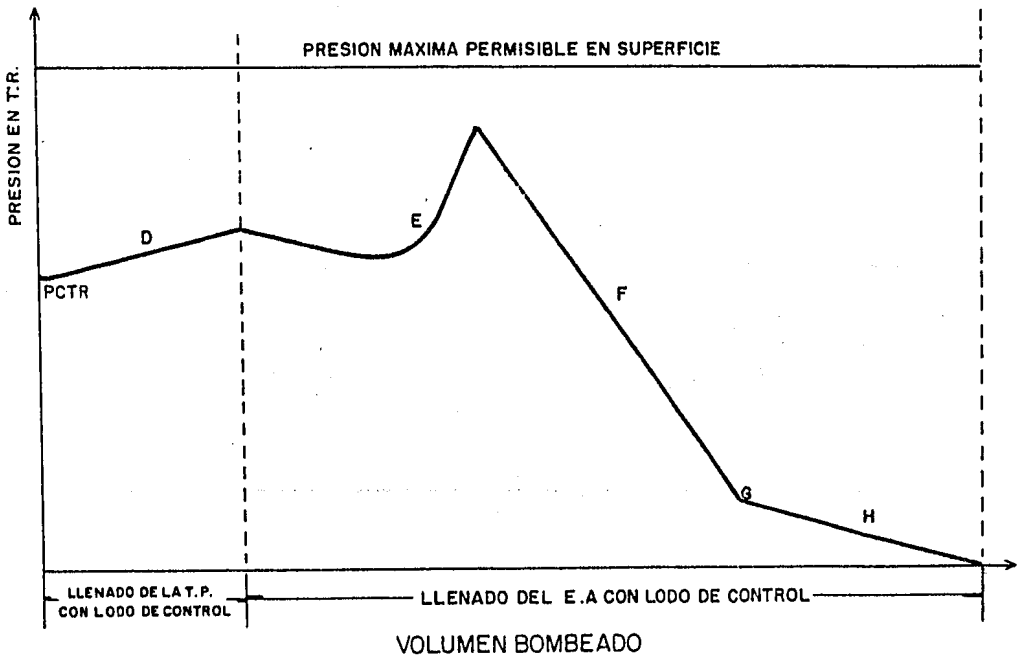
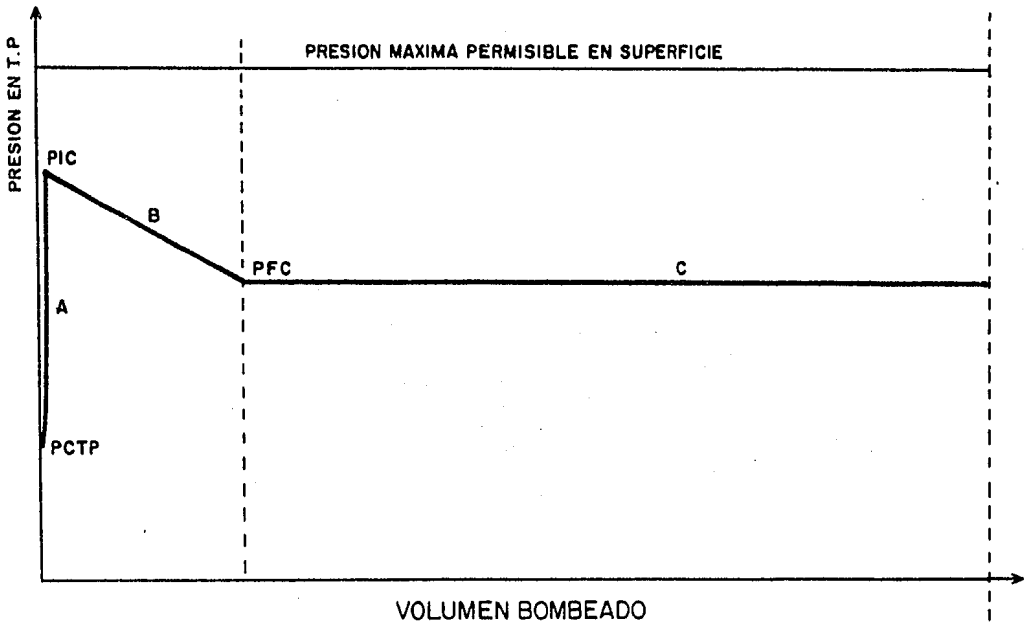


FIG. 4.1 COMPORTAMIENTO DE LA PRESION DE LA T.P. Y EN LA T.R. AL APLICAR EL METODO DEL INGENIERO (METODO DE UNA CIRCULACION)

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1.- Arranque la bomba y acélerela hasta alcanzar la velocidad reducida de circulación. Durante la etapa de aceleración, la presión en el espacio anular deberá ser constante e igual a su presión de cierre; esto lo logrará auxiliándose con el estrangulador.
- 2.- Regule el estrangulador para obtener la presión inicial de circulación, mantenga ésta, así como la velocidad de bombeo durante las emboladas necesarias para llenar el espacio anular. Se debe tener especial cuidado al desplazar el brote ya que las presiones generadas por el mismo en el espacio anular serán muy altas, sobre todo si el fluido invasor es gas. Al igual que en el método del ingeniero, la presión en la T.R. no deberá exceder a la presión máxima permisible.
- 3.- Una vez desalojado el brote, inicie el bombeo del lodo de control. La presión deberá ser la inicial de circulación; auxiliese con la cédula de bombeo para saber cuando la T.P. se encuentre llena de fluido de control. Utilice el estrangulador para generar la presiones requeridas.
- 4.- Una vez que el lodo de control alcanzó la barrena, mantenga la presión en T.P. constante e igual a la presión final de circulación hasta que el lodo original haya sido desalojado.
- 5.- Suspenda la circulación y compruebe las presiones en la T.P. y T.R., - ambas deben de ser cero. En caso contrario, observar las presiones: si la

presión en la T.P. es cero, la presión registrada en la T.R. deberá abatirse mediante el bombeo de más lodo de control, pero si la presión en la T.P. no es cero, esto indicará que un nuevo brote está presente, siendo necesario registrar los datos requeridos para el cálculo de los parámetros básicos, reiniciando el método de control.

La figura 4.2 ilustra el desarrollo de las presiones al aplicar el método; la explicación del comportamiento se proporciona enseguida:

En A, se alcanza la velocidad reducida de circulación, así como la presión inicial de circulación.

En B, se desplaza el brote por medio del llenado de la T.R.

En C, el brote ha sido desplazado y se procede a llenar la T.P. con lodo de control.

En D, el pozo es terminado de llenar (llenado de la T.R.) con lodo de control.

De E a F, el brote es desplazado desde el fondo hasta la superficie, expandiéndose al ascender por el espacio anular.

De F a G, el brote es sacado del pozo.

En H, se llena la T.P. con lodo de control.

En I, el lodo original que se encuentra en el espacio anulares desplazado por lodo de control.

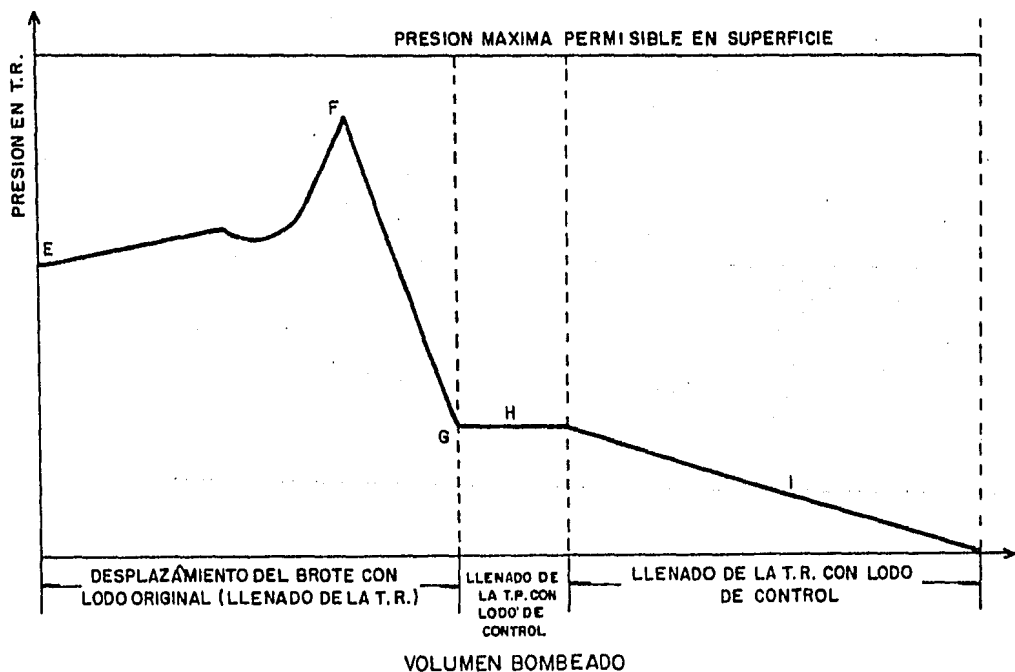
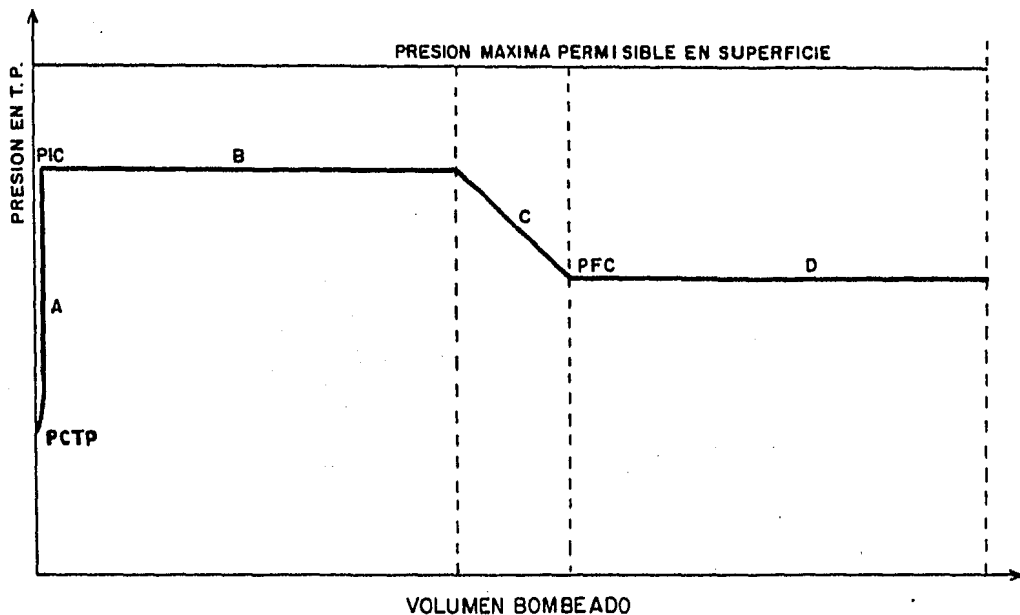


FIG. 4.2 COMPORTAMIENTO DE LA PRESION EN LA T.P. Y EN LA T.R. AL APLICAR EL METODO DEL PERFORADOR (METODO DE DOS CIRCULACIONES)

4.7 Estructura del Programa.

En la figura 4.3 se ilustra la manera en que el programa está estructurado; la idea de estos diagramas es proporcionar en forma general, un panorama de como está creado el programa.

Se tabula una cédula de bombeo para cada método, ya que en ella se contempla desde el punto en que se inicia la circulación del brote hasta que el pozo está muerto y no solo la etapa de desplazamiento de lodo de control al interior de la T.P.

Con lo anterior se trata de hacer más explícito el procedimiento de control de pozo, ya sea que se aplique el método del ingeniero o el método del perforador.

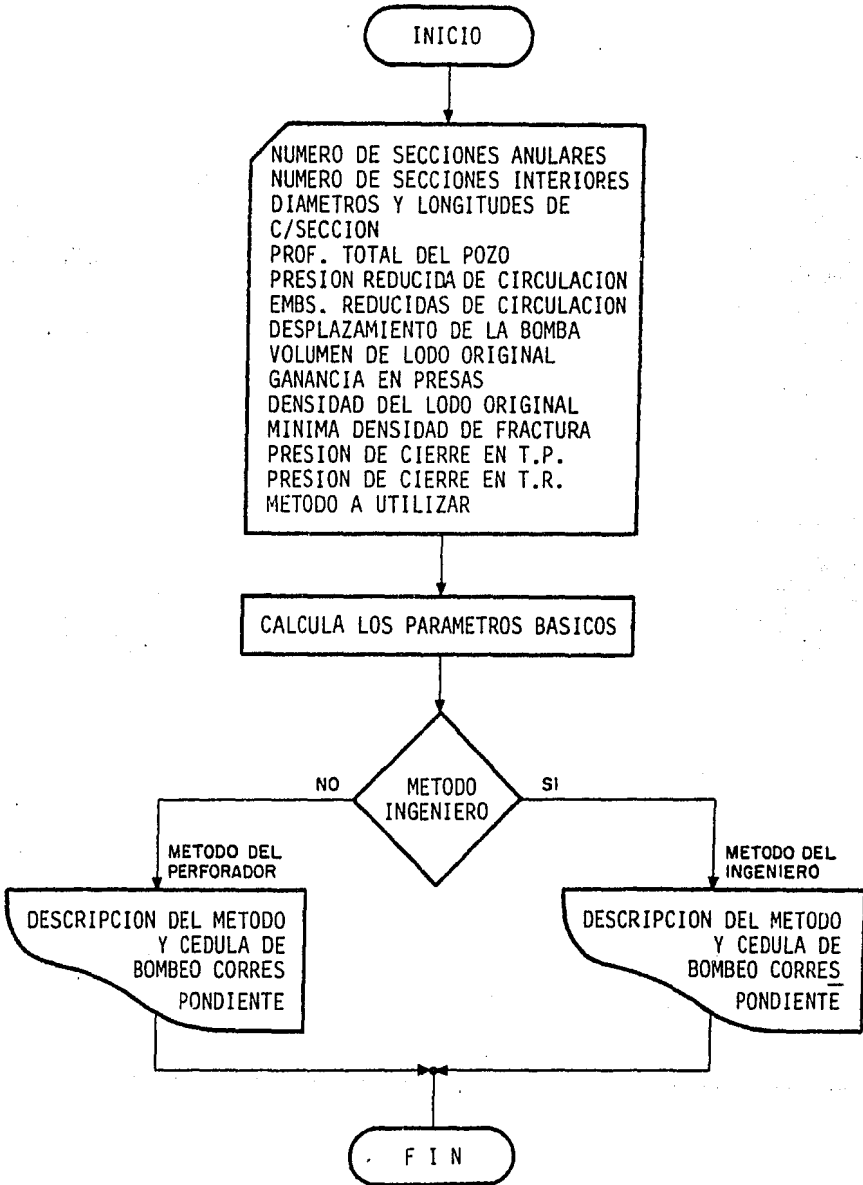


FIGURA 4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE CONTROL DE POZOS. METODOS DEL INGENIERO Y DEL PERFORADOR.

NOMENCLATURA

- AFI= longitud desarrollada por el fluido invasor en el espacio anular (metros).
- CEA= factor de capacidad de cada sección en el espacio anular (m^3/m)
- CTPLB= factor de capacidad de cada sección de tubería de perforación o las trabarrenas (m^3/m).
- DB= desplazamiento de la bomba (lts/E).
- IVP= incremento de volumen en presas debido a la intrusión de fluidos de la formación al pozo (m^3)
- LS= longitud de la sección (metros)
- NETP= número de emboladas necesarias para llenar la tubería de perforación.
- PCTP= presión de cierre estabilizada en la tubería de perforación (kg/cm^2)
- PCTR= presión de cierre estabilizada en la tubería de revestimiento (Kg/cm^2)
- PFC= presión final de circulación (Kg/cm^2)
- PIC= presión inicial de circulación (Kg/cm^2)
- PRC= presión reducida de circulación (Kg/cm^2)
- PVV= profundidad vertical verdadera (metros)
- VEA= volumen total del espacio anular (m^3)
- Vi= volumen de lodo activo en el sistema (m^3)
- VTP= volumen total de la sarta de perforación (m^3)
- Wbarita= peso de barita necesario para densificar el lodo original hasta la densidad de control (kg).

$\Delta V =$ incremento de volumen debido al agregado de barita (m^3)

$\rho_{\text{control}} =$ densidad del lodo de control (gr/cm^3)

$\rho_{\text{original}} =$ densidad del lodo con el cual se estaba perforando al ocurrir el brote (gr/cm^3)

V. PERFORACION DIRECCIONAL

Prácticamente ningún pozo petrolero ha sido perforado verticalmente y aún cuando en un gran número de casos es deseable la perforación vertical de los pozos, la trayectoria seguida se ha alejado de la propuesta.

En estas situaciones, la desviación del agujero puede representar un serio problema durante y después de la perforación.

Sin embargo, existen situaciones en las cuales el pozo debe ser perforado con una cierta desviación y dirección alejadas, dentro de ciertos límites, de la trayectoria vertical; siendo necesario entonces utilizar la perforación direccional.

La perforación direccional de un pozo puede ser definida como la perforación desviada y controlada de un agujero que sigue una trayectoria predefinida hasta alcanzar un punto en el subsuelo considerado como objetivo; el cual se encuentra alejado de la localización superficial del equipo.

Por lo tanto, cualquier situación en la cual resulta imposible o impráctica la colocación del equipo de perforación directamente arriba de la localización deseada del fondo del agujero, es una aplicación potencial de la perforación direccional. Conjuntamente con el aspecto práctico, el aspecto económica en las operaciones de explotación de los hidrocarburos ha fijado la conveniencia de la perforación de pozos direccionales.

5.1 Aplicaciones de la Perforación Direccional.

La perforación direccional controlada de un pozo petrolero, ya sea debido a

problemas de perforación en el área o a consideraciones económicas, tiene muchas aplicaciones; dentro de las más comunes se tienen las siguientes:

- Desarrollo de campos marinos (Figura 5.1).- Esta es una de las aplica--ciones más usuales de la perforación direccional; pues debido al alto costo de las instalaciones marinas, resulta incosteable la posibilidad de utili--zar una plataforma para perforar y explotar cada pozo vertical. Por lo que el desarrollo de un campo marino requiere de la perforación de varios po--zos direccionales desde una plataforma fija, de acuerdo con el espaciamento entre pozos requerido.

- Perforación de pozos de alivio (Figura 5.2).- En ciertas ocasiones, durante la perforación de un pozo se llega a perder el control de éste, dando como resultado un reventón. Algunas veces, se hace necesario perforar un -pozo direccional que intersecte al pozo descontrolado, o bien, que llegue -lo suficientemente cerca de él, de tal manera que se establezca una vía de comunicación entre los dos pozos, a través de la cual se puedan inyectar a presión fluidos que permitan recuperar el control del pozo.

- Perforación de estructuras afalladas, intervalos múltiples o evitar atravesar domos salinos (figura 5.3).- Ciertas áreas, en donde la perforación -vertical de los pozos presentan un serio problema operacional, la perfora--ción direccional puede ser utilizada, como en el caso de acumulaciones de -hidrocarburos localizadas en estructuras afalladas o en los flancos de do--mos salinos.

En el caso de una estructura afallada, si ésta se intentara perforar verti--calmente, se correría el riesgo de que la trayectoria del pozo se desviara -

del objetivo, además de que en muchas estructuras de este tipo, existen intervalos separados por alguna discontinuidad y los cuales serían desaprovechados si se perforara un pozo vertical.

Aprovechando el plano de buzamiento o la forma estructural, así como la habilidad de la barrena para moverse lateralmente, se perfora un pozo direccional para alcanzar y explotar eficazmente al intervalo o intervalos productores.

En tanto, que en un domo, es necesario evitar la perforación del techo; ya que si se llegara a hacerlo el número de problemas que esto acarrearía sería muy grandes; entre estos problemas se tendrían: cambios en las propiedades del fluido de perforación, consideraciones adicionales en el diseño de las tuberías de revestimiento, creación de cavernas, etc., etc.

- Localizaciones superficiales inaccesibles (Figura 5.4).- Los pozos pueden ser perforados direccionalmente donde existen obstáculos naturales o zonas urbanas los cuales eviten que el equipo de perforación pueda ser colocado directamente sobre la localización deseada. Por ejemplo, cuando el yacimiento se encuentra bajo un lago o una zona habitada.

- Pozos con accidente mecánico (Figura 5.5).- En el caso de que durante la perforación de un pozo, se presente un accidente mecánico y se tenga la necesidad de dejar un pescado; la perforación direccional del pozo representa una alternativa para llegar al objetivo con un cierto desplazamiento horizontal. De esta manera se puede salvar el pozo y la inversión inicial -- realizada.

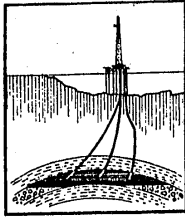


FIGURA 5.1

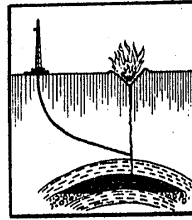


FIGURA 5.2

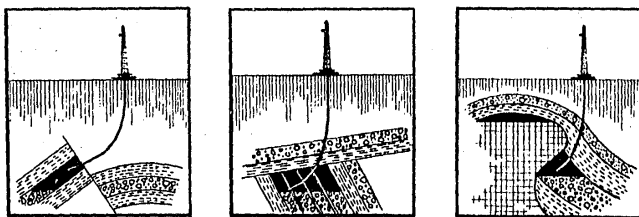


FIGURA 5.3

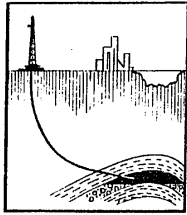


FIGURA 5.4

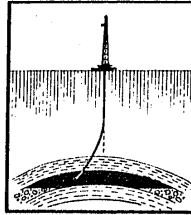


FIGURA 5.5

5.2 Configuraciones de Pozos Direccionales.

Cuando se planea utilizar la perforación direccional, se deberá seleccionar alguno de los patrones o configuraciones de desviación. La selección de la configuración dependerá principalmente de los siguientes factores: de la estructura geológica, del espaciamiento entre pozos, de la profundidad vertical y del desplazamiento horizontal del objetivo.

En general, las trayectorias de los pozos direccionales pueden clasificarse en dos tipos: tipo Slant y tipo S.

- Pozos tipo Slant (Figura 5.6).- En este tipo de pozos, el ángulo de desviación se incrementa en un cierto número de grados por cada 30 metros (100 pies), hasta obtener el ángulo máximo permitido. Una vez que se alcanza el ángulo máximo, éste es mantenido hasta alcanzar el objetivo final.

Los pozos tipo Slant puede a su vez subdividirse en pozos con punto inicial de desviación somero y con punto inicial de desviación profundo, dependiendo de la profundidad a la cual se inicia el incremento de ángulo. Cuando el punto inicial es muy profundo, la sección perforada con el ángulo máximo alcanzado puede ser muy pequeña o no existir; en este último caso el objetivo es alcanzado al terminar el incremento de ángulo.

- Pozos tipo S (Figura 5.7).- En la perforación de este tipo de pozos, la desviación se inicia cerca de la superficie, incrementándose el ángulo de desviación lo necesario hasta alcanzar el ángulo máximo de desviación. Una vez alcanzado dicho ángulo, éste se mantiene hasta casi lograr el desplazamiento horizontal establecido. Posteriormente, el ángulo de inclinación se

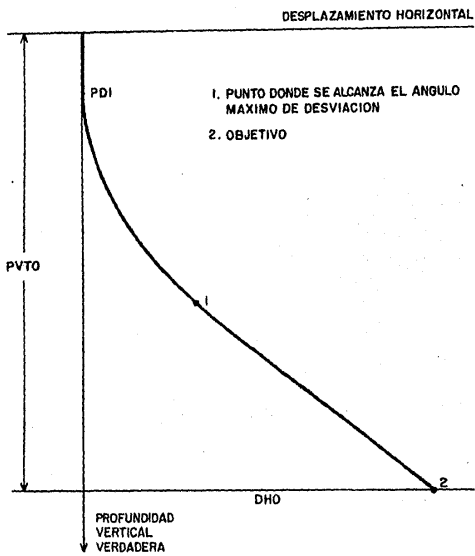


FIG. 5.6 POZO TIPO SLANT

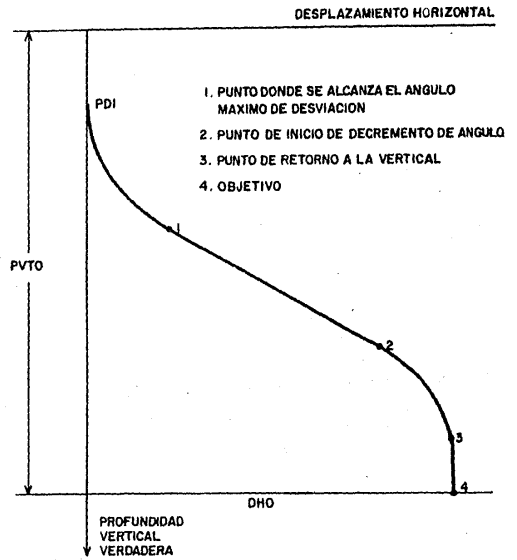


FIG. 5.7 POZO TIPO S

se va disminuyendo hasta retornar el pozo a la vertical para llegar al objetivo.

El pozo tipo Slant constituye un caso particular del tipo S; debido a que el pozo tipo Slant sería un pozo terminado en el punto en el cual se inicia el decremento de ángulo de desviación.

5.3 Planeación de Pozos Direccionales.

En todas las actividades humanas, la planeación es uno de los aspectos fundamentales; más aún cuando las actividades a desarrollar van acompañadas por una inversión económica considerable.

En la industria petrolera, la perforación de los pozos ya sea verticales o direccionales representan una fuerte inversión económica; por este motivo, las operaciones deberán de estar precedidas de una etapa de planeación adecuada, la cual deberá incluir los parámetros necesarios para el logro de una operación eficiente.

5.3.1 Parámetros necesarios en la planeación.

Los parámetros necesarios en la planeación de pozos direccionales dependen de la zona en la cual se llevará a cabo la perforación. De esta zona se deben de conocer la litología, la situación estructural y la profundidad vertical del objetivo.

- Características del objetivo.- La forma, tamaño y profundidad vertical a la cual se encuentra el objetivo son parámetros básicos que pueden obtener-

se de los diferentes estudios realizados en la zona. La correcta caracterización de las formaciones por atravesar, es el factor básico para la selección de las condiciones óptimas de operación durante la perforación del pozo.

- Localización del equipo.- La localización superficial del equipo de perforación depende de la distribución estructural de las formaciones a perforar.

En este caso, se aprovecha la tendencia que presentan ciertas formaciones - de desviar el curso de la barrena o de mantener su rumbo, conforme esta gira; de tal manera que la barrena sea dirigida hacia el objetivo según la -- trayectoria planeada. Así, el conocimiento de las tendencias de desviación de las formaciones determinará la posición del equipo de perforación, la -- profundidad de inicio de desviación y en consecuencia del desplazamiento horizontal a los objetivos.

- Diámetro del pozo.- El diámetro del pozo y en consecuencia el programa de tuberías de revestimiento, son parámetros que dependen de la profundidad del objetivo, las características de producción del yacimiento y la presión de las formaciones a atravesar, entre otros.

5.3.2 Parámetros obtenidos de la planeación.

Para la determinación de los parámetros necesarios en la perforación de un pozo direccional se pueden utilizar en la planeación del pozo, con algunas modificaciones, las expresiones matemáticas establecidas para calcular las coordenadas rectangulares durante la perforación.

En este trabajo, se seleccionó el método de radio de curvatura para la obtención de los parámetros necesarios para la perforación de un pozo direccional; debido a que en la práctica se ha observado que este método es uno de los más exactos y que presenta menores limitaciones de aplicación.

Dependiendo del tipo de configuración deseada, los parámetros a obtener de la pleneación son:

- Pozos tipo Slant.

- o Angulo máximo permisible.
- o Profundidad vertical, desplazamiento horizontal y profundidad desarrollada al término del incremento de ángulo.
- o Profundidad total desarrollada al alcanzar el objetivo.

- Pozos tipo S.

- o Angulo máximo permisible.
- o Profundidad vertical, desplazamiento horizontal y profundidad desarrollada al término del incremento de ángulo.
- o Profundidad vertical, desplazamiento horizontal y profundidad desarrollada al inicio del decremento de ángulo.
- o Profundidad vertical y profundidad desarrollada al terminar el decremento de ángulo.
- o Profundidad total desarrollada al alcanzar el objetivo.

Estos parámetros, para ambos tipos de configuración, dependen de la profundidad vertical del objetivo, la profundidad de inicio de desviación, el desplazamiento horizontal y la velocidad de incremento y decremento de ángulo.

5.3.3 Ecuaciones utilizadas en la planeación.

Para el cálculo de los dos tipos de trayectorias, se considera que no existe un cambio en el rumbo a lo largo del pozo, por lo que la trayectoria del pozo se llevará a cabo sobre un plano vertical que pasa por el rumbo planeado o propuesto.

- Pozos tipo Slant.

° Etapa de incremento de ángulo*

$$RCI = 180/(\pi \cdot b)$$

$$AMA = \operatorname{atg} \left(\frac{DHO - RCI}{PVTO - PID} \right)$$

$$SAM = \frac{RCI \cdot \cos (AMA)}{(PVTO - PID)}$$

Angulo máximo permisible

$$AM = AMA + a \operatorname{sen} (SAM)$$

Desplazamiento horizontal

$$DHTI = RCI \cdot (1 - \cos (AM))$$

Profundidad vertical

$$PVTI = RCI \cdot \operatorname{sen} AM + PID$$

Profundidad desarrollada

$$pDESTI = \frac{AM}{b} + PID$$

* Nomenclatura al final del capítulo

Profundidad desarrollada al alcanzar el objetivo.

$$PDO = (DHO - DHTI) / \text{sen } (AM) + PDESTI$$

- Pozos tipo S

o Etapa de incremento de ángulo.

$$RCI = 180 / (\pi b) ; RCD = 180 / \pi b'$$

$$RCT = RCI + RCD$$

$$AMA = \text{atg} \left(\frac{DHO - RCT}{PVTO - PID} \right)$$

$$SAM = \frac{RCT \cdot \text{COS } (AMA)}{(PVTO - PID)}$$

Angulo máximo

$$AM = AMA + a \text{ sen } (SAM)$$

Desplazamiento horizontal

$$DHTI = RCI \cdot 1 - \text{cos } (AM)$$

Profundidad vertical

$$PVTI = RCI \cdot \text{sen } (AM) + PID$$

Profundidad desarrollada

$$PDESTI = AM/b + PID$$

o Etapa de decremento de ángulo

Desplazamiento horizontal

$$DHID = (PVID - PVTI) \cdot \text{tg } (AM) + DHTI$$

Profundidad vertical.

$$PVID = PVTO - RCD \cdot \text{sen } (AM)$$

Profundidad desarrollada

$$PDESID = (DHID - DHTI) / \text{sen } (AM) + PDESTI$$

Profundidad desarrollada al alcanzar el objetivo.

$$PDO = AM/b' + PDESID$$

5.4 Cálculo de las Coordenadas de un Punto en la Trayectoria Perforada de un Pozo.

El conocimiento de la posición exacta de cada punto a través del curso perforado es de suma importancia, por las siguientes razones:

- Prevenir la intersección de pozos perforados desde una misma localización.
- Localización de Formaciones para una definición geológica apropiada con respecto al contorno o discontinuidad de una estructura.
- Lograr la intersección entre un pozo descontrolado y un pozo de alivio.
- Corregir la trayectoria si ésta se ha alejado mucho de la planeada.
- Calcular el espesor neto del yacimiento.

A raíz del inicio de la perforación direccional y del incremento de su aplicación, se fueron desarrollando métodos de cálculo más exactos y generalmente con una mayor complejidad matemática. Dentro de la variedad de métodos

existentes, los hay muy simples, que sólo requieren de tabulaciones de funciones trigonométricas o de una calculadora para su ejecución, y otros relativamente complejos que necesitan de una máquina programable para poder tener resultados prácticos desde el punto de vista de velocidades de respuesta.

Todos los métodos operan con conjuntos de datos de inclinación, profundidad desarrollada y rumbo o azimuth medidos en diferentes puntos, denominadas estaciones, a lo largo de la trayectoria del pozo. La exactitud de estos datos es función de la técnica y de la instrumentación utilizada.

Cualquiera que sea el método elegido, la exactitud en los resultados obtenidos disminuirá conforme la distancia entre dos estaciones consecutivas aumenta, particularmente si se presenta un severo cambio en el ángulo de inclinación y/o rumbo.

En este trabajo, se eligió el método del ángulo medio y el de radio de curvatura por considerarse el primero de fácil aplicación y resultados relativamente exactos, y el segundo por su corroborada precisión.

5.4.1 Método del ángulo medio.

Este método promedia la inclinación y el azimuth de la recta que une a las dos estaciones, considerando dicho segmento como la trayectoria real del pozo.

Así, las expresiones utilizadas para calcular las coordenadas bajo la condición establecida anteriormente son:

$$DEO_{i+1} = \Delta L \cdot \sin\left(\frac{I_i + I_{i+1}}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2}\right)$$

$$DNS_{i+1} = \Delta L \cdot \sin\left(\frac{I_i + I_{i+1}}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2}\right)$$

$$PVV = \Delta L \cdot \cos\left(\frac{I_i + I_{i+1}}{2}\right)$$

Si la longitud desarrollada entre dos estaciones de registro consecutivas es pequeña, y las variaciones en la inclinación y azimuth entre ellas es reducida o no existe, el método proporcionará resultados sumamente exactos.

El método es confiable y muy simple; al no requerir de una manipulación matemática sofisticada resulta de gran aplicación en el campo.

5.4.2 Método del radio de curvatura.

Este método utiliza la inclinación y el azimuth de dos estaciones consecutivas, así como la longitud de curso para generar una curva en el espacio la cual representa la trayectoria del pozo y tiene la forma de un arco esférico que pasa a través de los ángulos medidos en las dos estaciones de registro involucradas.

La suposición de que el pozo describe una curva suave entre dos estaciones, hace que el método sea menos sensible a los cambios de inclinación y azimuth entre las estaciones. Esta es la razón principal por la que se recomienda la aplicación de este método. Ahora bien, su procedimiento de cálculo requiere de la utilización de una computadora para lograr una aplicación - -

eficiente.

Tomando en cuenta las consideraciones teóricas, pueden establecerse cuatro casos. Estos dependen de la forma en que varíen la inclinación y el rumbo entre dos estaciones consecutivas, así se tiene:

Caso 1. Inclinaciones y rumbos iguales.

$$I_i = I_{i+1} \quad ; \quad A_i = A_{i+1}$$

$$DEO_{i+1} = \Delta L \cdot \text{sen } I_{i+1} \cdot \text{sen } A_{i+1}$$

$$DNS_{i+1} = \Delta L \cdot \text{sen } I_{i+1} \cdot \text{cos } A_{i+1}$$

$$PVV_{i+1} = \Delta L \cdot \text{cos } I_{i+1}$$

Caso 2. Inclinaciones iguales y rumbos diferentes.

$$I_i = I_{i+1} \quad ; \quad A_i \neq A_{i+1}$$

$$DEO_{i+1} = \Delta L \cdot \text{sen } I_{i+1} \cdot (\text{cos } A_i - \text{cos } A_{i+1}) \Delta A$$

$$DNS_{i+1} = \Delta L \cdot \text{sen } I_{i+1} \cdot (\text{sen } A_{i+1} - \text{sen } A_i) \Delta A$$

$$PVV_{i+1} = \Delta L \cdot \text{cos } I_{i+1}$$

Caso 3. Inclinaciones diferentes y rumbos iguales.

$$I_i \neq I_{i+1} \quad ; \quad A_i = A_{i+1}$$

$$DEO_{i+1} = \Delta L \cdot (\text{cos } I_i - \text{cos } I_{i+1}) \cdot \text{sen } A_{i+1} / \Delta I$$

$$DNS_{i+1} = \Delta L \cdot (\text{cos } I_i - \text{cos } I_{i+1}) \cdot \text{cos } A_{i+1} / \Delta I$$

$$PVV_{i+1} = \Delta L \cdot (\text{sen } I_{i+1} - \text{sen } I_i) / \Delta I$$

Caso 4. Inclinaciones y rumbos diferentes.

$$I_i \neq I_{i+1} ; A_i \neq A_{i+1}$$

$$DEO_{i+1} = \Delta L \cdot (\cos I_i - \cos I_{i+1}) \cdot (\cos A_i - \cos A_{i+1}) / (\Delta I \cdot \Delta A)$$

$$DNS_{i+1} = \Delta L \cdot (\cos I_i - \cos I_{i+1}) \cdot (\sin A_{i+1} - \sin A_i) / (\Delta I \Delta A)$$

$$PVV_{i+1} = \Delta L \cdot (\sin I_{i+1} - \sin I_i) / \Delta I$$

Se hace énfasis en que la variación del azimuth está limitada a un cambio de $\pm 180^\circ$ ($0 \pm \pi$ radianes), si este aspecto no es tratado adecuadamente - puede producir un error considerable en los cálculos. Por ejemplo si $A_i = 330^\circ$ y $A_{i+1} = 4^\circ$, el resultado ($A_{i+1} - A_i$) es 34° y no -326° . Este resultado es lógico, ya que es físicamente imposible que la sarta de perforación describa una trayectoria de -326° en un tramo perforado tan corto como lo es el desarrollado entre dos estaciones consecutivas.

Aplicándolo adecuadamente este método constituye uno de los más exactos para determinar la posición de la trayectoria en un pozo dado.

5.4.3 Severidad del cambio en el ángulo de inclinación y/o rumbo.

El control de la inclinación y el rumbo propuestos, es uno de los mayores - problemas que se presentan durante la perforación de un pozo petrolero.

Si el cambio de ángulo de inclinación y/o rumbo entre dos estaciones es excesivo, la sarta estará sujeta a una serie de esfuerzos que pueden originar desde desgastes hasta un completo deterioro en la tubería; asimismo, la - -

geometría del pozo se ve alterada, lo cual puede representar problemas para futuras operaciones con su correspondiente derrama económica.

Resulta por lo tanto, de suma importancia conocer la magnitud del cambio de ángulo a lo largo de la trayectoria perforada.

Al cambio brusco en el ángulo de inclinación y/o en el rumbo entre dos estaciones consecutivas, se le conoce como "pata de perro".

La severidad de la pata de perro puede ser determinada mediante la siguiente expresión:

$$DLS = 30.5 \frac{\theta_{i+1}}{L}$$

donde:

$$\theta_{i+1} = a \cos \left((\sin I_i \cdot \sin I_{i+1}) \cdot (\sin A_i \cdot \sin A_{i+1} + \cos A_i \cdot \cos A_{i+1}) + \cos I_i \cdot \cos I_{i+1} \right)$$

Lubinski recomienda que el máximo valor del cambio de ángulo o severidad de la pata de perro, para evitar problemas en el agujero no debe exceder a - - 3.5°/30 metros.

5.4.4 Cierre del pozo.

El cierre del pozo está definido como la longitud de la recta que une los puntos situados entre la localización superficial y la última estación de registro, ambos proyectados sobre un plano horizontal. Este dato resulta de suma importancia cuando se trata de comparar el rumbo y la longitud de cierre propuestos o planeados con los valores reales. La diferencia entre

uno y otro, proporcionará una idea de que tan eficiente fue el control de la desviación durante la perforación del pozo.

Sean P1 (DX1, DY1) y P2 (DX2, DY2) las coordenadas rectangulares de la localización superficial y de la última estación de registro respectivamente.

Aplicando la ecuación de la distancia entre dos puntos:

$$DC = \left((\text{abs}(DX2 - DX1))^2 + (\text{abs}(DY2 - DY1))^2 \right)^{0.5}$$

en donde DC sería la distancia de cierre buscada.

Para obtener el rumbo de dicha distancia, se deben hacer las siguientes consideraciones:

Si $DX2 - DX1 < 0$, el desplazamiento Este-oeste será al Oeste; en caso contrario, al Este.

Si $DY2 - DY1 < 0$, el desplazamiento Norte-Sur será al Sur; en caso contrario, al Norte.

Bajo la premisa anterior, la dirección del cierre es determinada, faltando calcular el ángulo correspondiente.

Aplicando:

$$D1 = \text{abs} (\text{abs}(DX2) - \text{abs}(DX1))$$

$$D2 = \text{abs} (\text{abs}(DY2) - \text{abs}(DY1))$$

$$y \quad AC = \text{atg} (D1 / D2)$$

El ángulo buscado estará dado por la magnitud de AC.

5.5 Estructura del Programa.

En las figuras 5.8 y 5.9, se presenta en forma, cualitativa, el desarrollo del programa de planeación así como el correspondiente al cálculo de las -- coordenadas direccionales.

Para mayor información de las ecuaciones utilizadas, consulte la bibliografía anotada al final del trabajo.

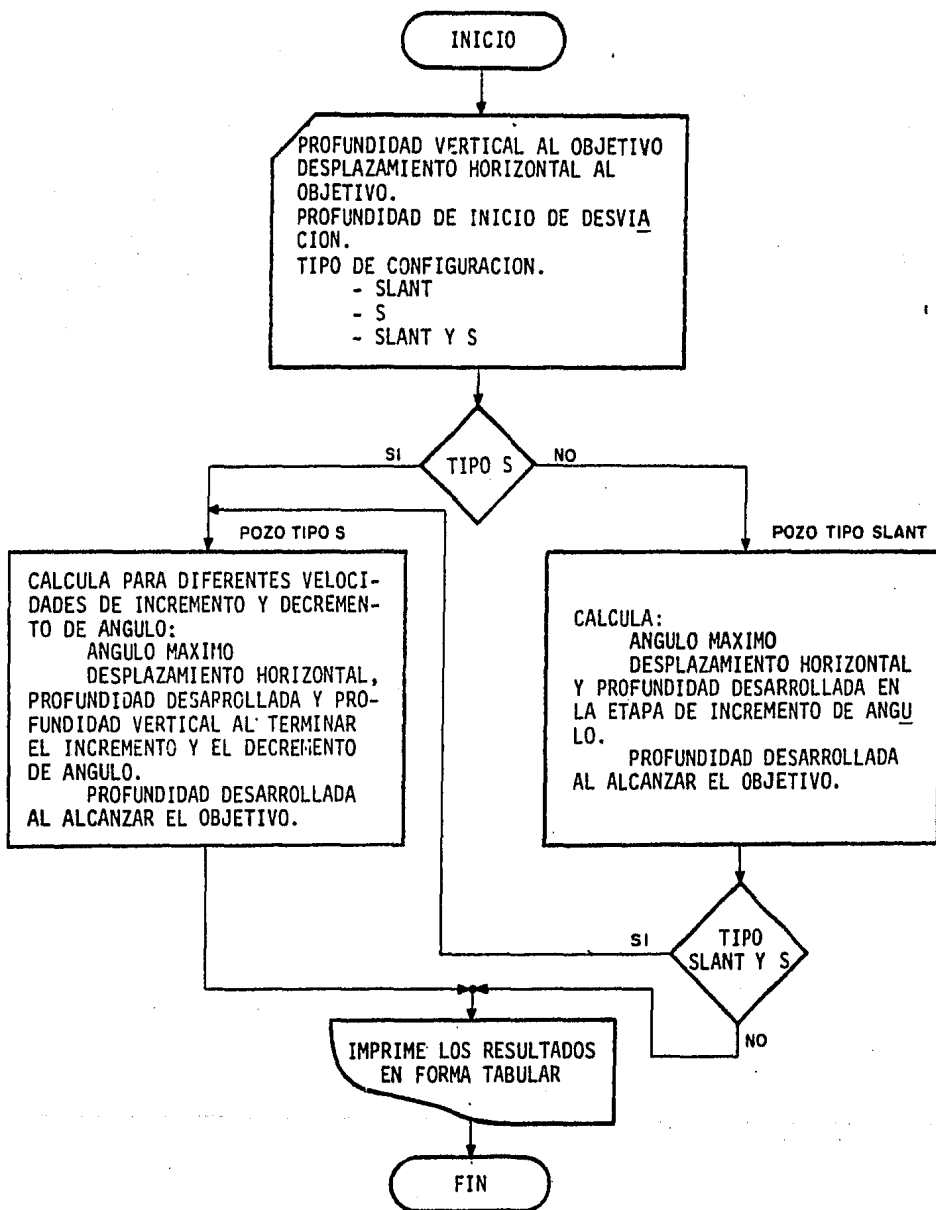


FIGURA 5.8 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES. POZOS TIPO SLANT Y S.

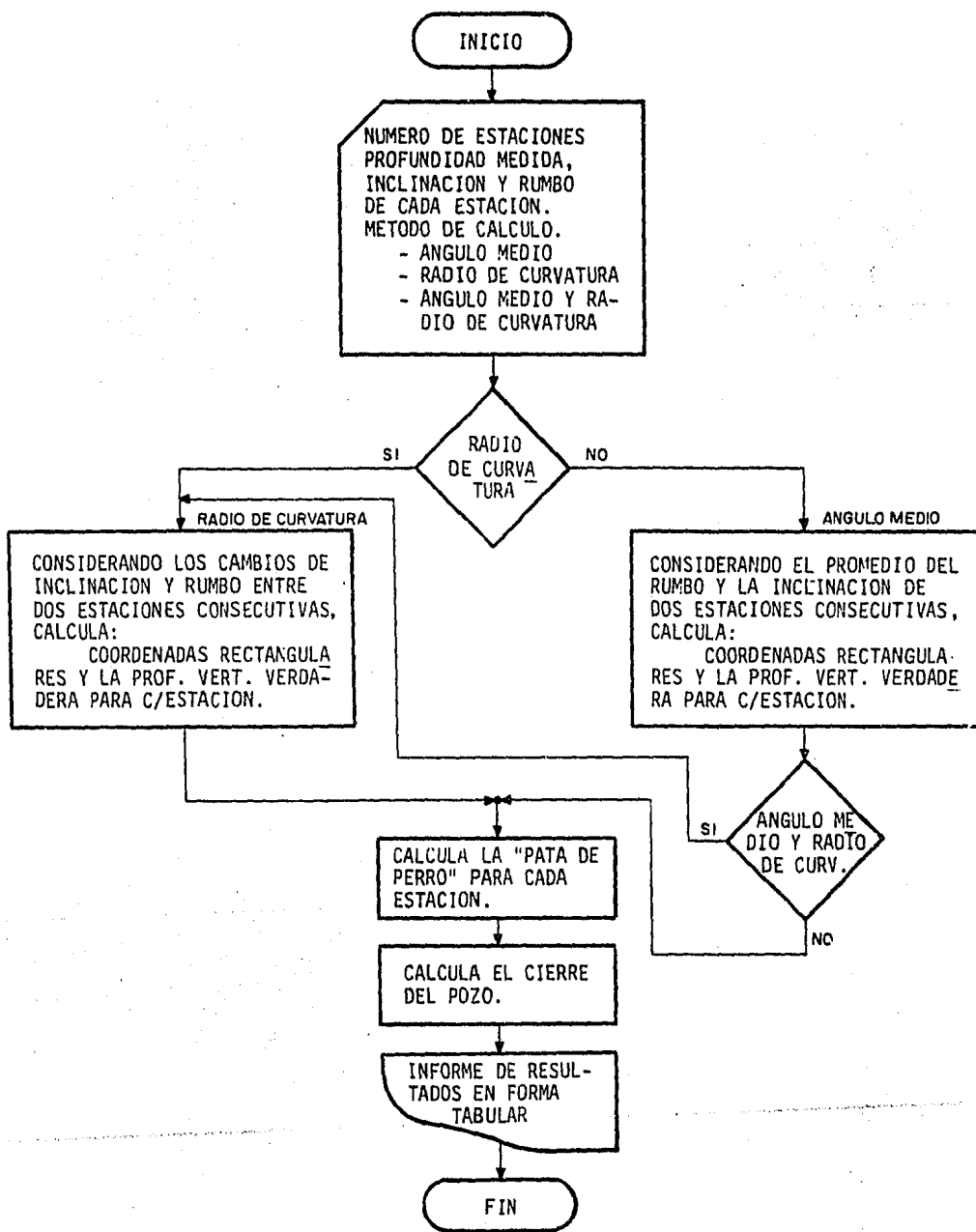


FIGURA 5.9 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PARA EL CALCULO DE COORDENADAS DE POZOS DIRECCIONALES. METODOS DEL ANGULO MEDIO Y DEL RADIO DE CURVATURA.

NOMENCLATURA

- A_i = azimuth de la estación i (grados)
- A_{i+1} = azimuth de la estación $i+1$ (grados)
- AC = ángulo de cierre de pozo (grados)
- AM = ángulo máximo permisible (grados)
- b = velocidad de incremento de ángulo (grados/metro)
- DC = distancia de cierre de pozo (metros)
- DEO_{i+1} = desplazamiento Este-Oeste de la estación $i+1$ (metros)
- DHID = desplazamiento horizontal al iniciar el decremento de ángulo (metros)
- DHO = desplazamiento horizontal al objetivo (metros)
- DLS = severidad del cambio en el ángulo de inclinación y/o rumbo (grados/ 30 mts)
- DNS_{i+1} = desplazamiento Norte-Sur de la estación $i+1$ (metros)
- DHTI = desplazamiento horizontal al terminar el incremento de ángulo (metros).
- I_i = Inclinación de la estación i (grados)
- I_{i+1} = inclinación de la estación $i+1$ (grados)
- PDESTI = profundidad desarrollada al terminar el incremento de ángulo (metros)
- PDESID = profundidad desarrollada al iniciar el decremento de ángulo (metros)
- PDO = profundidad desarrollada al alcanzar el objetivo (metros)

- PDI = profundidad de inicio de desviación (metros)
- PVID = profundidad vertical al iniciar el decremento de ángulo (metros)
- PVTI = profundidad vertical al terminar el incremento de ángulo (metros)
- PVTO = profundidad vertical total al objetivo (metros)
- PVV₁₊₁ = profundidad vertical entre dos estaciones consecutivas (metros)
- RDC = radio de curvatura en un plano vertical en la etapa de decremento de ángulo (metros)
- RCI = radio de curvatura en un plano vertical en la etapa de incremento de ángulo (metros)
- ΔA = variación del azimuth entre dos estaciones de registro consecutivas (grados)
- ΔI = variación de la inclinación entre dos estaciones de registro consecutivas (grados).
- ΔL = longitud desarrollada entre dos estaciones de registro consecutivas (metros)

VI INSTRUCTIVO DE OPERACION DEL PAQUETE

6.1 Introducción de Datos.

Se presenta la manera en que se debe llamar a ejecución el paquete de programas; así como las distintas preguntas que se realizan dependiendo de la opción requerida; se explican también, el por qué de ciertos mensajes, así como lo que sucede cuando un dato es tecleado erróneamente.

Para llamar a ejecución el programa, deberá teclearse DIRGER. A partir de que esta instrucción es transmitida, el paquete de programas está listo para ser utilizado.

Para mayor comprensión del instructivo, se numeran las preguntas que el programa hace o puede hacer, indicándose cuál es la respuesta esperada. Si la respuesta está fuera de los rangos especificados en las tablas 6.1, 6.2 y - 6.3 (los datos son presentados en el orden que son solicitados por el programa), se repetirá la pregunta, pasando a la siguiente hasta que se proporcione la respuesta correcta.

Cada que existe un punto en la ejecución del programa, el cual es necesario separar del resto de la información desplegada, si se está utilizando una impresora, en ésta se llevará a cabo un avance de hoja.

El programa inicia con el siguiente mensaje.

Si se desea cambiar la opción a ejecutar, deberá responderse negativamente (NO), regresando el programa a la pregunta 1.

Si la opción elegida es la correcta, deberá responderse afirmativamente -- (SI), con lo cual el programa ejecutará la opción deseada.

Si la opción a ejecutar es la 1 (Hidráulica en general), el programa pasará a realizar las preguntas del inciso A.

Si la opción a ejecutar es la 2 (Control de pozos), el programa pasará a -- realizar las preguntas del inciso B.

Si la opción a ejecutar es la 3 (Perforación direccional), el programa pasará a realizar las preguntas del inciso C.

Proporcionar el valor de la densidad del lodo utilizado, en gr/cm^3 .

4. LECTURA FANN @ 600 RPM (LB/100PIES²) ?

Se pide el valor de la lectura registrada en el viscosímetro FANN a 600 - rpm.

5. LECTURA FANN @ 300 RPM (LB/100PIES²) ?

Se pide la lectura registrada en el viscosímetro FANN a 300 rpm.

6. LECTURA FANN @ 3 RPM (LB/100PIES²) ?

Se pide la lectura registrada en el viscosímetro FANN a 3 rpm, este dato se considerará que es el gel inicial del fluido en cuestión.

7. GASTO (GAL/MIN) ?

Este gasto es al cual serán determinadas las caídas de presión.

8. * DATOS DE LA GEOMETRIA DEL POZO *

NUMERO DE SECCIONES INTERIORES ?

Se deberá proporcionar el número de diámetros diferentes existentes en el - interior de la sarta de perforación.

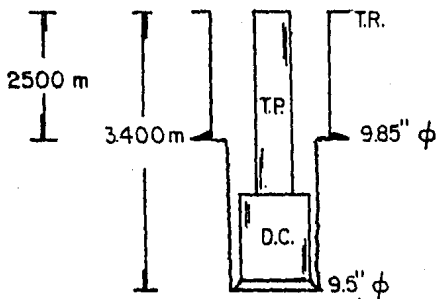
9. * SECCION INTERIOR # *
 * DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *
 * T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
 * (PG) * (M) *

Se piden dos datos reales separados por comas, el primero correspondiente - al diámetro interior de la sección el segundo a la longitud del tramo con - este diámetro.

NOTA:

Las secciones serán proporcionadas de abajo hacia arriba; ejemplo:

Se tiene el pozo con las siguientes características:



- 3200 mts. de T.P. de 5 pg D.E. y 4.276 pg D.I.
- 200 mts. de D.C. de 7.25 pg D.E. y 3.5 pg D.I.
- T.R. de 9.85 pg de D.I., asentada a 2500 mts.
- Agujero descubierta a 3400 mts, con barrena de 9.5 pg de diámetro.

Las secciones generadas deberán proporcionarse en el siguiente orden:

Secciones interiores = 2

Sección interior	Diámetro interior	Longitud
#	(pg)	(m)
1	3.5	200.0
2	4.276	3200.0

Esta pregunta se repite un número de veces igual al dato tecleado en la pregunta 8.

10. NUMERO DE SECCIONES ANULARES :?

Se pide el número de secciones geométricas diferentes formadas en el espacio anular del pozo.

11. * SECCION ANULAR # *

* DIAMETRO DEL AGUJERO * * O DEL INTERIOR DE - * * LA T. R. * * (PG) *	SECCION ANULAR #	* DIAMETRO EXTERIOR * * DE LA T. P. O DE - * * LA HERRAMIENTA * * (PG) *	* LONGITUD * * DE LA * * SECCION * * (M) *
---------------------------------------------------------------------------------	------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------

Se piden tres datos separados por comas, el primero corresponde al diámetro del agujero o al interior de la T.R., el segundo al exterior de la tubería (de perforación o lastra barrenas) y el último a la longitud de la sección.

Para el ejemplo de la pregunta 9, las secciones generadas serán:

Secciones anulares: 3

Sección anular	Diámetro del agujero o T. R.	Diámetro exterior de la T.P. o D.C.	Longitud
#	(pg)	(pg)	(m)
1	9.5	7.25	200.0
2	9.5	5.00	700.0
3	9.85	5.0	2500.0

Esta pregunta se repite hasta completar un número de veces igual al dato te
cleado en la pregunta 18.

12.

CONEXIONES SUPERFICIALES

	* C A S O 1 *	* C A S O 2 *	* C A S O 3 *	* C A S O 4 *
COMPONENTES	* DIAM.	* DIAM.	* DIAM.	* DIAM.
DE CONEXIO.	* INT. LON.	* INT. LON.	* INT. LON.	* INT. LON.
SUPERFICIA.	* (PG) (M)	* (PG) (M)	* (PG) (M)	* (PG) (M)
STANDPIPE	* 3 12.2	* 3 1/2 12.2	* 4 13.7	* 4 13.7
MANGUERA	* 2 13.7	* 2 1/2 16.8	* 3 16.8	* 3 16.8
SWIVEL Y	*	*	*	*
CUELLO DE	*	*	*	*
GANZO	* 2 1.2	* 2 1/2 1.5	* 2 1/2 1.5	* 3 1.8
KELLY	* 2 1/4 12.2	* 3 1/4 12.2	* 3 1/4 12.2	* 4 12.2

CUAL ES EL CASO DE SUS CONEXIONES SUPERFICIALES ?

De acuerdo al tipo de conexiones superficiales con que el equipo de perfora
ción está dotado, se deberá teclear al caso correspondiente.

Esta es la última pregunta referente a los datos necesarios para el cálculo
de las caídas de presión.

DATOS PARA EL CALCULO DE LAS CAIDAS DE PRESION

13. DENSIDAD DEL LODO = (GR/CM3)
 LECTURA FANN @ 600 RPM = (LB/100PIES2)
 LECTURA FANN @ 300 RPM = (LB/100PIES2)
 LECTURA FANN @ 3 RPM = (LB/100PIES2)
 GASTO = (GPM)

* SECCIONES INTERIORES *

* SECCION *	* DIAMETRO INTERIOR DE LA *	* LONGITUD DE *
* # *	* T. P. O DE LA HERRAMIENTA *	* LA SECCION *
* *	(PG)	(M)

* SECCIONES ANULARES *

* SECCION *	* DIAMETRO DEL AGUJERO *	* DIAMETRO EXTERIOR *	* LONGITUD *
* # *	* O DEL INTERIOR DE - *	* DE LA T. P. O DE - *	* DE LA *
* *	LA T. R.	LA HERRAMIENTA	SECCION
* *	(PG)	(PG)	(M)

CONEXIONES SUPERFICIALES :

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)

Si la respuesta es negativa, el programa ejecuta los cálculos necesarios, -
 pasando al punto 15.

Si la respuesta es afirmativa, se realiza la siguiente pregunta.

14. DIRECTORIO DE DATOS

- 1 DENSIDAD DEL LODO
 - 2 LECTURA FANN @ 600 RPM
 - 3 LECTURA FANN @ 300 RPM
 - 4 LECTURA FANN @ 3 RPM
 - 5 GASTO
 - 6 NUMERO DE SECCIONES INTERIORES
 - 7 NUMERO DE SECCIONES ANULARES
 - 8 CORREGIR ALGUNA(S) SECCION(ES) INTERIOR(ES)
 - 9 CORREGIR ALGUNA(S) SECCION(ES) ANULAR(ES)
 - 10 TIPO DE CONEXIONES SUPERFICIALES

CUAL ES EL DATO A CORREGIR ?

Dar un número comprendido entre 1 y 10. Si el dato proporcionado es el 6 o el 7, se pedirán los datos correspondientes a las secciones.

Una vez corregido el dato, se repite la pregunta 13.

15. Se imprimen los resultados de la determinación de las caídas de presión en el sistema circulatorio.

DESEA REGRESAR AL MENU DE HIDRAULICA ?

Si la respuesta es afirmativa, el programa regresa a la pregunta 1. Si es negativa, la sesión de trabajo termina.

CRITERIOS DE OPTIMIZACION

16. 1 MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA
- 2 MAXIMO IMPACTO HIDRAULICO
- 3 MAXIMA VELOCIDAD EN LAS TOBERAS

CUAL ES EL CRITERIO QUE DESEA EMPLEAR ?

Se pregunta por el criterio de optimización a emplear, desde esta pregunta hasta la número 21, se piden los datos requeridos para la optimización.

17. TIENE DATOS MEDIDOS EN EL CAMPO (2 GASTOS A SU CORRESPONDIENTES PRESTIONES SUPERFICIALES) ? (SI, NO)

Si la respuesta es negativa, el programa realiza desde la pregunta 2 hasta la 13, con la diferencia que no se realiza la pregunta 15 pasando a la pregunta 19.

Si la respuesta es afirmativa, el programa realiza la siguiente pregunta

18. * GASTO 1 * PRESION SUPERFICIAL 1 *
* (GPM) * (KG/CM2) *

* GASTO 2 * PRESION SUPERFICIAL 2 *
* (GPM) * (KG/CM2) *

Se piden para cada pregunta, dos datos separados por comas.

DENSIDAD DEL LODO ? (GR/CM3)

Se pide la densidad del lodo en gr/cm³

19. * DATOS DE LA BARRENA *
* DIAMETRO * DIAMETRO * DIAMETRO *
* TOBERA 1 * TOBERA 2 * TOBERA 3 *
* (32AVOS PG) * (32AVOS PG) * (32AVOS PG) *

Se piden tres datos separados por comas

20. GASTO MINIMO (GPM) ?

Teclear un valor real mayor que cero. Este dato tiene que haber sido obtenido con la mayor veracidad posible.

21. * DATOS DE LA BOMBA *
* PRESION SUPERFICIAL * GASTO *
* MAXIMA * MAXIMO *
* (KG/CM2) * (GPM) *

Se piden dos datos separados por comas, estos datos son muy importantes, ya que son parte de los que delimitan el área de optimización.

22. DATOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA

< DATOS DE LA BARRENA >
* DIAMETRO * DIAMETRO * DIAMETRO *
* TOBERA 1 * TOBERA 2 * TOBERA 3 *
* (32AVOS PG) * (32AVOS PG) * (32AVOS PG) *

* DATOS DE LA BUMBA *
< PRESION SUPERFICIAL * GASTO <
* MAXIMA * MAXIMO *
< (KG/CM2) * (GPM) *

GASTO MINIMO = 168.0000 (GPM)

* DATOS DE CAMPO *
* DATO * GASTO * PRESION SUPERFICIAL *
* # * (GPM) * (KG/CM2) *

DENSIDAD DEL LODO = (GR/CM3)

CRITERIO DE OPTIMIZACION :

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)

Si la respuesta es afirmativa, el programa pasa a la pregunta 23.

Si es negativa, se realizan los cálculos necesarios y se pasa al punto 24.

23. DIRECTORIO DE DATOS

- 1 DATOS DE CAMPO (GASTOS-PRESIONES Y LA DENSIDAD DEL LODO)
- 2 DATOS DE LA BARRENA (TOBERAS)
- 3 DATOS DE LA BOMBA
- 4 CRITERIO DE OPTIMIZACION
- 5 GASTO MINIMO

CUAL ES EL NUMERO DE DATO A MODIFICAR ?

Se deberá proporcionar el número correspondiente al dato a modificar.

Una vez corregido el dato, el programa imprime lo indicado en la pregunta -

22.

24. Se imprimen los resultados de la optimización de la hidráulica

DESEA REGRESAR AL MENU DE HIDRAULICA ?

Si la respuesta es afirmativa, el programa regresa a la pregunta 1. Si es negativa, la sesión de trabajo termina.

B. Control de pozos.

```
1. *****  
*                                           *  
*                                           *  
*           CONTROL DE POZOS             *  
*                                           *  
*                                           LRMS *  
*                                           *  
*****
```

METODOS UTILIZADOS

- 1 METODO DEL INGENIERO (UNA CIRCULACION)
- 2 METODO DEL PERFORADOR (DOS CIRCULACIONES)

METODO A UTILIZAR ?

Teclear el número correspondiente al método de control que se desea utilizar.

2. PROFUNDIDAD VERTICAL TOTAL DEL POZO (M) ?

Este dato será utilizado más adelante para compararlo contra las longitudes de las secciones interiores y anulares, de esta forma se podrá detectar algún error en estos datos.

NOTA: En el programa se considera que la barrena está en el fondo del pozo al momento de ocurrir el brote.

3. NUMERO DE SECCIONES INTERIORES ? ,

Se pide el número de secciones interiores presentes en el interior de la sarta de perforación.

La forma en que éstas deben ser proporcionadas, es la misma que la indicada en la pregunta 9 del inciso A.

4. * SECCION INTERIOR # *
* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *
* T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
* (PG) * (M) *

Se piden dos datos separados por comas.

Esta pregunta es repetida hasta completar el número de secciones interiores.

Si la suma de las longitudes de las secciones interiores es diferente a la profundidad total del pozo, se imprime el siguiente mensaje:

LA SUMA DE LAS SECCIONES INTERIORES ES DIFERENTE A LA
PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO ()
RECTIFIQUE E INTRODUZCA LOS DATOS CORRECTOS.

Repitiéndose el procedimiento descrito en la pregunta 4.

5. NUMERO DE SECCIONES ANULARES ?

Se pregunta por el número de secciones existentes en el pozo.

6. * SECCION ANULAR # *
* DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR * LONGITUD *
* O DEL INTERIOR DE - * DE LA T. P. O DE - * DE LA *
* LA T. R. * LA HERRAMIENTA * SECCION *
* (PG) * (PG) * (M) *

Se piden tres datos separados por comas, la pregunta se repite hasta completar el número de secciones anulares.

Si la suma de las longitudes de las secciones anulares es diferente a la -- profundidad total del pozo, se imprime el siguiente mensaje:

LA SUMA DE LAS SECCIONES ANULARES ES DIFERENTE A LA
PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO (M)
RECTIFIQUE E INTRODUZCA LOS DATOS CORRECTOS.

PRESION REDUCIDA DE CIRCULACION (KG/CM2) ?

7.

EMBOLADAS REDUCIDAS DE CIRCULACION ?

DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA (LTS/E) ?

VOLUMEN DE LODO ORIGINAL (M3) ?

DENSIDAD DEL LODO ORIGINAL (GR/CM3) ?

INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS (M3) ?

PRESION DE CIERRE EN T. P. (KG/CM2) ?

PRESION DE CIERRE EN T. R. (KG/CM2) ?

Proporcionar el dato pedido en cada caso.

8.

DATOS

PROFUNDIDAD VERTICAL TOTAL DEL POZO	=	(M)
PRESION REDUCIDA DE CIRCULACION	=	(KG/CM2)
EMBOLADAS REDUCIDAS DE CIRCULACION	=	
DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA	=	(LTS/E)
VOLUMEN DE LODO ORIGINAL	=	(M3)
DENSIDAD DE LODO ORIGINAL	=	(GR/CM3)
INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS	=	(M3)
PRESION DE CIERRE EN T. P.	=	(KG/CM2)
PRESION DE CIERRE EN T. R.	=	(KG/CM2)

SECCIONES INTERIORES

* SECCION	* DIAMETRO INTERIOR DE LA	* LONGITUD DE	*
* #	* T. P. O DE LA HERRAMIENTA	* LA SECCION	*
* #	(PG)	(M)	*

SECCIONES ANULARES

* SECCION	* DIAMETRO DEL AGUJERO	* DIAMETRO EXTERIOR	* LONGITUD	*
* #	* O DEL INTERIOR DE	* DE LA T. P. O DE	* DE LA	*
* #	LA T. R.	* LA HERRAMIENTA	* DE LA	*
* #	(PG)	(PG)	(M)	*

METODO DE CONTROL :

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)

Si la respuesta es afirmativa, el programa pasa a la pregunta 9.

Si es negativa, se realizan los cálculos necesarios y el programa pasa al -
punto 10. La presentación de los resultados variará dependiendo del método
elegido.

9. DIRECTORIO DE DATOS :
- 1 PROFUNDIDAD VERTICAL TOTAL DEL POZO
 - 2 PRESION REDUCIDA DE CIRCULACION
 - 3 EMBOLADAS REDUCIDAS DE CIRCULACION
 - 4 DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA
 - 5 VOLUMEN DE LODO ORIGINAL
 - 6 DENSIDAD DEL LODO ORIGINAL
 - 7 INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS
 - 8 PRESION DE CIERRE EN T. P.
 - 9 PRESION DE CIERRE EN T. R.
 - 10 NUMERO DE SECCIONES INTERIORES
 - 11 NUMERO DE SECCIONES ANULARES
 - 12 MODIFICAR ALGUNA(S) SECCION(ES) INTERIOR(ES)
 - 13 MODIFICAR ALGUNA(S) SECCION(ES) ANULAR(ES)
 - 14 METODO A UTILIZAR

CUAL ES EL NUMERO DEL DATO A MODIFICAR ?

Teclear el número del dato a modificar, si el dato proporcionado es el 10 ó
el 11, se pedirán las secciones correspondientes.

Una vez modificado el dato, se repite lo anotado en la pregunta 8.

10. Se imprimen los resultados del método elegido para el control del pozo.

DESEA REGRESAR AL MENU DE CONTROL DE POZOS ? (SI,NO)

Si la respuesta es afirmativa, el programa regresa a la pregunta 1.

Si es negativa, la sección de trabajo termina.

3.

```

*****
*
*
*          PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES
*
*
*
*
*
*
*****

```

TIPOS DE CONFIGURACION CONSIDERADAS.

- 1 SLANT
- 2 S
- 3 AMBAS

PROPORCIONE EL NUMERO DE OPCION DESEADA:

Se deberá teclear el número correspondiente a la opción deseada.

4.

PROPORCIONE :

```

* PROFUNDIDAD VERTICAL * PROFUNDIDAD DE INICIO * DESPLAZAMIENTO HORI- *
* AL OBJETIVO          * DE DESVIACION          * ZONTAL AL OBJETIVO   *
*      (M)              *      (M)                *      (M)              *

```

Se piden tres datos separados por comas.

5.

DATOS

```

PROFUNDIDAD VERTICAL AL OBJETIVO      =      (M)
PROFUNDIDAD DE INICIO DE DESVIACION  =      (M)
DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL AL OBJETIVO =      (M)
CALCULO DE CONFIGURACION TIPO SLANT

```

DESEA CORREGIR ALGUN DATO ? (SI,NO) SI

Si la respuesta es afirmativa, el programa realiza la pregunta 6.

Si es negativa, el programa ejecuta el cálculo y pasa a la pregunta 7. La presentación de los resultados variará en función de la opción deseada.

6.
DIRECTORIO DE DATOS
1 TIPO DE CONFIGURACION
2 DATOS DEL POZO

NUMERO DEL DATO A CORREGIR ?

Se pide el número correspondiente al dato a modificar, posteriormente de corrigido éste, se repite la pregunta 5.

7. Se imprimen los resultados correspondientes a la planeación del pozo direccional.

DESEA REGRESAR AL MENU DE PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES ? (SI,NO)

Si la respuesta es afirmativa, el programa regresa a la pregunta 3.

Si es negativa, la sesión de trabajo termina.

10. NOTA : LOS DATOS CORRESPONDIENTES A RUMBOS, DEBERAN ESTAR CORREGIDOS POR DECLINACION MAGNETICA.

CUADRANTE	DIRECCION CORRESPONDIENTE
1	NE
2	NW
3	SW
4	SE

PROPORCIONE PARA CADA ESTACION :

* PROF. MEDIDA * INCLINACION * RUMBO * CUAD. CORRESPONDIENTE *
* (M) * (GRAD) * (GRAD) * *

ESTACION #

Se piden 4 datos separados por comas.

La profundidad medida es la profundidad de registro.

El cuadrante correspondiente, se refiere, según la tabla proporcionada, que a cada dirección del rumbo propuesto le corresponde el número ahí especificado; por ejemplo, sean la estaciones siguientes:

15° 15' NE a 300 mts. con 1° de inclinación
y 18° 30' NW a 330 mts. con 2° 15' de inclinación.

Estos datos deberán ser proporcionados de la siguiente forma:

Estación # 1

300.0, 1.0, 15.25, 1.0

Estación # 2

330.0, 2.25, 18.5, 2.0

Si el rumbo de alguna estación es cero, deberá proporcionarse el cuadrante

de la siguiente estación. Si se tienen las siguientes estaciones:

Estación 1: $0^{\circ} 0'$ a 300 mts. con 0° de inclinación.

Estación 2: $15^{\circ} 45'$ NE a 330 mts. con $1^{\circ} 30'$ de inclinación.

Los datos deberán ser proporcionados de la forma siguiente:

Estación # 1

300.0, 0.0, 0.0, 1.0

Estación # 2

330.0, 1.5, 15.75, 1.0

Si durante la introducción de los datos existe uno que es erróneo, se impr
mirá el siguiente mensaje:

ERROR EN LA ULTIMA ESTACION. REPITALA

El encabezado ESTACION # se repite hasta completar el número de estaciones
disponibles.

11.

DATOS

ESTACION #	PROFUNDIDAD	MEDIDA	INCLINACION	RUMBO
------------	-------------	--------	-------------	-------

CALCULO DE COORDENADAS CON :

DESEA MODIFICAR ALGUN DATO ? (SI,NO)

Si la pregunta es afirmativa, el programa realiza el pregunta 12.

Si es negativa, el programa realiza los cálculos necesarios y pasa al punto 13.

12.

DIRECTORIO DE DATOS :
1 METODO DE CALCULO A UTILIZAR
2 NUMERO DE ESTACIONES
3 ALGUNA(S) ESTACION(ES).

NUMERO DEL DATO A CORREGIR ?

Teclear el número correspondiente al número de datos a modificar.

Si el dato a corregir es el dos, se repiten las preguntas 9 y 10.

Una vez corregidos los datos, se imprime la pregunta 11.

13. Se imprimen los resultados del cálculo de coordenados rectangulares.

DESEA REGRESAR AL MENU DE CALCULO DE COORDENADAS
DE POZOS DIRECCIONALES ? (SI,NO)

Si la respuesta es afirmativa, el programa regresa a la pregunta 8.

Si la respuesta es negativa, la sesión de trabajo termina.

TABLA 6.1
HIDRAULICA EN GENERAL
CARACTERISTICAS DE LOS DATOS

VARIABLE	REAL	ENTERA	MENOR QUE	MAYOR QUE
Densidad del lodo	x		=3.5	0.0
Lectura FANN a 600 RPM	x		-	0.0
Lectura FANN a 300 RPM	x		-	0.0
Lectura FANN a 3 RPM	x		-	0.0
Gasto	x		-	0.0
Número de seccs. ints.		x	-	=1
Diámetro interior de la T.P. o de la herramienta	x		-	0.0
Longitud de la sección interior	x		-	0.0
Número de seccs. anulares		x	-	=1
Diámetro del agujero o T.R.	x		-	Diam. ext. de la T.P.
Diámetro exterior de la T.P. o de la herramienta	x		Diám. del agujero o T.R.	0.0
Caso de conexiones superf.		x	5	=1
Gasto 1 # Gasto 2	x		-	0.0
Presión 1 # Presión 2	x		-	0.0
Diámetro de los toberas		x	=32/32	=7/32
Gasto mínimo	x		=Qmax	0.0
Presión superficial máxima	x		-	0.0
Gasto máximo	x		-	Qmin

TABLA 6.2
CONTROL DE POZOS
CARACTERISTICAS DE LOS DATOS

VARIABLE	REAL	ENTERA	MENOR QUE	MAYOR QUE
Prof. vert. total del pozo	x		-	0.0
Número de seccs. ints.		x	-	=1
Diámetro int. de la T.P. o de la herramienta	x		-	0.0
Longitud de la sección interior	x		-	0.0
Número de seccs. anulares		x	-	=1
Diámetro de agujero o T.R.	x		-	Diám. ext. de la T.P.
Diámetro exterior de la T.P. o de la herramienta	x		Diám. del agujero o de la T.R.	0.0
Presión reducida de circulación	x		-	0.0
Emboladas reducidas de circulación	x		-	0.0
Desplazamiento de la bomba	x		-	0.0
Volumen de lodo original	x		-	0.0
Densidad del lodo original	x		-	0.0
Incremento de volumen en presas	x		-	0.0
Presión de cierre en T.P.	x		Presión de cierre en T.R.	0.0
Presión de cierre en T.R.	x		-	Presión de cierre en T.P.

TABLA 6.3
 PERFORACION DIRECCIONAL
 CARACTERISTICAS DE LOS DATOS

VARIABLE	REAL	ENTERA	MENOR QUE	MAYOR QUE
Prof. vert. al objetivo	x		-	0.0
Prof. de inicio de desviación	x		Prof. vert. al obj.	0.0
Despl. horiz. al objetivo	x		-	0.0
Número de estaciones		x	-	=2
Profundidad medida	x		-	Prof. medida en la est. anterior
Inclinación	x		=90.0	=0.0
Rumbo	x		=90.0	=0.0
Cuadrante correspondiente	x		=4.0	=1.0

6.2 Presentación de los Resultados.

En esta sección se describen los diferentes parámetros proporcionados en los resultados.

- Hidráulica en general.

a) Resultados de la determinación de los cálculos de presión en el sistema circulatorio.

La presentación en forma general es la siguiente, variando solo en lo que se refiere al letrero que indica el modelo reológico utilizado.

```
*****  
*   RESULTADOS DEL CALCULO DE LAS CAIDAS DE   *  
*   PRESION EN EL SISTEMA CIRCULATORIO       *  
*****
```

```
MODELO DE LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE CEDENCIA  
*****
```

CAIDA DE PRESION EN CONEXIONES SUPERFICIALES	=	. 3003 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION EN EL INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACION	=	15. 3724 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR	=	3. 8503 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION TOTAL (EXCLUYENDO A LA BARRENA)	=	19. 5231 (KG/CM2)
DENSIDAD EQUIVALENTE DE CIRCULACION	=	1. 43 (GR/CM3)

Se indica el valor del abatimiento de presión llevado a cabo en tres de -- las cuatro zonas indicadas en la figura 3.1, asimismo, se proporciona la - densidad equivalente a la presión ejercida en el fondo del pozo contra la

formación al estar circulando (densidad equivalente de circulación)

b) Resultados del cálculo para la optimización de la hidráulica.

La única diferencia que se puede presentar al realizar ejecuciones de esta opción, es el letrero que indica el criterio utilizado.

* RESULTADOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA *

CRITERIO DE MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA

GASTO OPTIMO	=	362.1000 (GPM)
CAIDA DE PRESION OPTIMA EN EL SISTEMA(EXCLUYENDO A LA BARRENA)	=	38.0319 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION OPTIMA EN LA BARRENA	=	191.5997 (KG/CM2)
POTENCIA SUPERFICIAL REQUERIDA	=	688.871 (HHP)
PORCENTAJE DE POTENCIA GASTADO EN LA BARRENA	=	83.4 (%)
AREA DE TOBERAS OPTIMA	=	.2300971 (PG2)
TOBERA # 1	=	10/32AVOS (PG)
TOBERA # 2	=	10/32AVOS (PG)
TOBERA # 3	=	10/32AVOS (PG)

Se indican el gasto óptimo que debe ser utilizado, así como las caídas de presión que el mismo produce en el sistema, indicando de cuanto es la presión correspondiente a la barrena y a las otras zonas de flujo. Se indica la potencia superficial requerida para lograr estas condiciones y el porcentaje de la potencia superficial entregado a la barrena. Finalmente se proporciona el área de toberas necesaria para lograr la caída de presión -

Óptima en la barrena y el juego de toberas a utilizar para alcanzar dicha área.

- Control de pozos.

Se porporcionan en los resultados correspondientes al control de pozos, los parámetros básicos necesarios para llevar a cabo el desarrollo de cualquiera de los métodos de control utilizados en el programade cómputo.

a) Resultados del cálculo para el control de pozos utilizando el método - del ingeniero.

Los resultados tienen la siguiente presentación.

```
*****  
*   RESULTADOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS PARA EL CONTROL   *  
*   DE UN BROTE Y DESCRIPCION DEL METODO A UTILIZAR.       *  
*****
```

DENSIDAD DEL FLUIDO DE CONTROL	=	1.24	(GR/CM3)	
PRESION DE FORMACION	=	1178.00	(KG/CM2)	
DENSIDAD DEL FLUIDO INVASOR	=	.410	(GR/CM3)	
ALTURA DEL FLUIDO INVASOR	=	506.03	(M)	
PESO DE BARITA REQUERIDO	=	3395.31	(KG)	68 SCS.]
PRESION INICIAL DE CIRCULACION	=	95.00	(KG/CM2)	
PRESION FINAL DE CIRCULACION	=	67.17	(KG/CM2)	

***** METODO DEL INGENIERO *****

ETAPA 1:

INICIE LA CIRCULACION CON 30.0 EMB/MIN UTILIZANDO -- LODO DE CONTROL DE 1.24 GR/CM3, LA PRESION EN T.P. AL INICIO DEL BOMBEO DEBERA SER IGUAL A 95.0 KG/CM2; ESTA PRESION DEBERA TENER UN VALOR DE 67.2 KG/CM2 UNA VEZ QUE SE HAYAN ACUMULADO 3188 EMB.; EMPLEE EL ESTRANGULADOR PARA PODER REPRODUCIR LA CEDULA DE BOMBEO Y TENER AL PRESION ANOTADA ANTERIORMENTE CON LAS EMBOLADAS CORRESPONDIENTES.

PARA COMPROBAR QUE LA T.P. SE ENCUENTRA LLENA DE LODO DE CONTROL, SUSPENDA LA CIRCULACION Y CIERRE EL POZO, LA PRESION EN LA T.P. DEBERA SER IGUAL A CERO, SI ESTO NO SE CUMPLE, CIRCULE HASTA QUE DICHA PRESION SEA CERO. CONTINUE CON LA SIGUIENTE ETAPA.

ETAPA 2:

REINICIE LA CIRCULACION CON 30.0 EMB/MIN MANTENIENDO LA PRESION EN LA T.P. CONSTANTE E IGUAL A 67.2 KG/CM2 DURANTE 10148 EMB(187735.1 LTS).

REALIZADO LO ANTERIOR, SUSPENDA LA CIRCULACION Y VERIFIQUE QUE NO EXISTE FLUJO. SI LO HAY, CONTINUE CIRCULANDO LODO DE CONTROL HASTA QUE AL COMPROBAR, YA NO SE PRESENTE NINGUN FLUJO.

 ***** CEDULA DE BOMBEO *****

EMBOLADAS	VOLUMEN BOMBEO (LTS.)	PRESION EN T.P. (KG/CM2)
-----------	--------------------------	-----------------------------

ETAPA 1:

0.00	0.00	95.00
286.35	5297.42	92.50
572.69	10594.85	90.00
859.04	15892.27	87.50
1145.39	21189.70	85.00
1431.74	26487.12	82.50
1718.08	31784.55	80.00
2004.43	37081.97	77.50
2290.78	42379.40	75.00
2577.13	47676.82	72.50
3188.00	58978.00	67.17

EL LODO DE CONTROL SE ENCUENTRA EN LA BARRENA

ETAPA 2:

13336.00	246703.19	67.17
----------	-----------	-------

EL LODO DE CONTROL SE ENCUENTRA EN LA SUPERFICIE

Como se indicó anteriormente, se despliegan los valores correspondientes a los parámetros básicos de control, los cuales se imprimen en un primer bloque. Posteriormente se imprime la descripción del método y finalmente la cédula de bombeo.

En la descripción del método, se explica la secuencia que debe seguirse para controlar el pozo, separando por etapas los puntos de mayor preponderancia en el desarrollo del método de control.

En la cédula de bombeo se refleja la descripción del método, solo que en términos de emboladas, volumen bombeado y presión en T.P., resultando éstos tres parámetros, los indicadores del desarrollo de cada etapa.

Tanto en el método del ingeniero como en el del perforador, la cédula de bombeo es presentada con valores acumulativos en las columnas de emboladas y volumen bombeado. Esto se debe a que se abarca desde que se inicia el bombeo de lodo (original o de control) hasta que el pozo está bajo control, indicándose al final de cada etapa la posición del lodo bombeado.

b) Resultados del cálculo para el control de pozos utilizando el método del perforador.

Dado que los métodos difieren entre sí por la forma que controlan el brote, la descripción de éstos será diferente y en consecuencia también lo será la cédula de bombeo.

Para el método del perforador, los resultados tendrán la siguiente presentación:

* RESULTADOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS PARA EL CONTROL *
* DE UN BROTE Y DESCRIPCION DEL METODO A UTILIZAR. *

DENSIDAD DEL FLUIDO DE CONTROL = 1.29 (GR/CM3)
PRESION DE FORMACION = 438.60 (KG/CM2)
DENSIDAD DEL FLUIDO INVASOR = .410 (GR/CM3)
ALTURA DEL FLUIDO INVASOR = 506.03 (M)
PESO DE BARITA REQUERIDO = 7769.38 (KG) [156 SCS.]
PRESION INICIAL DE CIRCULACION = 95.00 (KG/CM2)
PRESION FINAL DE CIRCULACION = 69.87 (KG/CM2)

***** METODO DEL PERFORADOR *****

ETAPA 1:

CIRCULE CON 30.0 EMB/MIN UTILIZANDO EL LODO ORIGINAL DE 1.20 GR/CM3 DURANTE 4773.00 EMB(88293.8 LTS); MEDIANTE EL USO DE ESTRANGULADORES, MANTENGA LA PRESION EN LA T. P. CONSTANTE E IGUAL A 95.0 KG/CM2.

PARE LA CIRCULACION Y CIERRE EL POZO, LA PRESION EN LA T. P. Y EN LA T. R. DEBEN DE SER IGUAL A 30.0 KG/CM2; SI ESTO SE CUMPLE EL FLUIDO INVASOR HA SIDO DESALOJADO, PROSIGA CON EL METODO. SI NO, REINICIE EL PROCEDIMIENTO DESCRITO ANTERIORMENTE.

ETAPA 2:

REINICIE LA CIRCULACION BOMBEANDO LODO DE CONTROL DE 1.29 GR/CM3 CON 30.0 EMB/MIN; AUXILIESE CON LA CEDULA DE -- BOMBEO PARA SABER CUANDO LA T. P. SE ENCUENTRE LLENA DE LODO DE CONTROL, PARA ESTE EFECTO SE DEBERAN ACUMULAR 1141 EMB.

ETAPA 3:

UNA VEZ QUE EL LODO DE CONTROL ALCANZO LA BARRENA, - LA PRESION EN LA T. P. DEBE SER MANTENIDA CONSTANTE E IGUAL A 69.9 KG/CM2 DURANTE 3632 EMB(67189.4 LTS). ESTE VOLUMEN ES EL NECESARIO PARA DESALOJAR EL LODO ORIGINAL DEL ESPACIO ANULAR SUSTITUYENDOLO POR LODO DE CONTROL.

SUSPENDA LA CIRCULACION Y COMPRUEBE QUE EL POZO NO FLUYE. SI ESTO NO SE CUMPLE, CONTINUE CIRCULANDO LODO DE CONTROL HASTA QUE LO ANOTADO ANTERIORMENTE SE CUMPLA.

configuración, esto es con el fin de que el personal encargado de realizar y decidir sobre la trayectoria a seguir, tenga una serie de opciones de -- las cuales pueda seleccionar la que más le convenga.

Para pozos tipo Slant, el cálculo comprende velocidades de incremento de - ángulo desde 1 grado/30 m hasta 5 grados/30 m, a intervalo de 0.5 grados/ 30 m, con lo anterior y para el conjunto de datos de un objetivo determina do, se obtienen 9 trayectorias posibles.

En los resultados de la planeación para configuraciones tipo Slant, se in- cluyen para cada trayectoria los siguientes parámetros: velocidad de in- cremento de ángulo, ángulo máximo permisible con la velocidad de incremen- to indicada, profundidad desarrollada o a perforar hasta alcanzar el obje- tivo, y al término del incremento de ángulo los valores que deben tener la profundidad vertical verdadera, la profundidad desarrollada y el despla- zamiento horizontal.

La presentación de pozos tipo Slant se proporciona a continuación.

 * RESULTADOS DE LA PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES. *

CONFIGURACION TIPO SLANT.

* INCREMENTO * DE ANGULO * (GRAD/30.0 M)	* ANGULO * * MAXIMO * * (GRAD) *	* AL TERMINAR EL INCREMENTO DE ANGULO * * PROF. VERT. * * VERDADERA * * (M) *	* PROF. DES. * * (M) *	* DESP. HOR. * * (M) *	* PROF. DES. * * AL OBJETIVO * * (M) *
1.0	35.37	1420.00	1486.13	317.27	2320.05
1.5	30.40	1004.83	1032.96	157.53	2302.67
2.0	28.82	839.25	857.25	106.43	2296.18

2.5	28.02	747.97	761.21	80.58	2292.73
3.0	27.53	689.86	700.33	64.89	2290.58
3.5	27.21	649.54	638.20	54.34	2289.11
4.0	26.97	619.91	627.29	46.74	2288.04
4.5	26.80	597.20	603.64	41.02	2287.23
5.0	26.66	579.24	584.95	36.54	2286.59

Para pozos tipo S, los resultados son hasta cierto punto diferentes, ya -- que el número de configuraciones obtenidas es variable. Para un conjunto de datos del objetivo, se fija una velocidad de incremento de ángulo y se varían las velocidades de decremento de ángulo, en ocasiones dadas las características del objetivo, ninguna trayectoria es obtenida, ésta es la razón por la cual hay combinaciones de velocidades de incremento y decremento de ángulo que no aparecen en los resultados.

Los resultados desplegados son los siguientes: velocidades de incremento y decremento de ángulo, ángulo máximo permisible con la combinación de velocidades anotada, profundidad vertical verdadera y desplazamiento horizontal tanto al terminar al incremento de ángulo como al iniciar el decremento del mismo y finalmente la profundidad desarrollada para alcanzar el objetivo.

Los incrementos de ángulo se varían desde 1 hasta 5 grados/30 m con incrementos de 0.5 grados/30 m, las velocidades de decremento son tomadas bajo el mismo criterio.

Los resultados para la planeación de pozos tipo S, tienen la siguiente for

ma:

CONFIGURACION TIPO S

* INC. DE	* ANG.	* AL TERM. EL	* INC. DE ANG.	* AL INIC. EL	* DEC. DE ANG.	* PROF. DES.	* PROF. DES.	* AL OBJ.
* ANGULO	* MAX.	* PROF.	* DESP.	* DEC. DE	* PROF.	* DESP.	* PROF.	* AL OBJ.
* (G/30.0 M)	* (GRAD)	* VERT.	* HOR.	* ANGULO	* VERT.	* HOR.	* (M)	* (M)
* (G/30.0 M)	* (GRAD)	* (M)	* (M)	* (G/30.0 M)	* (M)	* (M)	* (M)	* (M)
1.0	31.32	1393.4	250.4	1.0	1896.6	566.6	2968.0	
1.0	26.57	1268.9	181.6	1.5	2277.4	686.0	2956.2	
1.0	25.22	1232.5	163.9	2.0	2423.7	725.1	2951.9	
1.0	24.56	1214.3	155.5	2.5	2504.3	744.8	2949.5	
1.0	24.15	1203.3	150.5	3.0	2555.6	756.8	2948.1	
1.0	23.88	1195.9	147.2	3.5	2591.2	765.0	2947.1	
1.0	23.69	1190.6	144.8	4.0	2617.4	770.8	2946.4	
1.0	23.54	1186.6	143.1	4.5	2637.4	775.2	2945.8	
1.0	23.43	1183.4	141.7	5.0	2653.3	778.7	2945.4	
1.5	26.57	1012.6	121.0	1.0	2021.1	625.4	2956.2	
1.5	24.15	968.9	100.3	1.5	2321.1	706.7	2948.1	
1.5	23.26	952.6	93.2	2.0	2450.6	737.1	2944.7	
1.5	22.79	943.9	89.5	2.5	2523.6	753.3	2942.9	
1.5	22.50	938.6	87.2	3.0	2570.7	763.4	2941.7	
1.5	22.30	934.9	85.7	3.5	2603.6	770.3	2940.9	
1.5	22.16	932.2	84.6	4.0	2627.9	775.3	2940.3	
1.5	22.05	930.2	83.8	4.5	2646.6	779.1	2939.9	
1.5	21.97	928.6	83.2	5.0	2661.4	782.0	2939.5	
2.0	25.22	866.3	81.9	1.0	2057.5	643.1	2951.9	
2.0	23.26	839.4	69.9	1.5	2337.4	713.8	2944.7	
2.0	22.50	828.9	65.4	2.0	2461.1	741.6	2941.7	
2.0	22.09	823.3	63.1	2.5	2531.4	756.5	2940.0	
2.0	21.84	819.7	61.7	3.0	2576.9	765.9	2939.0	
2.0	21.66	817.3	60.7	3.5	2608.7	772.3	2938.2	
2.0	21.54	815.5	60.0	4.0	2632.2	777.0	2937.7	
2.0	21.44	814.1	59.5	4.5	2650.4	780.6	2937.3	
2.0	21.36	813.1	59.1	5.0	2664.8	783.4	2936.9	
2.5	24.56	785.7	62.2	1.0	2075.7	651.5	2949.5	
2.5	22.79	766.4	53.7	1.5	2346.1	717.5	2942.9	
2.5	22.09	758.6	50.5	2.0	2466.7	743.9	2940.0	
2.5	21.72	754.4	48.8	2.5	2535.6	758.2	2938.5	
2.5	21.48	751.7	47.7	3.0	2580.2	767.2	2937.4	
2.5	21.32	749.9	47.0	3.5	2611.5	773.4	2936.7	
2.5	21.20	748.6	46.5	4.0	2634.6	777.9	2936.2	
2.5	21.11	747.6	46.1	4.5	2652.5	781.4	2935.9	
2.5	21.03	746.8	45.8	5.0	2666.6	784.1	2935.6	

3.0	24.15	734.4	50.2	1.0	2086.7	656.5	2948.1
3.0	22.50	719.3	48.6	1.5	2351.4	719.3	2941.7
3.0	21.84	713.1	41.1	2.0	2470.3	745.3	2939.0
3.0	21.48	709.8	39.8	2.5	2538.3	759.3	2937.4
3.0	21.25	707.7	39.0	3.0	2582.3	768.0	2936.5
3.0	21.10	706.2	38.4	3.5	2613.2	774.1	2935.8
3.0	20.98	705.2	38.0	4.0	2636.1	778.5	2935.3
3.0	20.89	704.3	37.7	4.5	2653.8	781.9	2934.9
3.0	20.83	703.7	37.4	5.0	2667.8	784.5	2934.6
3.5	23.88	698.8	42.0	1.0	2094.1	659.8	2947.1
3.5	22.30	686.4	36.7	1.5	2355.1	721.3	2940.0
3.5	21.56	681.0	34.7	2.0	2472.7	746.3	2938.2
3.5	21.32	678.5	33.6	2.5	2540.1	760.0	2936.7
3.5	21.10	676.8	32.9	3.0	2583.8	768.6	2935.8
3.5	20.94	675.5	32.4	3.5	2614.5	774.6	2935.1
3.5	20.83	674.7	32.1	4.0	2637.2	778.9	2934.6
3.5	20.75	674.0	31.9	4.5	2654.7	782.2	2934.2
3.5	20.68	673.5	31.7	5.0	2668.6	784.8	2933.9
4.0	23.69	672.6	36.2	1.0	2099.4	662.2	2946.4
4.0	22.16	662.7	31.7	1.5	2357.8	722.4	2940.3
4.0	21.54	657.3	30.0	2.0	2474.5	747.0	2937.7
4.0	21.20	650.4	29.1	2.5	2541.4	760.5	2936.2
4.0	20.96	653.9	28.5	3.0	2584.8	769.0	2935.3
4.0	20.83	652.3	28.1	3.5	2615.3	774.9	2934.6
4.0	20.78	651.1	27.8	4.0	2637.9	779.2	2934.1
4.0	20.64	651.5	27.6	4.5	2655.3	782.5	2933.8
4.0	20.59	651.0	27.4	5.0	2669.2	785.1	2933.5
4.5	23.54	652.6	31.8	1.0	2103.4	663.9	2945.8
4.5	22.05	643.4	27.9	1.5	2359.8	723.2	2939.9
4.5	21.44	639.6	26.4	2.0	2475.9	747.5	2937.3
4.5	21.11	637.5	25.6	2.5	2542.4	760.9	2935.8
4.5	20.89	635.1	25.1	3.0	2585.7	769.3	2934.9
4.5	20.75	633.3	24.8	3.5	2616.0	775.1	2934.2
4.5	20.64	634.7	24.5	4.0	2638.5	779.4	2933.8
4.5	20.56	634.2	24.3	4.5	2655.8	782.7	2933.4
4.5	20.50	633.7	24.2	5.0	2669.6	785.2	2933.1
5.0	23.43	636.7	28.3	1.0	2106.6	665.3	2945.4
5.0	21.97	628.6	25.0	1.5	2361.4	723.8	2939.5
5.0	21.36	625.2	23.6	2.0	2476.9	747.9	2936.9
5.0	21.03	623.4	22.9	2.5	2543.2	761.2	2935.5
5.0	20.83	622.2	22.5	3.0	2586.3	769.6	2934.6
5.0	20.68	621.4	22.2	3.5	2616.5	775.3	2933.9
5.0	20.58	620.8	21.9	4.0	2639.0	779.6	2933.5
5.0	20.50	620.4	21.8	4.5	2656.3	782.8	2933.1
5.0	20.43	620.0	21.6	5.0	2670.0	785.4	2932.8

b) Resultados del cálculo de coordenadas rectangulares.

La presentación de resultados desplegados para un método y otro, varían solamente en el letrero indicador del método de cálculo utilizado.

La impresión de resultados se lleva a cabo de la forma mostrada a continuación.

```
*****
* RESULTADOS DEL CALCULO DE COORDENADAS RECTANGULARES *
* PARA POZOS DIRECCIONALES. *
*****
```

METODO DEL RADIO DE CURVATURA

PROF. MED. (M)	INCLI. (GRAD)	RUMBO (GRAD)	PROF. VERT. VERDADERA (M)	COORD. RECTS.		PATA DE PERRO (GRAD/30.0 M)
				D-NS (M)	D-EW (M)	
300.00	0.00	0.00 SN	300.00	0.00 S	0.00 W	0.00
320.00	2.00	39.00 SW	320.00	.27 S	.22 W	3.00
349.00	1.00	44.00 NW	348.92	.30 S	.89 W	1.04

```
*****
* ***** *
* EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A LA PROFUNDIDAD DE *
* ***** *
* 349.0 METROS ES .74 METROS RUMBO S 71- 21 W *
* ***** *
*****
```

Las tres primeras columnas (de izquierda a derecha) corresponden a los datos, la cuarta a la profundidad vertical verdadera de la estación de registro, la quinta y sexta a los desplazamientos E-O y N-S del punto bajo estudio y la última a la severidad presente en el mismo.

Al finalizar las estaciones registradas, se proporcionan los datos del cierrre del pozo.

VII EJEMPLOS DE APLICACION

Ejemplo # 1

Determinación de las caídas de presión utilizando el modelo de Ley de Potencias Con Punto de Cedencia.

Datos:

$$\rho_L = 1.43 \text{ gr/cm}^3$$

$$\theta_{600} = 105.0$$

$$\theta_{300} = 60.0$$

$$\theta_0 = 10.0$$

$$Q = 250 \text{ gpm}$$

200 mts. de D.C. con 7.0 pg. D.E. y 3.0 pg. D.I.

1000 mts. de T.P. con 5.0 pg. D.E. y 4.276 pg. D.I.

T.R. asentada a 1000 mts. con 9.85 pg. D.I.

Agujero descubierto a 1200 mts. con barrena de

9.5 pg. de diámetro

Conexiones superficiales: caso 4

*
*
* HIDRAULICA EN GENERAL *
*
* LRMS *
*

OPCIONES DE CALCULO

- 1 CAIDAS DE PRESION EN EL SISTEMA CIRCULATORIO
- 2 OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA

CUAL ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ?

1

MODELOS REOLOGICOS CONSIDERADOS EN EL CALCULO DE LAS CAIDAS DE PRESION

- 1 PLASTICO DE BINGHAM
- 2 LEY DE POTENCIAS
- 3 LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE CEDENCIA

QUE MODELO DESEA UTILIZAR ? (1,2,3)

3

* DATOS DEL FLUIDO *

DENSIDAD DEL LODO (GR/CM3) ?

1.43

LECTURA FANN @ 600 RPM (LB/100PIES2) ?

105.0

LECTURA FANN @ 300 RPM (LB/100PIES2) ?

60.0

LECTURA FANN @ 3 RPM (LB/100PIES2) ?

10.0

GASTO (GAL/MIN) ?

250.0

NUMERO DE SECCIONES INTERIORES ?

```
*          SECCION INTERIOR # 1          *
* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *
* T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
*          (PG)          *          (M)          *
3. 0, 12  200. 0
```

```
*          SECCION INTERIOR # 2          *
* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *
* T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
*          (PG)          *          (M)          *
4. 276, 1000. 0
```

NUMERO DE SECCIONES ANULARES ?

2

```
*          SECCION ANULAR # 1          *
* DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR * LONGITUD *
* O DEL INTERIOR DE - * DE LA T. P. O DE - * DE LA *
*          LA T. R.          * LA HERRAMIENTA * SECCION *
*          (PG)          *          (PG)          *          (M)          *
9. 5, 7. 0, 200. 0
```

```
*          SECCION ANULAR # 2          *
* DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR * LONGITUD *
* O DEL INTERIOR DE - * DE LA T. P. O DE - * DE LA *
*          LA T. R.          * LA HERRAMIENTA * SECCION *
*          (PG)          *          (PG)          *          (M)          *
9. 85, 5. 0, 1000. 0
```

CONEXIONES SUPERFICIALES

* C A S O 1 * C A S O 2 * C A S O 3 * C A S O 4 *									
COMPONENTES DE CONEXIO. SUPERFICIA.	* DIAM.		* DIAM.		* DIAM.		* DIAM.		*
	* INT.	LON.	* INT.	LON.	* INT.	LON.	* INT.	LON.	
	* (PG)	(M)	* (PG)	(M)	* (PG)	(M)	* (PG)	(M)	*
STANDPIPE	* 3	12. 2	* 3 1/2	12. 2	* 4	13. 7	* 4	13. 7	*
MANGUERA	* 2	13. 7	* 2 1/2	16. 8	* 3	16. 8	* 3	16. 8	*
SWIVEL Y	*		*		*		*		*
CUELLO DE	*		*		*		*		*
GANSO	* 2	1. 2	* 2 1/2	1. 5	* 2 1/2	1. 5	* 3	1. 8	*
KELLY	* 2 1/4	12. 2	* 3 1/4	12. 2	* 3 1/4	12. 2	* 4	12. 2	*

CUAL ES EL CASO DE SUS CONEXIONES SUPERFICIALES ?

4

DATOS PARA EL CALCULO DE LAS CAIDAS DE PRESION

DENSIDAD DEL LODO = 1.43 (GR/CM3)
 LECTURA FANN @ 600 RPM = 105.000 (LB/100PIES2)
 LECTURA FANN @ 300 RPM = 60.000 (LB/100PIES2)
 LECTURA FANN @ 3 RPM = 10.000 (LB/100PIES2)
 GASTO = 250.000 (GPM)

SECCIONES INTERIORES			
* SECCION *	* DIAMETRO INTERIOR DE LA *	* LONGITUD DE *	* T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
* # *	* (PG) *	* (M) *	* *
1	3.0000	200.000	
2	4.2760	1000.000	

SECCIONES ANULARES				
* SECCION *	* DIAMETRO DEL AGUJERO *	* DIAMETRO EXTERIOR *	* LONGITUD *	* O DEL INTERIOR DE - * DE LA T. P. O DE - * DE LA *
* # *	* LA T. R. *	* LA HERRAMIENTA *	* SECCION *	* LA T. R. * LA HERRAMIENTA * SECCION *
* *	* (PG) *	* (PG) *	* (M) *	* *
1	7.5000	7.0000	200.000	
2	9.8500	5.0000	1000.000	

CONEXIONES SUPERFICIALES : CASO 4

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)
 NO

* RESULTADOS DEL CALCULO DE LAS CAIDAS DE *
* PRESION EN EL SISTEMA CIRCULATORIO *

MODELO DE LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE CEDENCIA

CAIDA DE PRESION EN CONEXIONES SUPERFICIALES	=	3.003 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION EN EL INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACION	=	15.3724 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR	=	3.8503 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION TOTAL (EXCLUYENDO A LA BARRENA)	=	19.5231 (KG/CM2)
DENSIDAD EQUIVALENTE DE CIRCULACION	=	1.43 (GR/CM3)

DESEA REGRESAR AL MENU DE HIDRAULICA ?
NO

B.

Ejemplo # 2

Cálculo de la optimización de la hidráulica, determinando las caídas de presión con el modelo de Ley de Potencias Con Punto de Cadencia.

Datos:

$$\rho_L = 1.43 \text{ gr/cm}^3$$

$$\theta_{600} = 105.0$$

$$\theta_{300} = 60.0$$

$$\theta_0 = 10.0$$

$$Q = 250.0 \text{ gpm}$$

200 mts. de D.C. con 7.0 pg D.E. y 3.0 pg D.I.

1000 mts. de T.P. con 5.0 pg D.E. y 4.276 pg D.I.

T.R. asentada a 1000 mts. con 9.85 pg. D.I.

Agujero descubierto a 1200 mts. con barrena de

9.5 de diámetro y 3 toberas de 13/32 c/u

Conexiones superficiales: caso 4

$$Q \text{ máximo} = 362.1 \text{ gpm}$$

$$P \text{ sup máxima} = 250 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Q \text{ mínimo} = 92.2 \text{ gpm}$$

Criterio de optimización: máxima potencia hidráulica


```

*****
*
*
*           HIDRAULICA EN GENERAL
*
*                   LRMS
*
*****

```

OPCIONES DE CALCULO

- 1 CAIDAS DE PRESION EN EL SISTEMA CIRCULATORIO
- 2 OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA

CUAL ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ?

2

CRITERIOS DE OPTIMIZACION

- 1 MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA
- 2 MAXIMO IMPACTO HIDRAULICO
- 3 MAXIMA VELOCIDAD EN LAS TOBERAS

CUAL ES EL CRITERIO QUE DESEA EMPLEAR ?

1

TIENE DATOS MEDIDOS EN EL CAMPO (2 GASTOS A SU CORRESPONDIENTES PRESIONES SUPERFICIALES) ? (SI,NO)

NO

MODELOS REOLOGICOS CONSIDERADOS EN EL CALCULO DE LAS CAIDAS DE PRESION

- 1 PLASTICO DE BINGHAM
- 2 LEY DE POTENCIAS
- 3 LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE CEDENCIA

QUE MODELO DESEA UTILIZAR ? (1,2,3)

3

* DATOS DEL FLUIDO *

DENSIDAD DEL LODO (GR/CM3) ?

1.43

105.0

LECTURA FANN @ 300 RPM (LB/100PIES2) ?
60.0

LECTURA FANN @ 3 RPM (LB/100PIES2) ?
10.0

GASTO (GAL/MIN) ?
250.0

* DATOS DE LA GEOMETRIA DEL POZO *

NUMERO DE SECCIONES INTERIORES ?

2

* SECCION INTERIOR # 1 *
* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *
* T.P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
* (PG) * (M) *

3.0, 200.0

* SECCION INTERIOR # 2 *
* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *
* T.P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
* (PG) * (M) *

4.276, 1000.0

NUMERO DE SECCIONES ANULARES ?

2

* SECCION ANULAR # 1 *
* DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR * LONGITUD *
* O DEL INTERIOR DE - * DE LA T.P. O DE - * DE LA *
* LA T.R. * LA HERRAMIENTA * SECCION *
* (PG) * (PG) * (M) *

9.5, 7.0, 200.0

* SECCION ANULAR # 2 *
* DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR * LONGITUD *
* O DEL INTERIOR DE - * DE LA T.P. O DE - * DE LA *
* LA T.R. * LA HERRAMIENTA * SECCION *
* (PG) * (PG) * (M) *

9.85, 5.0, 1000.0

CONEXIONES SUPERFICIALES

* C A S O 1 * C A S O 2 * C A S O 3 * C A S O 4 *

=====

COMPONENTES	* DIAM.	* DIAM.	* DIAM.	* DIAM.
DE CONEXIO	* INT	* INT	* INT	* INT
	CON	CON	CON	CON

=====

SUPERFICIA.	* (PG)	(M)	* (PG)	(M)	* (PG)	(M)	* (PG)	(M)	*
STANDPIPE	* 3	12.2	* 3 1/2	12.2	* 4	13.7	* 4	13.7	*
MANGUERA	* 2	13.7	* 2 1/2	16.8	* 3	16.8	* 3	16.8	*
SWIVEL Y	*		*		*		*		*
CUELLO DE	*		*		*		*		*
GANSO	* 2	1.2	* 2 1/2	1.5	* 2 1/2	1.5	* 3	1.8	*
KELLY	* 2 1/4	12.2	* 3 1/4	12.2	* 3 1/4	12.2	* 4	12.2	*

CUAL ES EL CASO DE SUS CONEXIONES SUPERFICIALES ?

DATOS PARA EL CALCULO DE LAS CAIDAS DE PRESION

DENSIDAD DEL LODO = 1.43 (GR/CM3)
 LECTURA FANN @ 600 RPM = 105.000 (LB/100PIES2)
 LECTURA FANN @ 300 RPM = 60.000 (LB/100PIES2)
 LECTURA FANN @ 3 RPM = 10.000 (LB/100PIES2)
 GASTO = 250.000 (GPM)

* SECCIONES INTERIORES *

* SECCION *	* DIAMETRO INTERIOR DE LA T.P. O DE LA HERRAMIENTA (PG) *	* LONGITUD DE LA SECCION (M) *
1	3.0000	200.000
2	4.2760	1000.000

* SECCIONES ANULARES *

* SECCION *	* DIAMETRO DEL AGUJERO O DEL INTERIOR DE LA T.R. (PG) *	* DIAMETRO EXTERIOR DE LA T.P. O DE LA HERRAMIENTA (PG) *	* LONGITUD DE LA SECCION (M) *
1	9.5000	7.0000	200.000
2	9.8500	5.0000	1000.000

CONEXIONES SUPERFICIALES : CASO 4

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)

NO

DATOS DE LA BARRENA

* DIAMETRO * DIAMETRO * DIAMETRO *
* TOBERA 1 * TOBERA 2 * TOBERA 3 *
* (32AVOS PG) * (32AVOS PG) * (32AVOS PG) *
13, 13, 13

GASTO MINIMO (GPM) ?

92. 2

DATOS DE LA BOMBA

* PRESION SUPERFICIAL * GASTO *
* MAXIMA * MAXIMO *
* (KG/CM2) * (GPM) *
250. 0, 362. 1

DATOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA

```
*          DATOS DE LA BARRENA          *
*  DIAMETRO  *  DIAMETRO  *  DIAMETRO  *
*  TOBERA 1  *  TOBERA 2  *  TOBERA 3  *
* (32AVOS PG) * (32AVOS PG) * (32AVOS PG) *
*
*          13          13          13
```

```
*          DATOS DE LA BOMBA          *
*  PRESION SUPERFICIAL * GASTO *
*          MAXIMA      * MAXIMO *
* (KG/CM2)             * (GPM) *
*
*          250.0000      362.1000
```

GASTO MINIMO = 92.2000 (GPM)

CRITERIO DE OPTIMIZACION : MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)

NO

* RESULTADOS DEL CALCULO DE LAS CAIDAS DE *
* PRESION EN EL SISTEMA CIRCULATORIO *

MODELO DE LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE CEDENCIA

CAIDA DE PRESION EN CONEXIONES SUPERFICIALES	=	. 3003 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION EN EL INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACION	=	15. 3724 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR	=	3. 8503 (KG/CM2)
CAIDA DE PRESION TOTAL(EXCLUYENDO A LA BARRENA)	=	19. 5231 (KG/CM2)
DENSIDAD EQUIVALENTE DE CIRCULACION	=	1. 43 (GR/CM3)

* RESULTADOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA *

CRITERIO DE MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA

GASTO OPTIMO	=	362.1000 (GPM)
CAIDA DE PRESION OPTIMA EN EL SISTEMA(EXCLUYENDO A LA BARRENA)	=	38.0318 (KG/CM)
CAIDA DE PRESION OPTIMA EN LA BARRENA	=	191.5997 (KG/CM)
POTENCIA SUPERFICIAL REQUERIDA	=	688.870 (HHP)
PORCENTAJE DE POTENCIA GASTADO EN LA BARRENA	=	83.4 (%)
AREA DE TOBERAS OPTIMA	=	.2300971 (PG2)
TOBERA # 1	=	10/32AVOS (PG)
TOBERA # 2	=	10/32AVOS (PG)
TOBERA # 3	=	10/32AVOS (PG)

DESEA REGRESAR AL MENU DE HIDRAULICA ?
NO

B

Ejemplo # 3

Cálculo de la optimización de la hidráulica, determinando las caídas de presión con el método de campo.

Datos:

$$Q_1 = 330.5 \text{ gpm}$$

$$Ps_1 = 204.2 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Q_2 = 165.25 \text{ gpm}$$

$$Ps_2 = 55.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_L = 1.97 \text{ gr/cm}^3$$

Barrera con 3 toberas de 14/32 de pg.

$$Q \text{ mínimo} = 178.0 \text{ gpm}$$

$$Q \text{ máximo} = 518.0 \text{ gpm}$$

$$P \text{ sup máxima} = 279.0 \text{ Kg/cm}^2$$

Criterio de optimización: máxima potencia hidráulica.


```

*****
*
*
*           HIDRAULICA EN GENERAL
*
*                               LRMS
*
*
*****

```

OPCIONES DE CALCULO

- 1 CAIDAS DE PRESION EN EL SISTEMA CIRCULATORIO
- 2 OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA

CUAL ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ?

2

CRITERIOS DE OPTIMIZACION

- 1 MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA
- 2 MAXIMO IMPACTO HIDRAULICO
- 3 MAXIMA VELOCIDAD EN LAS TOBERAS

CUAL ES EL CRITERIO QUE DESEA EMPLEAR ?

1

TIENE DATOS MEDIDOS EN EL CAMPO (2 GASTOS A SU CORRESPONDIENTES PRESIONES SUPERFICIALES) ? (SI, NO)

SI

PROPORCIONE LOS DOS PARES DE DATOS

* GASTO 1 * PRESION SUPERFICIAL 1 *
 * (GAL) * (KG/CM2) *
 330. 5, 204. 2

* GASTO 2 * PRESION SUPERFICIAL 2 *
 * (GAL) * (KG/CM2) *
 165. 25, 55. 7

DENSIDAD DEL LODO ? (GR/CM3)

1. 97

* DATOS DE LA BARRENA *
 * DIAMETRO * DIAMETRO * DIAMETRO *

* TOBERA 1 * TOBERA 2 * TOBERA 3 *
* (32AVOS PG) * (32AVOS PG) * (32AVOS PG) *
14, 14, 14

GASTO MINIMO (GPM) ?
178. 0

* DATOS DE LA BOMBA *
* PRESION SUPERFICIAL * GASTO *
* MAXIMA * MAXIMO *
* (KG/CM2) * (GPM) *
279. 0, 518. 0

DATOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA

*****>

```
*          DATOS DE LA BARRENA          *
*   DIAMETRO *   DIAMETRO *   DIAMETRO *
*   TOBERA 1 *   TOBERA 2 *   TOBERA 3 *
* (32AVOS PG) * (32AVOS PG) * (32AVOS PG) *
*
*          14          14          14
```

```
*          DATOS DE LA BOMBA          *
*   PRESION SUPERFICIAL * GASTO *
*   MAXIMA             * MAXIMO *
*   (KG/CM2)           * (GPM) *
*
*          279.0000          518.0000
```

GASTO MINIMO = 178.0000 (GPM)

```
*          DATOS DE CAMPO          *
*   DATO * GASTO * PRESION SUPERFICIAL *
*   # * (GPM) * (KG/CM2) *
*   1 330.5000 204.2000
*   2 165.2500 55.7000
```

DENSIDAD DEL LODO = 1.97 (GR/CM3)

CRITERIO DE OPTIMIZACION : MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)
NO

* RESULTADOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA *

CRITERIO DE MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA

GASTO OPTIMO	=	265.7599 (GPM)
CAIDA DE PRESION OPTIMA EN EL SISTEMA(EXCLUYENDO A LA BARRENA)	=	98.6540 (KG/CM ²)
CAIDA DE PRESION OPTIMA EN LA BARRENA	=	162.0603 (KG/CM ²)
POTENCIA SUPERFICIAL REQUERIDA	=	574.026 (HP)
PORCENTAJE DE POTENCIA GASTADO EN LA BARRENA	=	62.2 (%)
AREA DE TOBERAS OPTIMA	=	.2155243 (PG2)
TOBERA # 1	=	10/32AVOS (PG)
TOBERA # 2	=	10/32AVOS (PG)
TOBERA # 3	=	9/32AVOS (PG)

DESEA REGRESAR AL MENU DE HIDRAULICA ?
NO

Ejemplo # 4

Determinación de los parámetros básicos para controlar un brote y descripción de la secuencia a seguir utilizando el método del ingeniero.

Datos:

Profundidad total del pozo = 3400 mts.

$\rho_L = 1.2 \text{ gr/cm}^3$

Volumen de lodo de $1.2 \text{ gr/cm}^3 = 60 \text{ m}^3$

Incremento de volumen en presas = 10 m^3

Presión reducida de circulación = 65 Kg/cm^2

Emboladas reducidas de circulación = 30

Desplazamiento de la bomba = 18.5 lts/emb

Presión de cierre en T.P. = 30 Kg/cm^2

Presión de cierre en T.R. = 70 Kg/cm^2

200 mts. de D.C. de 7.25 pg D.E. y 3.5 pg D.I.

3200 mts. de T.P. de 5.0 pg D.E. y 4.276 pg D.I.

T.R. asentada a 2500 mts con 9.85 pg D.I.

Agujero descubierto a 3400 mts. con barrena de

9.5 pg. de diámetro.


```

*****
*
*
*          CONTROL DE POZOS
*
*
*
*
*
*
*****

```

METODOS UTILIZADOS

- 1 METODO DEL INGENIERO (UNA CIRCULACION)
- 2 METODO DEL PERFORADOR (DOS CIRCULACIONES)

METODO A UTILIZAR ?

1

PROFUNDIDAD VERTICAL TOTAL DEL POZO (M) ?
3400.0

NUMERO DE SECCIONES INTERIORES ? ,
2

```

*          SECCION INTERIOR # 1          *
* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *
* T.P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
*          (PG)              *      (M)      *
3.5,200.0

```

```

*          SECCION INTERIOR # 2          *
* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *
* T.P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *
*          (PG)              *      (M)      *
4.276,3200.0

```

NUMERO DE SECCIONES ANULARES ?
3

```

*          SECCION ANULAR # 1          *
* DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR * LONGITUD *
* O DEL INTERIOR DE - * DE LA T.P. O DE - * DE LA *

```

*	LA T.R.	*	LA HERRAMIENTA	+	SECCION	*
*	(PG)	*	(PG)	*	(M)	*

9. 5, 7, 25, 200. 0

*	SECCION ANULAR # 2					*
*	DIAMETRO DEL AGUJERO	*	DIAMETRO EXTERIOR	*	LONGITUD	*
*	O DEL INTERIOR DE	-	* DE LA T. P. O DE	-	* DE LA	*
*	LA T. R.	*	LA HERRAMIENTA	*	SECCION	*
*	(PG)	*	(PG)	*	(M)	*

9. 5, 5, 0, 700. 0

*	SECCION ANULAR # 3					*
*	DIAMETRO DEL AGUJERO	*	DIAMETRO EXTERIOR	*	LONGITUD	*
*	O DEL INTERIOR DE	-	* DE LA T. P. O DE	-	* DE LA	*
*	LA T. R.	*	LA HERRAMIENTA	*	SECCION	*
*	(PG)	*	(PG)	*	(M)	*

9. 85, 5, 0, 2500. 0

FRESION REDUCIDA DE CIRCULACION (KG/CM2) ?
65. 0

EMBOCADAS REDUCIDAS DE CIRCULACION ?
30. 0

DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA (LTS/E) ?
18. 5

VOLUMEN DE LODO ORIGINAL (M3) ?
60. 0

DENSIDAD DEL LODO ORIGINAL (GR/CM3) ?
1. 2

INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS (M3) ?
10. 0

PRESION DE CIERRE EN T. P. (KG/CM2) ?
30. 0

PRESION DE CIERRE EN T. R. (KG/CM2) ?
70. 0

DATOS

PROFUNDIDAD VERTICAL TOTAL DEL POZO = 3400.000 (M)
 PRESION REDUCIDA DE CIRCULACION = 65.000 (KG/CM2)
 EMBOLADAS REDUCIDAS DE CIRCULACION = 30.0
 DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA = 18.500 (LTS/E)
 VOLUMEN DE LODO ORIGINAL = 60.000 (M3)
 DENSIDAD DE LODO ORIGINAL = 1.20 (GR/CM3)
 INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS = 10.000 (M3)
 PRESION DE CIERRE EN T. P. = 30.000 (KG/CM2)
 PRESION DE CIERRE EN T. R. = 70.000 (KG/CM2)

SECCIONES INTERIORES

* SECCION *	* DIAMETRO INTERIOR DE LA * * # * T. P. O DE LA HERRAMIENTA * * * * (PG) *	* LONGITUD DE * * LA SECCION * * (M) *
1	3.5000	200.000
2	4.2760	3200.000

SECCIONES ANULARES

* SECCION *	* DIAMETRO DEL AGUJERO * * # * O DEL INTERIOR DE * * * LA T. R. *	* DIAMETRO EXTERIOR * * DE LA T. P. O DE - * * LA HERRAMIENTA *	* LONGITUD * * DE LA * * SECCION * * (M) *
1	9.5000	7.2500	200.000
2	9.5000	5.0000	700.000
3	9.8500	5.0000	2500.000

METODO DE CONTROL : DEL INGENIERO.

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)

NO

NOTA :

- LA DENSIDAD DE LA BARITA UTILIZADA PARA DENSIFICAR ES DE 4.23 GR/CM3
- EL PESO DE UN SACO DE BARITA ES DE 50 KGS.

 * RESULTADOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS PARA EL CONTROL *
 * DE UN BROTE Y DESCRIPCION DEL METODO A UTILIZAR. *

DENSIDAD DEL FLUIDO DE CONTROL = 1.29 (GR/CM3)
 PRESION DE FORMACION = 438.60 (KG/CM2)
 DENSIDAD DEL FLUIDO INVASOR = .166 (GR/CM3)
 ALTURA DEL FLUIDO INVASOR = 386.94 (M)
 PESO DE BARITA REQUERIDO = 7769.38 (KG) [156 SCS.]
 PRESION INICIAL DE CIRCULACION = 95.00 (KG/CM2)
 PRESION FINAL DE CIRCULACION = 69.87 (KG/CM2)

***** METODO DEL INGENIERO *****

ETAPA 1:

INICIE LA CIRCULACION CON 30.0 EMB/MIN UTILIZANDO --
 LODO DE CONTROL DE 1.29 GR/CM3. LA PRESION EN T.P. AL INICIO
 DEL BOMBEO DEBERA SER IGUAL A 95.0 KG/CM2; ESTA PRESION DE-
 BERA TENER UN VALOR DE 69.9 KG/CM2 UNA VEZ QUE SE HAYAN ACU-
 MULADO 1670 EMB. EMPLEE EL ESTRANGULADOR PARA PODER REPRO-
 DUCIR LA CEDULA DE BOMBEO Y TENER AL PRESION ANOTADA ANTERIOR-
 MENTE CON LAS EMBOLADAS CORRESPONDIENTES.

PARA COMPROBAR QUE LA T.P. SE ENCUENTRA LLENA DE LODO
 DE CONTROL, SUSPENDA LA CIRCULACION Y CIERRE EL POZO. LA PRE-
 SION EN LA T.P. DEBERA SER IGUAL A CERO; SI ESTO NO SE CUMPLE,
 CIRCULE HASTA QUE DICHA PRESION SEA CERO. CONTINUE CON LA SI-
 GUIENTE ETAPA.

ETAPA 2:

REINICIE LA CIRCULACION CON 30.0 EMB/MIN MANTENIENDO --
 LA PRESION EN LA T.P. CONSTANTE E IGUAL A 69.9 KG/CM2 DURANTE
 6390 EMB(118199.0 LTS).

REALIZADO LO ANTERIOR, SUSPENDA LA CIRCULACION Y VERI-
 FIGUE QUE NO EXISTE FLUJO. SI LO HAY, CONTINUE CIRCULANDO LODO
 DE CONTROL HASTA QUE AL COMPROBAR, YA NO SE PRESENTE
 NINGUN FLUJO.

 **** CEDULA DE BOMBEO ****

EMBOBADAS	VOLUMEN BOMBEO (LTS.)	PRESION EN T.P. (KG/CM2)
0.00	0.00	95.00
166.17	3074.13	92.50
332.34	6148.26	90.00
498.51	9222.38	87.50
664.68	12296.51	85.00
830.85	15370.64	82.50

ETAPA 1:

997.01	18444.77	80.00
1163.18	21518.90	77.50
1329.35	24593.03	75.00
1670.00	30895.00	69.87

EL LODO DE CONTROL SE ENCUENTRA EN LA BARRENA

ETAPA 2:

3060.00	149037.58	69.87
---------	-----------	-------

EL LODO DE CONTROL SE ENCUENTRA EN LA SUPERFICIE

DESEA REGRESAR AL MENU DE CONTROL DE POZOS ? (SI,NO)

NO

B.

Ejemplo # 5

Determinación de los parámetros básicos para controlar un brote y descripción de la secuencia a seguir utilizando el método del perforador.

Datos:

Profundidad total del pozo = 3400 mts.

$\rho_L = 1.2 \text{ gr/cm}^3$

Volumen de lodo de $1.2 \text{ gr/cm}^3 = 60 \text{ m}^3$

Incremento de volumen en presas = 10 m^3

Presión reducida de circulación = 65 Kg/cm^2

Emboladas reducidas de circulación = 30

Desplazamiento de la bomba = 18.5 lts/emb

Presión de cierre en T.P. = 30 Kg/cm^2

Presión de cierre en T.R. = 70 Kg/cm^2

200 mts. de D.C. de 7.25 pg. D.E. y 3.5 pg. D.I.

3200 mts. de T.P. de 5.0 pg. D.E. y 4.276 pg. D.I.

T.R. asentada a 2500 mts. con 9.85 pg. D.I.

Agujero descubierto a 3400 mts. con barrena de

9.5 pg. de diámetro.

*	LA T. R.	*	LA HERRAMIENTA	*	SECCION	*
*	(PG)	*	(PG)	*	(M)	*

9. 5. 7. 25. 200. 0

		SECCION ANULAR # 2				
*	DIAMETRO DEL AGUJERO	*	DIAMETRO EXTERIOR	*	LONGITUD	*
*	Ø DEL INTERIOR DE	- *	DE LA T. P. Ø DE	- *	DE LA	*
*	LA T. R.	*	LA HERRAMIENTA	*	SECCION	*
*	(PG)	*	(PG)	*	(M)	*

9. 5. 5. 0. 700. 0

		SECCION ANULAR # 3				
*	DIAMETRO DEL AGUJERO	*	DIAMETRO EXTERIOR	*	LONGITUD	*
*	Ø DEL INTERIOR DE	- *	DE LA T. P. Ø DE	- *	DE LA	*
*	LA T. R.	*	LA HERRAMIENTA	*	SECCION	*
*	(PG)	*	(PG)	*	(M)	*

9. 85. 5. 0. 2500. 0

PRESION REDUCIDA DE CIRCULACION (KG/CM2) ?
65. 0

EMBOBADAS REDUCIDAS DE CIRCULACION ?
30. 0

DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA (LTS/E) ?
18. 5

VOLUMEN DE LODO ORIGINAL (M3) ?
60. 0

DENSIDAD DEL LODO ORIGINAL (GR/CM3) ?
1. 2

INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS (M3) ?
10. 0

PRESION DE CIERRE EN T. P. (KG/CM2) ?
30. 0

PRESION DE CIERRE EN T. R. (KG/CM2) ?
70. 0

DATOS

PROFUNDIDAD VERTICAL TOTAL DEL POZO = 3400.000 (M)
 PRESION REDUCIDA DE CIRCULACION = 65.000 (KG/CM2)
 EMBOLADAS REDUCIDAS DE CIRCULACION = 30.0
 DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA = 18.500 (LTS/E)
 VOLUMEN DE LODO ORIGINAL = 60.000 (M3)
 DENSIDAD DE LODO ORIGINAL = 1.20 (GR/CM3)
 INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS = 10.000 (M3)
 PRESION DE CIERRE EN T. P. = 30.000 (KG/CM2)
 PRESION DE CIERRE EN T. R. = 70.000 (KG/CM2)

SECCIONES INTERIORES

* SECCION	* DIAMETRO INTERIOR DE LA T. P. O DE LA HERRAMIENTA (PG)	* LONGITUD DE LA SECCION (M)
1	3.5000	200.000
2	4.2760	3200.000

SECCIONES ANULARES

* SECCION	* DIAMETRO DEL AGUJERO O DEL INTERIOR DE LA T. R. (PG)	* DIAMETRO EXTERIOR DE LA T. P. O DE LA HERRAMIENTA (PG)	* LONGITUD DE LA SECCION (M)
1	9.5000	7.2500	200.000
2	9.5000	5.0000	700.000
3	9.8500	5.0000	2500.000

METODO DE CONTROL : DEL PERFORADOR.

DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)

NO

NOTA :

- LA DENSIDAD DE LA BARITA UTILIZADA PARA DENSIFICAR ES DE 4.23 GR/CM3
- EL PESO DE UN SACO DE BARITA ES DE 50 KGS.

 * RESULTADOS DE LOS CALCULOS REALIZADOS PARA EL CONTROL *
 * DE UN BROTE Y DESCRIPCION DEL METODO A UTILIZAR. *

DENSIDAD DEL FLUIDO DE CONTROL = 1.29 (GR/CM3)
 PRESION DE FORMACION = 438.60 (KG/CM2)
 DENSIDAD DEL FLUIDO INVASOR = .166 (GR/CM3)
 ALTURA DEL FLUIDO INVASOR = 386.94 (M)
 PESO DE BARITA REQUERIDO = 7769.38 (KG) [156 SCS.]
 PRESION INICIAL DE CIRCULACION = 95.00 (KG/CM2)
 PRESION FINAL DE CIRCULACION = 69.87 (KG/CM2)

***** METODO DEL PERFORADOR *****

ETAPA 1:

CIRCULE CON 30.0 EMB/MIN UTILIZANDO EL LODO ORIGINAL DE 1.20 GR/CM3 DURANTE 8060.00 EMB (149087.6 LTS); MEDIANTE EL USO DE ESTRANGULADORES, MANTENGA LA PRESION EN LA T.P. CONSTANTE E IGUAL A 95.0 KG/CM2.

PAUSE LA CIRCULACION Y CIERRE EL POZO, LA PRESION EN LA T.P. Y EN LA T.R. DEBEN DE SER IGUAL A 30.0 KG/CM2; SI ESTO SE CUMPLE EL FLUIDO INVASOR HA SIDO DESALOJADO, PROSIGA CON EL METODO. SI NO, REINICIE EL PROCEDIMIENTO DESCRITO ANTERIORMENTE.

ETAPA 2:

REINICIE LA CIRCULACION BOMBEANDO LODO DE CONTROL DE 1.29 GR/CM3 CON 30.0 EMB/MIN; AUXILIESE CON LA CEDULA DE BOMBEO PARA SABER CUANDO LA T.P. SE ENCUENTRE LLENA DE LODO DE CONTROL, PARA ESTE EFECTO SE DEBERAN ACUMULAR 1670 EMB.

ETAPA 3:

UNA VEZ QUE EL LODO DE CONTROL ALCANZO LA BARRENA, LA PRESION EN LA T.P. DEBE SER MANTENIDA CONSTANTE E IGUAL A 69.8 KG/CM2 DURANTE 6390 EMB (118199.0 LTS). ESTE VOLUMEN ES EL NECESARIO PARA DESALOJAR EL LODO ORIGINAL DEL ESPACIO ANULAR SUBSTITUYENDOLO POR LODO DE CONTROL.

SUSPENDA LA CIRCULACION Y COMPRUEBE QUE EL POZO NO FLUYE. SI ESTO NO SE CUMPLE, CONTINUE CIRCULANDO LODO DE CONTROL HASTA QUE LO ANOTADO ANTERIORMENTE SE CUMPLA.

 ***** CEDULA DE BOMBEO *****

EMBOBADAS

VOLUMEN BOMBEADO
(LTS.)

PRESION EN T. P.
(KG/CM2)

ETAPA 1:

0.00	0.00	95.00
8060.00	149087.58	95.00

AQUI EL BROTE YA DEBE HABER SIDO DESALOJADO
SE INICIA EL BOMBEO DE LODO DE CONTROL

ETAPA 2:

8060.00	149087.58	95.00
8226.17	152161.70	92.50
8392.34	155235.83	90.00
8558.51	158309.97	87.50
8724.68	161384.09	85.00
8890.85	164458.22	82.50
9057.01	167532.34	80.00
9223.18	170606.48	77.50
9389.35	173680.61	75.00
9730.00	179982.58	69.87

EL LODO DE CONTROL SE ENCUENTRA EN LA BARRENA

ETAPA 3:

16120.00	298181.59	69.87
----------	-----------	-------

EL LODO DE CONTROL SE ENCUENTRA EN LA SUPERFICIE

DESEA REGRESAR AL MENU DE CONTROL DE POZOS ? (SI, NO)

NO

Ejemplo # 6

Planeación de la trayectoria para pozos direccionales considerando pozos -
tipo Slant y tipo S.

Datos:

Profundidad vertical al objetivo = 2100.0 mts.

Profundidad de inicio de desviación = 425.0 mts.

Desplazamiento horizontal al objetivo = 800.0 mts.


```

*****
*
*   PERFORACION DIRECCIONAL DE POZOS   *
*
*                                     LRMS *
*
*****

```

OPCIONES DE CALCULO

- 1 PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES
- 2 CALCULO DE COORDENADAS DE POZOS DIRECCIONALES

CUAL ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ?

1

LA OPCION A EJECUTAR ES : PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES .

ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ? (SI,NO)

SI

```

*****
*
*   PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES   *
*
*                                     LRMS *
*
*****

```

TIPOS DE CONFIGURACION CONSIDERADAS.

- 1 SLANT
- 2 S
- 3 AMBAS

PROPORCIONE EL NUMERO DE OPCION DESEADA:

3

PROPORCIONE :

* PROFUNDIDAD VERTICAL	* PROFUNDIDAD DE INICIO	* DESPLAZAMIENTO HORI-	*
* AL OBJETIVO	* DE DESVIACION	* ZONTAL AL OBJETIVO	*
* (M)	* (M)	* (M)	*
2100.0, 425.0, 800.0			

DATOS

PROFUNDIDAD VERTICAL AL OBJETIVO = 2100.00 (M)
PROFUNDIDAD DE INICIO DE DESVIACION = 425.00 (M)
DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL AL OBJETIVO = 300.00 (M)
CALCULO DE CONFIGURACION TIPO SLANT Y TIPO S

DESEA CORREGIR ALGUN DATO ? (SI,NO) NO

 * RESULTADOS DE LA PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES. *

CONFIGURACION TIPO SLANT.

* INCREMENTO * DE ANGULO * (GRAD/30.0 M)	* ANGULO * MAXIMO * (GRAD)	* AL TERMINAR EL INCREMENTO DE ANGULO * PROF. VERT. * PROF. DES. * VERDADERA * * (M) * (M)	* PROF. DES. * (M)	* DESP. HOR. * (M)	* PROF. DES. * AL OBJETIVO * * (M) *
1.0	35.37	1420.00	1436.13	317.27	2320.05
1.5	30.40	1004.83	1032.96	157.53	2302.67
2.0	28.82	839.25	857.25	106.43	2296.18
2.5	28.02	747.97	761.21	80.58	2292.73
3.0	27.53	689.86	700.33	64.89	2290.58
3.5	27.21	649.54	658.20	54.34	2289.11
4.0	26.97	619.91	627.29	46.74	2288.04
4.5	26.80	597.20	603.64	41.02	2287.23
5.0	26.66	579.24	584.95	36.54	2286.59

CONFIGURACION TIPO S

* INC. DF	* ANG.	* PROF.	* DESP.	* DEC. DE	* AL INIC. EL	* PROF.	* DESP.	* PROF. DES.
* ANGULO	* MAX.	* VERT.	* HOR.	* ANGULO	* DEC. DE ANG.	* VERT.	* HOR.	* AL OBJ.
* (G/30.0 M)	* (GRAD)	* (M)	* (M)	* (G/30.0 M)	* (M)	* (M)	* (M)	* (M)
1.0	48.80	1718.2	586.6	4.0	1776.7	653.4		2343.6
1.0	44.30	1625.5	488.7	4.5	1833.2	691.4		2339.6
1.0	42.52	1586.6	451.9	5.0	1867.7	709.6		2336.9
1.5	40.61	1170.9	276.0	2.0	1540.5	593.0		2333.4
1.5	37.01	1114.7	230.8	2.5	1686.2	661.5		2324.8
1.5	35.37	1038.3	211.5	3.0	1768.3	694.2		2320.1
1.5	34.40	1072.5	200.5	3.5	1822.5	714.1		2317.0
1.5	33.76	1061.8	193.2	4.0	1861.2	727.5		2314.9
1.5	33.29	1054.0	188.1	4.5	1890.3	737.3		2313.4
1.5	32.94	1048.2	184.3	5.0	1913.0	744.7		2312.1
2.0	40.61	984.5	207.0	1.5	1354.1	524.0		2333.4
2.0	35.37	922.5	158.6	2.0	1602.5	641.4		2320.1
2.0	33.48	899.1	142.6	2.5	1720.8	685.9		2314.0
2.0	32.45	886.1	134.2	3.0	1792.6	710.5		2310.4
2.0	31.80	877.9	129.0	3.5	1841.2	726.3		2308.0
2.0	31.35	872.1	125.5	4.0	1876.4	737.3		2306.3
2.0	31.02	867.9	122.9	4.5	1903.2	745.4		2305.1
2.0	30.76	864.6	120.9	5.0	1924.2	751.6		2304.1
2.5	37.01	838.8	138.5	1.5	1410.3	569.2		2324.8
2.5	33.48	804.2	114.1	2.0	1625.9	657.4		2314.0
2.5	31.99	789.2	104.4	2.5	1735.8	695.6		2308.7
2.5	31.15	780.6	99.1	3.0	1803.6	717.4		2305.6
2.5	30.60	775.0	95.8	3.5	1850.0	731.6		2303.5
2.5	30.22	771.1	93.5	4.0	1883.7	741.6		2302.0
2.5	29.94	768.1	91.8	4.5	1909.4	749.0		2300.8
2.5	29.72	765.9	90.4	5.0	1929.6	754.8		2299.9
3.0	35.37	756.7	105.8	1.5	1436.7	588.5		2320.1
3.0	32.45	732.4	89.5	2.0	1638.9	665.8		2310.4
3.0	31.15	721.4	82.6	2.5	1744.4	700.9		2305.6
3.0	30.40	714.9	78.8	3.0	1810.1	721.2		2302.7
3.0	29.91	710.7	76.3	3.5	1855.1	734.6		2300.7
3.0	29.56	707.7	74.6	4.0	1888.0	744.1		2299.3
3.0	29.30	705.4	73.3	4.5	1913.0	751.1		2298.2
3.0	29.11	703.7	72.3	5.0	1932.8	756.6		2297.4
3.5	34.40	702.5	85.9	1.5	1452.5	599.5		2317.0
3.5	31.80	683.8	73.7	2.0	1647.1	671.0		2308.0
3.5	30.60	675.0	68.4	2.5	1750.0	704.2		2303.5

3.5	27.71	667.7	63.4	3.0	1814.3	723.7	2300.7
3.5	29.45	666.5	63.5	3.5	1858.5	736.5	2298.8
3.5	29.13	664.0	62.1	4.0	1890.8	745.7	2297.5
3.5	28.88	662.2	61.1	4.5	1915.5	752.5	2296.5
3.5	28.70	660.8	60.3	5.0	1934.9	757.8	2295.7
4.0	48.80	748.3	146.6	1.0	806.8	213.4	2343.6
4.0	33.76	663.8	72.5	1.5	1443.2	606.8	2314.9
4.0	31.35	648.6	62.7	2.0	1652.9	674.5	2306.3
4.0	30.22	641.3	58.4	2.5	1753.9	706.5	2302.0
4.0	29.56	637.0	55.9	3.0	1817.3	725.4	2299.3
4.0	29.13	634.2	54.3	3.5	1861.0	737.9	2297.5
4.0	28.82	632.1	53.2	4.0	1892.9	746.8	2296.2
4.0	28.59	630.6	52.4	4.5	1917.2	753.4	2295.2
4.0	28.41	629.4	51.7	5.0	1936.5	758.6	2294.4
4.5	44.30	691.8	108.6	1.0	899.5	311.3	2339.6
4.5	33.29	634.7	62.7	1.5	1471.0	611.9	2313.4
4.5	31.02	621.8	54.6	2.0	1657.1	677.1	2305.1
4.5	29.94	615.6	51.0	2.5	1756.9	708.2	2300.8
4.5	29.30	612.0	48.9	3.0	1819.6	726.7	2298.2
4.5	28.88	609.5	47.5	3.5	1862.8	738.9	2296.5
4.5	28.59	607.8	46.6	4.0	1894.4	747.6	2295.2
4.5	28.36	606.4	45.8	4.5	1918.6	754.2	2294.2
4.5	28.19	605.4	45.3	5.0	1937.6	759.2	2293.5
5.0	42.52	657.3	90.4	1.0	938.4	348.1	2336.9
5.0	32.94	612.0	55.3	1.5	1476.8	615.7	2312.1
5.0	30.76	600.6	48.4	2.0	1660.4	679.1	2304.1
5.0	29.72	595.4	45.2	2.5	1759.1	709.6	2299.9
5.0	29.11	592.2	43.4	3.0	1821.3	727.7	2297.4
5.0	28.70	590.1	42.2	3.5	1864.2	739.7	2295.7
5.0	28.41	588.5	41.4	4.0	1895.6	748.3	2294.4
5.0	28.19	587.4	40.8	4.5	1919.6	754.7	2293.5
5.0	28.02	586.5	40.3	5.0	1938.5	759.7	2292.7

DESEA REGRESAR AL MENU DE PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES ? (SI,NO)

NO

DESEA REGRESAR AL MENU DE POZOS DIRECCIONALES ? (SI,NO)

NO

B.

Ejemplo # 7

Cálculo de coordenadas rectangulares utilizando el método del ángulo medio y el método del radio de curvatura.

Datos:

Estación #	Profundidad medida (m)	Inclinación (grados)	Rumbo (grados)
1	300.0	0.0	0.0
2	320.0	2.0	39.0 SW
3	349.0	1.0	44.0 NW
4	377.0	4.75	4.0 NW
5	405.0	9.0	19.0 NE
6	434.0	13.0	20.0 NE
7	462.0	15.0	21.0 NE
8	491.0	18.0	21.0 NE
9	519.0	21.25	24.0 NE
10	547.0	25.0	24.0 NE

```
*****
*
*
*   PROGRAMA PARA REALIZAR EL CALCULO DE LA HIDRAULICA
*   EL CONTROL Y LA PERFORACION DIRECCIONAL DE POZOS
*
*                               LRMS
*
*****
                                ABRIL 1986
```

MENU DISPONIBLE

- 1 HIDRAULICA EN GENERAL
- 2 CONTROL DE POZOS
- 3 PERFORACION DIRECCIONAL

CUAL ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ?
3

LA OPCION A EJECUTAR ES : PERFORACION DIRECCIONAL DE POZOS

ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ? (SI,NO)
SI

CORREGIDOS POR DECLINACION MAGNETICA.

CUADRANTE	DIRECCION CORRESPONDIENTE
1	NE
2	NW
3	SW
4	SE

PROPORCIONE PARA CADA ESTACION :

* PROF. MEDIDA *	INCLINACION *	RUMBO *	CUAD. CORRESPONDIENTE *
(M)	(GRAD)	(GRAD)	

ESTACION # 1
300. 0, 0. 0, 0. 0, 3. 0

ESTACION # 2
320. 0, 2. 0, 39. 0, 3. 0

ESTACION # 3
349. 0, 1. 0, 44. 0, 2. 0

ESTACION # 4
377. 0, 4. 75, 4. 0, 2. 0

ESTACION # 5
405. 0, 9. 0, 19. 0, 1. 0

ESTACION # 6
434. 0, 13. 0, 20. 0, 1. 0

ESTACION # 7
462. 0, 15. 0, 21. 0, 1. 0

ESTACION # 8
491. 0, 18. 0, 21. 0, 1. 0

ESTACION # 9
519. 0, 21. 25, 24. 0, 1. 0

ESTACION # 10
547. 0, 25. 0, 24. 0, 1. 0

DATOS

ESTACION #	PROFUNDIDAD MEDIDA	INCLINACION	RUMBO
1	300.00	0.00	0.00 SW
2	320.00	2.00	39.00 SW
3	349.00	1.00	44.00 NW
4	377.00	4.75	4.00 NW
5	405.00	9.00	19.00 NE
6	434.00	13.00	20.00 NE
7	462.00	15.00	21.00 NE
8	491.00	18.00	21.00 NE
9	519.00	21.25	24.00 NE
10	547.00	25.00	24.00 NE

CALCULO DE COORDENADAS CON . ANGULO MEDIO Y RADIO DE CURVATURA.

DESEA MODIFICAR ALGUN DATO ? (SI,NO) NO

 * RESULTADOS DEL CALCULO DE COORDENADAS RECTANGULARES *
 * PARA POZOS DIRECCIONALES. *

METODO DEL ANGULO MEDIO

PROF. MED. (M)	INCLI. (GRAD)	RUMBO (GRAD)	PROF. VERT. VERDADERA (M)	COORD. RECTS.		PATA DE PERRO (GRAD/30.0 M)
				D-NS (M)	D-EW (M)	
300.00	0.00	0.00 SW	300.00	0.00 S	0.00 W	0.00
320.00	2.00	39.00 SW	320.00	.33 S	.12 W	3.00
349.00	1.00	44.00 NW	348.99	.24 N	.62 W	1.04
377.00	4.75	4.00 NW	376.95	1.52 N	1.19 W	4.32
405.00	9.00	19.00 NE	404.75	4.81 N	.52 W	4.91
434.00	13.00	20.00 NE	433.22	10.02 N	1.32 E	4.14
462.00	15.00	21.00 NE	460.39	16.37 N	3.70 E	2.16
491.00	18.00	21.00 NE	488.19	24.06 N	6.65 E	3.10
519.00	21.25	24.00 NE	514.57	32.75 N	10.25 E	3.64
547.00	25.00	24.00 NE	540.32	42.79 N	14.72 E	4.02

 * EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A LA PROFUNDIDAD DE *
 * 547.0 METROS ES 45.25 METROS RUMBO N 18- 58 E *
 * *****

METODO DEL RADIO DE CURVATURA

PROF. MED. (M)	INCLI. (GRAD)	RUMBO (GRAD)	PROF. VERT. VERDADERA (M)	COORD. RECTS.		PATA DE PERRO (GRAD/30.0 M)
				D-NS (M)	D-EW (M)	
300.00	0.00	0.00 SW	300.00	0.00 S	0.00 W	0.00
320.00	2.00	39.00 SW	320.00	.27 S	.22 W	3.00
349.00	1.00	44.00 NW	348.99	.30 S	.89 W	1.04
377.00	4.75	4.00 NW	376.95	.96 N	1.45 W	4.32
405.00	9.00	19.00 NE	404.74	4.26 N	1.02 W	4.91
434.00	13.00	20.00 NE	433.20	9.47 N	.83 E	4.14
462.00	15.00	21.00 NE	460.37	15.82 N	3.20 E	2.16
491.00	18.00	21.00 NE	488.17	23.50 N	6.15 E	3.10
519.00	21.25	24.00 NE	514.54	32.19 N	9.75 E	3.64
547.00	25.00	24.00 NE	540.28	42.23 N	14.22 E	4.02

```

*****
*                               *
*           *****           *
*   EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A LA PROFUNDIDAD DE *
*           *****           *
*   547.0 METROS ES      44.57 METROS   RUMBO N 18- 36 E *
*           *****           *
*****
    
```

DESEA REGRESAR AL MENU DE CALCULO DE COORDENADAS
DE POZOS DIRECCIONALES ? (SI,NO)
NO

DESEA REGRESAR AL MENU DE POZOS DIRECCIONALES ? (SI,NO)
NO

CONCLUSIONES

- Los tiempos que se necesitan para disponer de los resultados del análisis son muy cortos, permitiendo el personal encargado, tomar decisiones rápidamente; minimizando de esta forma la incertidumbre que se forma durante un cálculo manual.
- Se ahorra en carga de trabajo y consecuentemente se ahorra económicamente ya que se agilizan las evaluaciones realizadas. El ahorro de tiempo obtenido, permite al personal dedicarse a otras actividades.
- Se minimizan los errores por participación humana al realizar la computadora todos los cálculos involucrados.
- Permite simular diferentes condiciones en el pozo, al variarse las condiciones de operación (referente a los datos que deben proporcionarse para ejecutar el paquete de programas).
- Ayuda a hacer más seguras y eficientes las operaciones desarrolladas en los temas tratados, al proporcionar la información necesaria para tal efecto.
- Permite crear un panorama más amplio en lo que se refiere al uso de la computadora como herramienta de trabajo.

B I B L I O G R A F I A

1. SCOTT K.F.: "A NEW APPROACH TO DRILLING HYDRAULICS", PETROLEUM ENGINEER, SEPTEMBER 1972.
2. KENDALL H.A., GOING W.C.: "DESIGN AND OPERATION OF JET BIT PROGRAMS FOR MAXIMUM HYDRAULIC HORSEPOWER, IMPACT FORCE OR JET VELOCITY", SPE-JULIO 1959.
3. ZAMORA M., LORD D.L.: "PRACTICAL ANALYSIS OF DRILLING MUD FLOW IN PIPES AND ANNULI", SPE 4976.
4. AZAR J.J.: "DRILLING OPTIMIZATION", U. TULSA.
5. LEON LOYA J.G.: NOTAS PERSONALES.
6. SMALLING D.A., KEY T.A.: "OPTIMIZATION OF JET BIT HYDRAULICS USING IMPACT PRESSURE", SPE 8440.
7. CORONA CORBALA M.A.: " CALCULO DE CAIDAS DE PRESION EN UN SISTEMA DE PERFORACION", DIVISION DE PERFORACION, IMP-1979.
8. ADAMS N.: "WELL CONTROL PROBLEMS AND SOLUTIONS", PETROLEUM PUBLISHING COMPANY (1980).
9. DOMINGUEZ HERNANDEZ J.B.: "CONTROL DE BROTES EN LA PERFORACION DE POZOS PETROLEROS", TRABAJO ESCRITO, FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM, 1982).
10. REHM B. HEBERT R., HEBERT J.: "PRACTICAL PRESSURE CONTROL", PETROLEUM PUBLISHING COMPANY (1975).
11. RAMIREZ RODRIGUEZ A.: "CONTROL DE BROTES", TESIS, FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM, 1983).
12. ELLIS P.W.: "BLOWOUT PREVENTION AND WELL CONTROL", GRAHAM S. TROTMAN LIMITED (1981).
13. CORTES PONCE DE LEON A, DEL ROSAL PULIDO E.: "CONTROL DE BROTES EN PERFORACION DE POZOS", IMP (1982).
14. MC MILLIAN W.H.: "PLANNING THE DIRECTIONAL WELL A CALCULATION METHOD", SPE 8337.
15. RIVERO R.T.: "USE OF THE CORVATURE METHOD TO DETERMINE TRUE VERTICAL RESERVOIR THICKNESS", JPT (ABRIL, 1971).
16. CRAIG JR. J.T., RANDALL B.V.: "DIRECTIONAL SURVEY CALCULATION", PETROLEUM ENGINEER (MARZO, 1976).
17. GARCIA VALENZUELA C.E.: "LA PERFORACION DIRECCIONAL CONTROLADA Y HERRAMIENTAS DESVIADORAS", TESIS, FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM, 1980).

18. VANDUSEN M.D., STEPHENS H.D.: "PROGRAMS ENHANCE DIRECTIONAL DRILLING", WORD OIL (NOVIEMBRE, 1979).
19. VEGA IBARRA M.A., LUNA MELO F.J.: "MODELOS MATEMATICOS PARA EL CALCULO DE LA TRAYECTORIA EN POZOS DIRECCIONALES", TESIS, FACULTAD DE INGENIERIA (UNAM, 1978).
20. HODSON H., VARNADO S.G.: "COMPUTERIZED WELL PLANNING FOR DIRECTIONAL WELLS", SPE 12071.

APENDICE

C
C
C

DIRECTORIO DE HIDRAULICA

REAL LSA, LS, LECS
INTEGER SISI, SI, TOB1, TOB2, TOB3, CRITER
DIMENSION CPRES(3)

```
COMMON/BOMBA/PSMAX, QMAX, QMIN, CRITER, Q1, P1, Q2, P2, ICAMPO,
* TOB1, TOB2, TOB3
COMMON/DATGEN/Q, NSIN, NSAN, DIS(11), LS(11), DATR(11),
* DETP(11), LSA(11), MOD, DECS, LECS
COMMON/DATPRO/DEN, TET600, TET300, TETO
DATA SI, NEG/2HSI, 2HNO/
1962 FORMAT(//, 2X, 51(1H*), //, 2X, '%%, 49X, '%%, //, 2X, '%%, 49X, '%%, //,
* 2X, '%%, 14X, 'HIDRAULICA EN GENERAL', 14X, '%%, //, 2X,
* '%%, 49X, '%%, //, 2X, '%%, 31X, 'LRMS', 14X, '%%, //, 2X, '%%, 49X, '%%,
* //, 2X, 51(1H*), ///)
WRITE(3, 1962)
78 FORMAT(A2)
10 FORMAT(//, 2X, 'OPCIONES DE CALCULO', //, 4X, '1 CAIDAS',
* ' DE PRESION EN EL ', //, 4X, ' SISTEMA CIRCULATORIO', //,
* 4X, '2 OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA', //)
14 WRITE(3, 10)
20 FORMAT(/, 2X, 'CUAL ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ?', //)
21 WRITE(3, 20)
30 FORMAT(I2)
READ(3, 30) IOPCI
IF(IOPCI. LE. 0. OR. IOPCI. GT. 2) GO TO 21
IF(IOPCI. EQ. 1) GO TO 50
CALL DATOP
GO TO 40
50 CALL DATHID
40 IF(IOPCI. EQ. 1) GO TO 42
CALL CALOP(CPRES)
GO TO 60
42 CALL CALHI(CPRES)
60 WRITE(3, 70)
70 FORMAT(//, ' DESEA REGRESAR AL MENU DE HIDRAULICA ? ', //)
79 READ(3, 78) SISI
IF(SISI. NE. SI. AND. SISI. NE. NEG) GO TO 79
IF(SISI. EQ. NEG) GO TO 1000
555 FORMAT(1H1)
WRITE(3, 555)
GO TO 14
1000 -CONTINUE
END
```

```

SUBROUTINE DATHID
REAL LS, LSA, LECS
INTEGER SISI, SI
COMMON/DATGEN/Q, NSIN, NSAN, DIS(11), LS(11), DATR(11),
* DETP(11), LSA(11), MOD, DECS, LECS
COMMON/DATPRO/DEN, TET400, TET300, TETO
DATA SI, NEG/2HS1, ZHNO/

```

```

C
C
C
C
10  FORMAT(///, 5X, 'MODELOS REOLOGICOS CONSIDERADOS EN EL',
*   /, 5X, 'CALCULO DE LAS CAIDAS DE PRESION', //, 5X,
*   /, 1 PLASTICO DE BINGHAM', //, 6X, /, 2 LEY DE POTENCIAS', //,
*   6X, /, 3 LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE CEDENCIA', //)
WRITE(3, 10)
20  FORMAT(/, 2X, 'QUE MODELO DESEA UTILIZAR ? (1,2,3)', //)
30  FORMAT(I2)
40  WRITE(3, 20)
    READ(3, 30) MOD
    IF(MOD.LT.1.OR.MOD.GT.3) GO TO 40
    IF(ICORR.EQ.1) GO TO 520
50  FORMAT(/, 3X, '* DATOS DEL FLUIDO *', //)
    WRITE(3, 50)
60  FORMAT(/, 2X, 'DENSIDAD DEL LODO (GR/CM3) ?', //)
70  FORMAT(/, 2X, 'LECTURA FANN @ 600 RPM (LB/100PIES2) ?', //)
80  FORMAT(/, 2X, 'LECTURA FANN @ 300 RPM (LB/100PIES2) ?', //)
90  FORMAT(/, 2X, 'LECTURA FANN @ 3 RPM (LB/100PIES2) ?', //)
100 FORMAT(///, 2X, '* DATOS DE LA GEOMETRIA DEL POZO *', //)
110 FORMAT(/, 2X, 'NUMERO DE SECCIONES INTERIORES ?', //)
120 FORMAT(/, 2X, 'NUMERO DE SECCIONES ANULARES ?', //)
130 FORMAT(/, 2X, '*', 10X, 'SECCION INTERIOR # ', I2, 9X, '*', //,
*   2X, '* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *', //, 2X,
*   '* T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *',
*   /, 2X, '*', 11X, '(PG)', //, 11X, '*', 5X, '(M)', //, 5X, '*', //)
140 FORMAT(/, 2X, '*', 17X, 'SECCION ANULAR # ', I2, 17X, '*', //, 2X,
*   '*', ' DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR * LON',
*   'GITUD *', //, 2X, '* O DEL INTERIOR DE - * DE',
*   /, 2X, '* LA T. P. O DE - * DE LA *', //,
*   2X, '*', 7X, 'LA T. R. ', 8X, '*', 2X, 'LA HERRAMIENTA', 3X, '*',
*   10X, '*', //, 2X, '*', 9X, '(PG)', 9X, '*', 7X, '(PG)', 8X, '*',
*   3X, '(M)', //, 4X, '*', //)
240 FORMAT(///, 5X,
*   22X, 'CONEXIONES SUPERFICIALES', //, 5X,
*   22X, 24(1H*), //, 5X, 12X, '* C A S O 1 * C A S O 2 * C A S O 3',
*   /, 3 * C A S O 4 *', //, 5X, '=====',
*   /, 5X, 'COMPONENTES * DIAM. ', 6X, '* DIAM. ',
*   6X, '* DIAM. ', 6X, '* DIAM. ', 6X, '*', //, 5X,
*   /, DE CONEXIO. * INT. LON. * INT. LON. * INT. LON. *',
*   /, INT. LON. *', //, 5X,
*   /, SUPERFICIA. * (PG) (M) * (PG) (M) * (PG) (M) *',
*   /, (PG) (M) *', //, 5X,
*   /, =====', //, 5X,
*   /, STANDPIPE * 3 12.2 * 3 1/2 12.2 * 4 13.7 *',
*   /, 4 13.7 *', //, 5X,

```

```

* 'MANGUERA * 2 13.7 * 2 1/2 16.8 * 3 16.8 **
* ' 3 16.8 **/,5X,
* 'SWIVEL Y * * * **
* ' **/,5X,
* 'CUELLO DE * * * **
* ' **/,5X,
* 'GANSO * 2 1.2 * 2 1/2 1.5 * 2 1/2 1.5 **
* ' 3 1.8 **/,5X,
* 'KELLY * 2 1/4 12.2 * 3 1/4 12.2 * 3 1/4 12.2 **
* ' 4 12.2 **/,5X,
* '=====,
* '=====,/)
241 FORMAT(' CUAL ES EL CASO DE SUS CONEXIONES SUPERFICIALES '
* '?,/)
150 FORMAT(/,2X,'GASTO (GAL/MIN) ?',/)
51 FORMAT(F6.4,F10.3)
52 FORMAT(F6.4,F6.4,F10.3)
53 FORMAT(F4.2)
54 FORMAT(F8.3)
160 WRITE(3,60)
READ(3,53) DLO
IF(DLO.LE.0. OR.DLO.GT.3.5) GO TO 160
DEN=DLO
IF(ICORR.EQ.1) GO TO 520
WRITE(3,70)
170 READ(3,54) TET600
IF(TET600.LE.0.) GO TO 170
IF(ICORR.EQ.1) GO TO 520
180 WRITE(3,80)
READ(3,54) TET300
IF(TET300.LE.0.) GO TO 180
IF(ICORR.EQ.1) GO TO 520
190 WRITE(3,90)
READ(3,54) TETO
IF(TETO.LE.0.) GO TO 190
350 WRITE(3,150)
READ(3,54) Q
IF(Q.LE.0.) GO TO 350
IF(ICORR.EQ.1) GO TO 520
WRITE(3,100)
200 WRITE(3,110)
READ(3,30) NSIN
IF(NSIN.LE.0. OR.NSIN.GT.10) GO TO 200
221 DO 220 I=1,NSIN
WRITE(3,130),I
READ(3,51) DIS(I),LS(I)
IF(DIS(I).LE.0. OR.LS(I).LE.0.) GO TO 221
220 CONTINUE
IF(ICORR.EQ.1) GO TO 520
210 WRITE(3,120)
READ(3,30) NSAN
IF(NSAN.LE.0. OR.NSAN.GT.10) GO TO 210
231 DO 235 I=1,NSAN
232 WRITE(3,140) I
READ(3,52) DATR(I),DETP(I),LSA(I)
IF(DATR(I).LE.0. OR.DETP(I).LE.0. OR.LSA(I).LE.0.) GO TO 232
IF(DATR(I).LE.DETP(I)) GO TO 232

```

```

235     CONTINUE
        IF(ICORR.EQ.1) GO TO 520
242     WRITE(3,240)
243     WRITE(3,241)
        READ(3,30) NUCCX
        IF(NUCCX.LE.0.OR.NUCCX.GT.4) GO TO 243
        IF(NUCCX.EQ.1) GO TO 6105
        IF(NUCCX.EQ.2) GO TO 6106
        IF(NUCCX.EQ.3) GO TO 6107
        DECS=4.276
        LECS=176.52
        GO TO 520
6105    DECS=2.875
        LECS=133.23
        GO TO 520
6106    DECS=2.875
        LECS=49.09
        GO TO 520
6107    DECS=3.826
        LECS=146.04
1910    FORMAT(1H1)
520     WRITE(3,1910)
500     FORMAT(///,2X,'DATOS PARA EL CALCULO DE LAS CAIDAS DE ',
*       'PRESION',/,2X,46(1H*),/,
*       ///,2X,'DENSIDAD',
*       ' DEL LODO = ',F4.2,' (GR/CM3)',/,2X,
*       'LECTURA FANN @ 600 RPM = ',F8.3,' (LB/100PIES2)',/,2X,
*       'LECTURA FANN @ 300 RPM = ',F8.3,' (LB/100PIES2)',/,2X,
*       'LECTURA FANN @ 3 RPM = ',F8.3,' (LB/100PIES2)',/,
*       2X,'GASTO',18X,'=',F8.3,' (GPM)',/)
        WRITE(3,600) DLO,TET600,TET300,TETO,Q
1979    FORMAT(///,2X,'*',16X,'SECCIONES INTERIORES',14X,'*',/,
*       2X,'* SECCION *',
*       ' DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *',/,2X,
*       '* # ',
*       '* T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *',/,2X,
*       '**,9X,**,11X,'(PG)',11X,**,5X,'(M)',5X,**,/)
1978    FORMAT(///,2X,**,21X,'SECCIONES ANULARES ',23X,**,/,2X,
*       '* SECCION * DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR',
*       '* LONGITUD *',/,2X,** # * O DEL INTERIOR DE ',
*       '* DE LA T. P. O DE - * DE LA *',/,2X,**,9X,
*       '**,7X,'LA T. R.',8X,**,2X,'LA HERRAMIENTA',3X,**,
*       10X,**,/,2X,**,9X,**,9X,'(PG)',9X,**,7X,'(PG)',8X,**,
*       3X,'(M)',4X,**,/)
1929    FORMAT(6X,I2,14X,F8.4,11X,F10.3)
1928    FORMAT(5X,I2,12X,F8.4,13X,F8.4,7X,F10.3)
        WRITE(3,1979)
        DO 311 I=1,NSIN
311     WRITE(3,1929) I,DIS(I),LS(I)
        CONTINUE
        WRITE(3,1978)
        DO 312 I=1,NSAN
312     WRITE(3,1928) I,DATR(I),DETP(I),LSA(I)
        CONTINUE
        IF(NUCCX.EQ.1) GO TO 244
        IF(NUCCX.EQ.2) GO TO 245
        IF(NUCCX.EQ.3) GO TO 246

```

```

WRITE(3,247)
GO TO 559
244 WRITE(3,248)
GO TO 559
245 WRITE(3,249)
GO TO 559
246 WRITE(3,1828)
248 FORMAT(//,3X,'CONEXIONES SUPERFICIALES : CASO 1',/)
249 FORMAT(//,3X,'CONEXIONES SUPERFICIALES : CASO 2',/)
1828 FORMAT(//,3X,'CONEXIONES SUPERFICIALES : CASO 3',/)
247 FORMAT(//,3X,'CONEXIONES SUPERFICIALES : CASO 4',/)
550 FORMAT(A2)
560 FORMAT(///,' DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)',/)
559 WRITE(3,560)
READ(3,550) SISI
IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 559
IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 2000
ICORR=1
570 FORMAT(//,5X,'DIRECTORIO DE DATOS',//,5X,19(1H*),//,
* 2X,' 1 DENSIDAD DEL LODC',//,2X,' 2 LECTURA FANN @ 600 ',
* 'RPM',//,2X,' 3 LECTURA FANN @ 300 RPM',//,2X,' 4 LECTURA ',
* 'FANN @ 3 RPM',//,2X,' 5 GASTO ',//,2X,
* ' 6 NUMERO DE SECCIONES INTERIORES',//,2X,' 7 NUMERO DE ',
* 'SECCIONES ANULARES',//,2X,' 8 CORREGIR ALGUNA(S) ',
* 'SECCION(ES) INTERIOR(ES)',//,2X,' 9 CORREGIR AL ',
* 'GUNA(S) SECCION(ES) ANULAR(ES)',//,2X,' 10 TIPO DE CONEXIO',
* 'NES SUPERFICIALES',//)
WRITE(3,570)
571 FORMAT(///,' CUAL ES EL DATO A CORREGIR ?',/)
551 WRITE(3,571)
READ(3,30) NUCOR
IF(NUCOR.LE.0.OR.NUCOR.GT.9) GO TO 551
IF(NUCOR.EQ.1) GO TO 160
IF(NUCOR.EQ.2) GO TO 170
IF(NUCOR.EQ.3) GO TO 180
IF(NUCOR.EQ.4) GO TO 190
IF(NUCOR.EQ.5) GO TO 350
IF(NUCOR.EQ.6) GO TO 200
IF(NUCOR.EQ.7) GO TO 210
IF(NUCOR.EQ.8) GO TO 500
IF(NUCOR.EQ.10) GO TO 242
485 WRITE(3,481)
481 FORMAT(//,2X,'CUAL ES EL NUMERO DE LA SECCION ANULAR ',
* 'QUE DESEA MODIFICAR ?',/)
READ(3,30) NSEA
486 WRITE(3,140) NSEA
READ(3,52) DATR(NSEA),DETP(NSEA),LSA(NSEA)
IF(DATR(NSEA).LE.0.OR.DETP(NSEA).LE.0) GO TO 486
IF(DATR(NSEA).LE.DETP(NSEA).OR.LSA(NSEA).LE.0) GO TO 486
483 FORMAT(//,2X,'DESEA MODIFICAR OTRA SECCION ANULAR ? ',
* '(SI,NO)',/)
484 WRITE(3,483)
READ(3,550) SISI
IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 484
IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 520

```

```
      GO TO 485
500    WRITE(3,491)
491    FORMAT(/,2X,'CUAL ES EL NUMERO DE LA SECCION INTERIOR ',
*      'QUE DESEA MODIFICAR ?',/)
      READ(3,30) NSEI
501    WRITE(3,130) NSEI
      READ(3,51) DIS(NSEI),LS(NSEI)
      IF(DIS(NSEI).LE.0..OR.LS(NSEI).LE.0.) GO TO 501
505    WRITE(3,493)
493    FORMAT(/,2X,'DESEA CORREGIR OTRA SECCION INTERIOR ? ',
*      '(SI ,NO)',/)
      READ(3,550) SISI
      IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 505
      IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 520
      GO TO 500
2000  CONTINUE
      RETURN
      END
```

SUBROUTINE DATOP

```

C
C
C
ADQUISICION DE DATOS PARA OPTIMIZACION
DE LA HIDRAULICA

REAL LS,LSA,LECS
INTEGER CRITER, SISI, SI, TOB1, TOB2, TOB3
COMMON/BOMBA/PSMAX, QMAX, QMIN, CRITER, Q1, P1, Q2, P2, ICAMPO,
* TOB1, TOB2, TOB3
COMMON/DATGEN/Q, NSIN, NSAN, DIS(11), LS(11), DATR(11),
* DETP(11), LSA(11), MOD, DECS, LECS
COMMON/DATPRO/DEN, TET&00, TET300, TETO
DATA SI, NEG/2HSI, 2HNO/
FORMAT(I2)
10
20
FORMAT(//, 2X, 'CRITERIOS DE OPTIMIZACION', //, 5X,
* '1 MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA', //, 5X,
* '2 MAXIMO IMPACTO HIDRAULICO', //, 5X,
* '3 MAXIMA VELOCIDAD EN LAS TOBERAS', //)
30
35
FORMAT(/, 2X, 'CUAL ES EL CRITERIO QUE DESEA EMPLEAR?', //)
15
WRITE(3, 20)
40
WRITE(3, 30)
READ(3, 10) CRITER
IF(CRITER. LE. 0. OR. CRITER. GT. 3) GO TO 40
50
FORMAT(//, 2X, 'TIENE DATOS MEDIDOS EN EL CAMPO',
* ' (2 GASTOS A SU CORRESPONDIENTES', //, 2X,
* ' (PRESIONES SUPERFICIALES) ? (SI, NO)', //)
52
WRITE(3, 50)
READ(3, 35) SISI
IF(SISI. NE. 31. AND. SISI. NE. NEG) GO TO 52
IF(SISI. EQ. 31) GO TO 60
Q1=0. 0
Q2=0. 0
P1=0. 0
ICAMPO=2
P2=0. 0
CALL DATHID
WRITE(3, 250)
GO TO 100
60
WRITE(3, 62)
ICAMPO=1
63
FORMAT(/, ' DENSIDAD DEL LODO ? (GR/CM3)', //)
62
FORMAT(/, ' PROPORCIONE LOS DOS PARES DE DATOS', //)
64
FORMAT(/, ' * GASTO 1 * PRESION SUPERFICIAL 1 *', //,
* ' * (GAL) * (KG/CM2) *', //)
65
FORMAT(/, ' * GASTO 2 * PRESION SUPERFICIAL 2 *', //,
* ' * (GAL) * (KG/CM2) *', //)
66
FORMAT(F4, 2)
70
FORMAT(F8, 3, F8, 3)
71
WRITE(3, 64)
READ(3, 70) Q1, P1
IF(Q1. LE. 0. OR. P1. LE. 0.) GO TO 71
72
WRITE(3, 65)
READ(3, 70) Q2, P2
IF(Q2. LE. 0. OR. P2. LE. 0.) GO TO 72
67
WRITE(3, 63)
READ(3, 66) DEN

```

```

IF(DEN. LE. 0. ) DR. DEN. GT. 3. 2) GO TO 67
IF(ICORR. EQ. 1) GO TO 251
100 WRITE(3, 202)
202 FORMAT(//, ' *          DATOS DE LA BARRENA          *', /
*          ' *   DIAMETRO *   DIAMETRO *   DIAMETRO *', /
*          ' *   TOBERA 1 *   TOBERA 2 *   TOBERA 3 *', /
*          ' *   (3ZAVOS PG) *   (3ZAVOS PG) *   (3ZAVOS PG) *', /)
205 FORMAT(I3, I3, I3)
206 READ(3, 205) TOB1, TOB2, TOB3
IF(ICORR. EQ. 1) GO TO 251
277 WRITE(3, 278)
278 FORMAT(//, ' GASTO MINIMO (GPM) ? ', /)
READ(3, 279) QMIN
279 FORMAT(F8. 4)
IF(QMIN. LE. 0. ) GO TO 277
IF(ICORR. EQ. 1) GO TO 251
210 FORMAT(//, ' *          DATOS DE LA BOMBA          *', /
*          ' *   PRESION SUPERFICIAL * GASTO *', /
*          ' *          MAXIMA          * MAXIMO *', /
*          ' *          (KG/CM2)          * (GPM) *', /)
212 WRITE(3, 210)
READ(3, 70) PSMAX, QMAX
IF(PSMAX. LT. P1. OR. PSMAX. LT. P2. OR. QMAX. LT. Q1) GO TO 212
IF(QMAX. LT. Q2) GO TO 212
250 FORMAT(IH1)
251 CONTINUE
260 FORMAT(/, 3X, 'DATOS PARA LA OPTIMIZACION DE LA HI',
* 'DRAULICA', /, 3X, 43(1H*), /)
266 FORMAT(//, ' DENSIDAD DEL LODO = ', F4. 2, ' (GR/CM3)', /)
WRITE(3, 250)
WRITE(3, 260)
270 FORMAT(7X, I3, 13X, I3, 13X, I3, /)
280 FORMAT(10X, F8. 4, 10X, F8. 4)
290 FORMAT(//, ' *          DATOS DE CAMPO          *', /
*          ' *   DATO * GASTO * PRESION SUPERFICIAL *', /
*          ' *   # * (GPM) *          (KG/CM2)          *', /
*          ' *          1 ', F8. 4, 6X, F8. 4, /,
*          ' *          2 ', F8. 4, 6X, F8. 4, //)
WRITE(3, 202)
WRITE(3, 270) TOB1, TOB2, TOB3
188 WRITE(3, 210)
WRITE(3, 280) PSMAX, QMAX
511 FORMAT(/, ' CRITERIO DE OPTIMIZACION : MAXIMA POTENCIA',
* ' HIDRAULICA', /)
512 FORMAT(/, ' CRITERIO DE OPTIMIZACION : MAXIMO IMPACTO',
* ' HIDRAULICO', /)
513 FORMAT(/, ' CRITERIO DE OPTIMIZACION : MAXIMA VELOCIDAD',
* ' EN LAS TOBERAS', /)
WRITE(3, 558) QMIN
558 FORMAT(//, ' GASTO MINIMO = ', F8. 4,
* ' (GPM)', /)
IF(ICAMPO. EQ. 2) GO TO 499
WRITE(3, 290) Q1, P1, Q2, P2
WRITE(3, 266) DEN
499 IF(CRITER. EQ. 1) GO TO 501
IF(CRITER. EQ. 2) GO TO 502
WRITE(3, 513)

```



```

GO TO 500
501 WRITE(3,511)
GO TO 500
502 WRITE(3,512)
500 WRITE(3,550)
550 FORMAT(//,2X,'DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ?',
* '(SI,NO)',/)
READ(3,35) SISI
IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 500
IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 1000
ICORR=1
560 FORMAT(//,2X,'DIRECTORIO DE DATOS',/,2X,19(1H*),//,
* 4X,'1 DATOS DE CAMPO(GASTOS-PRESIONES Y LA DENSIDAD DEL LO',
* 'DO)',/,4X,'2 DATOS DE LA BARRENA(TOBERAS)',/,4X,'3 DATOS DE
* 'LA BOMBA',/,4X,'4 CRITERIO DE OPTIMIZACION',/,4X,
* '5 GASTO MINIMO',//)
WRITE(3,560)
570 FORMAT(//,2X,'CUAL ES EL NUMERO DE DATO A MODIFICAR ?',/)
571 WRITE(3,570)
READ(3,10) NUCOR
IF(NUCOR.LE.0.OR.NUCOR.GT.5) GO TO 571
IF(NUCOR.EQ.1) GO TO 52
IF(NUCOR.EQ.2) GO TO 100
IF(NUCOR.EQ.3) GO TO 212
IF(NUCOR.EQ.4) GO TO 15
GO TO 277
1000 CONTINUE
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CALHI(CPRES)
REAL LS,LSA,L,LECS
DIMENSION CPRES(3)
COMMON/DATGEN/Q,NSIN,NSAN,DIS(11),LS(11),DATR(11),
* DETP(11),LSA(11),MOD,DECS,LECS
COMMON/DATPRO/DEN,TET600,TET300,TETO
COMMON/PRE/DELTAP

```

```

C
C
C

```

```

DO 10 I=1,3
DELTAP=0.0
IF(I.EQ.1) GO TO 15
IF(I.EQ.3) GO TO 16
LIM=NSAN

```

```

16 IND=2
GO TO 20
LIM=1
IND=1

```

```

15 GO TO 20
LIM=NSIN
IND=1

```

```

20 CP=0.0
DO 30 J=1,LIM
IF(I.EQ.2) GO TO 100
IF(I.EQ.3) GO TO 101
DH=0.0

```

```

DP=DIS(J)
L=LS(J)
GO TO 120
101 DH=0.0

```

```

DP=DECS
L=LECS
100 L=LSA(J)

```

```

DH=DATR(J)
DP=DETP(J)
120 IF(MOD.EQ.1) GO TO 40

```

```

IF(MOD.EQ.2) GO TO 50
CALL LPPC(Q,DH,DP,L,DELTAP,IND)
GO TO 60
40 CALL BIN(Q,DH,DP,L,DELTAP,IND)
GO TO 60

```

```

50 CALL LPOT(Q,DH,DP,L,DELTAP,IND)
60 CP=DELTAP+CP
30 CONTINUE

```

```

CPRES(I)=CP
CONTINUE
10
510 FORMAT(1H1)

```

```

500 FORMAT(/,10X,49(1H*),/,10X,/* RESULTADOS DEL CALCULO DE /,
* 'LAS CAIDAS DE',4X,'*',/,10X,/* PRESION EN EL SISTEMA CIRC',
* 'ULATORIO',9X,'*',/,10X,49(1H*),/)
700 FORMAT(/,9X,'MODELO DE LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE /,
* 'CEDENCIA',/,9X,49(1H*),/)

```

```

676 FORMAT(/,15X,'MODELO DE LEY DE POTENCIAS',/,15X,26(1H*),/)
675 FORMAT(/,15X,'MODELO PLASTICO DE BINGHAM',/,15X,26(1H*),/)

```

```

550 FORMAT(/,3X,'CAIDA DE PRESION EN CONEXIONES SUPERFICIA',
* 'LES',15X,'=',F10.4,' (KG/CM2)',/,3X,'CAIDA DE PRESION EN /,

```

```

* 'EL INTERIOR DE LA SARTA DE PERFORACION =' ,F10. 4, ' (KG/CM2)',
* '//, 3X, 'CAIDA DE PRESION EN EL ESPACIO ANULAR', 22X, '=' ,
* F10. 4, ' (KG/CM2)',//, 3X, 'CAIDA DE PRESION TOTAL(EXCLUYENDO',
* ' A LA BARRENA)', 12X, '=' ,F10. 4, ' (KG/CM2)',//, 3X, 'DENSIDAD',
* ' EQUIVALENTE DE CIRCULACION', 25X, '=' ,F5. 2, ' (GR/CM3)',//)
PROF=0. 0
DO 503 I=1, NSAN
PROF=PROF+LSA(I)
503 CONTINUE
DEC=DEN+10*CPRES(3)/PROF
PTOTAL=CPRES(1)+CPRES(2)+CPRES(3)
WRITE(3, 510)
WRITE(3, 500)
IF(MOD. EQ. 1) GO TO 600
IF(MOD. EQ. 2) GO TO 650
WRITE(3, 700)
GO TO 800
600 WRITE(3, 675)
GO TO 800
650 WRITE(3, 676)
800 WRITE(3, 550) CPRES(3), CPRES(1), CPRES(2), PTOTAL, DEC
RETURN
END

```

SUBROUTINE CALDP

```

C      CALCULO DE LA OPTIMIZACION
C
REAL LS, LSA, M, LECS
INTEGER CRITER, TOB1, TOB2, TOB3, TBB1, TBB2, TBB3
DIMENSION CPRES(3)
COMMON/BOMBA/P$MAX, QMAX, QMIN, CRITER, Q1, P1, Q2, P2, ICAMPO,
* TOB1, TOB2, TOB3
COMMON/DATGEN/Q, NSIN, NSAN, DIS(11), LS(11), DATR(11),
* DETP(11), LSA(11), MOD, DECS, LECS
COMMON/DATPRO/DEN, TET600, TET300, TETO
P$MAX=P$MAX
IF ICAMPO.EQ. 1) GO TO 1000
CALL CALHI(CPRES)
PC1=CPRES(1)+CPRES(2)+CPRES(3)
Q1=Q
M=1.8
GO TO 10
1000      AT=3.1415926*(TOB1**2+TOB2**2+TOB3**2)/4096
PB1=DEN*Q1**2/(14.2*1442.25*(AT**2)*(.95**2))
PC1=P1-PB1
PB2=DEN*Q2**2/(14.2*1442.25*(AT**2)*(.95**2))
PC2=P2-PB2
M=ALOG10(PC1/PC2)/ALOG10(Q1/Q2)
10      IF(CRITER.EQ. 1) GO TO 150
IF(CRITER.EQ. 2) GO TO 160
QS=QMIN
GO TO 200
150      QS=Q1*(P$MAX/(PC1*(1+M)))**(1/M)
GO TO 200
160      QS=Q1*(2*P$MAX/(PC1*(2+M)))**(1/M)
200      IF(QS.LT.QMIN) GO TO 210
IF(QS.GT.QMAX) GO TO 220
QOP=QS
GO TO 230
210      QOP=QMIN
GO TO 230
220      QOP=QMAX
230      PCOP=PC1*((QOP/Q1)**M)
PB=P$MAX-PCOP
AT=SQRT((QOP**2)*DEN/(PB*20479.95*(.95**2)))
C
C      DETERMINA EL AREA DE TOBERAS MAS APROXIMADO
C      RECALCULA PB Y PS REQUERIDA
C
DECT=(4096.0*AT/(3.0*3.1415926))**0.5
TB1=FLOAT(INT(DECT))
TB2=FLOAT(INT(DECT))
TB3=FLOAT(INT(DECT))
ITOB=1
510      SUP=3.1415926*(TB1**2+TB2**2+TB3**2)/4096.0
IF(SUP.GE.AT) GO TO 540
IF(ITOB.NE.1) GO TO 520
TB1=TB1+1.
ITOB=2
GO TO 510

```

```

520     IF(ITOB.NE.2) GO TO 530
        TB2=TB2+1.
        ITOB=3
        GO TO 510
530     TB3=TB3+1.0
        ITOB=1
        GO TO 510
540     IF(TB1.LT.7.0) TB1=7.0
        IF(TB1.GT.32.0) TB1=32.0
        IF(TB2.LT.7.0) TB2=7.0
        IF(TB2.GT.32.0) TB2=32.0
        IF(TB3.LT.7.0) TB3=7.0
        IF(TB3.GT.32.0) TB3=32.0
        ATOBOP=3.1415926*(TB1**2+TB2**2+TB3**2)/4096.0
        PBOPT=DEN*QOP**2/(14.2*1442.25*(.95**2)*ATOBOP**2)
        TBB1=INT(TB1)
        TBB2=INT(TB2)
        TBB3=INT(TB3)
        PSUOP=PCOP+PBOPT
        POTSUP=14.2*PSUOP*QOP/1714.0
        POTBAR=14.2*PBOPT*QOP/1714.0
        PORCEN=POTBAR*100/POTSUP
2700    FORMAT(1H1)
        IF(ICAMPO.EQ.1) GO TO 60
        WRITE(3,2700)
2500    FORMAT(/////9X,57(1H*),/,9X,'*',3X,'RESULTADOS PARA LA ',
*      'OPTIMIZACION DE LA HIDRAULICA *',/,9X,57(1H*),//)
2600    FORMAT(/,2X,'GASTO OPTIMO ',50X,'=',F10.4,' (GPM)',//,
*      2X,'CAIDA DE PRESION OPTIMA EN EL SISTEMA(EXCLUYENDO',
*      ' A LA BARRENA) =',F10.4,' (KG/CM2)',//,
*      2X,'CAIDA DE PRESION OPTIMA EN LA BARRENA ',25X,'=',
*      F10.4,' (KG/CM2)',//,
*      2X,'POTENCIA SUPERFICIAL REQUERIDA',33X,'=',F8.3,' (HHP)',//,
*      2X,'PORCENTAJE DE POTENCIA GASTADO EN LA BARRENA',19X,'=',
*      F5.1,' (%)',//, ' AREA DE TOBERAS OPTIMA ',40X,
*      '=',F10.7,' (PG2)',//, ' TOBERA # 1 ',52X,'=',',I2,'/32AVOS (PG)
*      //, ' TOBERA # 2 ',52X,'=',',I2,'/32AVOS (PG)',//, ' TOBERA ',
*      '# 3 ',52X,'=',',I2,'/32AVOS (PG)',//)
50     FORMAT(/,15X,'CRITERIO DE MAXIMA POTENCIA HIDRAULICA',/,
*      15X,38(1H*),//)
52     FORMAT(/,15X,'CRITERIO DE MAXIMO IMPACTO HIDRAULICO',/,
*      15X,37(1H*),//)
54     FORMAT(/,15X,'CRITERIO DE MAXIMA VELOCIDAD EN LAS TOBERAS',/,
*      15X,43(1H*),//)
60     WRITE(3,2500)
        IF(CRITER.EQ.1) GO TO 55
        IF(CRITER.EQ.2) GO TO 56
        WRITE(3,54)
        GO TO 57
55     WRITE(3,50)
        GO TO 57
56     WRITE(3,52)
57     CONTINUE
        WRITE(3,2600) QOP,PCOP,PBOPT,POTSUP,PORCEN,ATOBOP,TBB1,TBB2,TBB
        RETURN
        END

```



```
SUBROUTINE LPOT(Q, DH, DP, L, DELTAP, IND)
REAL L, N, K
COMMON/DATPRO/DEN, TET600, TET300, TETO
```

C
C
C

```
MODELO DE LEY DE POTENCIAS
```

```
N=3.32*ALOG10(TET600/TET300)
K=TET600/(1022**N)
IF(IND.EQ.1) GO TO 10
FAC=1.65
FAC1=2.0
FAC2=1.25
FAC3=24.0
GO TO 20
10 FAC=2.319
FAC1=3.0
FAC2=2.5
FAC3=16.0
DH=DP
DP=0.0
20 V=24.51*Q/(DH**2-DP**2)
RE1=DEN*V**2/(FAC*K)
RE=RE1*((FAC2*(DH-DP)*N)/(V*(FAC1*N+1.0)))**N
RCTR=3470.0-1370.0*N
RCTU=4270.0-1370.0*N
IF(RE.LT.RCTR) GO TO 30
A=(ALOG10(N)+3.93)/50.0
B=(1.75-ALOG10(N))/7.0
IF(RE.GT.RCTU) GO TO 40
FRIC=FAC3/RCTR+((RE-RCTR)/800)*(A/(RCTU**B)-FAC3/(RCTR))
GO TO 50
40 FRIC=A/(RE**B)
50 DELTAP=FRIC*DEN*L*V**2/(48251.0*(DH-DP))
GO TO 60
30 DEL=K*L/(1300.5*(DH-DP))
DELTAP=DEL*((FACT1*N+1.0)*V/(FAC2*(DH-DP)*N))**N
60 CONTINUE
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE LPPC(Q, DH, DP, L, DELTAP, IND)
REAL L, N, K
COMMON/DATPRO/DEN, TET600, TET300, TETO
```

```
MODELO DE LEY DE POTENCIAS CON PUNTO DE CEDENCIA
```

C
C
C

```
AR=TET600-TETO
AR1=TET300-TETO
N=ABS(3.32*ALOG10(AR/AR1))
K=(TET600-TETO)/(600**N)
IF(IND.EQ.1) GO TO 10
ALFA=DP/DH
X=0.37*N**(-.14)
C=1-(1-ALFA**X)**(1/X)
FAC=3.0-C
FAC1=4.0-C
FAC2=1.0+C/2.0
FAC3=24.0
GO TO 20
10 DH=DP
DP=0.0
FAC=3.0
FAC1=4.0
FAC2=1.0
FAC3=16.0
20 V=24.51*Q/(DH**2-DP**2)
G=(FAC*N+1.0)/(FAC1*N)*FAC2*(8.13*N*(.123**((L/N)))
R=.939*G*V/(DH-DP)
TETA=TETO+K*R**N
RE=DEN*V**2/(2.474*TETA)
RCTU=4270.0-1370.0*N
RCTR=3470.0-1370.0*N
IF(RE.LT.RCTR) GO TO 30
A=(ALOG10(N)+3.93)/50.0
B=(1.75-ALOG10(N))/7.0
IF(RE.GT.RCTU) GO TO 35
FRIC=FAC3/RCTR+((RE-RCTR)/800.0)*(A/(RCTU**B)-FAC3/RCTR)
GO TO 40
35 FRIC=A/(RE**B)
40 DELTAP=FRIC*DEN*L*V**2/(48251.0*(DH-DP))
GO TO 50
50 DELTAP=TETA*L/(1218.8*(DH-DP))
CONTINUE
RETURN
END
```


C
C
C

PROGRAMA PARA CONTROL DE POZOS

```
DIMENSION LS(15), DIS(15), DATR(15), DETP(15), LSA(15),
* NECDP(50), VBODP(50), PTPCD(50), VCSA(15), CCSA(15),
* VCSI(15), CCSI(15)
REAL LS, LSA, IVP, NECDP, NNN, NETOT, NTNT
INTEGER SISI, SI
DATA SI, NEG/2HSI, 2HNO/
10  FORMAT(///, 8X, 36(1H*), /, 8X, /*, 34X, /*, /, 8X, /*, 34X, /*,
* /, 8X, /*, 9X, 'CONTROL DE POZOS', 9X, /*, /, 8X, /*, 34X, /*,
* /, 8X, /*, 26X, 'LRMS', 4X, /*, /, 8X, 36(1H*), ///)
20  FORMAT(//, 5X, 'METODOS UTILIZADOS', /, 8X, '1 METODO DEL ',
* 'INGENIERO (UNA CIRCULACION)', /, 8X, '2 METODO DEL PER',
* 'FORADOR (DOS CIRCULACIONES)')
70  FORMAT(//, 2X, /*, 17X, 'SECCION ANULAR # ', I2, 17X, /*, /, 2X,
* /*, 'DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR * LONG',
* 'GITUD *', /, 2X, /* * O DEL INTERIOR DE - * DE',
* 'LA T. P. O DE - * DE LA *', /,
* 2X, /*, 7X, 'LA T. R.', 8X, /*, 2X, 'LA HERRAMIENTA', 3X, /*,
* 10X, /*, /, 2X, /*, 9X, '(PG)', 9X, /*, 7X, '(PG)', 8X, /*,
* 3X, '(M)', 4X, /*, /)
1978  FORMAT(//, 2X, /*, 21X, 'SECCIONES ANULARES ', 23X, /*, /, 2X,
* /* SECCION * DIAMETRO DEL AGUJERO * DIAMETRO EXTERIOR',
* /* LONGITUD *', /, 2X, /* # * O DEL INTERIOR DE -',
* /* DE LA T. P. O DE - * DE LA *', /, 2X, /*, 9X,
* /*, 7X, 'LA T. R.', 8X, /*, 2X, 'LA HERRAMIENTA', 3X, /*,
* 10X, /*, /, 2X, /*, 9X, /*, 9X, '(PG)', 9X, /*, 7X, '(PG)', 8X, /*,
* 3X, '(M)', 4X, /*, /)
1913  FORMAT(/, 2X, /*, 17X, 'SECCION ANULAR # ', I2, /)
30  FORMAT(//, 2X, /*, 10X, 'SECCION INTERIOR # ', I2, 9X, /*, /,
* 2X, /* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *', /, 2X,
* /* T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *',
* /, 2X, /*, 11X, '(PG)', 11X, /*, 5X, '(M)', 5X, /*, /)
1979  FORMAT(/, 2X, /*, 16X, 'SECCIONES INTERIORES', 14X, /*, /,
* 2X, /* SECCION ',
* /* DIAMETRO INTERIOR DE LA * LONGITUD DE *', /, 2X,
* /* # ',
* /* T. P. O DE LA HERRAMIENTA * LA SECCION *', /, 2X,
* /*, 9X, /*, 11X, '(PG)', 11X, /*, 5X, '(M)', 5X, /*, /)
90  FORMAT(//, 2X, 'NUMERO DE SECCIONES ANULARES ?', /)
130  FORMAT(//, 2X, 'LA SUMA DE LAS SECCIONES INTERIORES ES',
* ' DIFERENTE A LA ', /, 2X, 'PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO ',
* '(, F10. 3, (M)', /,
* 2X, 'RECTIFIQUE E INTRODUZCA LOS DATOS CORRECTOS. ', /)
1910  FORMAT(1H1)
300  FORMAT(/, 29X, 'DATOS', /, 29X, 5(1H*), //,
* 10X, 'PROFUNDIDAD VERTICAL ',
* 'TOTAL DEL POZO = ', F10. 3, '(M)', /, 10X, 'PRESION REDUCIDA DE',
* 'CIRCULACION', 6X, '= ', F10. 3, '(KG/CM2)', /, 10X, 'EMBOLADAS ',
* 'REDUCIDAS DE CIRCULACION = ', F5. 1, /, 10X, 'DESPLAZAMI',
* 'ENTO DE LA BOMBA', 9X, ' = ', F10. 3, '(LTS/E)', /, 10X, 'VOLUMEN',
* ' DE LODO ORIGINAL', 12X, '= ', F10. 3, '(M3)', /, 10X, 'DENSIDAD',
* ' DE LODO ORIGINAL', 10X, ' = ', F4. 2, '(GR/CM3)', /, 10X, 'IN',
* 'CREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS ', 4X, '= ', F10. 3, '(M3)', /, 10X,
* 'PRESION DE CIERRE EN T. P.', 11X, '= ', F10. 3, '(KG/CM2)', /, 10X,
```

```

* 'PRESION DE CIERRE EN T. P. ',11X,' F10.3' (KG/CM2)'
315 FORMAT(12X,F8.4,11X,F10.3)
325 FORMAT(8X,F8.4,12X,F8.4,9X,F10.3)
12. FORMAT(//,2X,'METODO A UTILIZAR ? ',/)
400 FORMAT(//,2X,'DESEA CORREGIR ALGUN(OS) DATO(S) ? (SI,NO)',
* /)
410 FORMAT(A2)
450 FORMAT(//,2X,'DIRECTORIO DE DATOS :',//,2X,'1 PROFUNDIDAD',
* ' VERTICAL TOTAL DEL POZO',//,2X,'2 PRESION RED',
* 'UCIDA DE CIRCULACION',//,2X,'3 EMBOLADAS REDUCIDAS DE CIRCUL',
* 'ACION',//,2X,'4 DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA',//,2X,'5 VOLUM',
* 'EN DE LODO ORIGINAL',//,2X,'6 DENSIDAD DEL LODO ORIGINAL',
* '/,2X,'7 INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS',//,2X,'8 PRESION ',
* 'DF CIERRE EN T. P.',//,2X,'9 PRESION DE CIERRE EN T. R.',//,
* '2X,'10 NUMERO DE SECCIONES INTERIORES',//,2X,'11 NUMERO DE',
* ' SECCIONES ANULARES',//,2X,'12 MODIFICAR ALGUNA(S) SECC',
* 'ION(ES) INTERIOR(ES)',//,2X,'13 MODIFICAR ALGUNA(S) SECC',
* 'CION(ES) ANULAR(ES)',//,2X,'14 METODO A UTILIZAR',//)
420 FORMAT(//,2X,'CUAL ES EL NUMERO DEL DATO A MODIFICAR ?',//)
431 FORMAT(//,2X,'CUAL ES EL NUMERO DE LA SECCION ANULAR ',
* 'QUE DESEA MODIFICAR ?',//)
433 FORMAT(//,2X,'DESEA MODIFICAR OTRA SECCION ANULAR ? ',
* '(SI,NO)')
491 FORMAT(//,2X,'CUAL ES EL NUMERO DE LA SECCION INTERIOR ',
* 'QUE DESEA MODIFICAR ?',//)
493 FORMAT(//,2X,'DESEA MODIFICAR OTRA SECCION INTERIOR ?',
* '(SI,NO)')
1955 FORMAT(//,2X,'LA SUMA DE LAS SECCIONES ANULARES ES',
* 'DIFERENTE A LA ',//,2X,'PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO',
* '(F10.3, M)',//,
* '2X,'RECTIFIQUE E INTRODUZCA LOS DATOS CORRECTOS.',//)
1100 FORMAT(//,2X,'NOTA :',//,8X,'- LA DENSIDAD DE LA BARITA',
* ' UTILIZADA PARA DENSIFICAR ES DE 4.23 GR/CM3',//,
* '8X,'- EL PESO DE UN SACO DE BARITA ES DE 50 KGS.')
5000 FORMAT(//,5X,'&3(1H*),'//,5X,'**',4X,'RESULTADOS DE LOS',
* ' CALCULOS REALIZADOS PARA EL CONTROL',4X,'**',//,
* '5X,'**',4X,'DE UN BROTE Y DESCRIPCION DEL METODO A ',
* 'UTILIZAR.',9X,'**',//,5X,'&3(1H*),'//)
5100 FORMAT(//,12X,'***** METODO DEL PERFORADOR *****',
* '*****',//)
5200 FORMAT(//,12X,'***** METODO DEL INGENIERO *****',
* '*****',//)
5300 FORMAT(' ETAPA 1:',//,9X,'CIRCULE CON ',F5.1,' EMB',//,
* 'MIN UTILIZANDO EL LODO',//, ' ORIGINAL DE ',F4.2,
* ' GR/CM3 DURANTE ',F10.2,' EMB(',F8.1,' LTS)';//,
* ' MEDIANTE EL USO DE ESTRANGULADORES, MANTENGA LA ',
* 'PRESION EN LA',//, ' T. P. CONSTANTE E IGUAL A ',
* 'F7.1,' KG/CM2.',//,9X,'PARE LA CIRCULACION Y CIERRE',
* ' EL POZO, LA PRESION EN',//, ' LA T. P. Y EN LA T. R. ',
* ' DEBEN DE SER IGUAL A ',F5.1,' KG/CM2; SI',//,
* ' ESTO SE CUMPLE EL FLUIDO INVASOR HA SIDO DESALO',
* 'JADO, PROSIGA',//, ' CON EL METODO. SI NO, REINICIE',
* ' EL PROCEDIMIENTO DESCRITO AN-',//, ' TERIORMENTE.')
5310 FORMAT(//, ' ETAPA 2:',//,9X,'REINICIE LA CIRCULACION',
* ' BOMBEANDO LODO DE CONTROL DE',//,F5.2,' GR/CM3 CON',
* ' ',F5.1,' EMB/MIN; AUXILIESE CON LA CECULA DE --',//,
* ' BOMBEO PARA SABER CUANDO LA T. P. SE ENCUENTRE LLENA',

```

```

* / DE LODO --,/, / DE CONTROL, PARA ESTE EFECTO SE DE,
* /BERAN ACUMULAR /,I7,/ EMB./,/, / ETAPA 3:/,/,9X,
* /UNA VEZ QUE EL /,
* /LODO DE CONTROL ALCANZO LA BARRENA, --,/, / LA PRE/,
* /SION EN LA T.P. DEBE SER MANTENIDA CONSTANTE E /,
* /IGUAL A/,/,F8.1,/ KG/CM2 DURANTE /,I8,/ EMB(/,
* /F9.1,/ LTS). ESTE VO-/,/, / LUMEN ES EL NECESARIO PARA /,
* /DESALOJAR EL LODO ORIGINAL DEL ES-/,/, / PACIO ANULAR /,
* /SUBSTITUYENDOLO POR LODO DE CONTROL./,/,9X,/SUS/,
* /PENDA LA CIRCULACION Y COMPRUEBE QUE EL POZO NO --,/,
* / FLUYE. SI ESTO NO SE CUMPLE, CONTINUE CIRCULANDO/,
* / LODO DE CON-/,/, / TROL HASTA QUE LO ANOTADO ANTE/,
* /RIORMENTE SE CUMPLA./,/,/)
3800 FORMAT(/,/,2X,/DENSIDAD DEL FLUIDO DE CONTROL = /,
* /F4.2,/ (GR/CM3)/,/,2X,/PRESION DE FORMACION/,I3X,
* /F7.2,/ (KG/CM2)/,/,2X,/DENSIDAD DEL FLUIDO IN/,
* /VASOR = /,F5.3,/ (GR/CM3)/,/,2X,/ALTURA DEL FLUI/,
* /DO INVASOR/,9X,/F8.2,/ (M)/,/,2X,/PESO DE BARITA /,
* /REQUERIDO/,9X,/F8.2,/ (KG)[/,I6,/ SCS.]/,/,2X,
* /PRESION INICIAL DE CIRCULACION =/,F7.2,/ (KG/CM2)/,
* //,2X,/PRESION FINAL DE CIRCULACION =/,F7.2,
* / (KG/CM2)/,/,/)
6010 FORMAT(/,21X,28(1H*),/,21X,/***** CEDULA DE BOMBEO /,
* /*****/,/,21X,28(1H*),/,/,10X,/EMBOLADAS/,6X,/VOLUMEN/,
* /BOMBEO/,3X,/PRESION EN T.P./,/,28X,/(LTS.)/,I2X,
* / (KG/CM2)/,/,/)
6020 FORMAT(8X,F10.2,10X,F10.2,10X,F7.2)
6030 FORMAT(/,11X,/AQUI EL BROTE YA DEBE HABER SIDO DESALO/,
* /JADO/,/,11X,/SE INICIA EL BOMBEO DE LODO DE CONTROL/)
6040 FORMAT(/,11X,/EL LODO DE CONTROL SE ENCUENTRA EN LA /,
* /BARRENA/)
6060 FORMAT(/ ETAPA 2:/)
6065 FORMAT(/ ETAPA 3:/)
6045 FORMAT(/,11X,/EL LODO DE CONTROL SE ENCUENTRA EN LA /,
* /SUPERFICIE/)
6070 FORMAT(/ ETAPA 1:/)
7000 FORMAT(/ ETAPA 1:/,/,9X,/INICIE LA CIRCULACION CON /,F5.1,
* / EMB/MIN UTILIZANDO --,/, / LODO DE CONTROL DE /,F4.2,
* / GR/CM3, LA PRESION EN T.P. AL INICIO/,/, / DEL BOMBEO/,
* / DEBERA SER IGUAL A /,F5.1,/ KG/CM2; ESTA PRESION DE-/,
* /, / BERA TENER UN VALOR DE /,F5.1,/ KG/CM2 UNA VEZ QUE/,
* / SE HAYAN ACU-/,/, / MULADO /,I7,/ EMB.; EMPLEE EL /,
* /ESTRANGULADOR PARA PODER REPRO-/,/, / DUCIR LA CEDULA DE/,
* / BOMBEO Y TENER AL PRESION ANOTADA ANTERIOR-/,/, / MENTE/,
* / CON LAS EMBOLADAS CORRESPONDIENTES./,/,9X,/PARA COM/,
* /PROBAR QUE LA T.P. SE ENCUENTRA LLENA DE LODO/,/,
* / DE CONTROL, SUSPENDA LA CIRCULACION Y CIERRE EL POZO, /,
* / LA PRE-/,/, / SION EN LA T.P. DEBERA SER IGUAL A CERO/,
* /, / SI ESTO NO SE CUMPLE,/,/, / CIRCULE HASTA QUE DICHA/,
* / PRESION SEA CERO. CONTINUE CON LA SI-/,/, / GUIENTE/,
* / ETAPA./,/)
7200 FORMAT(/ ETAPA 2:/,/,9X,/ REINICIE LA CIRCULACION CON /,
* /F5.1,/ EMB/MIN MANTENIENDO --,/, / LA PRESION EN LA T.P. /,
* / CONSTANTE E IGUAL A /,F5.1,/ KG/CM2 DURANTE/,/,
* /I8,/ EMB(/F8.1,/ LTS)./,/,9X,/REALIZADO LO ANTERIOR/,
* / SUSPENDA LA CIRCULACION Y VERI-/,/, / FIQUE QUE NO /,
* /EXISTE FLUJO. SI LO HAY, CONTINUE CIRCULANDO LODO/,/,

```

```

* / DE CONTROL HASTA QUE AL COMPROBAR, YA NO SE PRESENTE/,
* /, / NINGUN FLUJO. /)
WRITE(3,10)
422 WRITE(3,20)
15 WRITE(3,12)
NUCOR=0
30 FORMAT(I2)
READ(3,30) MET
IF(MET. LE. 0. OR. MET. GT. 2) GO TO 15
IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
39 WRITE(3,40)
40 FORMAT(/, 2X, 'PROFUNDIDAD VERTICAL TOTAL DEL POZO (M)',
* / ?', /)
50 FORMAT(F10.3)
774 FORMAT(F5.1)
776 FORMAT(F4.2)
51 FORMAT(F6.4, F10.3)
52 FORMAT(F5.2, F5.2, F10.3)
READ(3,50) PROF
IF(PROF. LE. 0.) GO TO 39
IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
49 WRITE(3,60)
60 FORMAT(/, 2X, 'NUMERO DE SECCIONES INTERIORES ?', /)
READ(3,30) K
IF(K. LE. 0) GO TO 49
120 DO 100 I=1,K
110 WRITE(3,80) I
READ(3,51) DIS(I), LS(I)
IF(DIS(I). LE. 0. OR. LS(I). LE. 0.) GO TO 110
100 CONTINUE
1972 SUM=0.0
DO 125 I=1,K
SUM=SUM+LS(I)
125 CONTINUE
IF(SUM. EQ. PROF) GO TO 139
WRITE(3,130) PROF
GO TO 120
139 IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
140 WRITE(3,90)
READ(3,30) N
160 DO 180 I=1,N
170 WRITE(3,70) I
READ(3,52) DATR(I), DETP(I), LSA(I)
IF(DATR(I). LE. 0. OR. DETP(I). LE. 0. OR. LSA(I). LE. 0.) GO TO 170
IF(DATR(I). LE. DETP(I)) GO TO 170
180 CONTINUE
1974 SUSU=0.0
DO 211 I=1,N
SUSU=SUSU+LSA(I)
211 CONTINUE
IF(SUSU. EQ. PROF) GO TO 1954
WRITE(3,1955) PROF
GO TO 160
1954 IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
194 FORMAT(/, 10X, 'METODO DE CONTROL : DEL PERFORADOR. /)
186 FORMAT(/, 10X, 'METODO DE CONTROL : DEL INGENIERO. /)
200 FORMAT(/, 'PRESION REDUCIDA DE CIRCULACION (KG/CM2) ?', /)

```

```

205  FORMAT(/, ' EMBOLADAS REDUCIDAS DE CIRCULACION ?',/)
210  FORMAT(/, ' DESPLAZAMIENTO DE LA BOMBA (LTS/E) ?',/)
215  FORMAT(/, ' VOLUMEN DE LODO ORIGINAL (M3) ?',/)
220  FORMAT(/, ' DENSIDAD DEL LODO ORIGINAL (GR/CM3) ?',/)
225  FORMAT(/, ' INCREMENTO DE VOLUMEN EN PRESAS (M3) ?',/)
230  FORMAT(/, ' PRESION DE CIERRE EN T. P. (KG/CM2) ?',/)
235  FORMAT(/, ' PRESION DE CIERRE EN T. R. (KG/CM2) ?',/)
251  WRITE(3, 200)
      READ(3, 50) PRC
      IF(PRC. LE. 0. ) GO TO 251
      IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
252  WRITE(3, 205)
      READ(3, 774) ERC
      IF(ERC. LE. 0. ) GO TO 252
      IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
253  WRITE(3, 210)
      READ(3, 50) DB
      IF(DB. LE. 0. ) GO TO 253
      IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
254  WRITE(3, 215)
      READ(3, 50) VLO
      IF(VLO. LE. 0. ) GO TO 254
      IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
255  WRITE(3, 220)
      READ(3, 776) DLO
      IF(DLO. LE. 0. ) GO TO 255
      IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
256  WRITE(3, 225)
      READ(3, 50) IVP
      IF(IVP. LE. 0. ) GO TO 256
      IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
257  WRITE(3, 230)
      READ(3, 50) PCTP
      IF(PCTP. LE. 0. ) GO TO 257
      IF(NUCOR. EQ. 1) GO TO 520
258  WRITE(3, 235)
      READ(3, 50) PCTR
      IF(PCTR. LE. 0. ) GO TO 258
520  WRITE(3, 1910)
      WRITE(3, 300) PROF, PRC, ERC, DB, VLO, DLO, IVP, PCTP, PCTR
      WRITE(3, 1979)
1929  FORMAT(6X, I2, 14X, F8. 4, 11X, F10. 3)
      DO 310 I=1, K
      WRITE(3, 1929) I, DIS(I), LS(I)
310  CONTINUE
      WRITE(3, 1978)
1928  FORMAT(5X, I2, 12X, F8. 4, 12X, F8. 4, 9X, F10. 3)
      DO 320 I=1, N
      WRITE(3, 1928) I, DATR(I), DETP(I), LSA(I)
320  CONTINUE
      IF(MET. EQ. 1) GO TO 330
      WRITE(3, 184)
      GO TO 333
330  WRITE(3, 186)
333  WRITE(3, 400)
      READ(3, 410) SISI
      IF(SISI. NE. SI. AND. SISI. NE. NEG) GO TO 333

```

```

IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 1000
WRITE(3,450)
470 WRITE(3,420)
READ(3,30) ICORR
IF(ICORR.LE.0.OR.ICORR.GT.13) GO TO 470
NUCOR=1
IF(ICORR.EQ.1) GO TO 39
IF(ICORR.EQ.2) GO TO 251
IF(ICORR.EQ.3) GO TO 252
IF(ICORR.EQ.4) GO TO 253
IF(ICORR.EQ.5) GO TO 254
IF(ICORR.EQ.6) GO TO 255
IF(ICORR.EQ.7) GO TO 256
IF(ICORR.EQ.8) GO TO 257
IF(ICORR.EQ.9) GO TO 258
IF(ICORR.EQ.10) GO TO 49
IF(ICORR.EQ.11) GO TO 140
IF(ICORR.EQ.14) GO TO 422
IF(ICORR.EQ.12) GO TO 500
485 WRITE(3,481)
READ(3,30) NSEA
486 WRITE(3,70) NSEA
READ(3,52) DATR(NSEA), DETP(NSEA), LSA(NSEA)
IF(DATR(NSEA).LE.0.OR.DETP(NSEA).LE.0) GO TO 486
IF(DATR(NSEA).LE.DETP(NSEA).OR.LSA(NSEA).LE.0) GO TO 486
484 WRITE(3,483)
READ(3,410) SISI
IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 484
IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 1974
GO TO 485
500 WRITE(3,491)
READ(3,30) NSEI
501 WRITE(3,80) NSEI
READ(3,51) DIS(NSEI),LS(NSEI)
IF(DIS(NSEI).LE.0.OR.LS(NSEI).LE.0) GO TO 501
505 WRITE(3,493)
READ(3,410) SISI
IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 505
IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 1972
GO TO 500
1000 CONTINUE
WRITE(3,1100)
R10=DLO+10*PCTP/PROF
IR99=INT(R10*100)+1
R99=IR99
DCON=R99/100.0
R11=3.1415926/4
FAC=0.0254
VTS=0.
VTA=0.
DO 1150 I=1,K
CCSI(I)=R11*(DIS(I)*FAC)**2
VCSI(I)=CCSI(I)*LS(I)
VTS=VTS+VCSI(I)
1150 CONTINUE
DO 1200 I=1,N
CCSA(I)=R11*(DATR(I)**2-DETP(I)**2)*FAC**2
VCSA(I)=CCSA(I)*LSA(I)

```

```

1200  VTA=VTA+VCSA(I)
      CONTINUE
      VTS=VTS*1000
      NETP=INT(VTS/DB)+1
      VTA=VTA*1000
      NETR=INT(VTA/DB)+1
      PFOR=DCON*PROF/10
      PIC=PRC+PCTP
      PFC=PRC*DCON/DLO
      I=0
      R18=0.
      R20=0.
1250  I=I+1
      R19=R18
      R18=R18+VCSA(I)
      R21=R20
      R20=R20+LSA(I)
      IF(R18. LT. IVP) GO TO 1250
      AFI=(IVP-R19)/CCSA(I)+R21
      DFI=DLO-(PCTR-PCTP)*10/AFI
      PBAR=1000*VLO*4. 23*(DCON-DLO)/(4. 23-DCON)
      NSAC=INT(PBAR/50)+1
      CALC1=PIC/10
      ICAL2=INT(CALC1)*10
      CAL3=PIC-ICAL2
      IF(CAL3. GT. 7. 5) GO TO 1300
      IF(CAL3. GT. 5. 0) GO TO 1310
      IF(CAL3. GT. 2. 5) GO TO 1320
      PANT=ICAL2*1. 0
      GO TO 1400
1300  PANT=ICAL2+7. 5
      GO TO 1400
1310  PANT=ICAL2+5. 0
      GO TO 1400
1320  PANT=ICAL2+2. 5
1400  EI=2. 5*NETP/(PIC-PFC)
      I=1
      NECDP(1)=0. 0
1420  I=I+1
      PTPCD(I)=PANT
      NECDP(I)=EI+NECDP(I-1)
      PANT=PANT-2. 5
      IF(ABS(PANT-PFC). GT. 2. 5) GO TO 1420
      PTPCD(I)=PFC
      NECDP(I)=NETP
      L=I
      DO 1450 J=1,L
1450  VBCDP(J)=NECDP(J)*DB
      CONTINUE
      NETOT=NETR+NETP
      VLT=VTS+VTA
      WRITE(3,1910)
      WRITE(3,5000)
      WRITE(3,3800) DCON, PFOR, DFI, AFI, PBAR, NSAC, PIC, PFC
      PTPCD(1)=PIC
      IF(MET. EQ. 1) GO TO 1934
      WRITE(3,5100)

```

```

WRITE(3,5300) ERC, DLD, NETOT, VLT, PIC, PCTP
WRITE(3,5310) DCON, ERC, NETP, PFC, NETR, VTA
WRITE(3,6010)
WRITE(3,6070)
WRITE(3,6020) NECDP(1), VBCDP(1), PIC
WRITE(3,6020) NETOT, VLT, PIC
WRITE(3,6030)
WRITE(3,6060)
DO 1986 J=1, L
NTNT=NETOT+NECDP(J)
VTNT=VLT+VBCDP(J)
WRITE(3,6020) NTNT, VTNT, PTPCD(J)
1986 CONTINUE
WRITE(3,6040)
NNN=NTNT+NETR
VVV=VTNT+VTA
WRITE(3,6065)
WRITE(3,6020) NNN, VVV, PFC
WRITE(3,6045)
GO TO 1948
1934 WRITE(3,5200)
WRITE(3,7000) ERC, DCON, PIC, PFC, NETP
WRITE(3,7200) ERC, PFC, NETR, VTA
WRITE(3,6010)
WRITE(3,6070)
DO 1984 J=1, L
NNN=NECDP(J)
WRITE(3,6020) NNN, VBCDP(J), PTPCD(J)
1984 CONTINUE
WRITE(3,6040)
WRITE(3,6060)
WRITE(3,6020) NETOT, VLT, PFC
WRITE(3,6045)
1948 FORMAT(///, ' DESEA REGRESAR AL MENU DE CONTROL DE ',
* 'POZOS ? (SI, NO)', /)
1949 WRITE(3,1948)
READ(3,410) SISI
IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 1949
IF(SISI.EQ.SI) GO TO 422
END

```


C
C
C
C

DIRECTORIO DE PERFORACION DIRECCIONAL :
PLANEACION Y COORDENADAS DIRECCIONALES

```
INTEGER SISI, SI
DATA SI, NEG/2HSI, 2HNO/
FORMAT(1H1)
9
10 FORMAT(///, 5X, 42(1H*), //, 5X, '*/, 40X, '*/, //, 5X, '*/, 5X,
* 'PERFORACION DIRECCIONAL DE POZOS', 3X, '*/, //,
* 5X, '*/, 40X, '*/, //, 5X, '*/, 34X, 'LRMS', 2X, '*/, //, 5X, '*/, 40X, '*/, //,
* 5X, 42(1H*), //)
20 FORMAT(//, ' OPCIONES DE CALCULO ', ///, ' 1 PLANEACION',
* ' DE POZOS DIRECCIONALES', //, ' 2 CALCULO DE ',
* 'COORDENADAS DE POZOS DIRECCIONALES', //)
30 FORMAT(' CUAL ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ?', //)
40 FORMAT(' LA OPCION A EJECUTAR ES : PLANEACION DE POZOS',
* ' DIRECCIONALES', //)
50 FORMAT(' LA OPCION A EJECUTAR ES : CALCULO DE COORDENA',
* 'DAS DE POZOS DIRECCIONALES', //)
60 FORMAT(' ES LA OPCION QUE DESEA EJECUTAR ? (SI, NO)', //)
70 FORMAT(I2)
80 FORMAT(A2)
99 WRITE(3, 9)
WRITE(3, 10)
WRITE(3, 20)
WRITE(3, 30)
100 READ(3, 70) IOPCI
IF(IOPCI. LE. 0. OR. IOPCI. GT. 2) GO TO 100
IF(IOPCI. EQ. 1) WRITE(3, 40)
IF(IOPCI. EQ. 2) WRITE(3, 50)
120 WRITE(3, 60)
READ(3, 80) SISI
IF(SISI. NE. SI. AND. SISI. NE. NEG) GO TO 120
IF(IOPCI. EQ. 1) CALL PLADIR
IF(IOPCI. EQ. 2) CALL CORDIR
130 FORMAT(///, ' DESEA REGRESAR AL MENU DE POZOS DIRECCION',
* 'ALES ? (SI, NO)', //)
140 WRITE(3, 130)
READ(3, 80) SISI
IF(SISI. NE. SI. AND. SISI. NE. NEG) GO TO 140
IF(SISI. EQ. SI) GO TO 99
END
```



```

76      WRITE(3, 75)
78      FORMAT(/, ' NUMERO DEL DATO A CORREGIR ?', /)
      WRITE(3, 78)
      READ(3, 8) IDIR
      IF(IDIR. LE. 0. OR. IDIR. GT. 2) GO TO 76
      BAN=1.
      IF(IDIR. EQ. 1) GO TO 11
      GO TO 19
450     CONTINUE
1910    FORMAT(1H1)
      WRITE(3, 1910)
45      FORMAT(/, /, 6X, 55(1H*), /, 6X, '* ', ' RESULTADOS DE LA PLANEACION ',
*      ' DE POZOS DIRECCIONALES. ', ' *', /, 6X, 55(1H*), /)
      WRITE(3, 45)
      IF(ITICON. EQ. 2) GO TO 500
      R1=0. 5
      DO 100 I=1, 9
      R1=0. 5+R1
      A(I)=R1
      RCI=30. 0*180/(R1*3. 1415926)
      ARG=(DHO-RCI)/(FVO-PID)
      AMA=ATAN(ARG)
      ARG=RCI*COS(AMA)/(FVO-PID)
      AIM=1. 5707963
      IF(ARG. LT. -AIM. OR. ARG. GT. AIM) GO TO 55
      SS=ARG/(SQRT(1-ARG**2))
      GO TO 56
55      SS=SQRT(1-ARG**2)/ARG
56      SS=ATAN(SS)
      AM=AMA+SS
      AMAX(I)=AM*180/3. 1415926
      PVTI(I)=PID+RCI*SIN(AM)
      DHTI(I)=RCI*(1-COS(AM))
      PDES(I)=AMAX(I)*30. 0/R1+PID
      PDAO(I)=PDES(I)+(DHO-DHTI(I))/SIN(AM)
88      FORMAT(/, 7X, F3. 1, 9X, F5. 2, 6X, F7. 2, 6X, F7. 2, 5X, F7. 2, 7X, F7. 2)
100     CONTINUE
81      FORMAT(/, 24X, 'CONFIGURACION TIPO SLANT. ',
*      /, 24X, 25(1H*), //, 26X, '* ', 1X,
*      ' AL TERMINAR EL INCREMENTO DE ANGULO', 2X, '* ', /, 1X, '* INCREME',
*      ' NTO * ANGULO * PROF. VERT. * PROF. DES. * DESP. HOR. * ',
*      ' PROF. DES. ', /, ' * DE ANGULO * MAXIMO * VERDADERA * ',
*      11X, '*
*      * AL OBJETIVO *', /, ' * (GRAD/30. 0 M) * ',
*      ' (GRAD) *', 5X, ' (M)', 4X, '* ', 5X, ' (M)', 4X, '* ', 5X, ' (M)', 4X, '* ', 5X,
*      ' (M)', 5X, '* ')
      WRITE(3, 81)
      DO 50 I=1, 9
      WRITE(3, 83) A(I), AMAX(I), PVTI(I), PDES(I), DHTI(I), PDAO(I)
50      CONTINUE
      IF(ITICON. EQ. 3) GO TO 500
      GO TO 600
      CONTINUE
500     C
      C
      C      INICIA TIPO S
      C
      C
135     FORMAT(/, 30X, 'CONFIGURACION TIPO S', /, 30X,
*      ' 19(1H*), //, 23X, '* AL TERM. EL',

```

```

* 3X, '*, 12X, '*, AL INIC. EL *, /, 23X, '*, INC. DE ANG. *,
* 12X, '*, DEC. DE ANG. *, /, 1X, '*, INC. DE * ANG. *, /, PROF. ',
* ' * DESP. * DEC. DE * PROF. * DESP. * PROF. DES. *, /, 1X,
* ' * ANGULO * MAX. * VERT. * HOR. * ANGULO * VERT. * ',
* 'HOR. * AL OBJ. *, /, 1X, '*, 12X, '*, 3X, '*, ' VERD. *, /, 7X,
* '*, 12X, '*, VERD. *, /, 7X, '*, 11X, '*, /, ' * (G/30.0 M) * (GRAD) ',
* ' * (M) * (M) * (G/30.0 M) * (M) * (M) *, 4X, '(M) * ',
* /)
WRITE(3, 1710)
WRITE(3, 135)
X=0.0
DO 110 I=1, 10
X=X+.5
RCI=30.0*180/(X*3.1415926)
Y=0.0
DO 120 J=1, 10
Y=Y+.5
RCD=30.0*180/(Y*3.1415926)
RCT=RCI+RCD
ARG=(DHO-RCT)/(PVO-PID)
AMA=ATAN(ARG)
R=RCT*COS(AMA)/(PVO-PID)
IF(R.GT.1.) GO TO 120
AIM=1.570796327
IF(R.LT.-AIM.OR.R.GT.AIM) GO TO 33
SS=R/(SQRT(1-R**2))
GO TO 34
33 SS=SQRT(1-R**2)/R
34 SS=ATAN(SS)
AM=AMA+SS
AMX=AM*180/3.1415926
PVTIA=RCI*SIN(AM)+PID
DHTIA=RCI*(1-COS(AM))
R9=1.
PVID=PVO-(RCD*SIN(AM))
DHID=(PVID-PVTIA)*SIN(AM)/COS(AM)+DHTIA
PDESTI=AMX*30.0/X+PID
PDESID=(DHID-DHTIA)/SIN(AM)+PDESTI
99 FORMAT(7X, F3.1, 6X, F5.2, 2X, F7.1, 1X, F7.1, 6X, F3.1, 5X,
* F7.1, 1X, F7.1, 3X, F8.1)
PDD=AMX*30.0/Y+PDESID
WRITE(3, 99) X, AMX, PVTIA, DHTIA, Y, PVID, DHID, PDD
120 CONTINUE
IF(R9.NE.1.) GO TO 110
115 FORMAT(/)
WRITE(3, 115)
110 CONTINUE
600 CONTINUE
610 FORMAT(/, ' DESEA REGRESAR AL MENU DE PLANEACION ',
* ' DE POZOS DIRECCIONALES ? (SI, NO)', /)
WRITE(3, 610)
READ(3, 511) SISI
IF(SISI.EQ.SI) GO TO 52
RETURN
END

```

SUBROUTINE CORDIR

C
C
C
C
C

CALCULO DE COORDENADAS DE POZOS DIRECCIONALES

```

DIMENSION PM(150), I(150), B(150), C(150), PVV(150), X(150),
* Y(150), R(150), G(150), DLS(150), A(150), V(150)
INTEGER R, G, R35, BAND, SISI, CORREC, SI, R19, RUM1, RUM2
REAL I, IAVG
DATA SI, NEG/2HSI, 2HNO/
1975 FORMAT(///, 6X, 54(1H*), //, 6X, /*', 52X, /*', //, 6X, /*', 52X, /*', /
* 6X, /*', 8X, 'CALCULO DE COORDENADAS RECTANGULARES', 8X, /*', //,
* 6X, /*', 8X, 'EN POZOS DIRECCIONALES', 22X, /*', //,
* 6X, /*', 52X, /*', //, 6X, /*', 45X, 'LRMS', 3X, /*', //, 6X, 54(1H*), ///)
WRITE(3, 1975)
2 FORMAT(//, 4X, 'METODOS UTILIZADOS EN EL CALCULO', //,
* 6X, '1 METODO DEL ANGULO MEDIO', //, 6X,
* '2 METODO DEL RADIO DE CURVATURA', //, 6X, '3 AMBOS')
1724 WRITE(3, 2)
4 FORMAT(I3)
6 FORMAT(//, 2X, 'OPCION QUE DESEA UTILIZAR ? ', //)
10 WRITE(3, 6)
READ(3, 4) MET
IF(MET. LE. 0. OR. MET. GT. 3) GO TO 10
IF(CORREC. EQ. 1) GO TO 1300
3 FORMAT(/, 2X, 'NUMERO DE ESTACIONES CON QUE CUENTA ? ', //)
12 WRITE(3, 8)
READ(3, 4) M
IF(M. LT. 2. OR. M. GT. 150) GO TO 12
1986 FORMAT(//, 'NOTA : LOS DATOS CORRESPONDIENTES A RUMBOS, ',
* 'DEBERAN ESTAR', //, 8X, 'CORREGIDOS POR DECLINACION MAG',
* 'NETICA. ', //)
WRITE(3, 1986)
14 FORMAT(//, 2X, 'CUADRANTE DIRECCION CORRESPONDIENTE ',
* //, 6X, '1', 22X, 'NE', //, 6X, '2', 22X, 'NW', //, 6X, '3', 22X, 'SW', //,
* 6X, '4', 22X, 'SE', //, ' PROPORCIONE PARA CADA ESTACION : ', //)
WRITE(3, 14)
16 FORMAT(2X, /* PROF. MEDIDA * INCLINACION * RUMBO * CUAD. ',
* 'CORRESPONDIENTE *', //, 2X, /*', 5X, '(M)', 6X, /*', 4X, '(GRAD)',
* 3X, /* (GRAD) *', 23X, /*')
WRITE(3, 16)
18 FORMAT(//, 2X, ' ESTACION # ', I3, //)
20 FORMAT(F8. 2, F6. 2, F6. 2, F2. 0)
DO 22 N=1, M
24 WRITE(3, 18) N
READ(3, 20) PM(N), I(N), B(N), C(N)
IF(N. EQ. 1) GO TO 22
IF(PM(N). LE. PM(N-1). OR. C(N). LE. 0. OR. C(N). GT. 4. ) GO TO 28
IF(I(N). GT. 90. OR. I(N). LT. 0. OR. B(N). GT. 90. ) GO TO 28
IF(B(N). LT. 0. OR. PM(N). LT. 0. ) GO TO 28
GO TO 22
28 WRITE(3, 30)
30 FORMAT(/, ' ERROR EN LA ULTIMA ESTACION. REPITALA ', //)
GO TO 24
22 CONTINUE
IF(CORREC. EQ. 1) GO TO 1300
1910 FORMAT(1H1)

```

```

WRITE(3,1910)
988  FORMAT(/,25X,'DATOS ',/,25X,5(1H*),//,4X,'ESTACION #',
*    3X,'PROFUNDIDAD', ' MEDIDA',4X,'INCLINACION',4X,'RUMBO')
1300  WRITE(3,988)
666  FORMAT(6X,I3,13X,F7.2,13X,F5.2,6X,F5.2,1X,A2)
      DO 905 N=1,M
      IF(C(N).EQ.1.) GO TO 901
      IF(C(N).EQ.2.) GO TO 902
      IF(C(N).EQ.3.) GO TO 903
      ICC='SE'
      GO TO 904
901  ICC='NE'
      GO TO 904
902  ICC='NW'
      GO TO 904
903  ICC='SW'
904  WRITE(3,666) N,PM(N),I(N),B(N),ICC
905  CONTINUE
      IF(MET.EQ.1) GO TO 910
      IF(MET.EQ.2) GO TO 911
925  FORMAT(/,2X,'CALCULO DE COORDENADAS CON : ANGULO MEDIO Y ',
*    'RADIO DE CURVATURA. ')
      WRITE(3,925)
      GO TO 931
918  FORMAT(/,2X,'CALCULO DE COORDENADAS CON : ANGULO MEDIO. ')
910  WRITE(3,918)
      GO TO 931
919  FORMAT(/,2X,'CALCULO DE COORDENADAS CON : RADIO DE CURVA',
*    'TURA. ')
911  WRITE(3,919)
931  WRITE(3,79)
79   FORMAT(//,2X,'DESEA MODIFICAR ALGUN DATO ? (SI,NO) ')
1700  FORMAT(A2)
      READ(3,1700) SISI
      IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 931
      IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 1710
1720  FORMAT(//,' DIRECTORIO DE DATOS : ',/,4X,'1 METODO DE CALCULO',
*    ' A UTILIZAR',/,4X,'2 NUMERO DE ESTACIONES',/,4X,'3 ALGUNA(S) ',
*    'ESTACION(ES). ',/)
      WRITE(3,1720)
      CORREC=1
1721  FORMAT(/,' NUMERO DEL DATO A CORREGIR ?',/,)
1722  WRITE(3,1721)
      READ(3,4) IDIR
      IF(IDIR.LE.0.OR.IDIR.GT.3) GO TO 1722
      IF(IDIR.EQ.1) GO TO 1724
      IF(IDIR.EQ.2) GO TO 12
1726  FORMAT(/,2X,'NUMERO DE LA ESTACION A CORREGIR ?',/)
1728  WRITE(3,1726)
      READ(3,4) NES
      IF(NES.LE.0.OR.NES.GT.M) GO TO 1728
      WRITE(3,14)
      WRITE(3,16)
      WRITE(3,18) NES
      READ(3,20) PM(NES),I(NES),B(NES),C(NES)
1730  FORMAT(//,2X,'DESEA CORREGIR OTRA ESTACION ? (SI,NO)',/)
1731  WRITE(3,1730)

```

```

READ(3,1700) SISI
IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 1731
IF(SISI.EQ.NEG) GO TO 1300
GO TO 1728
1710 PT=3.1415926/180
BAND=0
2500 FORMAT(/,4X,65(1H*),/,4X,'*',6X,'RESULTADOS DEL CALCULO',
* ' DE COORDENADAS RECTANGULARES',5X,'*',/,4X,'*',6X,'PARA PO',
* 'ZOS DIRECCIONALES.',32X,'*',/,4X,65(1H*),/)
WRITE(3,1910)
WRITE(3,2500)
5000 FORMAT(/,3X,'PROF.',4X,'INCLI.',4X,'RUMBO',4X,'PROF. VERT.',
* 7X,'COORD. RECTS.',6X,'PATA DE PERRO',/,3X,'MED.',24X,
* 'VERDADERA',5X,'D-NS',9X,'D-EW',/,3X,'(M)',6X,'(GRAD)',
* 4X,'(GRAD)',6X,'(M)',8X,'(M)',10X,'(M)',5X,
* '(GRAD/30.0 M)',/)
IF(B(1).NE.0.) GO TO 559
X(1)=0.0
Y(1)=0.0
A(1)=0.0
559 IF(MET.EQ.2) GO TO 500
2600 FORMAT(/,25X,'METODO DEL ANGULO MEDIO',/,25X,
* 23(1H*),/)
WRITE(3,2600)
WRITE(3,5000)
R19=0
DO 34 N=2,M
IAVG=((I(N-1)+I(N))/2)*PT
BAVG=((B(N-1)+B(N))/2)*PT
CL=PM(N)-PM(N-1)
PHOR=CL*SIN(IAVG)
R10=PHOR*SIN(BAVG)
T=CL*COS(IAVG)
R20=PHOR*COS(BAVG)
IF(N.EQ.2) GO TO 36
PVV(N)=PVV(N-1)+T
GO TO 38
36 PVV(N)=T+PM(1)
38 IF(N.NE.2) GO TO 60
IF(C(2).EQ.1.) GO TO 40
IF(C(2).EQ.2.) GO TO 42
IF(C(2).EQ.3.) GO TO 44
X(N)=R10
Y(N)=-R20
GO TO 34
40 X(N)=R10
Y(N)=R20
GO TO 34
42 X(N)=-R10
Y(N)=R20
GO TO 34
44 X(N)=-R10
Y(N)=-R20
GO TO 34
60 IF(C(N).EQ.1.) GO TO 62
IF(C(N).EQ.2.) GO TO 64
IF(C(N).EQ.3.) GO TO 66

```

```

X(N)=X(N-1)+R10
Y(N)=Y(N-1)-R20
GO TO 34
62 X(N)=X(N-1)+R10
Y(N)=Y(N-1)+R20
GO TO 34
64 X(N)=X(N-1)-R10
Y(N)=Y(N-1)+R20
GO TO 34
66 X(N)=X(N-1)-R10
Y(N)=Y(N-1)-R20
34 CONTINUE
PVV(1)=PM(1)
GO TO 1500
500 CONTINUE
2750 * FORMAT(/, 25X, 'METODO DEL RADIO DE CURVATURA', /, 25X,
* 29(1H*), /)
WRITE(3, 2750)
WRITE(3, 5000)
R19=0
PVV(1)=PM(1)
V(1)=B(1)*PT
DO 800 N=2, M
CL=PM(N)-PM(N-1)
A(N)=I(N)*PT
IF(C(N). EQ. 1. ) GO TO 600
IF(C(N). EQ. 2. ) GO TO 610
IF(C(N). EQ. 3. ) GO TO 620
V(N)=(180-B(N))*PT
GO TO 630
600 V(N)=B(N)*PT
GO TO 630
610 V(N)=(360-B(N))*PT
GO TO 630
620 V(N)=(180+B(N))*PT
630 IF(V(N-1). EQ. V(N). AND. A(N-1). EQ. A(N)) GO TO 640
IF(N. EQ. 2. OR. V(N-1). EQ. V(N). AND. A(N-1). NE. A(N)) GO TO 650
IF(V(N-1). NE. V(N). AND. A(N-1). EQ. A(N)) GO TO 660
IF(ABS(V(N)-V(N-1)). GT. 3. 1415926) GO TO 670
R66=V(N)-V(N-1)
GO TO 680
670 R66=(B(N)+B(N-1))*PT
680 R48=CL*(COS(A(N-1))-COS(A(N)))
* / (R66*(A(N)-A(N-1)))

X(N)=R48*(COS(V(N-1))-COS(V(N)))+X(N-1)
Y(N)=R48*(SIN(V(N))-SIN(V(N-1)))+Y(N-1)
PVV(N)=CL*(SIN(A(N))-SIN(A(N-1)))/(A(N)-A(N-1))+PVV(N-1)
GO TO 800
660 IF(ABS(V(N)-V(N-1)). GT. 3. 1415926) GO TO 661
R66=V(N)-V(N-1)
GO TO 662
661 R66=(B(N)+B(N-1))*PT
662 R48=CL*SIN(A(N))/R66
X(N)=R48*(COS(V(N-1))-COS(V(N)))+X(N-1)
Y(N)=R48*(SIN(V(N))-SIN(V(N-1)))+Y(N-1)

```



```

PVV(N)=CL*COS(A(N))+PVV(N-1)
GO TO 800
650 R48=CL*(COS(A(N-1))-COS(A(N)))/(A(N)-A(N-1))
X(N)=R48*SIN(V(N))+X(N-1)
Y(N)=R48*COS(V(N))+Y(N-1)
PVV(N)=CL*(SIN(A(N))-SIN(A(N-1)))/(A(N)-A(N-1))+PVV(N-1)
GO TO 800
640 X(N)=CL*SIN(A(N))*SIN(V(N))+X(N-1)
Y(N)=CL*SIN(A(N))*COS(V(N))+Y(N-1)
PVV(N)=CL*COS(A(N))+PVV(N-1)
800 CONTINUE
BAND=1
1500 DO 70 N=1, M
IF(X(N).GT.0.) GO TO 72
R(N)=3
GO TO 74
72 R(N)=1
74 IF(Y(N).GT.0.) GO TO 76
G(N)=4
GO TO 70
76 G(N)=2
70 CONTINUE
DO 80 N=2, M
R40=SIN(I(N-1)*PT)*SIN(I(N)*PT)
R41=SIN(B(N-1)*PT)*SIN(B(N)*PT)
R42=COS(B(N-1)*PT)*COS(B(N)*PT)
R40=R40*(R41+R42)
F=R40+COS(I(N-1)*PT)*COS(I(N)*PT)
IF(F.GT.1. OR.F.LT.0.) GO TO 82
ARG=SQRT(1-F**2)/F
F=ATAN(ARG)
UPI=PM(N)-PM(N-1)
DLS(N)=30.0*F/(UPI*PT)
GO TO 80
82 DLS(N)=0.
80 CONTINUE
IF(X(M)-X(1).LT.0.) GO TO 90
IXCIE='E'
GO TO 95
90 IXCIE='W'
95 IF(Y(M)-Y(1).LT.0.) GO TO 93
IYCIE='N'
GO TO 98
93 IYCIE='S'
98 CONTINUE
R24=(ABS(X(M))-ABS(X(1)))**2+(ABS(Y(M))-ABS(Y(1)))**2
R88=SQRT(R24)
R25=ABS(ABS(X(M))-ABS(X(1)))
R26=ABS(ABS(Y(M))-ABS(Y(1)))
R27=R25/R26
R28=(ATAN(R27))/PT
RUM1=INT(R28)
RUM3=(R28-RUM1)*60
RUM2=INT(RUM3)
IF(IXCIE.EQ.'E'.AND.IYCIE.EQ.'N') GO TO 105
IF(IXCIE.EQ.'E'.AND.IYCIE.EQ.'S') GO TO 110
IF(IXCIE.EQ.'W'.AND.IYCIE.EQ.'N') GO TO 115

```

```

R35=3
GO TO 120
105 R35=1
GO TO 120
110 R35=4
GO TO 120
115 R35=2
120 CONTINUE
DO 130 N=1,M
IF(C(N).EQ.1.) GO TO 132
IF(C(N).EQ.2.) GO TO 134
IF(C(N).EQ.3.) GO TO 136
ID='SE'
GO TO 131
132 ID='NE'
GO TO 131
134 ID='NW'
GO TO 131
136 ID='SW'
131 R19=R19+1
IF(R(N).EQ.1) GO TO 140
IEWCE='W'
GO TO 144
140 IEWCE='E'
144 IF(S(N).EQ.2) GO TO 142
INSCE='S'
GO TO 146
142 INSCE='N'
146 CONTINUE
X(1)=0.0
Y(1)=0.0
DLS(1)=0.0
XN=ABS(X(N))
YN=ABS(Y(N))
WRITE(3,201) PM(N),I(N),B(N),ID,PVV(N),YN,INSCE,
* XN,IEWCE,DLS(N)
IF(R19.NE.5) GO TO 130
200 FORMAT(/)
WRITE(3,200)
R19=0
130 CONTINUE
201 FORMAT(1X,F8.2,3X,F5.2,3X,F5.2,1X,A2,3X,F7.2,3X,F7.2,1X,A2,
* 3X,F7.2,1X,A2,6X,F4.2)
1492 FORMAT(/,11X,57(1H*),/,11X,*,26X,8(1H*),21X,*,
* /,11X,*,4X,EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A LA /,
* PROFUNDIDAD DE /,2X,*,/,11X,*,26X,8(1H*),21X,*,/,
* 11X,*,F7.1, METROS ES /,F8.2, METROS/,3X,RUMBO /,
* A1,I3,--,I3,1X,A1,3X,*,/,11X,*,26X,8(1H*),21X,
* *,/,11X,57(1H*),/)
WRITE(3,1492) PM(M),R88,IYCIE,RUM1,RUM2,IXCIE
IF(MET.EQ.1.OR.MET.EQ.2) GO TO 1000
IF(BAND.EQ.1) GO TO 1000
WRITE(3,1910)
GO TO 500
1000 CONTINUE
1810 FORMAT(/,DESEA REGRESAR AL MENU DE CALCULO DE /,
* COORDENADAS /,/, DE POZOS DIRECCIONALES ? (SI,NO),/)
1815 WRITE(3,1810)
READ(3,1700) SISI
IF(SISI.NE.SI.AND.SISI.NE.NEG) GO TO 1815
IF(SISI.EQ.SI) GO TO 1724
RETURN
END

```