



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“CONDICIONES PARA PERFORAR ROCA  
ÍGNEA EN ÁREAS GEOTÉRMICAS”**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO PETROLERO**  
P R E S E N T A:  
**SANTOS ALFONSO PRECIADO  
BRACAMONTE.**

**DIRECTOR:**  
**QUIM. ROSA DE JESÚS HERNANDEZ ÁLVAREZ**



**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**2006**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## *“ORACIÓN POR LOS INGENIEROS”*

*¡ Oh DIOS !,  
Tu que has querido  
que el estudio y el trabajo  
del hombre perfeccionaran cada día  
el universo que has creado,  
te pedimos que nuestro trabajo  
como ingenieros, resulte siempre  
provechoso a la familia humana  
y que contribuya al cumplimiento  
de tus designios sobre el mundo.  
Por nuestro señor, Jesucristo.  
Amén.*

## **AGRADECIMIENTOS:**

### **A DIOS...**

**Humildemente le agradezco que me haya dado la gracia y sabiduría para acertar en todas las decisiones de mi ejercicio profesional.**

### **A MIS PADRES...**

**Por ser el ejemplo a seguir, por sus consejos, por todo el amor y confianza que en mí depositaron.**

### **A MIS HERMANOS...**

**Por su apoyo incondicional para lograr mi desarrollo académico.**

### **A MI ESPOSA...**

**Bertha Alicia Martínez Martínez, con todo mi amor por su invaluable apoyo en todos los aspectos; por ser tan comprensiva y haberme motivado para la conclusión del proceso de Titulación.**

### **A MIS AMADOS HIJOS...**

**Sahid Alfonso, Saúl Abraham y Saúl Alejandro, por ser los mejores hijos.**

### **AL ING. ROBERT RESENDEZ...**

**Director general de la empresa Weatherford c&ps en México, por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo y todos los conocimientos transmitidos; y, principalmente, el haberme apoyado para la culminación del trabajo de tesis que se presenta.**

### **EMPRESA WEATHERFORD C&PS...**

**En donde me he desarrollado profesionalmente y he tenido la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos y a su vez retroalimentarme con los conocimientos de mis compañeros de trabajo.**

### **MTRA. QUIM. ROSA DE JESÚS HERNÁNDEZ ÁLVAREZ...**

**Que con su apoyo incondicional, su gran calidad profesional y humana, se logró la conclusión del trabajo Terminal.**

**A todos mis amigos especialmente a los Ingenieros Álvaro Almanza Chávez, Marco Antonio Mendoza Buenrostro y Rafael Pérez Hernández; por su apoyo y ayuda moral, por sus sabios consejos y caminar siempre a mi lado.**

**A todos los profesores que participaron en mi formación académica, gracias por sus conocimientos, los cuales supieron transmitir con profesionalismo y técnica pedagógica.**

**AL JURADO...**

**Por su invaluable guía y apoyo.**

**M. I. JOSÉ ÁNGEL GÓMEZ CABRERA.**

**ING. MARIO BECERRA ZEPEDA.**

**ING. MARTÍN CARLOS VELÁZQUEZ FRANCO.**

**M. C. JAIME ORTIZ RAMÍREZ.**

**A LA FACULTAD DE INGENIERÍA...**

**Por brindarme la oportunidad de cultivarme y darme la formación profesional, sin lo cual no hubiera sido posible vivir este momento.**

## CONDICIONES PARA PERFORAR ROCA ÍGNEA EN ÁREAS GEOTÈRMICAS.

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>2</b>
GENERALIDADES.....	2
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>3</b>
<b>PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA ROCA ÍGNEA.</b>	<b>3</b>
Rocas ígneas.....	4
Textura.....	4
Contenido mineralógico.....	4
Clasificación y características.....	5
Granito.....	5
Sieníta.....	5
Monzonita.....	6
Diorita.....	6
Felsíta.....	6
Riolíta... ..	6
Gabro... ..	7
Peridotíta.....	7
Basalto.....	7
Pórfidos.....	7
Obsidiana.....	7
Rocas piroclásticas.....	8
Magmas.....	8
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>9</b>
<b>ELEMENTOS QUE SE REQUIEREN PARA SU PERFORACIÓN.</b>	<b>9</b>
Equipos y sistemas hidráulicos.....	10
Equipos.....	10
Mecánico.....	10
Hidráulico.....	10
Sistemas hidráulicos.....	10
Fluidos de perforación y terminación.....	10
Funciones, propiedades físicas y fisicoquímicas.....	10
Funciones.....	10
Propiedades físicas y fisicoquímicas.....	10

Equipos.....	11
Mecánico.....	11
La Torre ó Mástil.....	12
El Sistema de energía eléctrico y motor de combustión interna.....	14
La Transmisión de energía.....	14
El Sistema de elevación.....	16
El Malacate.....	16
Polea viajera.....	18
El equipo rotatorio.....	20
Equipo para control del pozo.....	20
Preventores de reventones.....	21
Unidad para operaciones para preventores.....	22
Los instrumentos de perforación.....	23
Equipo hidráulico.....	24
La unión giratoria.....	24
Flecha y mesa rotaria.....	25
La sarta de perforación.....	26
La barrena.....	27
Presas.....	28
Temblorina.....	29
Fluidos.....	30
Fluidos de perforación y terminación.....	30
Funciones de los fluidos de perforación.....	32
Acarreo, remoción y suspensión de los recortes de perforación.....	32
Control de las presiones superficiales.....	32
Evitar la filtración.....	32
Enfriamiento y lubricación de la sarta de Perforación.....	32
Limpieza del fondo del pozo.....	33
Ayuda a la evaluación de la formación.....	33
Protección a la productividad de la formación.	33
Propiedades físicas y fisicoquímicas.....	34
Viscosidad.....	34
Métodos que existen para la medición de la viscosidad de los fluidos de perforación.....	38

Embudo march.....	38
Viscosímetros rotacionales.....	38
Viscosímetro tubular.....	38
Viscosímetro capilar.....	38
Gelatinocidad.....	38
Impermeabilidad.....	39
Acidez y alcalinidad.....	40
Estabilidad a la temperatura.....	40
Poder lubricante.....	41
Inhibición de gases tóxicos, ácido sulfhídrico y formaciones inestables.....	42
Composición del lodo de perforación.....	42
Contenido de arena.....	42
Contenido de líquidos y sólidos.....	42
Análisis químicos del filtrado.....	43
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>44</b>
CONDICIONES OPERATIVAS POZO Az-1a CAMPO GEOTÉRMICO LOS AZUFRES.....	44
Condiciones operativas de la perforación del pozo Az-1a.....	46
Localización del campo.....	46
Objetivos de la perforación.....	46
Localización del pozo.....	46
Equipo de perforación utilizado.....	46
Construcción de contrapozo.....	46
Columna litológica.....	47
Fluidos utilizados durante la perforación.....	47
Pérdidas de circulación y su control.....	48
Muestras de canal.....	48
Registros de presión y temperatura.....	48
Registros de inclinación.....	48
Secuencia operativa de la perforación.....	49
Resumen operativo de la perforación por etapas.....	50
Perforación de la primera etapa.....	51
Perforación de la segunda etapa.....	51
Perforación de la tercera etapa.....	52
Perforación de la cuarta etapa.....	53
Selección de barrenas.....	60
Registro de pérdidas de circulación.....	61
Resumen operativo de instalación y cementación	

de tuberías de revestimiento.....	63
Tubería de revestimiento de 20” diám.....	64
Tubería de revestimiento de 13 3/8” diám.....	64
Tubería de revestimiento de 9 5/8” diám.....	66
Registro de materiales agregados.....	68
Relación de eventos realizados.....	72
Grafica de perforabilidad.....	74
Sartas de perforación utilizadas.....	76
Programa hidráulico por etapa.....	84
Instalaciones superficiales de control.....	94
Conexiones superficiales de control.....	95
Conexiones superficiales de control primera etapa.....	96
Conexiones superficiales de control segunda etapa.....	97
Conexiones superficiales de control tercera etapa.....	98
Estado mecánico.....	99
 <b>CAPITULO V</b> .....	 100
<b>CONCLUSIONES</b> .....	100
 <b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

# Introducción

Debido a la gran demanda energética que tiene el país es necesario desarrollar energías alternas, como es la Geotermia, por tal motivo este trabajo de contenido bibliográfico y experiencias de campo tiene como objetivo darlo a conocer.

La energía contenida en el interior de la tierra, es quizá solo superada por el sol en magnitud y disponibilidad, ya que su distribución mundial es mucho mas equitativa que la de todas las otras fuentes de energía.

El potencial energético con que contamos en el país es muy alto, tanto que aún la Geotermia no ha sido cuantificada y esta lejos de ser cabalmente explotada.

La Geotermia es capaz de generar electricidad para el consumo industrial y agrícola, debido a su bajo costo en relación a otras energías y seguridad en el manejo.

Sin duda alguna, la Geotermia desempeña un papel decisivo en las necesidades energéticas del país en un futuro próximo.

Actualmente se encuentra en producción los campos de:

Cerro Prieto en el estado de Baja California Norte

Los Azufres en el Estado de Michoacán.

Perote en el Estado de Veracruz.

Tres Vírgenes en el Estado de Baja California Sur.

El campo de La Primavera en el Estado de Jalisco, se encuentra en desarrollo.

# Capitulo I

## Generalidades

Debido al gran avance técnico que ha alcanzado la Industria Petrolera y al gran despliegue de recursos financieros que se le dedica en la investigación dada su importancia económica mundial, la Geotermia no ha tenido la oportunidad de desarrollarse al mismo ritmo, por lo que hoy en día, se están haciendo intentos en varias partes del país, por crear los equipos y metodologías que puedan resolver la gran variedad de problemas que se encuentran al momento de realizar la perforación de pozos geotérmicos, con el fin de aumentar la producción de vapor endógeno y los resultados obtenidos aunque lentos, son prometedores.

No hay que olvidar que la tecnología de que dispone no esta lo suficientemente estudiada ya que existen algunos problemas fuertes como lo es el manejar los grandes volúmenes de agua que generalmente acompañan al vapor en algunos campos geotérmicos conocidos como en el de los azufres, que están por resolverse.

Por otra parte se pretende que con la perforación de roca ígnea para pozos geotérmicos, sea una gran ayuda a la industria generadora de energía ya que, solo se requiere familiarizarse mas con la técnica apropiada para seguir creando experiencia, para la mejora continua en la calidad de los servicios ya que así lo demanda la industria energética mexicana, pilar fundamental de la Economía Nacional cuyo mercado cada vez es más amplio y demandante.

# **Capitulo II**

## **Propiedades Físicas y Químicas de la Roca Ígnea.**

**Rocas Ígneas.**

**Textura.**

**Contenido Mineralógico.**

**Clasificación y Características de Rocas Ígneas.**

**Granito.**

**Sienita.**

**Monzonita.**

**Diorita.**

**Felsita.**

**Riolita.**

**Gabro.**

**Peridotita.**

**Basalto.**

**Pórfidos.**

**Obsidiana.**

**Rocas Piroclásticas.**

**Magmas.**

## **Rocas Ígneas.**

Las rocas ígneas fueron una vez masa líquida, fundida y caliente conocida como magma que fue enfriado para formar rocas duras y firmes. Estas rocas derivadas del fuego, son el ancestro de todas las rocas.

Las características principales de éstas son:

- 1) Textura.
- 2) Contenido Mineralógico.

### **Textura.**

Las rocas ígneas, tanto intrusivas como extrusivas tienen texturas diferentes; las cuales generalmente indican las condiciones bajo las cuales se enfriaron. La composición química del magma es importante, como también el tamaño de los granos de los minerales ya que depende principalmente del ritmo de enfriamiento determinado por la temperatura, la presión y la presencia de volátiles. Las texturas entrelazadas gruesas (llamadas faneríticas, granitoide o granítica) ya que resultan de un lento enfriamiento, ayudadas notablemente por enormes cantidades de agua y otras sustancias volátiles. Las texturas finas (afaníticas o felsíticas si los granos no se distinguen) resultan de un enfriamiento rápido el cual, en realidad puede tener lugar con tanta velocidad que únicamente se forma vidrio. Las texturas mezcladas (porfídicas), generalmente explican la representación de dos etapas de solidificación; consiste en grandes cristales que se llaman fenocristales embebidos en una pasta de cristales afaníticos más finos, los que se solidificaron alrededor de los fenocristales. Las rocas ígneas rotas, despedazadas por explosiones volcánicas y reunidas posteriormente tienen una textura fragmentaria o piroclástica.

### **Contenido Mineralógico.**

Las clases y cantidades de varios de los minerales contenidos en una roca ígnea, dependen principalmente de la composición química del magma o de

la lava. Las rocas ácidas (silícicas o persilícicas) tienen un alto contenido de sílice; predominan en ellas el cuarzo y el feldespato y son típicamente de color claro y de baja gravedad específica (granito, riolita). Las rocas básicas (subsilícicas) tienen un bajo contenido de sílice pero más hierro y magnesio, los cuales forman los minerales ferromagnesianos (máficos) como piroxenas, biotitas y olivino. Estos minerales forman las rocas básicas más oscuras y más pesadas, aun cuando algunos feldespatos están frecuentemente presentes; gabro, doleritas y el basalto. Rocas extremadamente básicas en las que casi esta ausente el feldespato, se conocen con el nombre de ultra básicas, dunita, peridotita y piroxenita.

## **Clasificación y características.**

Rocas ígneas que se encuentran al perforar pozos geotérmicos.

### **Granito.**

Los minerales esenciales necesarios para la clasificación del verdadero granito, son el feldespato de potasio y el cuarzo. El feldespato plagioclasa y la mica diotita ( hornblenda ) están presentes, por lo general muchos granitos contienen granos esparcidos de mica muscovita así como minerales, accesorios secundarios (tales como magnetita, apatito y circón) los cuales no influyen en el nombramiento de la roca. El color del granito ya sea blanco, gris, rosado o rojo, es debido principalmente al color del feldespato.

### **Sienita.**

Similar en textura al granito, pero con menos sílice y poco o nada de cuarzo, la sienita es mucho menos común que el granito, los otros minerales tienden a ser similares a los del granito. La sienita de nefelina es una roca importante, aunque rara ya que contiene además de feldespato un mineral nefelina que pertenece a los minerales del grupo de los feldespatoides.

## **Monzonita.**

Un intrusivo granitoide en el cual están presente los feldespatos de potasio y plagioclasa en proporciones casi iguales (tiene colores diferentes), se llama monzonita. Los minerales oscuros son principalmente mica biotita, anfíbola (hornblenda) y piroxena (augita). Si el cuarzo también esta presente como en el granito, la roca es una monzonita de cuarzo o granodiorita.

## **Diorita.**

La plagioclasa es el feldespato dominante en la diorita, otra roca ígnea intensiva menos común que el granito. La diorita contiene abundantes minerales oscuros, semejándose a la monzonita en este respecto. Cuando esta presenta el cuarzo, la roca se llama diorita de cuarzo o tonalita.

## **Felsita.**

Las rocas ígneas ácidas e intermedias que son de un grano tan fino que los minerales apenas pueden ser reconocibles con el microscopio, se agrupan bajo el nombre de felsitas. El bandeamiento debido al flujo de la lava que se esta enfriando, las inclusiones y las cavidades de gas, son rasgos comunes de las felsitas.

Cada uno de los principales tipos de felsita (los que son de origen extrusivo) corresponde en cantidad y clase de feldespato a una roca intrusiva de composición química similar. [Sin embargo, en la felsita, los minerales pueden diferir en algunos aspectos y ciertos minerales son aptos para mantenerse firmes como lo hacen en los pórfidos].

## **Riolita.**

Es el equivalente extrusivo del granito; sus granos más sobresalientes son de cuarzo, aunque son comunes los feldespatos de potasio y mica biotita. La riolita y la andesita son muy abundantes y se presentan en varios colores. La riolita lo hace en colores ante, crema o púrpura; la andesita es más oscura, comúnmente gris o verdosa.

## **Gabro.**

Sus principales minerales son la piroxena (augita) y el feldespato plagioclasa (labradorita); pero también puede contener hornblenda y olivino, siendo entonces una roca ígnea básica típica.

## **Peridotita.**

La roca ígnea intrusiva que está constituida principalmente de olivino y piroxena, se llama peridotita y dunita cuando está compuesta totalmente de olivino; cuando la piroxena es el mineral esencial, es una piroxenita.

## **Basalto.**

El equivalente afanítico del gabro es el basalto, la más abundante de todas las lavas cuando sus vesículas están rellenas por minerales, como cuarzo o calcita, al basalto y rocas ígneas de grano fino oscuras similares, se les conoce con el nombre de rocas trapecanas.

## **Pórfidos.**

Un número apreciable de fenocristales en la mesostasis, hace de cualquier roca ígnea un pórfido. De esta manera, entre las rocas descritas anteriormente hay pórfidos de granito, de sienita, de monzonita, de diorita, de felsita, de basalto y de rocas afines. Muchas de las rocas afaníticas ordinarias no importa el nombre que lleven, tienden por lo general a ser porfídicas.

## **Obsidiana.**

El equivalente vítreo de las rocas ácidas e intermedias se llama obsidiana. a pesar de su color oscuro generalmente negro, aunque algunas veces es gris, castaño o rojo, la obsidiana no es una roca básica. Cuando se amplifica, muestra cristalización incipiente que explica el color oscuro.

## **Rocas Piroclásticas.**

La ceniza volcánica de una erupción se transforma en toba cuando se consolida, algunas llegan a ser tobas soldadas cuando están fundidas en una nube ardiente de gases calientes. Los fragmentos más gruesos producen una brecha volcánica, la cual puede originarse por una explosión o por flujo.

## **Magmas.**

Los magmas son mezclas de fases fundidas, predominantemente silicatadas, que al enfriarse se consolidan formando las rocas ígneas. El concepto de magma implica la coexistencia de fracciones sólidas, líquidas y gaseosas que pueden separarse bajo condiciones termodinámicas favorables.

Una característica principal de los magmas es su viscosidad, la cual depende básicamente de la composición química del fundido y se debe a la formación de cadenas de átomos de silicio y oxígeno que dan estructuras polimerizadas incipientes. En general, estos elementos son siempre los más abundantes en cualquier magma, si bien la proporción de  $\text{SiO}_2$  es mayor en los magmas ácidos que en los magmas básicos. Los fundidos ricos en sílice serán por lo tanto los más viscosos, aunque factores tales como la presión y la temperatura pueden modificar notablemente la viscosidad inicial, ya que inciden en la separación de las fracciones sólida y volátil del fundido.

La fracción sólida de los magmas está constituida por restos sin fundir y por los cristales que se forman al unirse las moléculas dispersas y ordenarse en redes tridimensionales. Una alta proporción de cristales en su suspensión eleva la viscosidad del fundido, aunque esta fracción sólida puede separarse gravitatoriamente y acumularse en los niveles inferiores del magma, cuando los cristales son más densos que el fundido o flotar si los cristales son más ligeros.

La separación de las fases cristalinas empobrece al fundido en los elementos que componen los cristales, por lo que la composición química del líquido residual difiere del magma original.

## **Capitulo III**

**Elementos que se requieren para su perforación.**

# **Equipos y Sistemas Hidráulicos.**

## **Equipos**

### **Mecánico.**

La torre o mástil.  
El sistema de energía eléctrica y motor de combustión interna.  
El sistema de elevación.  
El malacate y polea viajera.  
El equipo rotatorio.  
El equipo para control del pozo.  
Preventores de reventones.  
Instrumentos de perforación.

### **Hidráulico.**

La unión giratoria.  
La flecha y mesa rotatoria.  
La sarta de perforación.  
La barrena.  
Las presas.  
Las temblorinas.

## **Sistemas Hidráulicos.**

### **Fluidos de Perforación y Terminación.**

#### **Funciones, Propiedades Físicas y Físicoquímicas.**

#### **Funciones**

Acarreo, remoción y suspensión de los recortes de perforación.  
Control de las presiones subsuperficiales.  
Evitar la filtración.  
Enfriamiento y lubricación de la sarta de perforación.  
Limpieza del fondo del pozo.  
Ayuda a la evaluación de la formación.  
Protección a la productividad de la formación

#### **Propiedades Físicas y Físicoquímicas**

Densidad o peso específico del lodo.  
Viscosidad.  
Gelatinosidad.  
Impermeabilidad.  
Acidez y Alcalinidad.  
Estabilidad a la temperatura.  
Poder lubricante.  
Inhibición de Gases Tóxicos, Acido Sulfhídrico y formaciones Inestables.  
Composición del lodo de perforación.

## **EQUIPOS.**

### **Mecánico.**

Se puede considerar una instalación de perforación como una fábrica o una planta manufacturera. Está diseñada para fabricar solamente un producto; el pozo. Difiere de otras instalaciones manufactureras ya que el equipo de perforación es móvil o sea, debe ser trasladado continuamente. Sin embargo, este requisito de portabilidad no impone demasiadas limitaciones sobre la capacidad de una instalación para perforar de hecho, muchas de las instalaciones grandes utilizadas hoy día han sido diseñadas para perforar hasta profundidades que se aproximan a 10,000 metros. Estas mismas instalaciones pueden ser trasladadas varios kilómetros a una área nueva de perforación, ser reinstalada nuevamente y seguir perforando en la nueva localización. Lo único que se debe tener en cuenta cuando se está diseñando una instalación es que ninguno de los componentes debe ser tan grande o pesado que no pueda ser transportado por un camión. (FIG. 1)



FIG. 1 EQUIPO DE PERFORACIÓN TERRESTRE

## La Torre o Mástil.

Torre o Mástil es una estructura con cuatro patas de apoyo que descansan sobre una base cuadrada y se ensambla pieza a pieza cada vez que se perfora un pozo. En contraste, el mástil es ensamblado un sola vez cuando es fabricado. Luego de ser fabricado, el mástil se mantiene como una sola unidad y se eleva y se baja como una sola unidad cada vez que se perfora un pozo. La Torre o Mástil se erige sobre una subestructura la cual sirve para dos propósitos principales:

- 1) Soportar el piso de la instalación, proporcionando espacio para equipo y personal.
- 2) Proveer el espacio suficiente debajo del piso para la instalación de válvulas especiales llamadas preventores de reventones. (FIG. 2)



FIG. 2 TORRE

La subestructura no solo soporta el peso de la mesa rotatoria, sino el peso completo de la sarta de perforación cuando dicha sarta está suspendida en el pozo por medio de las cuñas. También soporta una sarta de tubería de revestimiento, cuando la tubería se está introduciendo en el pozo utilizando cuñas que van asentadas dentro de la mesa rotatoria o cuando se está almacenando tubería temporalmente en la subestructura. El piso de la instalación también sostiene el malacate, los controles del perforador, la caseta del perforador y otro equipo relacionado con la perforación rotatoria.

Las torres y mástiles se clasifican de acuerdo a su capacidad para soportar cargas verticales y la velocidad del viento que puedan soportar de lado. Las capacidades de carga de las instalaciones modernas pueden variar desde 250,000 hasta 1,500 000 libras. Una torre o mástil típico puede soportar vientos de aproximadamente 160 a 210 kilómetros por hora con los peines llenos de tuberías.

Otra consideración que hay que tomar en cuenta en el diseño de la instalación es la altura. La torre o mástil y su subestructura debe soportar el peso de la sarta de perforación en todo momento, mientras la sarta está suspendida de la polea viajera y cuando esta descansando en la mesa rotatoria.

La altura de la torre o mástil no influye en la capacidad de carga del mismo, pero sí influye en la altura de las secciones de tubo que se puede sacar del pozo sin tener que desconectarlos. Esto se debe a que el block de la corona debe estar a suficiente altura de la sección para permitir sacar la sarta del pozo y almacenarla temporalmente en los peines, cuando se saca para cambiar la barrena o para alguna otra operación.

Cuando la sarta de perforación se saca del pozo, se realiza en secciones que usualmente consisten de tres tubos, estas secciones se llaman juegos de tres o lingadas; cada tubo mide aproximadamente 9 metros y una lingada mide aproximadamente 27 metros y se puede acomodar en una instalación que mide 42 metros.

(FIG. 3)



FIG. 3 MASTIL

## **El sistema de energía eléctrico y motor de combustión interna.**

Hoy día, la mayoría de las instalaciones utilizan motores de combustión interna, de preferencia se utiliza diesel como fuente prima de energía y algunos motores son eléctricos.

### **La transmisión de energía.**

Dos métodos comunes utilizados para transmitir la potencia desde la fuente prima hasta los componentes de la instalación son el mecánico y el eléctrico. Hasta hace poco, casi todas las instalaciones eran mecánicas o sea, la potencia de los motores era transmitida a los componentes por medios mecánicos, actualmente las instalaciones diesel – eléctricas están rápidamente reemplazando a las mecánicas. (FIG. 4)

En una instalación de transmisión mecánica, la energía es transmitida desde los motores hasta el malacate, las bombas y otra maquinaria a través de un ensamble conocido como la central de distribución. La central de distribución está compuesta por embragues neumáticos, engranes, bandas, poleas y ejes, los cuales funcionan para lograr la transmisión de energía.

Las instalaciones diesel–eléctricas utilizan motores diesel siempre están localizados ha alguna distancia del equipo. Estos motores diesel le suplen energía a grandes generadores de electricidad; estos generadores a su vez producen electricidad que se transmite por cables hasta un dispositivo de distribución de aquí, la electricidad viaja a través de cables adicionales hasta los motores eléctricos que van conectados directamente al equipo, el malacate, las bombas del lodo y la mesa rotaria.

El sistema diesel – eléctrico tiene un número de ventajas sobre el sistema mecánico, una de las ventajas principales es la eliminación de la transmisión pesada y complicada de la central de distribución y la transmisión de cadenas, así eliminando la necesidad de alinear la central de distribución con los motores y el malacate. Otra ventaja es que los motores se pueden colocar lejos del equipo, así reduciendo el ruido de los motores. (FIG. 5)

Los arreglos de las instalaciones no tienen un patrón fijo, la central de distribución, las bombas y el equipo rotatorio pueden estar colocados en diferentes maneras dependiendo de las necesidades de la localización.

Cada contratista tiene diferentes ideas sobre la mejor manera de distribuir el equipo en la instalación y cada uno lo arregla a su gusto.



FIG. 4 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA



FIG. 5 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA

## **El sistema de elevación.**

### **El malacate.**

El malacate es un pieza de equipo grande y pesado, que consiste de un tambor que gira sobre un eje alrededor del cual un cable de acero llamado cable de perforación, va enrollado; también tiene un eje que atraviesa el malacate y que tiene un carrete y un tambor que giran en cada extremo de este eje. Varios ejes, embragues y transmisiones de cadena, facilitan los cambios de dirección y velocidad.

El malacate es el mismo tipo general de mecanismo que se conoce comúnmente en otras industrias como cabrestante o güinche. Los propósitos principales del malacate son dos: sacar y meter la tubería al pozo, un cable de acero es enrollado en el carrete del malacate y cuando se pone a funcionar, el carrete gira, dependiendo en que dirección gira el carrete, la polea viajera sube o baja a medida que el carrete enrosca o desenrosca el cable. Como la sarta de perforación está conectada a la polea viajera, ésta sube o baja cuando la polea a su vez sube o baja. (FIG. 6)

Una de las características sobresalientes del malacate es el sistema de frenos que hace posible que un perforador controle fácilmente cargas de miles de kilos de tubería de perforación o de revestimiento, la mayoría de las instalaciones tienen por lo menos dos sistemas de frenos: un freno mecánico el cual puede parar la carga inmediatamente, el otro freno generalmente hidráulico o eléctrico, controla la velocidad de descenso de la polea viajera y también se cuenta con un freno de seguridad para no golpear la corona.

El freno auxiliar más usado en adición al freno mecánico del malacate, es el hidráulico o hidromático, una parte integral del malacate es una transmisión que provee un sistema de cambios de velocidad, este sistema de transmisión le da al perforador una gran variedad de velocidades que puede utilizar para levantar la tubería. por lo tanto, el carrete del malacate puede tener un mínimo de cuatro y hasta ocho velocidades.

Otra característica del malacate es el eje con sus dos carretes especiales. El carrete de enroscar está localizado en el lado del malacate que le queda más cerca al perforador y se usa para desenroscar y apretar las piezas de tubo. el otro carrete comúnmente llamado cabeza de gato, está localizado al otro extremo del malacate se usa para desconectar los tubos cuando se sacan del pozo.

Un malacate neumático auxiliar para maniobras, se utiliza en muchas de las instalaciones cuando se van a levantar cargas livianas. Los carretes son esenciales para la operación en la perforación rotaria, pero pueden ser muy peligrosos si no se utilizan con cuidado, la ropa y partes del cuerpo del personal se pueden enredar en los carretes si no se tiene cuidado.



FIG. 6 MALACATE

## **Polea viajera.**

La polea viajera, el block de la corona y el cable de perforación, constituyen un conjunto cuya función es soportar la carga que está en la torre o mástil mientras se mete o se saca la tubería del pozo. Durante operaciones de perforación esta carga consiste del gancho, la unión giratoria, la flecha, la tubería de perforación, el porta barrenas y una barrena conectada al extremo inferior de los porta barrenas. Durante operaciones de cementación, una sarta de tubería especial llamada tubería de revestimiento, es muchas veces una tubería mucho más pesada que toda la sarta de perforación, y tiene que ser metida dentro del pozo.

Como sucede con casi todas las partes de la instalación de perforación rotaria, las poleas y el cable de perforación deben ser sumamente fuertes para poder soportar pesos tan enormes. También debe eliminarse la fricción en los blocks hasta donde sea posible mientras que se mantiene la fuerza deseada. Por esto buenos cojinetes y buena lubricación son tan importantes.

El cable de perforación generalmente está construido de cable de acero de  $1 \frac{1}{8}$  a  $1 \frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro. Dicho cable de acero es parecido a una soga de fibra común, pero como su nombre indica, dicho cable es hecho de alambres de acero y es bastante complejo, y es de vital importancia que tenga una lubricación adecuada. Esto es debido al movimiento constante de los alambres dentro del cable de acero, unos rozando contra otros mientras el cable viaja a través de las poleas en los blocks. Ya que el cable de acero es un artículo que se desgasta y se tiene que reponer, puede ser un gasto apreciable en cualquier instalación. Esto es particularmente cierto si no se planifica un programa de compra y uso para el cable de acero desde un principio. (FIG. 7)

Aunque el cable de acero tiene un aspecto muy parecido al cable común, ha sido especialmente diseñado para las cargas pesadas encontradas en las instalaciones de perforación, para lograr mayor economía con el uso del cable de acero en una instalación de perforación, el cable debe ser seleccionado de acuerdo con el peso que tendrá que soportar y el diseño de las poleas del block de corona y de la polea viajera a través de las cuales el cable tendrá que pasar. el cable debe ser inspeccionado con frecuencia para asegurar que este en buenas condiciones. El cable de perforación debe ser movido periódicamente para que se desgaste igualmente por todos lados, el procedimiento para cortar el cable desgastado debe tomar en cuenta el uso o trabajo rendido por el cable de acero. El desgaste del cable de acero es determinado por el peso, distancia y movimiento de un cable viajando sobre un punto dado.

Para poder utilizar el cable de acero como cable de perforación, debe ser enhebrado, ya que llega a la instalación enrollado sobre un tambor alimentador. El primer paso es tomar el extremo del cable y subirlo hasta la cima del mástil o la torre donde hay un juego de poleas, este juego de poleas se conoce como block de la corona. El cable de perforación se enhebra por una de las poleas y se baja hasta el piso de la instalación, temporalmente descansando sobre el piso de la instalación se encuentra otro juego enorme de poleas llamado block viajero. El extremo del cable se enhebra por una de las poleas de este ensamble y se sube nuevamente hacia el block de la corona.

Allí el cable se enhebra nuevamente por el block de la corona, se vuelve a bajar y se devuelve nuevamente hasta la polea viajera, donde se vuelve a enhebrar. Esta operación se lleva a cabo varias veces hasta que se logra el número correcto de enhebradas. La operación de enhebrar se le llama comúnmente guarnición de líneas y casi siempre se lleva a cabo antes de elevar el mástil.

El número de cables es solamente uno pero como el cable de perforación sube y baja tantas veces, da el efecto de muchos cables. el número de cables depende del peso que se va a soportar con los blocks.

Mientras más peso se va a soportar, mas enhebradas son necesarias y viceversa, una vez que la ultima enhebrada se ha llevado a cabo, el extremo de cable se baja hasta el piso de la instalación y se conecta al tambor del malacate. La parte del cable que sale del malacate hacia el block de la corona se llama línea viva, porque se mueve mientras se sube o se baja la polea viajera. El extremo del cable que corre del block de la corona al tambor alimentador también se asegura. Esta parte del cable se conoce como línea muerta, porque no se mueve una vez que se ha asegurado. Montado sobre la infraestructura, se encuentra un aparato que se llama el ancla de la línea muerta. Esta ancla sostiene fijo al cable. Ahora la polea viajera puede ser elevada del piso hacia arriba enrollando cable con el tambor del malacate. para bajar la polea viajera , el cable se suelta.



FIG. 7 POLEA VIAJERA

La corona y la polea viajera usualmente se ven pequeños porque son vistos a distancia, las poleas alrededor de las cuales se enhebra el cable miden 1.5 metros, o más en diámetro y los pasadores o pernos sobre los cuales las poleas giran pueden medir 0.305 metros, o más en diámetro. el número de poleas necesitadas en el block de la corona siempre es uno más que las necesitadas en la polea viajera, por ejemplo, un cable de diez líneas (un cable guarnido a diez líneas) requiere seis poleas en el block de corona y cinco en la polea viajera. La polea adicional en el block de corona se necesita para enhebrar la línea muerta. Los aditamentos para la polea viajera, incluyen un muelle que actúa como un cojín para absorber choques y un gancho al cual se conecta equipo para soportar la sarta de perforación. El gancho de la polea viajera, puede conectarse a una barra cilíndrica de acero llamada asa, que soporta la unión giratoria o cabeza de inyección. Además de esta, existen dos asas para la unión giratoria que se utilizan para conectar los elevadores al gancho. Los elevadores permiten al perforador bajar o subir la sarta de perforación en el pozo. El perforador baja la polea viajera y los elevadores hasta un punto donde la cuadrilla puede conectar dichos elevadores a la tubería.

### **El equipo rotatorio.**

El equipo rotatorio descrito de arriba hacia abajo básicamente consiste de la unión giratoria, la flecha, la mesa rotaria, la sarta de perforación y la barrena.

La sarta de perforación, es el ensamble de equipo entre la unión giratoria y la barrena; incluyendo la flecha, la tubería de perforación y el porta barrenas, el término sarta de perforación se refiere sencillamente a la tubería de perforación y el porta barrenas, sin embargo en el campo sarta de perforación a menudo se refiere a todo el ensamble de tubería.

### **Equipo para control del pozo.**

Cuando surge el tema de control de pozos, lo primero que viene en mente es un reventón. Un reventón es una ocurrencia indeseable en cualquier instalación porque pone en peligro la vida del personal que conforman la cuadrilla del equipo, puede destruir una instalación cuyo valor pueden ser millones de pesos, desperdiciar vapor y provocar daños al medio ambiente.

Aunque es una ocurrencia relativamente rara, un reventón puede ser impresionante ya que el fluido brota del pozo, casi siempre con una fuerza enorme.

El problema surge cuando la presión del yacimiento es más alta que la del pozo. Normalmente el lodo de perforación evita que el fluido del yacimiento entre al pozo y provoque el reventón.

si la cuadrilla no toma acción rápidamente a los primeros indicios de un cabeceo, todo el lodo sale del pozo y el fluido del yacimiento fluye sin control hasta la superficie, terminado en un chorro incontrolable.

## Preventores de reventones.

Preventores de reventones, se utilizan para cerrar un pozo y permitir que la cuadrilla controle un cabeceo, antes de que ocurra un reventón. Dos tipos básicos de preventores de reventones que se encuentran en los equipos son los preventores anulares y los de ariete.

El preventor anular tiene un elemento de goma que sella en la flecha, la sarta de perforación, los porta barrenas o al pozo mismo sino existe una sarta dentro del pozo. Los preventores de ariete consisten de grandes válvulas de acero, que tienen elementos que sirven de sello. Existe un tipo de preventor que se conoce como preventor de ariete de tubería porque cierra la tubería de perforación pero no es capaz de sellar un pozo.

El preventor de ariete ciego se utiliza para sellar un pozo abierto, los preventores de ariete de tubería se utilizan mayormente en operaciones de peligro ya que cortan a la tubería de perforación completamente quedando el pozo sellado. (FIG. 8)

Usualmente varios preventores de reventones se instalan uno encima del otro en la boca del pozo. Con el preventor anular en la parte superior y los preventores de ariete, de tubería y ciegos en la parte inferior. Los preventores son instalados de esta manera para que un reventón o cabeceo pueda ser controlado, aun cuando uno de los preventores falle.



FIG. 8 PREVENTORES DE REVENTONES

## Unidad de operaciones para preventores.

Los preventores de reventones se abren y se cierran con fluido hidráulico almacenado bajo presión en un aparato llamado bomba paine.

Varios recipientes en forma de botella o esféricos están localizados en la unidad de operaciones y es aquí donde se guarda el fluido hidráulico. Las líneas de alta presión llevan el fluido hidráulico del sistema a los preventores y cuando las válvulas de control se activan el fluido provoca que los preventores trabajen. Ya que éstos deben poder sellar rápidamente cuando sea necesario. (FIG. 9)

Un tablero de control situado en el piso de instalación se utiliza normalmente para operar los preventores.



FIG. 9 BOMBA PAINE

## Los instrumentos de perforación.

El sistema de instrumentación es quizás la parte más importante de las instalaciones modernas. Puede que solamente se encuentre un indicador de peso o pueden incluirse una gran variedad de instrumentos tales como un registrador de nivel del lodo, un registrador de densidad del lodo, indicadores de torsión y aparatos que mantienen un registro gráfico cronológico del trabajo que se está llevando a cabo en la perforación, para que el perforador pueda observar el peso sobre la barrena, la velocidad de rotación, la tensión sobre el cable de las llaves y otras variables. (FIG. 10)



FIG. 10 INSTRUMENTOS DE PERFORACIÓN

# Equipo Hidráulico

## La unión giratoria.

Una unión giratoria o cabeza de inyección es un aparato mecánico realmente extraordinario, va conectada a la polea viajera por una enorme asa. la unión giratoria tiene tres funciones básicas.

1. Soportar el peso de la sarta de perforación
2. Permitir que la flecha gire
3. Proveer un sello hermético y un pasadizo para que el lodo de perforación pueda ser bombeado por la parte interior de la flecha.

El fluido entra por el cuello de ganso o conexión en forma de “S”, siendo este un tubo curvado que conecta la unión giratoria a una manguera que transporta el fluido de perforación desde la bomba del lodo. Entonces el fluido pasa a través del tubo lavador, un tubo vertical en el centro del cuerpo de la unión giratoria y hasta la flecha y la sarta de perforación. (FIG. 11)



FIG. 11 UNIÓN GIRATORIA

## **Flecha y mesa rotaria.**

La flecha es una pieza de tubo cuadrada o hexagonal que mide aproximadamente 12 metros y que forma el extremo superior de la sarta de perforación. La flecha también sirve como un pasadizo para el fluido de perforación que baja hacia el pozo y además transmite la rotación a la sarta de perforación y a la barrena. (FIG. 12)

La válvula de seguridad de la flecha, es una válvula especial que aparece como un bulto en la parte superior de la flecha. La válvula de tapón se puede cerrar para aislar la presión que sale por la sarta de perforación. La mayoría de las válvulas de tapón requieren una llave especial para cerrarla.

Otra válvula de seguridad generalmente se conecta entre el extremo inferior de la flecha y el extremo superior de la tubería de perforación cuando la flecha esta elevada en la instalación, como cuando se esta haciendo una conexión, la válvula de tapón es difícil de cerrar. si ocurre una emergencia, la válvula de seguridad adicional proporciona un medio accesible para cerrar la sarta.

El extremo superior de la flecha va conectada a la unión giratoria y su extremo inferior va conectada a la tubería de perforación, va enroscada a un aparato llamado unión sustituta de la flecha o unión sustituta.



FIG. 12 FLECHA Y MESA ROTARIA

Esta unión es un acople corto que va enroscado a la parte inferior de la flecha. Las roscas inferiores de la unión sustituta son enroscadas temporalmente con cada junta de tubería de perforación que va añadiéndose a la sarta.

La unión sustituta evita desgaste en las roscas de flecha y cuando se desgastan las roscas de la unión, esta es reemplazada o se le maquinan nuevas roscas.

La flecha va sentada de una apertura cuadrada o hexagonal (dependiendo del tipo de flecha, el buje de transmisión o buje de la flecha va sentado dentro de una parte de la mesa rotaria llamado, buje maestro, buje de rotación o “bush kelly”. A medida que el buje de rotación gira, la flecha gira y a medida que la flecha gira, la sarta de perforación y la barrena giran.

### **La sarta de perforación.**

La sarta esta compuesta de tubería de perforación y una tubería especial de paredes gruesas llamada el porta barrenas, cada tubería de perforación mide aproximadamente 9 metros, cada extremo de la junta contiene roscas. el extremo con las roscas interiores se conoce como la caja y el extremo con las roscas exteriores se conoce como piñón se centra dentro de la caja y la conexión se ajusta. Los extremos enroscados de la tubería se conocen como punto de maniobra y realmente son piezas separadas que el fabricante suelda a la parte exterior de la junta de tubo. Luego el fabricante maquina roscas en esta pieza a medida especificada por la industria. (FIG. 13)

Dos llaves pesadas son empleadas para hacer las conexiones cuando la tubería esta entrando al pozo y para desenroscar la tubería, cuando ésta está saliendo del pozo, estas dos llaves son suspendidas de la torre o el mástil de modo que pueden ser manejadas en el piso de la torre o el mástil a la altura necesaria. Las llaves tienen un contra peso en el extremo de un cable de suspensión, que permite que un trabajador en el piso las suba o baje según sea necesario.

Las llaves tienen varios juegos de mordazas, para acomodarse a los diversos tamaños de tubería de perforación; los diferentes diámetros de tubería requieren cuñas de varios tamaños. Tanto las llaves como las cuñas tienen elementos de agarre que sujetan la superficie exterior de la tubería. Los dientes de las cuñas y las llaves se gastan con el uso, pero ambos pueden ser reemplazados.

Las mordazas de las llaves se utilizan para agarrar la tubería y apretarla, las llaves de desenrosque, van conectadas al carrete de desenrosque del malacate. Las llaves de contra fuerza son operadas con una cadena o cable del carrete situado cerca del perforador. Ambas llaves son equipadas con líneas de seguridad hechas de cable de acero fuerte para evitar que éstas ocasionen daños a los trabajadores.

Los lastra barrenas como la tubería de perforación, son tubos de acero a través de los cuales se puede bombear lodo. Éstos son mas pesados que la tubería de perforación y se utilizan en el extremo inferior de la sarta para aplicar peso sobre la barrena. Este peso es lo que permite a la barrena perforar. Los lastra barrenas miden aproximadamente 9 metros de largo y a diferencia de la tubería de perforación que tiene uniones de tubería soldadas, las roscas son maquinadas directamente en los lastra barrenas.



FIG. 13 SARTA DE PERFORACIÓN

### **La barrena.**

Dos tipos principales de barrenas han sido desarrollados a través de los años para lograr una perforación más efectiva. Las barrenas tienen dispositivos conformes de acero llamados conos que ruedan libremente a medida que la barrena gira. La mayoría de las barrenas tienen tres conos. Los fabricantes de barrenas pueden maquinar dientes en los mismos conos, que en este tipo de roca no son usadas por ser duras ya que solo se usa para rebajar cemento.

Barrenas con insertos de carburo de tungsteno incrustados en los conos son especiales para este tipo de roca, ya que es demasiado dura. Estos dientes cortan la formación a medida que la barrera gira; toda barrena tiene aperturas que han sido taladradas en ella para permitir que el fluido de perforación pueda circular. Muchas barrenas tienen boquillas o toberas que dirigen un chorro a alta velocidad hacia los lados y fondo de cada cono para que los recortes puedan ser sacados hacia la superficie a medida que la barrena perfora.

## **Presas.**

La función de las presas es esencialmente para recibir el fluido de control que sale del pozo, preparar y contener el lodo de perforación, uniformizar mezclas, así como ayudar a la precipitación de sólidos deseables que hayan quedado en suspensión. (FIG. 14)

Normalmente se tienen dos presas en cada equipo de perforación para evitar derramar el lodo de perforación al suelo evitando la contaminación y cumplir de esta manera con la normatividad ecológica.



FIG. 14 PRESAS

## **Temblorina.**

La función principal de la temblorina es la de eliminar los recortes tanto de formación como de cemento del fluido de perforación, evitando así que sean recirculados en el sistema; y continuar perforando con el sistema de circulación libre de partículas indeseables. (FIG. 15)



FIG. 15 TEMBLORINA

## **Fluidos.**

### **Fluidos de perforación y terminación.**

Los fluidos de perforación, fueron introducidos al iniciarse la perforación rotaria en 1900. inicialmente se utilizaron con el objeto de eliminar continuamente los recortes perforados, pero con el avance de la tecnología, se ha esperado mas de ellos y por lo mismo, se han hecho mas sofisticados al adicionarles materiales químicos y aditivos para que les proporcionen propiedades especificas haciéndolas más complejas pasaron de ser mezclas simples a complejas. (FIG. 16)

Un campo con continuo desarrollo y en el cual día tras día, se presentan nuevos sistemas de fluidos, elaborados con el fin de mejorar las operaciones involucradas en la perforación y reducir de esta manera los costos, cabe mencionar que se utilizará constantemente el término “lodo de perforación” para denominar a estos fluidos. Figura 17

Una de las características esenciales de un sistema de perforación rotatorio es el sistema de circulación, también conocido como el sistema de lodo, para que el sistema de perforación rotatorio pueda funcionar, es indispensable circular fluido a través de la sarta de perforación y por el espacio anular entre la sarta y la pared del pozo.



FIG. 16 BOMBA DE LODOS



FIG. 17 PRESA DE ASENTAMIENTO

## **Funciones de los fluidos de perforación.**

### **Acarreo, remoción y suspensión de los recortes de perforación.**

La función esencial del lodo, es limpiar el agujero. Los sólidos perforados, generalmente tienen una densidad de 2.3 a 3.0 gr/cm<sup>3</sup> mayor que la del lodo, por lo que éstos, tienden a asentarse en el lodo que se encuentre en el espacio anular, lo cual se evita circulando el fluido a una velocidad suficiente proporcionándole una viscosidad adecuada.

La efectividad de lodo para sacar los recortes, depende además de la velocidad de circulación y la viscosidad de la densidad del fluido ya que entre mayor sea ésta, menor será la velocidad de asentamiento de los recortes. Para la selección adecuada de estos factores, se toma en cuenta también el tipo de lodo utilizado y sus requerimientos para la perforación, el tipo de flujo obtenido en el espacio anular y el tamaño de los recortes.

En un lodo tixotrópico, el fluido desarrolla gelatinocidad cuando se suspende la circulación y esto permite que las partículas se mantengan en su lugar y no se asienten en el espacio anular.

### **Control de las presiones subsuperficiales.**

Cuando se encuentra una formación permeable (fracturada) el fluido contenido dentro de ella está bajo una presión, generalmente en función de la profundidad del pozo. Es necesario que el lodo de perforación tenga suficiente densidad como para vencer cualquier presión de formación y mantener ahí los fluidos.

Normalmente el peso del agua y los sólidos incorporados de la formación, son suficientes para balancear las presiones sin embargo; algunas veces se requiere adicionar al lodo materiales pesados para balancear las presiones normales existentes en la formación, aumentando de esta manera la presión hidrostática de la columna de lodo.

### **Evitar la Filtración.**

Un buen lodo de perforación deberá depositar un buen enjarre en la pared del agujero para consolidar la formación y retardar el paso del fluido hacia la formación. Esta propiedad del lodo se mejora aumentando la fracción coloidal del lodo por adición de bentonita y tratando químicamente el lodo para mejorar la dispersión y la distribución de sólidos. En muchos casos es necesario añadir aditivos de control de pérdida de agua para disminuir la pérdida de agua.

### **Enfriamiento y lubricación de la sarta de perforación.**

La lubricación y el enfriamiento de la sarta de perforación, son funciones importantes del lodo. Los problemas de torsión, fricción y pegadura de tubería por presión diferencial están relacionados directamente con la lubricación de la sarta de perforación. Actualmente todos los fluidos de perforación, tienen un valor específico suficiente y

buenas cualidades lubricantes para enfriar adecuadamente la barrena y la sarta de perforación. entre los lubricantes se encuentra la bentonita, diesel y detergentes.

### **Limpieza del fondo del pozo.**

Esta es una función del fluido de perforación, con el objeto de alcanzar la máxima velocidad de penetración para una hidráulica en particular y un peso sobre barrena y velocidad de rotaria especificando. La solución a esto, es que el lodo produzca un impacto a alta velocidad sobre los nuevos recortes, tal como el obtenido con las toberas de la barrena y que el lodo tenga tal composición que penetre entre los recortes y reduzca las presiones diferenciales entre éstos y la formación, de tal manera que se desalojen inmediatamente después de ser cortados.

En general, la limpieza del fondo del pozo se mejora con fluidos delgados a altas velocidades de corte a través de la barrena, esto significa que los fluidos viscosos pueden ser buenos si poseen buenas características de adelgazamiento al corte.

### **Ayuda a la evaluación de la formación.**

Los fluidos de perforación, han sido modificados sustancialmente con el propósito de mejorar este aspecto de la evaluación de la formación. la viscosidad ha sido incrementada para obtener mejores recortes, la velocidad de filtración ha sido reducida para minimizar la invasión de fluido y se han seleccionado fluidos especiales para mejorar las características de los registros y las pruebas de formación .

### **Protección a la productividad de la formación.**

Al utilizar lodo en la perforación, siempre hay invasión de fluido hacia la formación y este puede ser minimizado al reducir la pérdida de fluido. y así no provocar daños a la formación.

Además de las funciones señaladas anteriormente, el fluido de perforación debe ser capaz de permitir el asentamiento de los recortes en la presa donde descarga el lodo de la temblorina, figura 15 como parte fundamental del control de sólidos. Esta característica está en función de la gelatinosidad del lodo que no debe ser excesiva, y del tiempo de permanencia del lodo. Actualmente una limitación en el empleo de sustancias químicas como aditivos de los fluidos de perforación, es la contaminación que producen las aguas de desecho de la perforación; motivo por el cual en este campo de los azufres se utiliza un lodo bentonítico/polimérico.

## Propiedades Físicas y Fisicoquímicas.

### Densidad o peso específico del lodo.

La densidad se define en la unidad de volumen y el peso específico como la fuerza que ejerce la gravedad de la tierra sobre la masa. así mismo, la densidad relativa se ha definido como la relación entre la densidad del fluido y la densidad del agua a una cierta temperatura.

En los sistemas prácticos de unidades de ingeniería, tanto la unidad de masa como la unidad de fuerza son fundamentales de tal manera que, 1kg de fuerza es la fuerza obtenida sobre la masa de 1 kg debido a la atracción de la gravedad. Como la masa se determina por medio del peso, al medir la densidad se conoce implícitamente su peso específico.

La densidad o peso específico del lodo, se mide prácticamente por medio de la balanza de lodos, que está graduada en lb/pie<sup>3</sup>, lb/bbl, densidad relativa y en gradiente de presión hidrostática (lb/pulg<sup>2</sup> por 1000 pies de profundidad).

Esta propiedad es importante para el control de las presiones sub-superficiales, la limpieza del fondo del pozo y el acarreo de los recortes a la superficie.

### Viscosidad

La viscosidad es un término usado para describir el espesamiento de los lodos en movimiento y la gelatinosidad para describirlos cuando han estado en reposo por un periodo de tiempo.

En términos científicos, la viscosidad es una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, para un fluido newtoniano en flujo laminar. Para explicar esto considérese a un fluido contenido entre dos grandes laminas planas y paralelas de área “a” y separadas entre si, por una distancia muy pequeña “y”. Supóngase que el sistema esta inicialmente en reposo, pero al cabo del tiempo t=0 la lamina inferior se pone en movimiento en la dirección del eje x, con una velocidad constante “v”. A medida que transcurre el tiempo el fluido gana cantidad de movimiento hasta que se establece el perfil de velocidades en régimen estacionario, como se indica en la ecuación # 1. una vez alcanzado dicho estado estacionario de movimiento, es preciso aplicar una fuerza constante “F” para conservar el movimiento de la lamina inferior.

La fuerza aplicada por unidad de área, es proporcional a la disminución de la velocidad con la distancia y la constante de proporcionalidad se denomina “viscosidad absoluta” ésta es la ley de la viscosidad de newton y se expresa como sigue:

$$\frac{F}{A} = \mu \left( -\frac{dv}{dy} \right) \dots \dots \dots (1)$$

La relación, se denomina esfuerzo cortante ( $t$ ) y el cambio de la velocidad con la distancia ( $\frac{dv}{dy}$ ) se conoce como la velocidad de corte ( $r$ ), de tal manera que la ecuación # 1 se puede describir como:

$$t = \mu(-r) \dots \dots \dots (2)$$

A los fluidos que se rigen por la ecuación # 2, se denominan “fluidos verdaderos o newtonianos”, en donde la viscosidad es independiente del esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte obtenida. Los fluidos de perforación no se comportan en esta forma, sino que se adelgazan con el corte, esto significa que la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, disminuye con un incremento en esta última.

Todos los materiales que no se comportan de acuerdo a la ley de Newton de la viscosidad, se le denomina “no newtonianos” y la reología es una rama de la ciencia que estudia el flujo y deformación de la materia, particularmente el flujo plástico de los sólidos y el flujo de los líquidos no-newtonianos. Los fluidos dilatantes y pseudoplásticos, son no-newtonianos y los lodos de perforación se comportan generalmente como estos últimos. Se ha estudiado experimentalmente este comportamiento y se han propuesto varios modelos, entre los cuales el más común es el de Bingham o de los fluidos plásticos ideales, que se puede expresar en la siguiente forma:

$$t = v_p (-r) + p_c \dots \dots \dots (3)$$

en donde “ $v_p$ ” es la pendiente de la recta conocida como viscosidad plástica y “ $p_c$ ” es el punto de cedencia.

Los viscosímetros que más se emplean para medir estas propiedades de los fluidos no-newtonianos, son los del tipo rotacional, siendo el más común el que mide el esfuerzo cortante a dos velocidades (600 y 300 rpm.), que corresponden a velocidades de corte de 1022 y 511  $\text{seg}^{-1}$ , respectivamente de acuerdo a las dimensiones de los elementos de mediciones; con estos datos se puede obtener la viscosidad plástica y el punto de cedencia del fluido mediante las siguientes ecuaciones. Tomando en consideración que generalmente estos viscosímetros están calibrados para obtener la viscosidad plástica en “cp” (centipoises) y el punto de cedencia en  $\text{lb}/100\text{pies}^2$ .

$$v_p = 1600 - 1300 \dots \dots \dots (4)$$

$$p_c = 1300 - v_p \dots \dots \dots (5)$$

en donde:

1600 y 1300, son las lecturas del viscosímetro a las velocidades anotadas.

El lodo que circula a través de la sarta de perforación desde que lo toma la bomba hasta que sale del pozo y vuelve nuevamente a la presa de succión se mueve a diferentes velocidades de corte, muy pequeñas en las presas de mayor magnitud dentro de los lastra barrenas y a

través del espacio anular y muy altas a la salida de las toberas de las barrenas el modelo de bingham se cumple bien, si el lodo se mueve en flujo laminar a velocidades de corte mayores de  $511 \text{ seg}^{-1}$ , pero a menores velocidades, ya no representa el comportamiento del fluido real y han aparecido otros modelos para estos casos, el modelo de la ley de las potencias se puede expresar como:

$$t = k^1 (-r)^{n^1} \dots\dots\dots(6)$$

En donde  $n^1$  es el índice de comportamiento de flujo y  $k^1$  es coeficiente de consistencia. para fluidos pseudoplásticos, el valor de  $n^1$  varía entre 0 y 1, mientras que para fluidos dilatantes,  $n^1$  es mayor que 1, y entre mayor sea la diferencia con respecto a la unidad, mayor será el grado de comportamiento no- newtoniano. el coeficiente  $k^1$  esta relacionado a la consistencia del fluido y entre mayor sea este valor, mas espeso o “ mas viscoso” será el fluido. en el caso particular en que  $n^1$  sea igual a 1, la ecuación (6) representa a un fluido newtoniano en donde  $k^1$  es la viscosidad absoluta del fluido tomando logaritmos en la ecuación (6) se tiene

$$\log t = \log k^1 + n^1 \log (-r) \dots\dots\dots(7)$$

los valores de  $n^1$  y  $k^1$ , pueden ser calculados en la siguiente forma:

$$n^1 = 3.32 \log \frac{L600}{L300} \dots\dots\dots(8)$$

$$k^1 = \frac{L300}{(511)^{n^1}} \dots\dots\dots(9)$$

Un fluido real requiere de la aplicación de una fuerza cortante inicial antes de que este tenga movimiento y debido a esto, se ha modificado el modelo de la ley de las potencias para incluir esta fuerza cortante, denominada ( $y^1$ ); este modelo se puede expresar con las siguientes ecuaciones:

$$t = y^1 + k^1 (-r)^{n^1} \dots\dots\dots(10)$$

$$\log (t- y^1) = \log k^1 + n^1 \log (-r) \dots\dots\dots(11)$$

Es importante conocer la viscosidad equivalente (espesamiento) del fluido de perforación en el espacio anular ( $\mu'$ ), con el propósito de evaluar su capacidad de acarreo de los recortes. Enseguida se muestran las ecuaciones que se han desarrollado para tal objeto de acuerdo con los modelos mencionados:

fluido plástico de bingham

$$\mu' = Vp + \frac{267Pc(Dh - Dp)}{v}$$

fluido ideal de la ley de las potencias

$$\mu' = \left[ \left( \frac{2.4V}{Dh - Dp} \right) \left( \frac{2N'+1}{3N'} \right) \right]^{N'} \left[ \frac{200K'(Dh - Dp)}{V} \right] \dots\dots\dots(13)$$

fluido real de la ley de las potencias

$$(r) \text{ anular} = \left( \frac{2.4V}{Dh - Dp} \right) \left( \frac{2N'+1}{3N'} \right) \dots\dots\dots(14)$$

$$\mu' = \frac{(479)(\text{lecturavis cos ímetro})}{(r) \text{ Anular}} \dots\dots\dots(15)$$

en donde:

- $\mu'$  = viscosidad equivalente [cp]
- v= velocidad anular [pies/min.]
- dh= diámetro del pozo [pulg]
- dp = diámetro de la tubería [pulg.]
- vp =viscosidad plástica [cp]
- pc = punto de cedencia [lb/100 pies<sup>2</sup>]
- $n^1$  = índice de comportamiento de flujo
- $k^1$  = coeficiente de consistencia [cp]
- (r) anular = velocidad de corte anular [seg<sup>-1</sup>]

La viscosidad del lodo de perforación, depende de los siguientes factores:

1. Presión y temperatura.
2. Viscosidad de la fase fluida.
3. Cantidad, tamaño y tipo de los sólidos.
4. Fuerzas de atracción y repulsión en el sistema.

## **Métodos que existen para la medición de la viscosidad de los fluidos de perforación.**

### **Embudo marsh.**

Este fue el primer método para medir el espesamiento del lodo. esta medición se efectúa comparando el tiempo de escurrimiento del lodo con el del agua. el embudo es un instrumento calibrado a una capacidad de 1,500 cc , con una perforación en la parte inferior para la descarga en 28 segundos y el tiempo requerido para un litro de lodo da una indicación del espesamiento.

Este número no es una base cuantitativa, por ejemplo, una viscosidad marsh de 200 segundos, no indica que el lodo es más espeso que otro que da una lectura de 100 segundos, cuando ambos se encuentran en movimiento. el único beneficio que se obtiene al usar este método de medición es detectar los cambios en las propiedades del lodo, que pueden ser indicativas de los problemas del pozo.

### **Viscosímetros rotacionales.**

Ya se hablo de ellos anteriormente al describir los modelos de flujo. Los instrumentos de campo dan lecturas a 300 y 600 r. p. m. y temperatura ambiente, también se les conoce como reómetros, otros modelos dan lecturas a 600, 300, 200 y 100 r.p.m. y el más completo es el fann 35 a movido por un motor eléctrico y con el que se obtienen lecturas adicionales a 6 y 3 r.p.m.

Hay algunos modelos de laboratorio que han sido construidos para velocidades variables. El viscosímetro fann 39 puede trabajar en un rango de 0 a 600 r.p.m. y hasta 200 °f de temperatura. el modelo fann 50-b, está diseñado para trabajar hasta 600 °f y hasta evaluar las propiedades del lodo bajo condiciones similares a las que se encuentran en el pozo .

### **Viscosímetro tubular.**

Es principalmente una herramienta de laboratorio, mide la caída de presión a través de una longitud dada de tubería a ciertas velocidades de flujo, usando intercambiadores de calor, se pueden determinar las caídas de presión dentro del limite del instrumento.

### **Viscosímetro capilar.**

Este instrumento mide la caída de presión, cuando se hace fluir líquido newtoniano o no newtoniano a través de un tubo capilar, sus aplicaciones son únicamente para laboratorio.

### **Gelatinocidad.**

La gelatinosidad se puede definir como “el fenómeno exhibido por algunas geles que se hacen fluidos con el movimiento, siendo este cambio reversible”.

Cuando la viscosidad aparente en los fluidos no newtonianos, medida a un valor fijo de temperatura y velocidad de corte, no permanece constante con la duración del esfuerzo, se dice que estos fluidos son dependientes del tiempo, en un fluido tixotrópico, el esfuerzo cortante disminuye con el tiempo cuando éste está sujeto a una velocidad de corte constante.

Esta propiedad de tixotropía es el resultado de las fuerzas de interacción de los sólidos a bajas velocidades de corte, que provocan la gelación del lodo y ejercen gran influencia en la viscosidad, las arcillas son los sólidos eléctricamente más activos, cuyas partículas se pueden reunir. Para formar una matriz o estructura de gel, la cual requiere de una fuerza finita para iniciar el flujo, conforme éste se incrementa, el efecto de dichas interacciones se hace menos importante las propiedades tixotrópicas del lodo, pueden medirse en un viscosímetro del tipo rotacional como los descritos anteriormente.

El procedimiento seguido es agitar violentamente el lodo para reducir las propiedades tixotrópicas a cero o lo mínimo posible y entonces determinar la fuerza necesaria para iniciar el movimiento, esto se repite después de dejar el lodo en reposo durante determinado tiempo (10 minutos), generalmente estos valores se reportan como gelatinocidad inicial a los 10 seg. en  $[\text{lb}/100\text{pies}^2]$ .

La velocidad del fluido de perforación es la propiedad más importante, ya que de ella depende en gran parte que el lodo cumpla su función dentro de la perforación.

### **Impermeabilidad.**

La velocidad de filtración, se controla generalmente por las dos siguientes razones:

- A) Para controlar el espesor y características del enjarre depositado en formaciones fracturadas.
- B) Para limitar el filtrado total que entra a las formaciones sub-superficiales.

Hay dos métodos básicos de medición de la velocidad de filtración:

- 1) Pruebas de filtración estática.

Dan una indicación de la pérdida de líquidos y la capacidad de formación del enjarre.

- 2) Pruebas de filtración dinámica.

Representan las pérdidas de líquido cuando el lodo de perforación está circulando a través del pozo.

En las pruebas estáticas está incluida la prueba aprobada por el API\* que consiste en medir el volumen de filtrado obtenido a través de un papel filtro de  $7 \text{ pulg}^2$  de área, durante 30 minutos y con la aplicación de una diferencial de presión de  $100 \text{ lb}/\text{pulg}^2$ . Las pruebas de alta presión y de alta temperatura (apat), se efectúan generalmente a través de papel filtro de  $3.5 \text{ pulg}^2$  de área, durante 30 minutos a  $149 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $300 \text{ }^\circ\text{F}$ ), con la aplicación de una diferencial de presión de  $100$  y  $500 \text{ lb}/\text{pg}^2$ . se obtienen ciertos resultados de enjarre adherido al papel filtro.

\*El aparato empleado para efectuar estas determinaciones, es un filtro prensa.

Las pruebas dinámicas se efectúan a alta presión y alta temperatura a las mismas condiciones que las pruebas estadísticas mencionadas anteriormente, aunque en este caso el medio filtrante, puede ser papel filtro o un espécimen del núcleo de la formación se hace la aclaración que este tipo de prueba no es aplicable en este campo ya que el tipo de roca es ígnea con andesita microcristalina.

### **Acidez y Alcalinidad.**

La Acidez y Alcalinidad ó ph se define como el logaritmo negativo del contenido de iones de hidrógeno  $h^+$  y se puede escribir como:

$$ph = -\log h^+ \dots\dots\dots(16)$$

El producto de la concentración de los iones hidrogeno  $h^+$  y la concentración de los iones oxhidrilo  $oh^-$  es una constante de tal manera que:

$$h^+ * oh^- = 1 * 10^{-14} \dots\dots\dots(17)$$

El ion hidrógeno representa el componente ácido y el ion oxidrilo al componente básico o alcalino. Cualquier cosa que reduzca la concentración del ion hidrógeno provocará un aumento del ph. una solución neutra, como el agua destilada, tiene la misma concentración de iones hidrógeno que de iones oxhidrilo y corresponde a un ph de 7:

$$h^+ = oh^- = 1 * 10^{-7} \dots\dots\dots(18)$$

La concentración de iones oxhidrilo es extremadamente importante en lodos pesados sujetos a altas temperaturas mas de 121 °c (250 °f), ya que los reductores orgánicos de viscosidad trabajan mejor en un medio de alto ph. El contenido de iones oxhidrilo limita la solubilidad del calcio (ca), el cual es un contaminante en un lodo base agua como los que se usan en este campo, mientras que un alto contenido de estos iones tiene efectos perjudiciales en otros contaminantes, como el cloruro de sodio.

Existen dos métodos para medir el ph del lodo de perforación. el primero es un método clorimétrico, modificado que usa papel phydron en diferentes rangos y que no es muy confiable cuando el lodo contiene alta salinidad. el otro electrodo de vidrio y un electrodo de referencia; también esta sujeto a error cuando el lodo tiene alto contenido de iones sodio, aunque en este caso se puede usar un electrodo especial para iones sodio.

### **Estabilidad a la temperatura.**

El lodo al circular a través del pozo y con adición del gradiente geotérmico, esta sujeto a la acción de la temperatura y es deseable que no cambie por este motivo sus propiedades principalmente reologicas, tixotrópicas y de filtración.

Se ha diseñado un equipo llamado consistómetro, que mide el espesamiento relativo que sufre el lodo con la acción de la temperatura, tomando como punto final de la prueba la consistencia de un aceite de una viscosidad particular, que se considera muy alta para un lodo y que por lo mismo, es impropia para la perforación.

El lodo se coloca en una celda con un cilindro de fierro en su interior, sujeta a la acción de un campo magnético formado por dos bobinas, una superior y otra inferior, que accionan a un cierto intervalo de tiempo y produce un movimiento ascendente y descendente del cilindro; al espesarse el lodo este movimiento se vuelve mas lento y por medio de un micrófono se envía una señal al elemento de medición que la compara con el intervalo de trabajo de las bobinas, obteniéndose como resultado un milivoltaje, el cual se amplifica y se recibe en un registrador de dos canales. la señal de espesamiento del lodo se grafica conjuntamente con la temperatura y al llegar al valor obtenido con el aceite de calibración, se lee la temperatura y se reporta como índice de estabilidad; este aceite es un fluido newtoniano de 350 cp de viscosidad absoluta.

También se efectúa otra prueba similar sometiendo al lodo a una cierta temperatura, durante un intervalo de tiempo y observando el cambio en la consistencia; esta determinación se denomina grado de estabilidad y se reporta como el tiempo que el lodo se mantiene con una consistencia menor que la de calibración con un aceite, también newtoniano de 200cp de viscosidad.

No se ha logrado obtener una relación entre esta consistencia y las propiedades reológicas pero es muy útil el valor obtenido del índice de esta estabilidad

### **Poder lubricante.**

Se determina mediante el probador de carga máxima baroid, el cual fue diseñado para evaluar las propiedades lubricantes de los lodos de perforación. los resultados de las pruebas usadas este dispositivo, han sido correlacionados a los obtenidos por la maquina timken, que ha sido utilizada por el “astm” como el equipo estándar para medir el poder de lubricación de varios lubricantes. La determinación consiste en someter a un anillo de acero girando a una velocidad determinada a una cierta carga mediante fricción con un cubo de acero, ambos sumergidos dentro del lodo. Normalmente se efectúa la prueba en un tiempo de 3 a 5 minutos y con la aplicación de una carga de 150 lb-pulg. de tal manera que para iniciar la operación, se aplican incrementos de carga de 5 lb-pulg/seg. hasta llegar a este valor. el resultado de la prueba es la formación de una muesca en el cubo que indica el poder de lubricación de la película de lodo entre el anillo y el cubo calculando en la siguiente forma:

$$p = 533\left(\frac{T}{W}\right) \dots\dots\dots(19)$$

en donde:

p = resistencia de la película [psi]

t= lectura de la carga aplicada [lb-pulg]

w = ancho de la muesca en milésimas de pulgada.

Es muy importante mejorar el poder de lubricación del lodo, principalmente en pozos con altas temperaturas o en pozos desviados.

Otras propiedades del lodo que no se ha tratado es el calor específico, definido como la cantidad de calor requerido para que la unidad de masa eleve su temperatura, la unidad de temperatura expresada generalmente como [btu/lb<sup>o</sup>f] y [kcal/kg<sup>o</sup>c] en un lodo tanto, los líquidos como los sólidos, contribuyen a su calor específico.

### **Inhibición de Gases Tóxicos, Acido Sulfhídrico y formaciones inestables.**

El fluido utilizado para perforar la zona productora tiene una gran influencia en la productividad del pozo; ya que en estos daños a la formación, están inmersas diversas variables como los aspectos de la formación de la zona productora, las técnicas de perforación y terminación utilizadas; las propiedades de los fluidos de perforación y terminación que hayan sido empleados; así como el control de la filtración y la composición química de este filtrado determinaran el grado en el cual se ha dañado las propiedades originales de nuestra zona productora.

### **Composición del lodo de perforación.**

Más que una propiedad del lodo es una característica de la cual dependen las propiedades mencionadas anteriormente y que es función del tipo de lodo en particular, las determinaciones efectuadas son las siguientes:

#### **a) Contenido de arena.**

Es conveniente determinar frecuentemente el contenido de arena del lodo, ya que una cantidad excesiva puede producir un enjarre grueso en la pared del pozo o puede asentarse cuando se suspende la circulación. También puede haber un desgaste excesivo en los implementos de las bombas y el contenido de arena se determina por asentamiento y clasificación incluyendo los espacios vacíos entre las partículas, como un porcentaje del volumen por mallas; de los tres se prefiere el último por su simplicidad y mide el volumen de arena incluyendo los espacios vacíos entre las partículas, como un porcentaje del volumen del lodo.

Al dispositivo empleado se le conoce con el nombre de elutiómetro (41), que consiste en un tubo especial calibrado de 0 a 20% en volumen, un embudo y un tamiz con una malla del #200. se vacía el lodo en el tubo hasta la marca "lodo" se agrega agua hasta la marca "límite de agua" y se agita vigorosamente, se vacía el contenido del tubo a través del tamiz y se lava con bastante agua, pasando al tubo lo retenido en el tamiz y midiendo la cantidad de arena como [%] en volumen.

#### **b) Contenido de líquidos y sólidos.**

Esta medición es muy importante para el control de las propiedades del lodo y para su determinación se utiliza la retorta, se vacía una cantidad de lodo en la celda generalmente

10 ó 20 ml, se calienta durante un cierto tiempo a elevada temperatura para que todos los componentes líquidos se vaporicen y éstos se condensen y se reciben en una probeta graduada en porcentajes los sólidos suspendidos o disueltos, se calculan restando de 100% la cantidad de líquidos obtenidos. la densidad media de los sólidos (calculado como densidad relativa “specific gravity”), se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\text{densidad de los sólidos} = \frac{100 * \text{Densidadde lodo} - (\% \text{ vol agua} + 0.8\% \text{ vol aceite})}{\% \text{ Volumen en Sólidos}} \dots(20)$$

### c) Análisis químicos del filtrado.

Las determinaciones más comunes que se efectúan al filtrado son: alcalinidad, cloruros, calcio y sulfatos.

La alcalinidad o acidez es medida por el ph. pero debido a que el filtrado puede contener una variedad de iones en diferente proporción el análisis químico determina el carácter de la alcalinidad y esto auxilia al mantenimiento de las propiedades deseadas del lodo de perforación. La alcalinidad se determina por titulación con ácido sulfúrico 0.02 n, utilizando como indicadores la fenolftaleína (ph de 8.3 a 10.0) y el anaranjado de metilo (ph de 3.1 a 4.3); los mililitros gastados con la fenolftaleína, se reportan como alcalinidad a la fenolftaleína (pf) y los mililitros gastados con anaranjado de metilo, incluyendo pf, se reportan como alcalinidad total (mf).

Para determinar el contenido de cloruros en el filtrado del lodo de perforación, se titula con solución de nitrato de plata, empleando cromato de potasio como indicador, los resultados se reportan en parte por millón de ion cloruro ( $\text{Cl}^-$ ). esta determinación titula todos los cloruros presentes, de tal manera que si la muestra contiene cloruro de sodio y cloruro de calcio, se requiere una determinación de calcio para conocer la cantidad de cada uno de estos componentes.

Para la determinación de calcio se emplea el método del versenato (edta) con un indicador especial (cloruro de sodio murexida) y una solución buffer, el punto final de la titulación, es el cambio de color al púrpura y el resultado se reporta como ppmca<sup>+</sup>. este mismo método también se utiliza para la determinación de dureza, con negro eriocromo como indicador, en donde el punto final cambia de rojo vino al azul.

En el análisis de sulfato se emplea un indicador de cloruro de bario que provoca una precipitación de sulfato de bario, dependiendo de la concentración de sulfato se obtiene desde una solución traslúcida hasta una suspensión espesa. Los resultados se expresan como equivalentes por millón de sulfatos.

Además de los análisis señalados en algunos tipos de lodo, se requieren otras determinaciones específicas como cantidad de potasio y de sulfuros.

# **Capitulo IV**

**Condiciones operativas  
Pozo Az-1a  
Campo Geotérmico Los Azufres**

**La descripción de las condiciones operativas se basó en la experiencia de la perforación del pozo Az-1a, en el campo geotérmico de los azufres, Michoacán.**

**Condiciones para el proyecto de la perforación del pozo Az-1a.**

**Localización del campo.**

**Objetivo de la perforación.**

**Localización del pozo.**

**Equipo de perforación utilizado.**

**Construcción de contrapozo.**

**Columna litológica.**

**Fluidos utilizados durante la perforación.**

**Pérdidas de circulación y su control.**

**Muestras de canal.**

**Registros de presión y temperatura.**

**Registros eléctricos.**

**Registros de inclinación.**

**Secuencia operativa de la perforación.**

**Resumen operativo de la perforación por etapas.**

**Barrenas utilizadas.**

**Registro de pérdidas de circulación.**

**Resumen operativo de instalación y cementación de tuberías de revestimiento.**

**Registro de materiales agregados.**

**Relación de eventos realizados.**

**Gráfica de perforabilidad.**

**Sartas de perforación utilizadas.**

**Programa hidráulico por etapa.**

**Instalaciones superficiales de control.**

**Estado mecánico.**

## **Condiciones para el proyecto de la perforación del pozo Az-1a.**

### **Localización del campo:**

El campo geotérmico de los azufres se encuentra localizado al noreste del estado de Michoacán, en la parte central del eje neovolcánico.

Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas:

Paralelos 19° 45' 12" y 19° 50' 08" de latitud norte.  
Meridiano 100° 38' 32" y 100° 43' 38" de longitud oeste.

### **Objetivo de la perforación**

La realización de la obra complementaria es con el fin de suministrar de vapor a las unidades instaladas en el campo y cubrir la declinación de la producción de los pozos actuales, perforándose el pozo, proporcionando así, el conducto adecuado para realizar la extracción de vapor endógeno a la superficie.

### **Localización del pozo.**

Ubicado en la zona sur del campo geotérmico los azufres, Michoacán con una distancia de 215 m del pozo az-1 con rumbo s 46° e.

### **Equipo de perforación utilizado.**

Continental-EMSCO de 1,100 hp.

### **Construcción de contrapozo.**

Se construyó de acuerdo a especificaciones técnicas, quedando con dimensiones de 3.00 mts. de largo x 2.00 mts. de ancho y 1.70 mts. de profundidad y fué construido utilizando concreto armado, para una resistencia mínima a la compresión de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , dejando bajo el nivel del fondo del contrapozo un hueco de 0.40 mts. x 0.40 mts. x 0,30 mts. para la limpieza del mismo.

### Columna litológica.

La tabla 1 muestra la profundidad, espesor y litología encontrada durante la perforación del pozo Az-1a

profundidad (mts.)	espesor (mts.)	litología
00.00 a 280.00	280.00	riolitas
280.00 a 425.00	145.00	dacitas
425.00 a 445.00	20.00	tobas
445.00 a 785.00	340.00	andesitas
785.00 a 815.00	30.00	tobas
815.00 a 1,710.00	895.00	andesitas

Tabla IV.I.6.1

### Fluidos utilizados durante la perforación.

Se preparó y acondicionó lodo bentonítico durante la perforación guía y ampliación, para la primera etapa superficial, agregando únicamente sosa cáustica para aumentar el ph y dispersantes para acondicionamiento de lodo antes de correr la tubería de revestimiento correspondiente.

Durante las etapas de perforación de 17 ½”, 12 ¼” y 8 ½” diám. por presentarse altas temperaturas y pérdidas de circulación, se acondicionó el lodo bentonítico/polimérico, adicionando sosa cáustica para mantener el ph en un rango de 9 a 10; así como los dispersantes necesarios agregándose al lodo viscosificantes, polímeros reductores de filtrado, tendientes a mantener las propiedades reológicas y tixotrópicas.

Antes de rebajar el cemento de los tubos ahogados y debajo de la zapata, se agregó carbonato de sodio para evitar la contaminación de lodo.

### **Pérdidas de circulación y su control.**

La pérdida de circulación fue parcial y/o total, y se caracterizó por la falta del retorno del fluido en su viaje del fondo perforado a la superficie, en función de las características de la formación atravesada, por lo que la frecuencia de este problema motivó la suspensión de las operaciones.

### **Muestras de canal**

Se recuperaron muestras de canal cada 10.00 mts. perforados, estas se depositaron sin lavar en frascos de plástico de 250 ml, con tapa roscada y boca ancha, debidamente etiquetados con tinta indeleble, anotando fecha, no. de pozo, profundidad y número de muestra, para la obtención de la profundidad de la muestra se consideró el tiempo de atraso.

### **Registros de presión y temperatura**

De acuerdo al comportamiento litológico y termodinámico del pozo se tomaron series de registros, en diámetros de 12 ¼" y 8 ½" diám. para las corridas de tubería 9 5/8" y 7" diám.

Cada serie constó de cuatro corridas y los tiempos de reposo considerados fueron con 6:00, 12:00, 18:00 y 24:00 hrs.

### **Registros eléctricos**

Antes de cementar se tomó registro de calibración de agujero, este registro incluyó la curva de registro continuo de desviación del agujero. Evaluación de la calidad de la cementación de la tubería de revestimiento; además se corrió registro ultrasónico para la evaluación de la adherencia del cemento, y la medición de espesores de pared en la tubería de revestimiento de 9 5/8" diám.

### **Registros de inclinación.**

Se tomaron registros de inclinación a cada 100.00 mts. perforados, para conocer la verticalidad del pozo.

**Secuencia operativa de la perforación.**

**Resumen operativo de la perforación por etapas.**

**Barrenas utilizadas**

**Registro de pérdidas de circulación.**

**Resumen operativo de instalación y cementación de tuberías de revestimiento.**

**Registro de materiales agregados.**

**Relación de eventos realizados.**

**Gráfica de perforabilidad.**

**Sartas de perforación utilizadas.**

**Programa hidráulico por etapa.**

**Instalaciones superficiales de control.**

**Estado mecánico.**

## **Resumen operativo de la perforación por etapas.**

### **Perforación de la primera etapa.**

Con barrena de 17 ½” diám. y herramientas, realizó perforación vertical de 05.08 m. a 61.00 m. utilizando lodo bentonítico como fluido de perforación, con circulación normal y recuperando muestras de formación de canal cada 10.00 m. perforados.

Con sarta ampliadora, amplió agujero de 17 ½” a 26” diám. de 05.08 m. a 60.00 m. con misma sarta ampliadora efectuó viaje de reconocimiento hasta la profundidad de 60.00 m. donde circuló para limpiar agujero, instaló la tubería de revestimiento de 20” diám sin costura k-55, 94.0 lb/pie API 5ct rango 3, rosca buttres cople normal, piñón y caja, equipada con zapata y centradores hasta 58.00 m. cementó la misma con 78.1 bls de lechada de cemento normal tipo “1”, con densidad promedio de 1.80 gr/cm<sup>3</sup>, sin aflorar cemento a superficie; durante tiempo de fraguado recementó espacio anular entre agujero de 26” y T.R. de 20” diám. con 74.74 bls. de lechada de cemento, con densidad de 1.80 gr/cm<sup>3</sup>, realizó operación con unidad de alta presión.

Instaló conexiones superficiales de control, con barrena 17 ½” diám. rebajó cementó en interior de T.R. 20” diám. de 52.45 m hasta 60.00 m. efectuando prueba hidráulica con 500 lb/pg<sup>2</sup> en 30 min. satisfactoriamente.

### **Perforación de la segunda etapa.**

Con barrena de 17 ½” diám. y sarta lisa efectuó perforación vertical de 60.00 m. a 70.00 m. sacó y estabilizó sarta, reanudando perforación de 70.00 m. a 310.00 m. con un gasto de 414.6 gal/min y peso sobre barrena de 6 a 7 ton, utilizando lodo bentonítico como fluido de perforación y recuperando muestras de formación de canal cada 10.00 m. perforados y con circulación normal.

Durante la perforación de esta etapa se tomaron los siguientes registros de inclinación:

profundidad (m)	inclinación (°, ´)
100.00	00°15´
200.00	00°15´
300.00	01°30´

Circuló a 310.00 m fondo para limpiar agujero, sacó sarta a superficie, efectuó preparativos e instaló la tubería de revestimiento de 13 3/8” diám. sin costura, k-55, 54.5 lb/pie API 5ct rango 3, rosca buttres, cople normal piñón y caja equipada con zapata guía, cople flotador y centradores normales y anillos de sujeción, hasta la profundidad de 302.00 m. y con unidad de alta presión cementó la tubería de revestimiento descrita, con 300 bls. de lechada de cemento modificado clase “h”, con densidad promedio de 1.85 gr/cm<sup>3</sup>, desplazando la misma con 154.00 bls. de lodo, probó equipo de flotación con 850 lb/pg<sup>2</sup>, aflorando cemento a superficie.

Espero tiempo de fraguado del cemento, instaló conexiones superficiales de control; efectuó prueba de cabezal de 13 5/8” diám. con 1 500 lb/pg<sup>2</sup>, durante 30 min. satisfactoriamente.

Armó barrena de dientes de 12 ¼” diám. y sarta lisa, bajó a 285.13 m, rebajó hules de desplazamiento y cople flotador, circuló y efectuó prueba hidráulica a T.R. 13 3/8” diám.

con 1,000.0 lb/pg<sup>2</sup>, durante 30 min satisfactoriamente, rebajó cemento de 287.00 m. a zapata flotadora hasta 302.00 m. y rebajó cementó hasta 310.00 m. fondo; sacó sarta a superficie.

### **Perforación de la tercera etapa.**

Armó barrena de insertos de 12 ¼” diám. con sarta lisa y T.P. 4 ½” diám. bajó sarta y reanudo perforación vertical de 310.00 m. a 340.00 m. circuló para limpiar agujero y saco sarta a superficie.

Armó barrena de 12 ¼” diám. con sarta estabilizada y con T.P. 4 ½” diám. bajó y estabilizó agujero de 310.00 m. a 340.00 m. reanudando perforación de 340.00 m a 725.00 m. con gasto de 414.6 gal/min peso sobre barrena 6 a 7 ton, rotaria 80 a 100 r.p.m. utilizando lodo bentonítico como fluido de perforación, recuperando muestras de formación de canal cada 10.00 m. perforados e instalando hules protectores de fricción en la sarta; suspendió operación a 725.00 m. por observar pérdida de peso en la sarta de 6 ton. y presión de 550 psi. quedando 1 pez de longitud de 38.19 m. boca de pez a 686.81 m. realizó varias operaciones de pesca, logrando recuperar pescado al 100% en superficie.

Armó barrena de 12 ¼” diám. y sarta estabilizada y con T.P. 4 ½” diám. reanudo perforación de 725.00 a 938.00 m. con un gasto de 552.8 gal/min., peso sobre barrena 9-10 ton. y rotaria de 80 a 90 rpm, colocó hules protectores de fricción en la sarta y recuperando muestras de formación de canal cada 10.00 m. perforados, suspendió operación por observar pérdida de peso en la sarta de 9 ton y una pérdida de presión de 700 psi, quedando un pez de 44.74 m. de longitud boca de pez a 893.26 m. armó y bajó tarraja de 9 3/16” con agarre de 6 1/8” a 8”, operó esta sobre boca de pez levantó este a 380.00 m. donde observó soltarse el pez, pérdida de peso de 7 ton. saco y eliminó tarraja, realizó en repetidas ocasiones trabajos de pesca logrando recuperar pescado al 100%.

Armó barrena de 12 ¼” diám. sarta estabilizada, reanudó perforación de 938.00 a 1,000.00 m. con un peso sobre barrena d 8 a 10 ton. gasto de 552.80 gal/min., rotaria de 70 a 80 r.p.m. tomó registros de desviación a: 400.00 m. – 1°30’, a 500.00 m. – 01°30’, a 600.00 m. – 01°45’, a 700.00 m. – 01°30’, a 800.00 m. – 01°45’, a 900.00 m. – 01°15’, a 1000.00 m. – 00° 30’.

efectuó corrida de registros de presión y temperatura hasta 990.00 m; armó barrena 12 ¼” diám., bajó sarta a 1,000.00 m. donde circuló para enfriar pozo; saco barrena a superficie y con unidad de registros eléctricos tomo registros de calibración y desviación en agujero libre, de 1,000.00 a 302.00 m.

Armó barrena de 12 ¼” diám. sarta estabilizada, bajó y efectuó viaje de reconocimiento hasta 1,000.00 m. donde circuló para enfriar y limpiar agujero.

Efectuó preparativos e instaló tubería de revestimiento de 9 5/8” diám sin costura, 1-80 tipo 1, de 47.0 lb/pie, rosca hydril 563, hasta 998.00 m. equipada con zapata flotadora, cople flotador, cople de retención, empacador inflable, cople de cementación, centradores 9 5/8” x 12 ¼” diám normales y anillos de sujeción; durante la corrida se lleno T.R. y circuló por etapas.

Efectuó preparativos y con unidad de alta presión efectuó cementación de tubería de revestimiento de 9 5/8” diám. en su primera etapa con 224.27 bls de lechada de cemento modificado tipo “h” baja densidad, con densidad promedio de 1.68 gr/cm<sup>3</sup> y 58.0 bls de

lechada de cemento de cola alta densidad con densidad promedio de 1.85 gr/cm<sup>3</sup> y presión de 150 a 180 lb/pg<sup>2</sup>, probó equipo de flotación con 750 lb/pg<sup>2</sup>, abrió puertos y circuló eliminando excedente de cemento en espera de fraguado del mismo.

Transcurrido el tiempo de fraguado del cemento, efectuó preparativos y con unidad de alta presión, efectuó cementación de la tubería de revestimiento de 9 5/8" diám. en su segunda etapa, con 192,82 bls de lechada de cemento modificado de baja densidad, con densidad promedio de 1.68 gr/cm<sup>3</sup> y una presión de bomba de 90 a 250 lb/pg<sup>2</sup>, arrojó tapón desplazador, bombeó 5.0 bls de lechada de cemento de baja densidad con presión de 200 lb/pg<sup>2</sup>, bombeo bache separador de 10.0 bls de agua dulce, con presión de 130 a 200 lb/pg<sup>2</sup> y desplazó la lechada con 115.0 bls de lodo y con presión de 190 a 400 lb/pg<sup>2</sup>, aflorando cemento a superficie, bombeó 6.0 bls. de lodo represionando en varias ocasiones de 1,000.0 a 1,700.0 lb/pg<sup>2</sup>, sin lograr cerrar los puertos de cople de cementación, quedando T.R. represionada, desfogando constantemente, manteniendo una presión de 400 a 800 lb/pg<sup>2</sup>, abatiéndose a cero psi, con unidad de alta presión recementó espacio anular entre T.R. 13 3/8" y T.R. 9 5/8" diám. con 1 bl. de lechada de cemento tipo "h" modificado, con densidad de 1.68 gr/cc, colocó medias lunas centralizadoras a T.R. 9 5/8" diám. eliminó sobrante de T.R. 9 5/8" diám. instaló carrete de expansión, válvula maestra de 10", brida de sacrificio y conjunto de preventores, apretó tornillería en general e instaló tubo campana, probó sistema superficial de control observándose en buenas condiciones.

#### **Perforación de la cuarta etapa.**

Armó barrena 8 1/2" diám. marca varel tipo 3-1-7 y herramientas, bajó a 502.00 m. donde checó cima de cemento con 3.0 ton de peso, donde circuló, cerró preventor y realizó prueba hidráulica a T.R. 9 5/8" diám. con 1,500 lb/pg<sup>2</sup> durante 30 min. satisfactoriamente, rebajó cemento de 502.00 a 535.00 m. donde efectuó prueba hidráulica en varias ocasiones abatiéndose la presión de 1,500.0 a 750.0 lb/pg<sup>2</sup> con unidad de alta presión, continuo rebajando cemento de 535.00 a 537.00 m. saco barrena a superficie, bajó T.P. franca a 534.00 m. donde con preventor cerrado y con unidad alta presión inyectó 6.2 bls. de lechada de cemento modificado tipo "h" con densidad de 1.70 gr/cc, desplazando con 23.5 bls. de lodo, levantó T.P. franca de 534.00 a 423.00 m. donde circuló, cerro preventor e inyectó lechada con 5.0 bls. de lodo con presión máxima de 1,500.0 lb/pg<sup>2</sup> abatiéndose a 750.0 lb/pg<sup>2</sup> en 6 min, abrió preventor y levantó T.P. a 310.00 m. donde circuló, cerró preventor y forzó con 1.0 bl. de lodo con presión de 1,200.0 lb/pg<sup>2</sup>, con preventor cerrado y con T.P. franca 4 1/2" diám espera fraguado; abrió preventor y sacó T.P. franca a superficie.

Armó barrena nueva 8 1/2" diám marca reed, tipo 5-3-7 y bajó misma herramienta a 776.00 m rebajó cemento y accesorios de cementación hasta 988.00 m donde circuló en espera de sonda de registros eléctricos, levantó barrena de 988.00 a 465.00 m donde esperó reparación de sonda de registros eléctricos, bajó barrena de 465.00 a 988.00 m.

donde circuló para enfriar pozo, en espera de reparación de sonda de registros eléctricos; saco sarta a superficie, tomó registro sónico de cementación.

Armó barrena 8 1/2" diám marca reed, tipo 5-3-7 y herramienta de 6" bajando a 988.00 m. donde circuló y efectuó prueba hidráulica a T.R. 9 5/8" diám con 1,500.0 lb/pg<sup>2</sup> durante 30 min satisfactoriamente rebajó cemento de 988.00 a 1 000.00 m. y accesorios de

cementación, perforó de 1,000.00 a 1,020.00 m. donde circuló para limpiar agujero, sacó barrena a superficie, estabilizó sarta, metió misma barrena y herramientas a 1,000.00 m. estabilizó agujero de 1,000.0 m. a 1,020.0 m. y reanudó perforación de 1,020.00 a 1,027.00 m. donde observó pérdida total de circulación, levantó nivel del fluido en las presas, reanudó perforación con pérdida total de circulación de 1,027.00 m. a 1,031.00 m. suspendió operación y sacó sarta a superficie, eliminó estabilizadores, bajó misma barrena y herramienta lisa a 1,031.00 m. reanudo perforación de 1,031.00 a 1,047.00 m. con pérdida total de circulación de 15.0 a 35.0 m<sup>3</sup>/h. recuperando agua y preparando fluido de perforación en presas con un gasto de 248 gal/min, rotaria de 80 r.p.m. peso sobre barrena de 7.0 ton. y presión de bomba de 200 lb/pg<sup>2</sup>, saco sarta a superficie, armó barrena nueva 8 ½" diám. marca reed, tipo 5-3-7, herramienta lisa, bajó y repasó agujero de 1,170.00 a 1,309.00 m. con pérdida parcial de 2.0 m<sup>3</sup>/h. reanudó perforación de 1,308.00 m a 1,329.00 m. con pérdida parcial de circulación de 2.0 m<sup>3</sup>/h, con un gasto de 248.0 gal/min, rotaria de 90 r.p.m. con peso sobre barrena de 2-3 ton. y presión de bomba de 200 lb/pg<sup>2</sup>, circuló a 1,329.00 m.

Sacó sarta a superficie y eliminó barrena con t-2, b-6, d 1-16".

Armó barrena nueva 8 ½" diám marca reed, tipo 5-3-7, herramientas y T.P. 4 ½", bajando sarta, repasó intervalo de 1,200.00 a 1,329.00 m. con pérdida parcial de 2.0 m<sup>3</sup>/h. reanudó perforación de 1,329.00 a 1,394.00 m. con pérdida parcial de circulación de 2.0 m<sup>3</sup>/h. donde suspende para cambio de barrena, sacó sarta y eliminó barrena con t-1, b-6, d 1/8", armó barrena nueva 8 ½" diám. sarta estabilizada bajó esta, estabilizó agujero de 1,357.00 a 1,394.00 m. reanudando perforación de 1,394.00 m a 1,417.00 m, con pérdida parcial de circulación variable entre 2 y 3 m<sup>3</sup>/h, suspendió operación para cambio de barrena, en condiciones t-1, b-1, d-inicial, preparó lodo en presas, armó barrena nueva 8 ½" diám. marca reed, tipo 6-2-7 con herramientas, bajó a 1,417.00 m. reanudó perforación de 1,417.00 a 1,477.00 m. con pérdida parcial de circulación variable entre 4.0 y 20 m<sup>3</sup>/h. condiciones, rotaria de 100 r.p.m., peso sobre barrena 3.0 ton. presión de bomba 250 lb/pg<sup>2</sup>, con un gasto de 307 gal/min, suspendió operación para cambio de barrena, sacó sarta a superficie y eliminó barrena con t-1, b-3, d-1/16".

Armó barrena nueva 8 ½" diám marca varel tipo 5-3-7, con herramientas, bajó y reanudó perforación de 1,477.00 a 1,514.00 m con pérdida parcial de circulación variable de 2-4 m<sup>3</sup>/h; condiciones, rotaria de 100 r.p.m. peso sobre barrena 3.0 ton, presión de bomba 250 lb/pg<sup>2</sup>, y un gasto de 307 gal/min, suspendió operación por pérdida de peso de 11.0 ton. en la sarta, sacó sarta a superficie observando rotura de la caja del lastrarbarrena no. 11, quedando pez de longitud 104.36 m boca de pez a 1,410.44 m. armó machuelo, metió y operó sobre boca de pez sin éxito, sacó machuelo a superficie y eliminó en malas condiciones; armó machuelo, metió y operó sobre boca de pez conectó y trabajó sarta sin éxito, desconectó machuelo y sacó a superficie en buenas condiciones.

Armó pescante bowen (over-shot 8" diám cuñas 6 ½") bajó a 1,410.00 m. circuló y operó pescante en boca de pez conectado con éxito, circuló a través de pez, trabajando sarta con 3,000.0 lt de diesel y 100.0 lt de free-well, con sarta tensionada bombeó bache y desplazó el mismo, dejó bache en reposo y trabajó sarta en varias ocasiones logrando liberar sarta con 62.0 ton sobre su peso, sacó sarta recuperando pescado al 100%; eliminó pescado y herramientas de pesca. armó barrena nueva 8 ½" diám. marca reed, tipo 5-3-7 y herramientas bajó sarta revisando juntas, circulando por etapas, reanudando perforación de 1,514.80 a 1,526.00 m. con circulación normal, condiciones de operación, rotaria de 100

r.p.m. peso sobre barrena 3.0 ton. presión de bomba 250 lb/pg2 y un gasto de 291.0 gal/min, suspendió operación por observar pérdida de peso de 12.0 ton. en la sarta; sacó sarta a superficie observando degollamiento del 2º T.P. h.w. 5xh. quedando pescado de longitud de 130.96 m.

Armó machuelo rango 3 ½" x 4 ¾" y herramientas, bajó a 1,395.00 m. donde conectó sobre boca de pez, circuló y trabajó sarta en varias ocasiones sin éxito; preparó y bombeó bache liberador de sarta con 4,000.0 lts. de diesel y 200.0 lts. de free-well.

Esperó tiempo de reposo del bache y trabajó sarta en varias ocasiones sin éxito, sacó machuelo a superficie observando este en malas condiciones.

Armó machuelo nuevo y herramientas, bajó este a 1,395.04 m. donde conectó machuelo a boca de pez, trabajó sarta en varias ocasiones sin éxito, sacó machuelo a superficie, armó machuelo nuevo, bajó a 1,395.00 m. conectando a boca de pez, circuló y trabajó sarta tensionando de 10 a 15 ton sobre su peso, soltándose el machuelo; sacó machuelo a superficie observando éste en buenas condiciones.

armó machuelo no. 4 y bajó a 1,395.00 m. circuló y conectó a pez, circuló por interior de pez, rompiendo con 1,500.0 lb/pg2, preparó bache liberador de sarta con 200.0 lts. de free-well y 20.0 lts. de espumante, bombeó éste, sacó machuelo a superficie.

armó machuelo no. 5, bajó a 1,395.00 m. circuló y conectó a boca de pez, trabajó sarta con 10-30 ton. sobre su peso en varias ocasiones soltándose pez, circuló para enfriar pozo, cerró preventor y circuló por línea de desfogue 2" diám. por fuerte cabeceo, abrió preventor y conectó nuevamente machuelo a boca de pez, trabajó sarta atrapada y circuló por línea de desfogue para enfriar pozo por fuerte cabeceo, temperatura máxima de 90°C, abrió preventor, conectó machuelo a pez y trabajó con 20-23 ton. sobre su peso sin éxito; sacó sarta a superficie, armó pescante bowen (over-shot), con cuñas 6" diám. espiral, bajó a 1,395.04 m. boca de pez, circuló, conectó pescante al pez y trabajó sarta con 86 ton. sobre su peso, preparó bache liberador de sarta, bombeó éste con 3,000.0 lts de diesel y 200.0 lts de free-well, esperó tiempo de reposo con sarta tensionada con 134 ton, trabajó sarta con 95 ton. sobre su peso y 12 ton. hacia abajo, sin éxito.

preparó y bombeó bache liberador con 3,000 lts de diesel y 100 lts de free-well, esperó tiempo de reposo y trabajó sarta con 88 ton sobre su peso sin éxito.

preparó y bombeó bache liberador de sarta con 5,300.0 lts. de diesel y 200.0 lts. de free-well, esperó tiempo de reposo y trabajó sarta, tensionada con 130 ton. siendo 88 ton. sobre su peso en varias ocasiones, circuló, sacó sarta a superficie recuperando 2 tramos con T.P. y 3 lastrabarrenas, eliminó pescante boca de pez a 1,440.08 m. armó junta de seguridad, con T.P. h.w. y T..P. 4 ½"xh, bajó y conecto a boca de pez a 1,440.08 m. trató de circular por interior de pez represionando con 2400.0 lb/pg2 sin éxito; trabajó sarta atrapada, tensionando con 130 ton 87 ton sobre su peso sacó T.P. a superficie observando quedarse 01 combinación, junta de seguridad y de bumper sub, longitud del pez 88.42 m. boca de pez a 1,437.58 m. armó parte de bumper sub, con martillo 6 ½", international, bajó a 1,437.58 m. boca de pez, cerró preventor esférico y circuló por línea de 2" de desfogue para enfriar pozo, temperatura máxima de 95°C, abrió preventor y circuló normal estabilizó temperatura a 79°C, conectó a boca de pez, trabajó sarta golpeando con 70 ton. hacia arriba en varias ocasiones represionando con 2,500.0 lb/pg2, sin obtener circulación, operación sin éxito, preparo y bombeó bache para liberar sarta con 3,000.0 lts. de diesel y 200.0 lts. de free-well, espero tiempo de reposo y trabajo martillo international 6 ½" con 70 ton. sobre su peso en varias ocasiones, golpes acumulados del martillo 324,

preparó y bombeó bache con 15.0 m<sup>3</sup> de diesel, esperó tiempo de reposo, operó martillo internacional 6 ½" con 70 ton. en varias ocasiones, sin éxito; golpes acumulados con martillo 474; continuó operando martillo con 70 ton. en varias ocasiones, donde observó pérdida de peso de 17 ton. en la sarta, sacó sarta a superficie observando degollamiento del cuerpo del 3er. tubo de la lingada no. 23 de T.P. 4 ½" diám. longitud del pez 801.53 m, boca de pez a 724.40 m. armó pescante bowen 8" con cuñas de espiral 6" bajó a 717.57 m. circuló y conectó al pez trabajando sarta para desconectar junta de seguridad sin éxito, desconectó sarta arriba de pescante, sacó T.P. 4 ½" recuperando 21 lingadas y 2 tubos, quedando boca de pez a 612.56 m. longitud de pez 913.44 m.

Armó pescante bowen 8 1/8" diám. con cuñas de espiral 6" y herramientas, bajó circulando por intervalos a 717.57 m. conectó a pez, trabajó sarta en varias ocasiones con éxito, recuperando 43 ton. de peso en la sarta, sacó sarta a superficie, observando parte superior de junta de seguridad desconectada, quedando pez de longitud de 87.00 m. boca de pez a 1,439.00 m. realizó inspección de tubería de perforación 4 ½" diám. y arma barrena con herramienta y bajó a 1,439.00 m. circulando por etapas; sacó sarta a superficie; armó tubo pichancha y con T.P. 4 ½" diam. bajó a 1,439.00 m. circulando y enfriando pozo, donde bombeó bache lavador de agua-lignito con concentración 2 lbs/bl. desplaza lodo por agua, levantó tubo pichancha a 1,429.65 m. donde corrió registros de presión y temperatura; sacó tubo pichancha a superficie; permaneció pozo en reposo sin registrar presión.

armó tubo difusor y bajó circulando por etapas hasta 1,439.00 m. bombeo 2.0 m<sup>3</sup> de agua cada 15 min. durante 2 hrs. 15 min circulando para enfriar pozo, levantó tubo difusor a 988.47 m. cerró preventor, inyectó 120.0 m<sup>3</sup> de agua con 700 lb/pg<sup>2</sup> con una bomba y con 1,000.0 lb/pg<sup>2</sup> con 2 bombas, sacó tubo difusor de 988.47 m. a superficie y lo eliminó, bajó T.P. franca a 1,439.00 m. circulando por etapas libremente; levantó T.P. a 998.00 m. cerró preventor e inyectó 170.0 m<sup>3</sup> de agua, abrió preventor, recuperó 70.0 m<sup>3</sup> de agua en presas, llenó pozo con 29.0 m<sup>3</sup> de agua y circuló con pérdida parcial de 24.0 m<sup>3</sup>/h. sacó T.P. a superficie, bajó T.P. franca a 612.49 m. cerró preventor anular 4 ½" diám. e inyectó 525.0 m<sup>3</sup> de agua con presión de 700 lb/pg<sup>2</sup>, abrió preventor, llenó pozo con 50.0 m<sup>3</sup> de agua y circuló observando pérdida parcial de 60.0 m<sup>3</sup> de agua; bajó T.P. franca de 612.49 m. a 1,439.00 m. reconociendo agujero libre.

Sacó T.P. franca a superficie, tomó registro de presión y temperatura hasta 1,439.00 m. cerró válvula maestra 10" diám. y con pozo en reposo, observó calentamiento y presión máxima de 60 lb/pg<sup>2</sup>, posteriormente represionó pozo con compresor del equipo registrando 100 lb/pg<sup>2</sup>, mantuvo pozo en reposo, registrando presión máxima de 252.0 lb/pg<sup>2</sup>, donde observó fluir el pozo incrementando presión de 125 a 200 lb/pg<sup>2</sup>, observando crecimiento del árbol de control de 13 cm, temperatura del árbol de 131°C mantuvo pozo fluyendo por línea de 2" diám. totalmente abierta al silenciador registrando presión, desplazamiento y temperatura del agua, recuperando muestras de agua y observándose crecimiento del árbol

Apretó tornillería de preventores e instaló líneas de 2" de desfogue instaló válvula maestra 10" diám. usada, instaló tubo campana, armó tubo difusor y bajó a 986.82 m. circulando por etapas cada 8 hrs. para enfriar pozo, con pérdida parcial de 12.5 bls/hr. sacó tubo difusor 4 ½" a superficie y cerró válvula maestra 10" diám. y válvulas laterales 2" diám. abiertas, llenó pozo cada 4 hrs. con 20.0 bls. por línea de llenadera desfogue abierto, revisó y armó T.P. 4 ½" armó barrena 8 ½" diám. marca reed, tipo 6-2-7, repasó agujero

hasta 1,439.0 m. boca de pez con pérdida parcial de 50 bls/hr. donde circuló para limpiar pozo, levantó barrena a superficie, desconectó toda la tubería de perforación. armó barrena 8 ½" y bajó armando tubo por tubo, circulando por etapas hasta 1,439.00 m. para enfriar pozo, sacó barrena a superficie.

Armó molino 8 ½" blade-mill, doble caja 6 ½", T.P. h.w. 5" y h.w. 4 ½" y bajó circulando por etapas hasta 1,439.00 m. boca de pez circuló para limpiar boca de pez, molió junta de seguridad y combinación de pez de 1,439.00 a 1,439.78 m. con pérdida parcial de circulación de 31.5 bls/hr. realizó perforación lateral (side-track) de 1,439.78 a 1,451.00 m. con pérdida parcial de circulación de 19.0 bls/hr. circuló, tomó desviación a 1,442.00 m, resultando 04°45', sacó molino a superficie con 80% de vida útil.

armó molino 8 ½" diám. sarta y herramientas, bajó circulando por etapas, instalando hules protectores de fricción, hasta 1,445.00 m. estabilizó agujero hasta 1,451.00 m. reanudó perforación lateral (side-track), con molino 8 ½" y herramientas de 1,451.00 a 1,456.00 m. con pérdida parcial de circulación de 19 bls/hr., circuló para limpiar agujero, sacó molino 8 ½" diám. a superficie y eliminó en buenas condiciones, armó barrena nueva 8 ½" diám. marca varel tipo 5-3-7, con sarta estabilizada 6 ½" x 8 ½" diám. y bajó con herramientas circulando por etapas hasta 1,438.00 m. estabilizó agujero desviado de 1,438.00 a 1,456.00 m. fondo.

Reanudó perforación lateral (side-track) de 1,456.00 a 1,500.00 m. con pérdida parcial de circulación de 19 bls/hr. con un gasto de 369.36 gal/min de lodo, con rotaria de 110 r.p.m. peso sobre barrena de 2.0 ton. presión de bomba 800 lb/pg2, donde suspendió operación por incremento de torque, 150-300 unidades, circuló para limpiar agujero a 1,500.00 m.

Sacó barrena a superficie eliminó barrena con insertos quebrados de 1ª fila de los tres conos y huella de fricción en parte exterior de jet de toberas, armó barrena nueva de 8 ½" diám. marca varel tipo 5-3-7 y con herramientas y T.P. bajó a 1,457.00 m. repasó agujero 8 ½" de 1,457.00 a 1,515.00 m. con pérdida parcial de circulación de 19 bls/hr. con gasto de 369.36 gal/min, rotaria de 90-100 r.p.m. peso sobre barrena 2.0 ton. presión de bomba 800 psi. donde suspendió operación por incremento de tiempo de penetración; circuló a 1,515.00 m. para limpiar agujero, sacó barrena a superficie y eliminó con huella de fricción en parte exterior de los 3 jets de toberas e insertos quebrados de la 1ª fila de los tres conos, armó molino blade-mill 8 ½" diám. con herramientas y bajó circulando por etapas hasta 1,495.00 m. tomando desviación y rumbo, repasó resistencia de 1,495.00 a 1,515.0 m. fondo, reanudó perforación lateral (side-track) con molino 8 ½" diám. de 1,515.00 a 1,517.00 m. con pérdida parcial de 19 bls/hr. con gasto de 369.36 gal/min. rotaria 60 r.p.m. y presión de bombeo de 400 lb/pg2, donde suspendió operación por incremento de torque de 60 a 300 unidades; circula a 1,526.00 m. saca sarta a superficie y eliminó molino blade-mill, con t-2, b-3, d 1/8".

Armó molino blade-mill 8 ½" diám. doble caja lisa, drill collar monel, 01 estabilizador 6 ½" x 8 ½" diám. water-melon, 01 drill collar 6 ½" diám. 01 combinación, 01 estabilizador 6 ½" x 8 ½", water-melon, 03 T.P. h.w. 5xh, 01 combinación, 09 T.P. h.w. 4 ½" xh, bajó circulando por intervalos a 1,525.00 m. resistencia, repasó agujero desviado de 1,525.00 a 1,526.00 m. reanudó perforación lateral (side-track), con molino 8 ½" diám. de 1,526.00 a 1,526.40 m. tomando desviaciones a 1,442.0 m. 04°45', rumbo s-67-w a 1,432.00 m 03°45', rumbo s-67-w, y 1,526.00 m 04°30', rumbo s-38-e.

Sacó molino a superficie y eliminó con huella circular en cuchillas y diámetro reducido ½" con 100% de desgaste en matriz, armó barrena usada y herramientas, bajó a 1,526.00 m

resistencia, repasó intervalo de 1,526.00 a 1,526.40 m fondo, reanudó perforación lateral con barrena 8 ½" diám. de 1,526.40 a 1,534.00 m. con perdida parcial de circulación de 19 bls/hr. suspendió operación por incremento de tiempo de penetración, condiciones de operación, gasto 369.36 gal/min de lodo, rotaria de 60-65 r.p.m. peso sobre barrena 5.0 ton. presión de bombeo 350 lb/pg2, circuló a 1,534.00 m. para limpiar agujero, sacó sarta a superficie, eliminó barrena con huella circular en hombros de la misma, condiciones t-4, b-6, d-r 1/8", armó barrena 8 ½", marca reed, tipo 5-3-7 y herramientas, bajó circulando por etapas hasta 1,530.00 m. repasó a 1,596.00 m. con perdida parcial de circulación variable de 50.0 bls/hr circuló para limpiar agujero, saco barrena de 1,596.00 m. a superficie y eliminó misma, doble caja, drill collar monel, estabilizador 6 ½" x 8 ½", water melon, drill collar 6 ½" normal, estabilizador, water melon. condiciones de barrena t-8, b-8, d 1/8".

Armó barrena 8 ½" nueva, marca reed, tipo 5-3-7, con drill caja lisa, drill collar 6 ½" diám. estabilizador 6 ½" x 8 ½", 1 d. collar 6 ½", 01 estabilizador 6 ½" x 8 ½" y con T.P. 4 ½" bajó a 1,570.38 m. repasó intervalo de 1,570.38 a 1,596.00 m. reanudó perforación lateral de 1,596.00 a 1,610.00 m. con perdida parcial de circulación variable de 25.0 bls/hr. gasto de 369.36 gal/min. rotaria de 80 r.p.m. peso sobre barrena 5.0 ton. presión de bomba 500 lb/pg2, circuló a 1,610.00 m. y acondicionó fluido de perforación.

Sacó barrena a superficie, armó tubo pichancha 4 ½" diám. y con T.P. 4 ½", bajó a 1,610.00 m. fondo, lleno pozo con 94.0 bls. de lodo circuló y observó perdida parcial de 31.0 bls/hr. acondicionó fluido de perforación y tomó registros de presión y temperatura, llenó pozo con 94.0 bls. de lodo, cerró preventor y circuló a través de línea de desfogue 2" diám. con perdida parcial de circulación de 31.0 bls/hr.

sacó tubo pichancha a superficie y eliminó el mismo, armó barrena 8 ½" diám. nueva, marca varel, tipo 6-1-7 y herramientas, bajó a 1,610.00 m. libremente.

Reanudó perforación lateral 8 ½" diám. de 1,610.00 a 1,710.00 m. con perdida de circulación variable de 50.0 bls/hr. con gasto de 369.36 gal/min. rotaria de 80 r.p.m. peso sobre barrena 5.0 ton. presión de bomba 600 lb/pg2. donde circuló y acondicionó fluido de perforación para tomar registros de temperatura y presión, sacó barrena a superficie y eliminó misma con condiciones de b-2, t-2 y d-1/16",

armó tubo difusor a 1,705.53 m. tomó registros de presión y temperatura, levantó tubo difusor de 1,705.53 a 986.79 m. con tubo difusor estacionado a 986.79 m. mantuvo pozo en reposo y en observación con recuperación térmica, bajó tubo difusor de 986.79 m. a 1,705.53 m. libre, tomó registros de presión y temperatura, con 58.0 hrs. de reposo, eliminó elementos de registros, levanto tubo difusor de 1,705.53 a 986.79 m. llenó pozo con 94.0 bls. de lodo y circuló para enfriar pozo, con perdida parcial de 31 bls/hr, bajó tubo difusor a 1,710.00 m. circulando y eliminando resistencia de 1,695.00 a 1,710.00 m. saco tubo difusor a superficie.

desmanteló conjunto de preventores, válvula maestra 10" diám. carrete de expansión y válvulas laterales 2" diám.

Instaló carrete de expansión de 12" x 10" diám. asme clase 900, con 2 salidas laterales de 2" diám. asme clase 1500 sin sellos secundarios, válvula maestra de 10" diám. asme clase 900, de compuerta cuña rígida, cruz bridada de 10" x 10" x 10" x 10" diám. asme clase 900, 2 válvulas laterales de 10" diám. 2 válvulas laterales de 2" diám. asme clase 1500, compuerta cuña rígida, válvula superior 10" diám. instaló conjunto de preventores, brida de sacrificio, carrete adaptador, tubo campana y apretó tornillería en general, armó barrena

8 ½" diám. con herramientas y con T.P. 4 ½" xh, bajó a 1,710.00 m. donde circuló para enfriar pozo, con pérdida parcial de circulación de 25.0 bls/hr; sacó barrena a superficie y eliminó misma, efectuó preparativos y corrió liner de 7" diám. sin costura, 1-80, tipo 1 de 29 lb/pie, API 5ct rango 3 rosca buttress, ranurada y ciego, equipada con zapata guía ciega 7" diám. y colgador mecánico para tubería de revestimiento de 9 5/8" x 7" diám. cuña sencilla, colgando con 6 vueltas a la derecha, levanto liner 7" diam. a 1,700.00 m. bajando con T.P. 4 ½" diám. hasta 1,710.00 m. donde operó colgando con 6 vueltas a la derecha, levantó liner 7" a 1,700.00 m. donde ancló el mismo y desconectó soldador con 6 vueltas a la derecha, satisfactoriamente, quedando boca de colgador a 952.00 m. sacó T.P. y soldador a superficie; limpió conexiones, armó tubería de perforación 3 ½" diám. armó tubo difusor 3 ½" con tubería combinada 3 ½" y 4 ½" diám. bajó hasta 1,649.00 m. circulando por etapas, circula y elimina resistencia de 1,649.00 a 1,695.00 m. con pérdida parcial de circulación de 31.0 bls/hr y presión de 500 lb/pg2, con tubo difusor a 1,695.00 m. desplazó lodo por agua 451.5 bls, lavó presas metálicas, recuperó agua limpia en presas, cerró preventor e inyectó al pozo 791 bls. de agua, con gasto de 772 lts/min y presión de 900 lb/pg2, incrementándose a 1000 lb/pg2 máxima y al final de 850 lb/pg2, preparó en presas solución de agua-lignito, 590.0 bls. y 564.0 kg lignito, y con preventor cerrado inyectó 198.0 bls. de solución agua-lignito para lavar el pozo, con presión inicial de 1100 psi y final de 1350 psi, con un gasto de 1500 lts/min; con tubo difusor estacionado a 1,695.00 m, observó pozo, recupero agua en presas 396 bls, sacó tubo difusor a superficie y eliminó el mismo, metió al pozo 01 lingada, cerró preventor y efectuó prueba de admisión con elementos t-27 y p-15, inyectando 1319.0 bls. de agua, recuperó 1570.0 bls. de agua geotérmica, bajó elementos de registros dobles de presión p-16, p-16a, a 1,460.00 m. y efectuó prueba de admisión con gasto de 1,169.52 lts/min. inyectando 1947.0 bls. de agua y 251.0 bls. de solución agua-lignito 240.0 kg para un total de agua inyectada de 2198.0 bls. observó pozo con preventor cerrado y sacó elementos de registros a superficie; bajó T.P. franca 4 ½" diám. a 900.00 m. llenó pozo con 276.0 bls. de agua geotérmica, con gasto de 1400.0 lts/min, circuló con pérdida parcial de 521.0 bls/hr, recuperó agua geotérmica en presas 628.0 bls. llenó pozo con 188.0 bls. de agua geotérmica, cerró preventor e inyectó 1256.0 bls. de agua geotérmica con presión de 650 lb/pg2, abrió preventor y checó pérdida de circulación de 584 bls/hr; sacó T.P. franca 4 ½" diám. a superficie, cerró válvula maestra de 10" diám. y válvulas laterales de 2" diám. a las 13:00 hrs. dando por concluidas las operaciones correspondientes a la perforación del pozo az-1a, procediendo a la desmantelación general del equipo.

## Selección de barrenas.

La tabla 2 muestra la selección de barrenas utilizadas durante la perforación del pozo Az-1a.

numero	diámetro		marca	tipo	toberas	no. de serie	profundidad		metros perf.	horas	m/h.	peso en ton.	r.p.m. de rotaria	grados de desviación	presión bomba psi.	bomba usada
							de	a								
1	17 ½"	insertos	rbi	527	s/tob	bx158	05.08	61.00	55.92	6.18	9.05	1/2	100.120	61.0 m. 0° 15'	0	1-2
2	26"	amplificador	security	amp.	s/tob	assy 68680	05.08	60.00	55.92	8.12	6.89	1/2	80	61.0 m. 0° 15'	0	
1	17 ½"	insertos	rbi	527	s/tob	bx158	61.00	310.00	249	132.83	1.87	6-7	70-80	300.0 m. 1° 30'	0	1-2
3	12 ¼"	dientes	varel	1-314	3 18	106816	310.00	310.00	23.00	6.08	3.78	3/4	60	300.0 m. 1° 30'	0	1-2
4	12 ¼"	insertos	reed	537	2 15 1 14	mb 6837	310.00	528.00	218	100.75	2.16	7/8	70/90	500.0 m 1° 30'	1200	1/2
5	12 ¼"	insertos	varel	527	3 16	154952	528.00	725.00	197	97.50	2.02	4/6	100	700.0 m 1° 30'	1200	1/2
6	12 ¼"	insertos	reed	537	3 24	cd 7548	725.00	938.00	213	89.08	2.39	7/9	90	900.0 m 1° 0'	1200	1/2
4	12 ¼"	insertos	reed	537	s/tob	mb 6837	938.00	1000.00	62	52.33	1.18	10/12	90 100	1000.0 m 0° 30'	800	1/2
7	8 1/2"	dientes	varel	317	s/tob	159158	502.00	776.00	274	72.00	3.81	2/3	60	1000.0 m 0° 30'	750	1/2
8	8 1/2"	insertos	reed	537	3 20	54630	776.00	1000.00	224	38.50	5.82	6	60	1000.0 m 0° 30'	750	1
8	8 1/2"	insertos	reed	537	s/tob	54630	1000.00	1309.00	309	97.25	3.18	7/8	80	1300.0 m 2° 45'	750	1
9	8 1/2"	insertos	reed	537	s/tob	bw 1645	1309.00	1329.00	20	21.58	0.93	8/9	80	1320.0 m 3° 30'	750	1
10	8 1/2"	insertos	reed	537	s/tob	bw 1644	1329.00	1394.00	65	38.83	1.67	5/6	90	1390.0 m 3° 30'	350	1
11	8 1/2"	insertos	reed	627	s/tob	mdu 2558	1394.00	1477.00	83	74.50	1.11	3/4	100	1470.0 m 3° 15'	350	1
12	8 1/2"	insertos	varel	537	s/tob	162093	1477.00	1514.80	37.8	31.25	1.21	3/4	100	1500.0 m 3° 15'	450	1
13	8 1/2"	insertos	reed	537	s/tob	d 54487	1514.80	1526.00	11.2	6.40	1.75	3/4	100	1520.0 m 3° 15'	450	1
14	8 1/2"	insertos	blade mill	moli no	6-24/32	gc-6291	1439.00	1451.00	12.00	24.00	0.50	2	60		300	1
15	8 1/2"	insertos	blade mill	moli no	6-24/32	ts-48	1451.00	1456.00	5.00	1.75	2.86	2	60		2.00	1
14	8 1/2"	insertos	varel	537	3(16/32)	162090	1456.00	1500.00	44	21.25	2.07	2-3	110	1498.0 m 3°45'	750	
15	8 ½"	insertos	varel	537	3(16/32)	162089	1500.00	1515.00	15.00	10.1	1.48	2	60			1
	8 1/2"	insertos	blade mill	moli no			1515.00	1517.00	2.00	5	0.4	2	60			1
	8 1/2"	insertos	reed	627		2558	1517.00	1526.00	9.00	9.05	0.99	4	60			1
	8 1/2"	insertos	blade mill	moli no		48	1526.00	1526.40	0.40	3.4	0.11	2	60		750	1
	8 1/2"	insertos	reed		3(16/32)	54630	1526.40	1534.00	7.60	8.3	0.91	6	60		750	1
	8 1/2"	insertos	reed			54632	1534.00	1596.00	62.00	43	1.44	8	70		750	1
	8 ½"	insertos	reed	537	s/tob	54488	1596.00	1610.00	14.00	13	1.07	8	70			1
	8 ½"	insertos	varel	617	16/32	161944	1610.00	1710.00	100.00	42.00	2.38	8	80			1

Tabla IV.II.2.2

## Registro de pérdidas de circulación.

La tabla 3 muestra el registro de pérdidas de circulación durante la perforación vertical del pozo Az-1a.

Etapa	Fecha	Profundidad Mts.	Pérdida de circulación	Volumen M3/Hr.
Perforación vertical primera etapa 26" Diám.	10 de Dic. del 2000	0.0 a 60.0	Sin pérdida	
Perforación vertical segunda etapa 17 1/2" Diám.	del 17 al 23 de Diciembre del 2000	60.0 a 302.0	Sin pérdida	
Perforación vertical tercera etapa 12 1/4" Diám.	del 29 de Diciembre 2000 al 25 de Enero del 2001	302.0 a 1,000.0	Sin pérdida	
Perforación vertical cuarta etapa 8 1/2" Diám.	17 de Febrero del 2001	1,000.0 a 1,027.0	Sin pérdida	
	18 de Febrero del 2001	1,027.0 a 1,047.0	Pérdida total	
	19 de Febrero del 2001	1,047.0 a 1,051.0	Parcial	23.0
		1,051.0 a 1,054.0	Parcial	10.0
		1,054.0 a 1,096.0	Parcial	15.0
	20 de Febrero del 2001	1,096.0 a 1,104.0	Parcial	33.0
		1,104.0 a 1,136.0	Parcial	35.0
		1,136.0 a 1,139.0	Parcial	23.0
	21 de Febrero del 2001	1,139.0 a 1,146.0	Parcial	46.0
		1,146.0 a 1,155.0	Parcial	33.0
		1,155.0 a 1,173.0	Parcial	35.0
	22 de Febrero del 2001	1,173.0 a 1,184.0	Parcial	18.0
		1,184.0 a 1,196.0	Parcial	23.0
		1,196.0 a 1,218.0	Parcial	23.0
	23 de Febrero del 2001	1,218.0 a 1,256.0	Parcial	15.0
		1,256.0 a 1,267.0	Parcial	10.0
		1,267.0 a 1,309.0	Parcial	10.0
	24 de Febrero del 2001	1,309.0 a 1,329.0	Parcial	2.0
	25 de Febrero del 2001	1,329.0 a 1,334.0	Parcial	2.0
	26 de Febrero del 2001	1,334.0 a 1,375.0	Parcial	2.0
	27 de Febrero del 2001	1,375.0 a 1,394.0	Parcial	2.0
	28 de Febrero del 2001	1,394.0 a 1,408.0	Parcial	2.0
	01 de Marzo del 2001	1,408.0 a 1,415.5	Parcial	2.0
		1,415.5 a 1,416.5	Parcial	31.5
		1,416.5 a 1,417.0	Parcial	25.0
	03 de Marzo del 2001	1,417.0 a 1,421.0	Parcial	12.0
		1,421.0 a 1,429.0	Parcial	20.0
		1,429.0 a 1,458.0	Parcial	20.0
05 de Marzo del 2001	1,458.0 a 1,474.0	Parcial	10.0	
	1,474.0 a 1,477.0	Parcial	4.0	
	1,477.0 a 1,489.0	Sin pérdida	-	
06 de Marzo del 2001	1,489.0 a 1,498.0	Parcial	2.0	
	1,498.0 a 1,504.0	Parcial	9.0	
	1,504.0 a 1,514.8	Parcial	4.0	
07 de Marzo del 2001	1,514.8 a 1,523.0	Sin pérdida	-	
10 de Marzo del 2001	1,523.0 a 1,526.0	Sin pérdida	-	
11 de Marzo del 2001				

Tabla IV.II.3.3

La tabla 4 muestra el registro de pérdidas de circulación durante la perforación lateral side-track del pozo Az-1a.

<b>Etapa</b>	<b>Fecha</b>	<b>Profundidad Mts.</b>	<b>Perdida de circulación</b>	<b>Volumen m3/hr</b>
Perforación cuarta etapa 8 ½" Diám.	27 de Mayo del 2001	1,439.00 a 1,439.78	Parcial	5.0
	28 de Mayo del 2001	1,439.78 a 1,445.00	Parcial	5.0
	28 de Mayo del 2001	1,445.00 a 1,451.00	Parcial	3.0
	29 de Mayo del 2001	1,451.00 a 1,463.00	Parcial	3.0
	30 de Mayo del 2001	1,463.00 a 1,500.00	Parcial	3.0
	31 de Mayo del 2001	1,500.00 a 1,515.00	Parcial	3.0
	01 de Junio del 2001	1,515.00 a 1,519.00	Parcial	3.0
	02 de Junio del 2001	1,519.00 a 1,526.00	Parcial	3.0
		1,526.00 a 1,526.40	Parcial	5.0
	04 de Junio del 2001	1,526.40 a 1,534.00	Parcial	3.0
		1,534.00 a 1,546.00	Parcial	3.0
	05 de Junio del 2001	1,546.00 a 1,558.00	Parcial	3.0
		1,558.00 a 1,565.00	Parcial	8.0
		1,565.00 a 1,584.00	Parcial	6.0
	06 de Junio del 2001	1,584.00 a 1,596.00	Parcial	6.0
		1,596.00 a 1,602.00	Parcial	3.0
		1,602.00 a 1,603.00	Pérdida total	-
	07 de Junio del 2001	1,603.00 a 1,610.00	Parcial	5.0
	09 de Junio del 2001	1,610.00 a 1,629.00	Parcial	2.0
		1,629.00 a 1,650.00	Parcial	4.0
	10 de Junio del 2001	1,650.00 a 1,687.00	Parcial	8.0
		1,687.00 a 1,692.00	Parcial	6.0
	11 de Junio del 2001	1,692.00 a 1,700.00	Parcial	6.0
1,700.00 a 1,710.00		Parcial	4.0	

Tabla IV.II.3.3

## **Resumen operativo de instalación y cementación de tuberías de revestimiento.**

**T.R. de 20" diám. k-55, 94.0 lb/pie, API 5ct, rango 3, rosca buttress, sin costura, cople normal, piñón y caja.**

Habiendo terminado la perforación con barrena de 17 1/2" diám. hasta 61.00 m. amplió agujero de 17 1/2" a 26" diám. hasta 60.00 m. donde circula para limpiar agujero, efectuó viaje de reconocimiento hasta 60.00 m. acondicionó fluido de perforación, efectuó preparativos e instaló tubería de revestimiento de 20" diám., k-55, 94.0 lb/pie, rosca buttress, con anillos de sujeción y centradores 20" x 26" diám. zapata de 20" diám. hasta 58.00 m. donde circuló y efectuó preparativos y con unidad de alta presión efectuó cementación de la tubería de revestimiento, con 78.1 bls. de lechada de cemento tipo "i", con densidad de 1.80 gr/cc. desplazando la lechada con 62.5 bls. de lodo, con presión máxima de 185 psi sin aflorar cemento a superficie esperó tiempo de fraguado, checó cima de cemento entre T.R. de 20" y agujero de 26" diám. a 21.00 m. metió tres tramos de tubing de 2 7/8" diám. y con unidad de cementación recementó T.R. de 20" diám. con 31.88 bls. de lechada de cemento con densidad de 1.80 gr/cc, eliminó tubing 2 7/8" diám. esperó fraguado de cemento, eliminó sobrante de tubo conductor de 30" diám. checó cima de cemento en espacio anular a 13.30 m. realizó preparativos y efectuó 2ª. recementación de T.R. con 26.79 bls. de lechada de cemento, con densidad de 1.80 gr/cc. esperó fraguado de cemento, checo cima de cemento en espacio anular entre tubería de 20" diám. y tubo conductor de 30" diám. a 5.70 m, recementó T.R. de 20" diám. por 3ª. ocasión con unidad de alta presión, con 16.07 bls. de lechada de cemento tipo "i", con densidad de 1.80 gr/cc, aflorando cemento a superficie, esperó fraguado de cemento, posteriormente procedió a la instalación de conexiones superficiales. (FIG. 18)

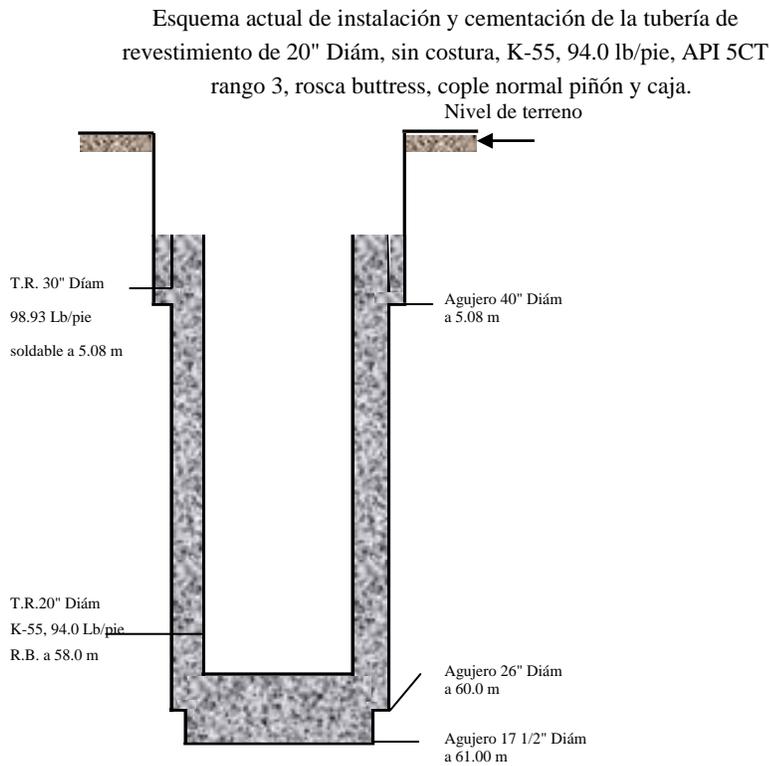


FIG. 18 TUBERÍA DE REVESTIMIENTO DE 20" DIÁMETRO

**T.R. de 13 3/8" diám. sin costura, k-55, 54.5 lb/pie, API, 5ct, rango 3, rosca buttress, cople normal piñón y caja.**

Concluida la perforación con barrena de 17 1/2 diám. con circulación normal, hasta 310.00 m, circuló para limpiar agujero, saco sarta a superficie; bajó barrena 17 1/2" diám., herramienta estabilizada 8" x 17 1/2" diám. realiza viaje de reconocimiento libremente hasta 310.00 m, circuló en el fondo, acondicionó fluido de perforación, efectuó preparativos e instaló la tubería de revestimiento de 13 3/8" diám., k-55, 54.5 lb/pie, rosca buttres, equipada con zapata guía 13 3/8" diám. instalada a 302.00 m, efectuó preparativos y con unidad de alta presión, efectuó cementación de la tubería de revestimiento de 13 3/8" diám., iniciando con; bombeó frente lavador de 10 bls. de agua dulce, enseguida 300.0 bls. de lechada de cemento clase "h" con densidad de 1.35 gr/cc, desplazando la lechada con 153.9 bls. de lodo, checando equipo de flotación con 850 lb/pg2, aflorando cemento a superficie, espero fraguado de cemento, realizó instalación de conexiones superficiales. (FIG. 19)

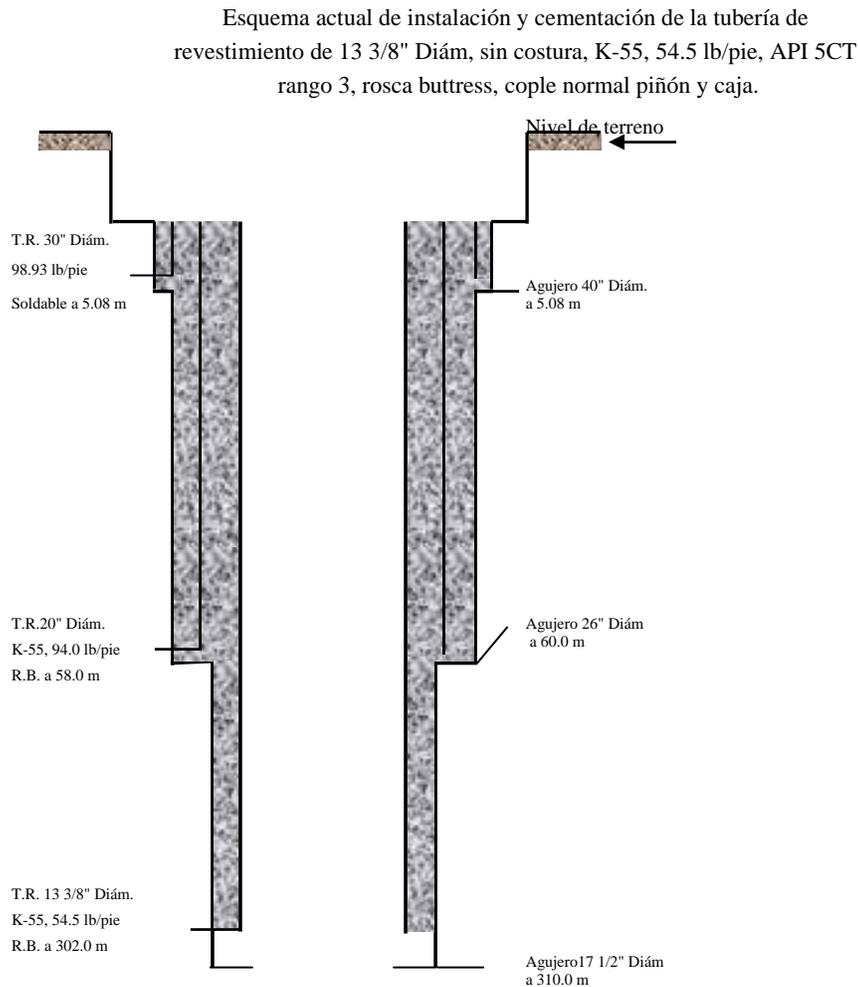


FIG. 19 TUBERÍA DE REVESTIMIENTO DE 13 3/8" DIÁMETRO

**T.R. de 9 5/8" diám. sin costura, I-80, tipo 1, 47.0 lb/pie, API 5ct, rango 3, rosca hydril-563.**

Concluida la perforación con barrena de 12 ¼" diám a 1000.00 m circuló para limpiar agujero, saco sarta a superficie; efectuó viaje de reconocimiento de agujero y acondicionó fluido de perforación; saco sarta a superficie.

Armó tubo pichancha y con T.P. 4 ½" diám. bajó a 991.39 m, donde circuló para enfriar pozo, con unidad de alta presión bombeo al pozo 226.41 bls. de agua; tomo registros de temperatura y presión con 6, 12, 18 y 24 hrs. de reposo; terminados los registros circuló con preventor cerrado por línea de desfogue 2" diám., desplazando agua por lodo, abrió preventor y circuló para enfriar pozo, saco tubo pichancha a superficie.

Con barrena de 12 ¼" diám efectuó viaje de reconocimiento de agujero hasta 1,000.00 m, libremente, circuló para limpiar y enfriar pozo; sacó sarta a superficie.

Con unidad de registros eléctricos tomó registros de calibración y desviación de agujero de 1,000.00 a 302.00 m; con barrena de 12 ¼" diám. efectuó viaje de reconocimiento de agujero libremente hasta 1,000.00 m donde circuló y acondicionó fluido de perforación, saco sarta a superficie, efectuó preparativos e instaló tubería de revestimiento de 9 5/8" diám. sin costura, I-80, tipo 1, 47.0 lb/pie, API 5ct, rango 3, rosca hydril-563, equipada con zapata flotadora 9 5/8" diám., cople flotador, cople de retención, 01 empacador inflable, 01 cople múltiple de cementación con centradores normales 9 5/8" x 12 ¼" diám. con anillos de sujeción, llenando pozo, efectuó preparativos, junta de seguridad operativa y con unidad de alta presión, efectuó cementación de la tubería antes descrita, probando líneas con 5,000 lb/pg2 satisfactoriamente, efectuando cementación de T.R. en su primera etapa, bombeando 218.95 bls de agua dulce, 55.0 bls de lechada de cemento tipo "h", con densidad de 1.68 gr/cm3 con presión de 440 a 150 lb/pg2 y 58,0 bls. de lechada de cemento tipo "h" de cola, para desplazamiento, bombeo 79.2 bls. de lodo con presión de 150 a 180 lb/pg2, bombeo bache espaciador de 19.2 bls. con presión de 150 lb/pg2, bombeó 21.6 bls de cemento, con densidad de 1.68 gr/cm3 con presión de 150 lb/pg2 para inflar empacador, bombeo bache de 19 bls. de agua y 90.8 bls. de lodo para desplazar tapón hasta cople de retención, probó equipo de flotación con 750 lb/pg2, incrementando a 1000 lb/pg2, abatiéndose a 250 lb/pg2, bombeó 10 bls. de lodo con presión de 800 lb/pg2, abatiéndose a 250 lb/pg2, continuo bombeando lodo para abrir puertos de cople y esperó fraguado de cementación de T.R. en su primera etapa.

Efectuó preparativos, platicas de seguridad operativa y con unidad de alta presión, probó líneas con 5000 lb/pg2, bombeo frente lavador de 20.0 bls. de agua dulce, bombeó 192.82 bls de lechada de cemento tipo "h" con densidad de 1.68 gr/cm3, con presión de bombeo de 90 a 250 lb/pg2, soltó tapón de desplazamiento y cerró puertos de cople de cementación, bombeo 5.0 bls. de lechada de cemento, con densidad de 1.68 gr/cm3, con presión de 200 lb/pg2, bombeó 10.0 bls. de agua dulce bache espaciador, con presión de 130 a 200 lb/pg2 y desplazó lechada con 115 bls. de lodo y presión de 190 a 400 lb/pg2, aflorando cemento a superficie, con densidad de 1.60 gr/cm3, desde el barril no. 68, continuo bombeando 6.0 bls. de lodo, para cerrar puertos de cople, con los que represionó en varias ocasiones con 1000 a 1700 lbs/pg2, sin lograr cerrar los puertos, suspende operación, quedando represionado el pozo con 400 lb/pg2, desfogó presión constantemente; esperó fraguado de cementación de T.R. de 9 5/8" diám. (FIG. 20)

Esquema actual de instalación y cementación de la tubería de revestimiento de 9 5/8" Diám, sin costura, K-55, 54.5 lb/pie, API 5CT rango 3, rosca buttress, cople normal piñón y caja.

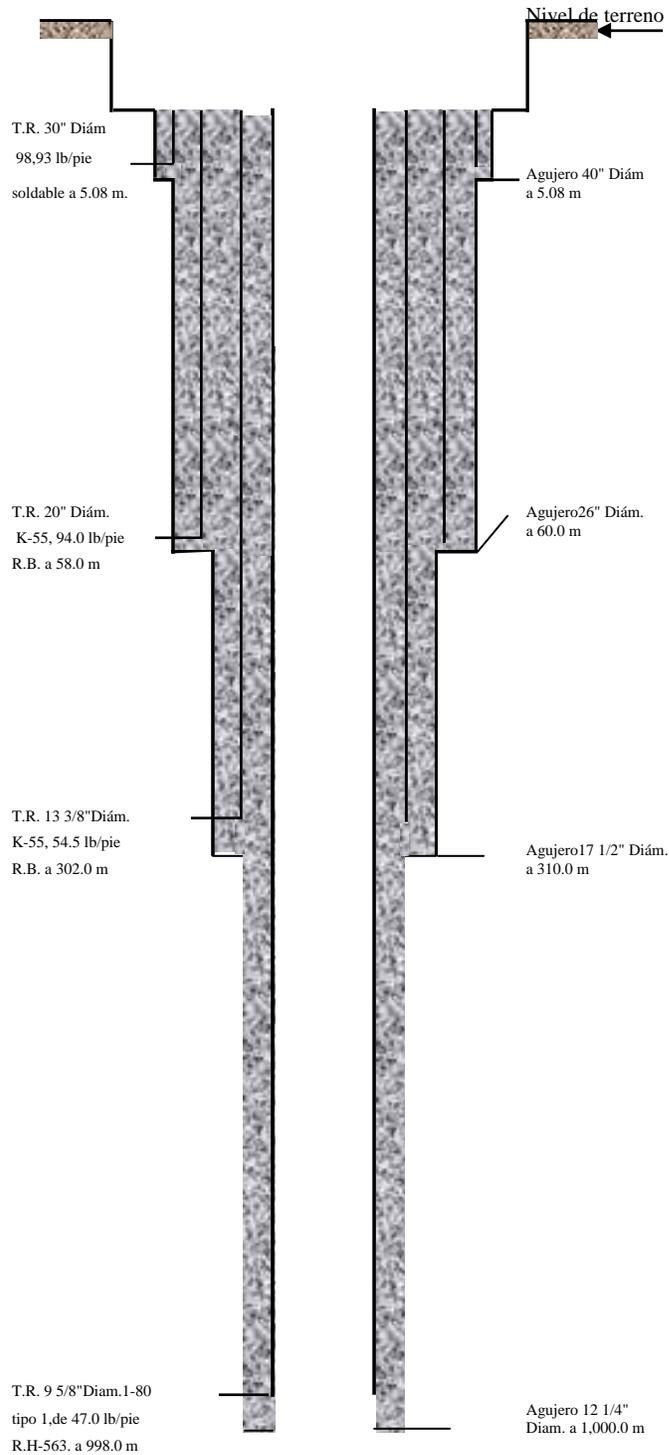


FIG. 20 TUBERÍA DE REVESTIMIENTO DE 9 5/8" DIÁMETRO

## **Registro de materiales agregados.**

De acuerdo a las experiencias que se tienen en las zonas de pérdidas parciales altas o totales, se procedió a la preparación y acondicionamiento del lodo con diversos tipos de obturantes como sigue:

Aserrín (fibra celulosa) material fibroso estable, que se adicionó al lodo con alta viscosidad durante las pérdidas parciales, en concentraciones de 8.0 a 28.0 kg/m<sup>3</sup>. para las pérdidas totales, la concentración fué de 50.00 a 85.00 kg/m<sup>3</sup>, agregándose en combinación con obturantes granulares.

sello automático ( fibroso granular ) material efectivo en zonas muy fracturadas, donde aparecieron perdidas parciales se recomendó agregar una proporción de 28.00 kg/m<sup>3</sup> en pérdidas totales en el lodo con alta viscosidad se agregaron hasta 115.0 kg/m<sup>3</sup>.

Cáscara de nuez (granular orgánico) en variedades de fino, regular y grueso se utilizó combinado en lodo de alta viscosidad para pérdidas parciales, para las totales se recomendó hasta de 114.0 kg/m<sup>3</sup>.

cuando estas proporciones no lograron restablecer la circulación a la normalidad, se procedió a la colocación de taponés por circulación o inyectados, con cemento modificado, quedando la relación de dichos materiales como sigue:

La tabla 5 muestra los materiales que conformaron el lodo de perforación del pozo Az-1a.

Fecha	Bentonita (kg.)	Polímero reductor de filtrado (kg.)	Viscosificante polimérico (lts.)	Dispersante (kg.)	Lignito cáustico (kg.)	Lignosul fonato (kg.)	Sosa cáustica (kg.)	Carbonato de sodio (kg.)	Agua dulce (m. <sup>3</sup> )	Defloculante co-polimérico (kg.)	Aserrín (kg.)	Cáscara de nuez (kg.)	Sello automático (kg.)
9-Dic-00	9500.00								100.00				
10-Dic-00	1000.00								10.00				
11-Dic-00	3250.00				125	150.00	75.00		20.00				
12-Dic-00	750.00				75.00	75.00	25.00		8.00				
14-Dic-00									2.66				
15-Dic-00									1.60				
16-Dic-00					50.00	75.00		125.00	5.00				
17-Dic-00	6000.00				246.00	246.00			18.00				
18-Dic-00	4000.00				225.00	225.00	100.00		33.00				
19-Dic-00	4,000.00				225.00	225.00	100.00		33.00				
20-Dic-00	2,000.00				197.68	150.00	150.00		4.50				
21-Dic-00	150.00				320.36	200.00	75.00		12.00				
22-Dic-00					163.40	22.68			10.00				
23-Dic-00						68.04			9.00				
25-Dic-00	857.00												
28-Dic-00								125.00	22.00				
29-Dic-00	2,500.00					90.72	25.00	125.00	25.00				
30-Dic-00	350.00					68.04	50.00		10.00				
31-Dic-00	500.00					68.04	25.00		7.00				
01-Ene-01	1850.00				68.04	68.04	25.00		14.00				
02-Ene-01	1,500.00				68.04	68.04	25.00		14.00				
03-Ene-01	1,850.00				68.04				16.00				
04-Ene-01	1,250.00				300.00	275.00	150.00		9.00				
05-Ene-01	2,000.00				500.00	150.00	225.00		18.00				
06-Ene-01	1,500.00				50.00	68.04	25.00		9.00				
07-Ene-01	500.00		80.00		125.00		75.00		6.00				
10-Ene-01	0.00				125.00		75.00		6.00				

11-Ene-01	0.00	150.00	220.00		300.00		175.00		16.00				
12-Ene-01	0.00	150.00	150.00		150.00		125.00		10.00				
14-Ene-01	0.00	150.00	180.00		200.00		100.00		10.00				
15-Ene-01		250.00	330.00		350.00		125.00		16.00				
16-Ene-01		100.00	100.00		150.00		50.00		5.00				
19-Ene-01		250	150.00		250.00		100.00		10.00				
20-Ene-01		75	40.00		100.00		50.00		5.00				
21-Ene-01		25	40.00		100.00		25.00		4.00				
22-Ene-01		150	60.00		100.00		50.00		6.00				
23-Ene-01	1250.00	175	100		150.00		75.00		14.00				
24-Ene-01	500.00	150	40		150.00		60.00		9.00				
25-Ene-01	750.00	125.00	40.00		175.00		75.00		10.00				
26-Ene-01	400.00	75.00	60.00		75.00		25.00		42.00				
28-Ene-01	500.00	100.00	60.00		100.00				50.00				
29-Ene-01	400.00	150.00	40.00		150.00		50.00		6.00				
10-Feb-01	750.00				75.00			150.00	10.00				
11-Feb-01	1,250.00							100.00	20.00				
12-Feb-01					75.00	68.10		75.00	20.00				
13-Feb-01									10.00				
14-Feb-01					175.00	22.70		200.00	20.00				
15-Feb-01					325.00	136.20		300.00	20.00				
17-Feb-01					100.00	113.40		125.00	6.00				
18-Feb-01	9,250.00	113.40	178.00		175.00	362.88	50.00		216.00				
19-Feb-01	22,700.00	317.52	285.00	317.52	200.00	430.92	250.00		316.00	249.48			
20-Feb-01	57,800.00	385.56	494.00	544.32		589.60	300.00		388.00	498.96			
21-Feb-01	43,900.00	158.76	190.00	249.48		226.00	150.00		369.00	204.12			
22-Feb-01	32,200.00	340.20	437.00	362.88		385.56	300.00		420.00	272.16			
23-Feb-01	11,250.00	181.44	209.00	340.20		340.20	250.00		177.00	181.44			
24-Feb-01	8,250.00	136.00	152.00	136.08		226.80	100.00		90.00	113.40			
25-Feb-01	5,500.00	136.08	133.00	181.44	100.00	226.80	175.00		36.00	158.76			
26-Feb-01	1,750.00	90.72	76.00	68.04	125.00	158.76	75.00		10.00	68.04			
27-Feb-01	4,750.00	204.12	76.00	113.40	375.00	340.20	150.00		24.00	68.04			
28-Feb-01	4,750.00		57.00	68.04	150.00	181.44			13.00				
01-Mar-01	2,000.00	68.04		113.40		181.44	100.00		23.00				
02-Mar-01	5,000.00	68.04				158.74	75.00		115.00				
03-Mar-01	15,750.00	134.40	171.00		300.00	317.52	225.00		190.00				
04-Mar-01	35,000.00	68.04	266.00		250.00	226.80	200.00		360.00				
05-Mar-01	900.00		57.00		175.00	226.80	175.00		100.00				
06-Mar-01	4,800.00	158.76	114.00		300.00	362.88	175.00		45.00				

23-May-01	2,500.00				75.00	90.72	50.00		21.00				
07-Mar-01	3250.00				100.00	90.72	75.00		35.00				
25-May-01	6,000.00								47.00				
05-Abr-01	9,000.00		57.00		175.00	226.80	175.00		100.00				
26-May-01	1,500.00	158.76	114.00		300.00	362.80	175.00		29.00				
06-Abr-01	4,800.00								65.00				
27-May-01	6,000.00	90.72			175.00	204.12	100.00		75.00				
13-Abr-01	6,000.00								65.00				
28-May-01	6,000.00				50.00	45.36			65.00				
29-May-01	2,500.00	68.04			75.00	90.72	50.00		50.00				
16-May-01	3,000.00	90.72			200.00	204.12	50.00		50.00				
20-May-01	2,990.00	136.08			390.00	387.44	125.00		69.00				
29-May-01	2,750.00	136.08	76.00		275.00	276.46	125.00		80.00				

02-Jun-01	1,750.00	136.08			225.00	249.48	100.00		26.00					
03-Jun-01	1,500.00	136.08			250.00	226.80	100.00		21.00					
04-Jun-01	1,100.00	113.40			400.00	158.76	100.00		31.00					
05-Jun-01	11,050.00	136.08			250.00	272.16	100.00		110.00					
06-Jun-01	5,750.00								40.00					
07-Jun-01	3,750.00				113.40	181.44			50.00					
08-Jun-01	2,500.00	90.72	60.00		100.00	158.76	75.00		25.00	68.04				
09-Jun-01	2,000.00				100.00	68.04	50.00		20.00					
10-Jun-01	7,600.00	90.72	80.00		200.00	181.44	50.00		146.00					
11-Jun-01	3,700.00				225.00	204.12	25.00		76.00					
18-Jun-01									18.50					
19-Jun-01					1,824.00				439.40					
20-Jun-01					240.00				350.00					
21-Jun-01									366.75					
Total	431,907.00	6,019.56	4,972.00	2,494.80	14,408.96	11,590.66	6,835.00	1,325.00	6,993.40	1	1,882.44	0.00	0.00	0.00

Tabla IV.II.5.5

### Relación de eventos realizados.

La tabla 6 muestra la relación de eventos realizados durante la perforación del pozo Az-1a.

Etapa	Fecha	Concepto de operación	Tiempo en días
perforación vertical 26" diám. primera etapa	10 y 11 de diciembre del 2001	inicio operación a 17 1/2" de 5.08 m a 60.00 m y amplio a 26" diám.	2
	del 11 al 16 de diciembre del 2001	instaló t.r. de 20" diám. a 58.00 m, cemento la misma; instaló conexiones superficiales de control.	5
perforación vertical 17 1/2" diám. segunda etapa	del 16 al 23 de diciembre del 2001	perforó 17 1/2" diám. de 60.00 a 310.00 m.	5
	del 23 al 28 de diciembre del 2001	instaló t.r. de 13 3/8" diám. a 302.00 m. cemento la misma; instaló conexiones de control.	5
perforación vertical 12 1/4" diám.	del 28 de dic. al 08 de enero del 2001	rebajó cemento y perforó 12 1/4" diám. de 302.00 a 725.00 m, suspende por pez.	11

tercera etapa	del 08 al 10 de enero del 2001	realizó operaciones de pesca a 725.00 m, recuperó pescado al 100%	2
	del 10 al 16 de enero del 2001	perforó 12 1/4" diám. de 725.00 a 938.00 m, suspendió por pez	6
	del 16 al 23 de enero del 2001	realizó operaciones de pesca a 938.00 m. recuperó pescado al 100%	7
	del 23 al 25 de enero del 2001	perforó 12 1/4" diám. de 938.00 a 1 000.00 m.	2
	del 25 de enero al 07 de feb. del 2001	tomo registro de presión, temperatura registro de calibración, corrió t.r. de 9 5/8" a 998.00 m. y cementó con conexiones superficiales	13
perforación vertical 8 1/2" diám. cuarta etapa	del 07 al 17 de febrero del 2001	rebajó cemento de 502.00 a 1,000.00 m. tomo registro sónico de cementación	10
	del 17 de febrero al 07 de marzo del 2001	perforó 8 1/2" diám. de 1,000.00 a 1,515.00 m. suspende por pez.	18
	del 07 al 10 de marzo del 2001	realizó operaciones de pesca a 1,515.00 m. recuperó pescado al 100 %	3
	el 10 y 11 de marzo del 2001	perforó 8 1/2" diám. de 1 515.00 a 1 526.00 m. suspende por pez.	1
	del 11 de marzo al 28 de abril del 2001	arma t.p. 4 1/2"diam. realiza operaciones de pesca sin éxito; pozo en observación pozo fluyendo al silenciador por 10" diám.	48
	del 28 de abril al 27 de mayo del 2001	realiza operaciones de desviación side-track.	29
		Total	167 días

Tabla IV.II.6.6

La tabla 7 muestra la relación de eventos realizados durante la perforación lateral side track del pozo Az-1a.

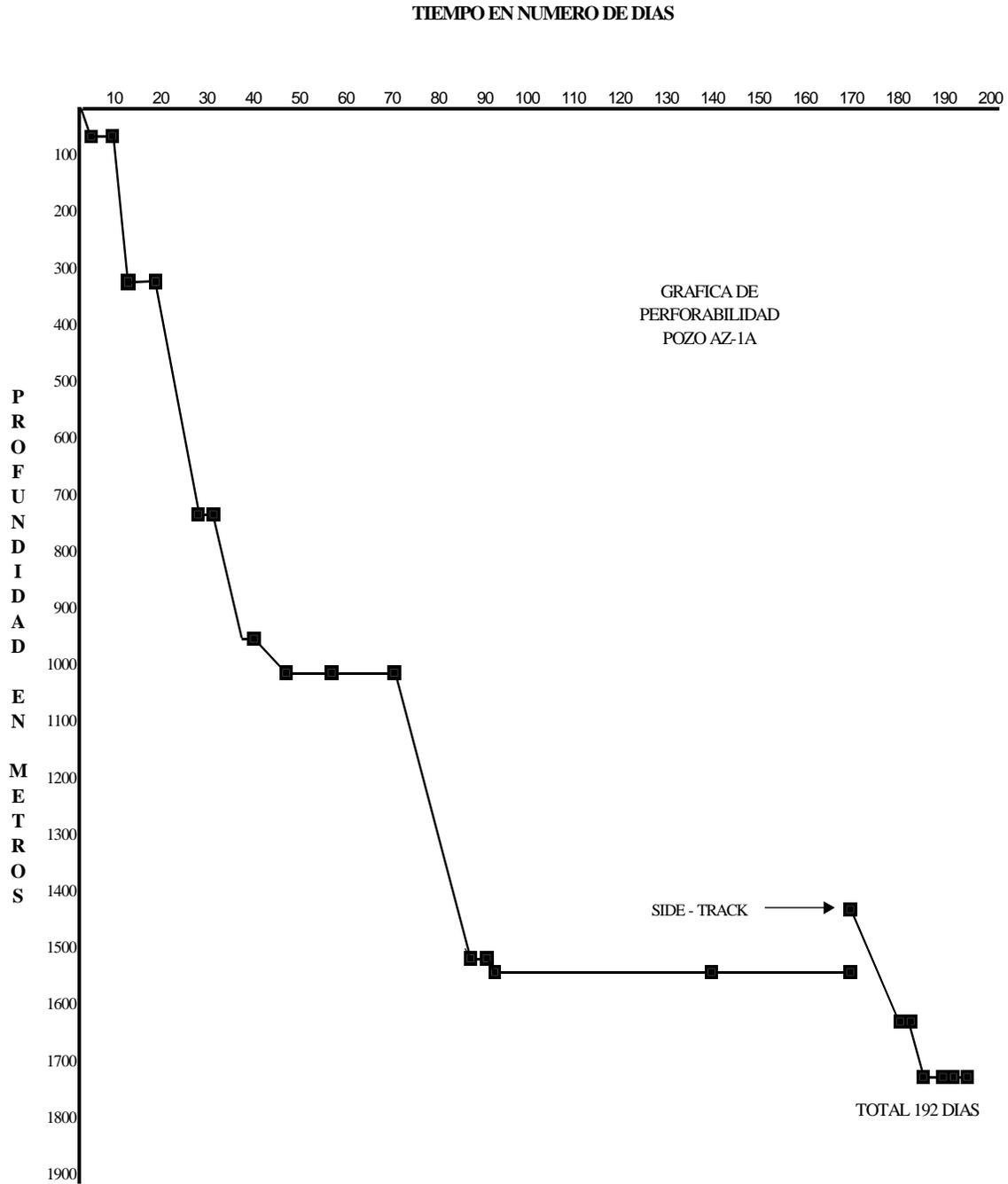
<b>Etapas</b>	<b>Fecha</b>	<b>Concepto de operación</b>	<b>Tiempo días</b>
perforación vertical 12 1/4" diám. cuarta etapa	del 27 de mayo al 07 de junio del 2001	realizó molienda de seguridad y combinación de pez de 1,439.00 a 1,439.78 m. y perforó lateralmente 8 1/2" diám. de 1,439.78 a 1,610.00 m.	11
	el 07 y 08 de junio del 2001	bajó t.p. con tubo pichancha y tomo registros de temperatura a 1,604.92, checo pérdida de circulación	1
	del 08 al 11 de junio del 2001	perforó lateral 8 1/2" de 1,610.00 a 1,710.00 m.	3
	del 11 al 15 de junio del 2001	tomo registros de temperatura y presión, instaló conexiones superficiales definitivas	4
	del 15 al 17 de	reconoció agujero 8 1/2" diám. a 1,710.00 m. colgó	

	junio del 2001	liner 7" diám. a 1,700.00 m, boca de colgador a 952.00 m.	2
	del 17 al 21 de junio del 2001	bajó t.p. 3 1/2" a 1,695.00 m; desplazó lodo por agua, lavo pozo, prueba de admisión, cerró válvula 10" diám.	4
		Total	25 días

Tabla IV.II.6.7

## **Gráfica de perforabilidad.**

La grafica 1 muestra la relación de Tiempo (días) – Profundidad (metros.) durante la perforación del pozo Az-1a.



Grafica IV.II.7.1

## Sartas de perforación utilizadas.

La tabla 1 muestra la relación de sartas utilizadas durante la perforación por etapas del pozo Az-1a.

primera etapa	Núm. de partes	descripción herramienta	diámetro pg.	longitud m	intervalo perforado		
					de	a	
perforación vertical de 17 1/2" diám.	1	barrena	17 1/2"	0.48	5.08	61.00	
	1	p. barrena	8"	2.14			
	1	estab.	17 1/2" x 26"	2.42			
	2	lastrabarrenas	8"	16.67			
	1	comb.		1.17			
		t.p.		37.65			
		flecha de perf.		7.37			
		altura rotaria		-6.90			
			total		61.00		
primera etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado de	a	
ampliación de agujero de 17 1/2" a 26" diám.	1	amplificador	26"	1.68	5.08	60.00	
	1	p. barrena	9 1/2"	1.80			
	1	lastrabarrenas	8"	16.67			
	2	comb.	6 5/8" reg.-4 if	1.28			
	1	t.p.	4 1/2"	37.58			
		flecha de perf.		7.89			
		altura rotaria		-6.90			
			total		60.00		
segunda etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado de	a	
perforación vertical de 17 1/2" diám.	1	barrena	17 1/2"	0.48	60.00	310.0	
	1	p. barrena	8" x 17 1/2"	2.14			
	1	lastrabarrenas	8"	8.18			
	1	estab.	8" x 17 1/2"	2.42			
	6	lastrabarrenas	8"	48.85			
	1	comb.	6 5/8" x 4 if	1.27			
		t.p.	4 1/2"	242.92			
		flecha de perf.		10.64			
		altura rotaria		-6.90			
			total		310.00		

tercera etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado		
					de	a	
perforación vertical de 12 1/4" diám.	1	barrena		0.30	310.00	725.00	
	1	p. barrena	8" x 12 1/4"	2.03			
	1	lastrabarrenas	8"	8.18			
	1	estab.	8" x 12 1/4"	1.91			
	6	lastrabarrenas	8"	14.45			
	1	estab.	8" x 12 1/4"	1.91			
		lastrabarrenas	8"	34.40			
		combinación	6 5/8" x 5 xh	1.04			
		t.p. h.w.	5 xh	105.06			
		combinación	5xh x 4 1/2"xh	1.15			
		t.p.	4 1/2" xh	551.26			
		flecha de perf.		10.21			
		altura rotaria		-6.90			
			total		725.00		
tercera etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado		
perforación vertical de 12 1/4" diám.	1	barrena	12 1/4"	0.30	725.00	938.00	
	1	p. barrena	8" x 12 1/4"	2.03			
	1	lastrabarrenas	8"	8.18			
	1	estab.	8" x 12 1/4"	1.91			
	2	lastrabarrenas	8"	14.45			
	1	estab.	8" x 12 1/4"	1.91			
	2	lastrabarrenas	8"	19.95			
	1	combinación	6 5/8" x 4 1/2" xh	1.04			
	9	lastrabarrenas	6 1/4"	81.48			
	1	combinación	4 1/2" xh a 5xh	1.15			
	12	t.p. h.w.		105.06			
	1	combinación	5xh x 4 1/2"xh	1.69			
		t.p.	4 1/2" xh	702.71			
		flecha de perf.		3.04			
		altura rotaria		-6.90			
			total		938.00		
	tercera etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado	
perforación vertical de 12 1/4" diám.	1	barrena	12 1/4"	0.29	938.00	1,000.00	
	1	p. barrena	8" x 12 1/4"	2.03			
	1	lastrabarrenas	8"	9.37			
	1	estab.	8" x 12 1/4"	1.91			
	2	lastrabarrenas	8"	18.75			
	1	estab.	8" x 12 1/4"	1.91			
	3	lastrabarrenas	8"	29.39			
	1	combinación	6 5/8" x 4 1/2" xh	1.09			
	3	lastrabarrenas	6 1/4"	27.97			

	12	t.p. h.w.	5"	105.06		
	1	combinación	5xh x 4 1/2"xh	1.10		
		t.p.	4 1/2" xh	797.17		
		flecha de perf.		10.86		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1000.00		
<b>cuarta etapa</b>	<b>Núm. de partes</b>	<b>descripción de herramienta</b>	<b>diámetro pg.</b>	<b>longitud m.</b>	<b>intervalo perforado de a</b>	
<b>perforación vertical de 8 1/2" diám.</b>	1	barrena	8 1/2"	0.26	1,000.00	1,031.00
	1	p. barrena	8" x 12 1/4"	1.68		
	1	lastrabarrenas	6 1/2"	8.95		
	1	estab.	6 1/2" x 8 1/2"	1.70		
	2	lastrabarrenas	6 1/2"	18.46		
	1	estab.	6 1/2" x 8 1/2"	1.72		
	9	lastrabarrenas	6 1/2"	80.00		
	1	combinación	4 1/2"xh a 5 xh	0.95		
	12	t.p. h.w.	5"	105.06		
	1	combinación	5xh a 4 1/2"xh	0.89		
		t.p.	4 1/2" xh	816.08		
		flecha de perf.		2.15		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1031.00		
	<b>cuarta etapa</b>	<b>Núm. de partes</b>	<b>descripción de herramienta</b>	<b>diámetro pg.</b>	<b>longitud m.</b>	<b>intervalo perforado de a</b>
<b>perforación vertical de 8 1/2" diám.</b>	1	barrena	8 1/2"	0.26	1,031.00	1,309.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.81		
	12	lastrabarrenas	6 1/2"	107.41		
	1	combinación	4 1/2"xh	0.95		
	12	t.p. h.w.	5"	105.06		
	1	combinación	5"xh a 4 1/2"xh	0.89		
		t.p.	4 1/2" xh	1096.85		
		flecha de perf.		2.67		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1309.00		
	<b>cuarta etapa</b>	<b>Núm. de partes</b>	<b>descripción herramienta</b>	<b>diámetro pg.</b>	<b>longitud m.</b>	<b>intervalo perforado de a</b>
<b>perforación vertical de 8 1/2" diám.</b>	1	barrena	8 1/2"	0.26	1,309.00	1,329.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.81		
	2	lastrabarrenas	6 1/2"	18.23		
	1	estab.	4 1/2"xh	1.70		
	1	lastrabarrenas	5"	9.18		
	1	estab.	5"xh a 4 1/2"xh	1.72		

	9	lastrabarrenas		80.00		
	1	combinación		0.95		
	12	t.p. h.w.	5"	105.06		
	1	combinación		0.89		
		t.p.	4 1/2"	1106.69		
		flecha de perf.		9.41		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1329.00		
<b>cuarta etapa</b>	<b>Núm. de partes</b>	<b>descripción de herramienta</b>	<b>diámetro pg.</b>	<b>longitud m.</b>	<b>intervalo perforado De a</b>	
<b>perforación vertical de 8 1/2" diám.</b>	1	barrena	8 1/2"	0.26	1,329.00	1,417.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"x8 1/2"	1.68		
	2	lastrabarrenas	6 1/2"	8.95		
	1	estab.	6 1/2"x8 1/2"	1.70		
	1	lastrabarrenas	6 1/2"	18.46		
	1	estab.	6 1/2"x8 1/2"	1.72		
	5	lastrabarrenas	6 1/2"	53.43		
	1	combinación	4 1/2" xh a 5 xh	1.15		
	4	lastrabarrenas	6 1/2"	26.57		
		t.p. h.w.	5" xh	105.06		
	1	combinación	5" xh a 4 1/2" xh	0.69		
		t.p.	4 1/2"	1201.11		
		flecha de perf.		3.12		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1417.00		
<b>cuarta etapa</b>	<b>Núm. de partes</b>	<b>descripción de herramienta</b>	<b>diámetro pg.</b>	<b>longitud m.</b>	<b>intervalo perforado de a</b>	
<b>perforación vertical de 8 1/2" diám.</b>	1	barrena	8 1/2"	0.26	1,417.00	1,526.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.81		
	1	lastrabarrenas	6 1/2"	18.23		
	1	estab.	6 1/2"x8 1/2"	1.70		
	2	lastrabarrenas		9.18		
	1	estab.	6 1/2"x8 1/2"	1.72		
	6	lastrabarrenas	6 1/2"	45.51		
	1	combinación	4 1/2" xh a 5 xh	1.15		
	3	lastrabarrenas	6 1/2" - 4 1/2" if	34.56		
	12	t.p. h.w.	5"	105.06		
	1	combinación		0.69		
		t.p.	4 1/2"	1304.57		
		flecha de perf.		8.46		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1526.00		

cuarta etapa	Núm. de partes	descripción herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado	
					de	a
<b>molienda de Boca de pez en agujero de 8 ½" diám. para inicio al side-track.</b>	1	molino water melon	8 1/2"	1.04	1,439.00	1,439.78
	1	d. caja estab.	6 1/2" x 8 1/2"	1.84		
	1	combinación	4 1/2" xh a 5 xh	0.71		
	3	t.p. h.w.	5" xh	26.06		
	1	combinación	5" xh a 4 1/2" xh	0.37		
	9	t.p. h.w.	4 1/2" xh	79.87		
		t.p.	4 1/2" xh	1334.05		
		flecha de perf.		2.74		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1439.78		
cuarta etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado	
de	a					
<b>perforación lateral Side-track. de 8 ½" diám.</b>	1	molino water melon	8 1/2"	1.04	1,439.00	1,439.78
	1	d. caja estab.	6 1/2" x 8 1/2"	1.84		
	1	combinación	4 1/2" if x 4 1/2" if	0.71		
	3	t.p. h.w.	5" xh	26.06		
	1	combinación	5" xh a 4 1/2" xh	0.37		
	9	t.p. h.w.	4 1/2" xh	79.87		
		t.p.	4 1/2" xh	1334.05		
		flecha de perf.		2.74		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1439.78		
cuarta etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado	
de	a					
<b>perforación lateral Side-track. de 8 ½" diám.</b>	1	molino water melon	8 1/2"	1.04	1,439.78	1,451.00
	1	d. caja estab.	6 1/2" x 8 1/2"	1.84		
	1	combinación	4 1/2" if x 4 1/2" if	0.71		
	3	t.p. h.w.	5" xh	26.06		
	1	combinación	5" xh a 4 1/2" xh	0.37		
	9	t.p. h.w.	4 1/2" xh	79.87		
		t.p.	4 1/2" xh	1343.59		
		flecha de perf.		4.42		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1451.00		
cuarta etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado	
de	a					
<b>perforación lateral Side-track. de 8 ½" diám.</b>	1	molino water melon	8 1/2"	1.89	1,451.00	1,456.00
	1	d. caja estab.	6 1/2" x 8 1/2"	1.04		
	1	lastrabarreras monel	6"	8.92		
	1	estabilizador	6 1/2" x 8 1/2"	1.71		

	1	combinación	4if x 5xh	0.37		
	3	t.p. h.w.	5xh	26.06		
	1	combinación	5"xh x 4 1/2" xh	0.71		
	9	t.p. h.w.	4 1/2"xh	79.92		
		t.p.		1334.05		
		flecha de perf.		8.23		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1456.00		
<b>cuarta etapa</b>	<b>Núm. de partes</b>	<b>descripción de herramienta</b>	<b>diámetro pg.</b>	<b>longitud m.</b>	<b>intervalo perforado de a</b>	
<b>perforación lateral Side-track. de 8 1/2" diám.</b>	1	barrena	8 1/2"	0.24	1,456.00	1,515.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.47		
	1	lastrabarrenas monel	6"	8.92		
	1	estab. water melon	6 1/2" x 8 1/2"	1.47		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	9.21		
	1	combinación	4"if a 4 1/2" if	0.37		
	1	estab. water melon	6 1/2" x 8 1/2"	1.50		
	3	t.p. h.w	5"xh	26.06		
	1	combinación		0.71		
	9	t.p. h.w	4 1/2" h x	79.97		
		t.p.	4 1/2" h x	1380.94		
		flecha de perf.		11.04		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1515.00		
<b>cuarta etapa</b>	<b>Núm. de partes</b>	<b>descripción de herramienta</b>	<b>diámetro pg.</b>	<b>longitud m.</b>	<b>intervalo perforado de a</b>	
<b>perforación lateral Side-track. de 8 1/2" diám.</b>	1	molino blade-mill	8 1/2"	1.04	1,515.00	1,526.40
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.47		
	1	lastrabarrenas monel	6"	8.92		
	1	estab. water melon	6 1/2" x 8 1/2"	1.47		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	9.21		
	1	combinación	4"if a 4 1/2" if	0.54		
	1	estab. water melon	6 1/2" x 8 1/2"	1.47		
	3	t.p. h.w	5"xh	26.06		
	1	combinación	5"xh a 4 1/2"xh	0.54		
	9	t.p. h.w	4 1/2" h x	79.97		
		t.p.	4 1/2" h x	1399.85		
		flecha de perf.		2.76		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1526.40		

cuarta etapa	Núm. de partes	descripción herramienta.	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado	
					de	a
perforación lateral Side-track. de 8 1/2" diám.	1	barrena	8 1/2"	0.26	1,546.40	1,596.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.47		
	1	lastrabarrenas monel	6"	8.92		
	1	estab. water melon	6 1/2" x 8 1/2"	1.63		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	9.21		
	1	combinación	4"if a 4 1/2" if	0.37		
	1	estab. water melon	6 1/2" x 8 1/2"	1.34		
	3	t.p. h.w	5"XH	26.06		
	1	combinación	5"XH a 4 1/2"XH	0.71		
	9	t.p. h.w	4 1/2" h x	79.97		
		t.p.	4 1/2" h x	1465.91		
		flecha de perf.		7.05		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1596.00		
cuarta etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta.	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado	
de	a					
perforación lateral Side-track. de 8 1/2" diám.	1	barrena	8 1/2"	0.26	1,546.40	1,596.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.47		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	8.92		
	1	estabilizador	6 1/2" x 8 1/2"	1.63		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	9.21		
	1	estabilizador	6 1/2" x 8 1/2"	0.37		
	1	combinación	4"if x 4 1/2"if	1.34		
	3	t.p. h.w	5"	26.06		
	1	combinación		0.71		
	9	t.p. h.w	4 1/2" h x	79.97		
		t.p.	4 1/2" h x	1465.91		
		flecha de perf.		7.05		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1596.00		
cuarta etapa	Núm. de partes	descripción de herramienta.	diámetro pg.	longitud m.	intervalo perforado	
de	a					
perforación lateral Side-track de 8 1/2" diám.	1	barrena	8 1/2"	0.26	1,596.00	1,610.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.47		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	9.21		
	1	estabilizador	6 1/2" x 8 1/2"	1.70		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	9.05		
	1	estabilizador	6 1/2" x 8 1/2"	1.72		
	1	combinación	4"if x 4 1/2"if	0.37		
	3	t.p. h.w	5"	26.08		
	1	combinación		0.71		
	9	t.p. h.w	4 1/2" h x	79.97		

		t.p.	4 1/2" h x	1475.45		
		flecha de perf.		10.91		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1610.00		
<b>cuarta etapa</b>	<b>partes Núm.</b>	<b>descripción herramienta.</b>	<b>diámetro pg.</b>	<b>longitud m.</b>	<b>intervalo perforado de a</b>	
<b>perforación lateral Side-track de 8 1/2" diám.</b>	1	barrena	8 1/2"	0.24	1,610.00	1,710.00
	1	p. barrena liso	6 1/2"	1.47		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	9.28		
	1	estabilizador	6 1/2" x 8 1/2"	1.70		
	1	lastrabarrena	6 1/2"	9.32		
	1	estabilizador	6 1/2" x 8 1/2"	1.72		
	1	lastrabarrena	4"if x 4 1/2"if	9.34		
	1	combinación		0.72		
	3	t.p. h.w	5"	26.06		
	1	combinación	4 1/2" x 4" if	0.68		
	9	t.p. h.w	4 1/2" h x	79.87		
		t.p.	4 1/2" h x	1569.51		
		flecha de perf.		6.99		
		altura rotaria		-6.90		
		total		1710.00		

Tabla IV.II.8.1

**Programa hidráulico por etapa.**

La tabla 1 muestra el programa hidráulico utilizado durante la perforación del pozo Az-1a.

datos del pozo		hidráulica		
profundidad .....	60.00 m.	toberas	20	20 20
diámetro pozo.....	17 ½ " diám.	tfa (atf) .....	0.9204	pg <sup>2</sup>
peso del lodo .....	8.75 lbs/gal	presión bomba.....	479	psi
visc. plástica .....	14.00 cp	gasto .....	600	gal/mm
punto cedencia.....	10.00 lbs/100pie <sup>2</sup>	hhp/pg <sup>2</sup> en bna.....	0.4984	

### Detalles Hidráulicos

gasto diámetro de pozo.....	34.3	gpm/pg
caída de presión en el sistema .....	137	psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	342	psi
perdida de presión en el espacio anular.....	0.1675	psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible) .....	71.4	%
potencia hidráulica de salida de las bombas.....	168	hhp
potencia hidráulica de la barrena .....	120	hhp
velocidad toberas .....	209	pies/sec
fuerza de impacto de chorro .....	568	lbs
fuerza de impacto / área del pozo .....	2.36	psi
presión hidrostática.....	89.5	psi
densidad equivalente de circulación.....	8.77	lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes. (tamaño del recorte =.30 pulg.) .....	57.4	pies/min
longitud equivalente del equipo superficial.....	100	pie x 3.0 pg
peso disponible de lastrabarrenas, flotado .....	21645	lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular								
profundidad min / recorte pies	de x di critica de flujo pg		longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo
0 - 30.0	4.50	x 3.78	30.0	17.50	51.0	-6	219	lam
30.0 - 197	8.00	x 2.81	167	17.50	61.0	4	222	lam

datos del pozo		hidráulica		
profundidad.....	310.00 m.	toberas	18	18 20
diámetro pozo .....	17 ½ " diám.	tfa (atf) .....	0.8038 pg2	
peso del lodo .....	8.83 lbs/gal	presión bomba.....	790 psi	
visc. plástica.....	14.00 cp	gasto .....	600 gal/mm	
punto cedencia .....	12.00 lbs/100pie2	hhp/pg2 en bna.....	0.6595	

### Detalles Hidráulicos

gasto diámetro de pozo.....	34.3 gpm/pg
caída de presión en el sistema .....	337 psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	453 psi
perdida de presión en el espacio anular .....	0.8021 psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible).....	57.3 %
potencia hidráulica de salida de las bombas .....	277 hhp
potencia hidráulica de la barrena .....	159 hhp
velocidad toberas .....	240 pies/sec
fuerza de impacto de chorro.....	657 lbs
fuerza de impacto / área del pozo.....	2.73 psi
presión hidrostática .....	466 psi
densidad equivalente de circulación .....	8.85 lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes (tamaño del recorte =.30 pulg.).....	57.0 pies/min
longitud equivalente del equipo superficial.....	100 pie x 3.0 pg
peso disponible de lastra barrenas, flotado .....	48821 lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular									
profundidad min / recorte pies	de x di critica de flujo pg			Longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo
0 - 190	4.50	x	3.78	190	19.12	42.6	-14	237	lam
190 - 640	4.50	x	3.78	450	17.50	51.0	-6	238	lam
640 - 1017	8.00	x	2.81	377	17.50	61.0	4	241	lam

datos del pozo		hidráulica			
profundidad.....	549.00 m.	toberas	15	15	14
diámetro pozo .....	12 ¼" diám.	tfa (atf) .....	0.4955 pg <sup>2</sup>		
peso del lodo .....	9.16 lbs/gal	presión bomba.....	1140 psi		
visc. plástica.....	14.00 cp	gasto .....	490 gal/mm		
punto cedencia .....	12.00 lbs/100pie <sup>2</sup>	hhp/pg <sup>2</sup> en bna.....	2.00		

### Detalles Hidráulicos

gasto diámetro de pozo.....	40.0 gpm/pg
caída de presión en el sistema .....	315 psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	825 psi
perdida de presión en el espacio anular .....	5.37 psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible).....	72.4 %
potencia hidráulica de salida de las bombas .....	326 hhp
potencia hidráulica de la barrena .....	236 hhp
velocidad toberas .....	317 pies/sec
fuerza de impacto de chorro.....	737 lbs
fuerza de impacto / área del pozo.....	6.25 psi
presión hidrostática .....	858 psi
densidad equivalente de circulación .....	9.22 lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes (tamaño del recorte =.30 pulg.).....	55.2 pies/min
longitud equivalente del equipo superficial .....	100 pie x 3.0 pg
peso disponible de lastra barrenas, flotado .....	46323 lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular										
profundidad min / recorte pies	de x di critica de flujo pg		longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo		
0 - 984	4.50	x	3.78	984	12.61	86.5	31	238	lam	
984 - 1444	4.50	x	3.78	460	12.25	93.0	38	239	lam	
1444 - 1804	8.00	x	2.81	360	12.25	140	85	250	lam	

datos del pozo		hidráulica			
profundidad.....	799.00 m.	toberas	14	15	14
diámetro pozo .....	12 1/4" diám.	tfa (atf) .....	0.4732 pg <sup>2</sup>		
peso del lodo .....	9.16 lbs/gal	presión bomba.....	1350 psi		
visc. plástica.....	14.00 cp	gasto .....	500 gal/mm		
punto cedencia .....	12.00 lbs/100pie <sup>2</sup>	hhp/pg <sup>2</sup> en bna.....	2.33		

### Detalles Hidráulicos

gasto diámetro de pozo.....	40.8 gpm/pg
caída de presión en el sistema .....	409 psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	941 psi
perdida de presión en el espacio anular .....	7.17 psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible).....	69.7 %
potencia hidráulica de salida de las bombas .....	394 hhp
potencia hidráulica de la barrena .....	274 hhp
velocidad toberas .....	339 pies/sec
fuerza de impacto de chorro .....	803 lbs
fuerza de impacto / área del pozo.....	6.81 psi
presión hidrostática .....	1249 psi
densidad equivalente de circulación .....	9.21 lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes (tamaño del recorte =.30 pulg.).....	55.2 pies/min
longitud equivalente del equipo superficial .....	100 pie x 3.0 pg
peso disponible de lastra barrenas, flotado .....	46323 lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular									
profundidad min / recorte pies	de x di critica de flujo			longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo
	pg	x	3.78						
0 – 984	4.50	x	3.78	984	12.61	88.2	33	238	lam
984 – 2264	4.50	x	3.78	1280	12.25	94.0	39	239	lam
2264 – 2624	8.00	x	2.81	360	12.25	142	87	250	lam

datos del pozo	hidráulica
profundidad.....1080.00 m.	toberas 15 14 14
diámetro pozo ..... 12 ¼" diám.	tfa (atf) ..... 0.4732 pg2
peso del lodo ..... 9.16 lbs/gal	presión bomba.....1350 psi
visc. plástica..... 16.00 cp	gasto ..... 480 gal/mm
punto cedencia ..... 14.00 lbs/100pie2	hhp/pg2 en bna..... 2.07

### Detalles Hidráulicos

gasto diámetro de pozo.....	39.2 gpm/pg
caída de presión en el sistema .....	480 psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	870 psi
perdida de presión en el espacio anular .....	10.41 psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible).....	64.4 %
potencia hidráulica de salida de las bombas .....	378 hhp
potencia hidráulica de la barrena .....	244 hhp
velocidad toberas.....	326 pies/sec
fuerza de impacto de chorro.....	742 lbs
fuerza de impacto / área del pozo.....	6.30 psi
presión hidrostática .....	1685 psi
densidad equivalente de circulación .....	9.22 lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes (tamaño del recorte =.30 pulg.).....	55.2 pies/min
longitud equivalente del equipo superficial .....	100 pie x 3.0 pg
peso disponible de lastra barrenas, flotado .....	46323 lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular									
profundidad min / recorte pies	de x di crítica de flujo pg		longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo	
0 – 984	4.50	x	3.78	984	12.61	84.8	30	258	lam
984 – 3182	4.50	x	3.78	2198	12.25	91.0	36	259	lam
3182 – 3542	8.00	x	2.81	360	12.25	137	82	272	lam

datos del pozo	hidráulica
profundidad.....1278.00 m.	toberas 14 14 14
diámetro pozo ..... 8 ½" diám.	tfa (atf) ..... 0.4510 pg2
peso del lodo ..... 9.16 lbs/gal	presión bomba ..... 1000 psi
visc. plástica..... 16.00 cp	gasto ..... 380 gal/mm
punto cedencia ..... 14.00 lbs/100pie2	hhp/pg2 en bna..... 2.34

### Detalles Hidráulicos

gasto diámetro de pozo.....	44.7 gpm/pg
caída de presión en el sistema .....	401 psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	599 psi
perdida de presión en el espacio anular .....	50.6 psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible).....	59.9 %
potencia hidráulica de salida de las bombas .....	222 hhp
potencia hidráulica de la barrena .....	133 hhp
velocidad toberas.....	270 pies/sec
fuerza de impacto de chorro.....	487 lbs
fuerza de impacto / área del pozo.....	8.58 psi
presión hidrostática .....	1996 psi
densidad equivalente de circulación .....	9.39 lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes (tamaño del recorte =.30 pulg.).....	55.2 pies/min
longitud equivalente del equipo superficial .....	100 pie x 3.0 pg
peso disponible de lastra barrenas, flotado .....	26741 lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular									
profundidad min / recorte pies	de x di critica de flujo pg		longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo	
0 – 3542	4.50	x	3.78	3542	8.68	169	114	272	lam
3542 – 3820	4.50	x	3.78	278	8.50	179	124	273	lam
3820 – 4194	6.25	x	2.81	374	8.50	281	226	299	lam

datos del pozo	hidráulica
profundidad.....1369.16 m.	toberas 14 14 14
diámetro pozo ..... 8 ½" diám.	tfa (atf).....0.4510 pg2
peso del lodo ..... 9.16 lbs/gal	presión bomba .....1072 psi
visc. plástica..... 16.00 cp	gasto.....390 gal/mm
punto cedencia ..... 14.00 lbs/100pie2	hhp/pg2 en bna .....2.53

### Detalles Hidráulicos

gasto diámetro de pozo.....	45.9 gpm/pg
caída de presión en el sistema.....	441 psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	631 psi
perdida de presión en el espacio anular.....	54.6 psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible).....	58.9 %
potencia hidráulica de salida de las bombas.....	244 hhp
potencia hidráulica de la barrena.....	144 hhp
velocidad toberas.....	277 pies/sec
fuerza de impacto de chorro.....	513 lbs
fuerza de impacto / área del pozo.....	9.04 psi
presión hidrostática.....	2137 psi
densidad equivalente de circulación.....	9.39 lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes (tamaño del recorte =.30 pulg.).....	55.2 pies/min
longitud equivalente del equipo superficial.....	100 pie x 3.0 pg
peso disponible de lastra barrenas, flotado.....	26741 lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular									
profundidad min / recorte pies	de x di critica de flujo pg		longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo	
0 – 3542	4.50	x	3.78	3542	8.68	174	118	272	lam
3542 – 4118	4.50	x	3.78	576	8.50	184	129	273	lam
4118 – 4492	6.25	x	2.81	374	8.50	288	233	299	lam

datos del pozo	hidráulica
profundidad.....1569.00 m.	toberas 13 13 13
diámetro pozo ..... 8 ½" diám.	tfa (atf).....0.3889 pg2
peso del lodo ..... 9.16 lbs/gal	presión bomba .....1339 psi
visc. plástica..... 16.00 cp	gasto.....390 gal/mm
punto cedencia ..... 14.00 lbs/100pie2	hhp/pg2 en bna .....3.40

### Detalles Hidráulicos

gasto diámetro de pozo.....	45.9 gpm/pg
caída de presión en el sistema .....	490 psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	849 psi
perdida de presión en el espacio anular .....	61.8 psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible).....	63.4 %
potencia hidráulica de salida de las bombas .....	305 hhp
potencia hidráulica de la barrena .....	193 hhp
velocidad toberas.....	322 pies/sec
fuerza de impacto de chorro.....	595 lbs
fuerza de impacto / área del pozo.....	10.49 psi
presión hidrostática .....	2449 psi
densidad equivalente de circulación .....	9.39 lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes (tamaño del recorte =.30 pulg.).....	55.2 pies/min
longitud equivalente del equipo superficial .....	100 pie x 3.0 pg
peso disponible de lastra barrenas, flotado .....	26741 lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular									
profundidad min / recorte pies	de x di crítica de flujo pg		longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo	
0 – 3542	4.50	x	3.78	3542	8.68	174	118	272	lam
3542 – 4774	4.50	x	3.78	1232	8.50	184	129	273	lam
4774 - 5148	6.25	x	2.81	374	8.50	288	233	299	lam

datos del pozo	hidráulica
profundidad.....1710.00 m.	toberas 12 12 12
diámetro pozo ..... 8 ½" diám.	tfa (atf) ..... 0.3313 pg2
peso del lodo ..... 9.16 lbs/gal	presión bomba.....1600 lbs/pg2
visc. plástica..... 16.00 cp	gasto ..... 376 gal/mm
punto cedencia ..... 14.00 lbs/100pie2	hhp/pg2 en bna..... 4.19

### Detalles Hidráulicos

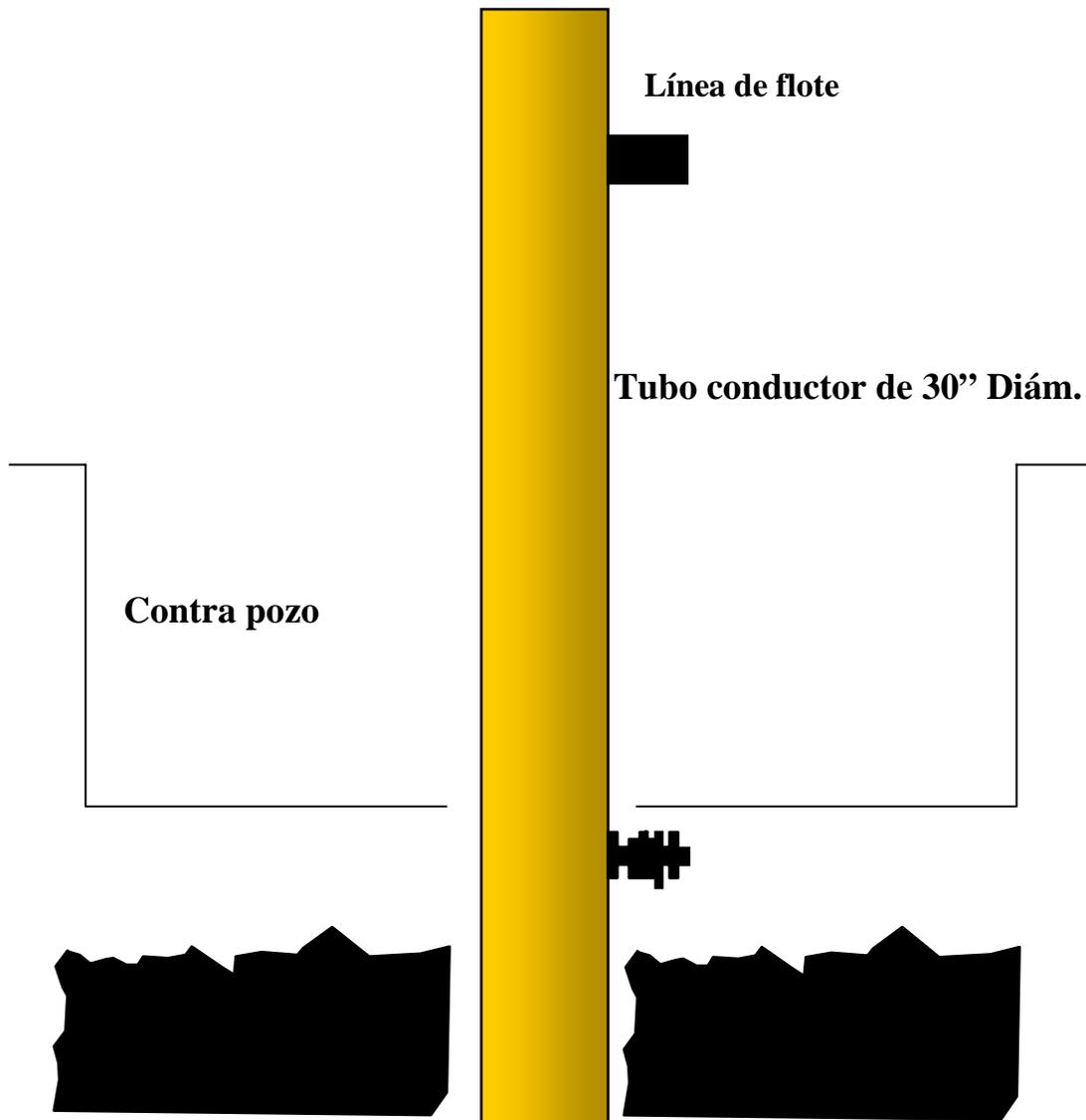
gasto diámetro de pozo.....	44.2 gpm/pg
caída de presión en el sistema .....	515 psi
caída de presión en toberas de la barrena.....	1086 psi
perdida de presión en el espacio anular .....	68.4 psi
caída de presión en toberas (% de presión disponible).....	67.8 %
potencia hidráulica de salida de las bombas .....	351 hhp
potencia hidráulica de la barrena .....	238 hhp
velocidad toberas.....	364 pies/sec
fuerza de impacto de chorro.....	649 lbs
fuerza de impacto / área del pozo.....	11.43 psi
presión hidrostática .....	2809 psi
densidad equivalente de circulación .....	9.38 lbs/gal
velocidad de deslizamiento de los recortes (tamaño del recorte =.30 pulg.).....	55.2 pies/min
longitud equivalente del equipo superficial .....	100 pie x 3.0 pg
peso disponible de lastra barrenas, flotado .....	26741 lbs

datos de la sarta de perforación y de velocidad anular									
profundidad min / recorte pies	de x di critica de flujo pg		longitud pies	diám pozo pg	vel prom. pie/mm	vel estática pie/mm	vel pie/mm	tipo flujo	
0 – 3542	4.50	x	3.78	3542	8.68	167	112	272	lam
3542 – 5530	4.50	x	3.78	1988	8.50	177	122	273	lam
5530 – 5904	6.25	x	2.81	374	8.50	278	223	299	lam

Tabla IV.II.9.1

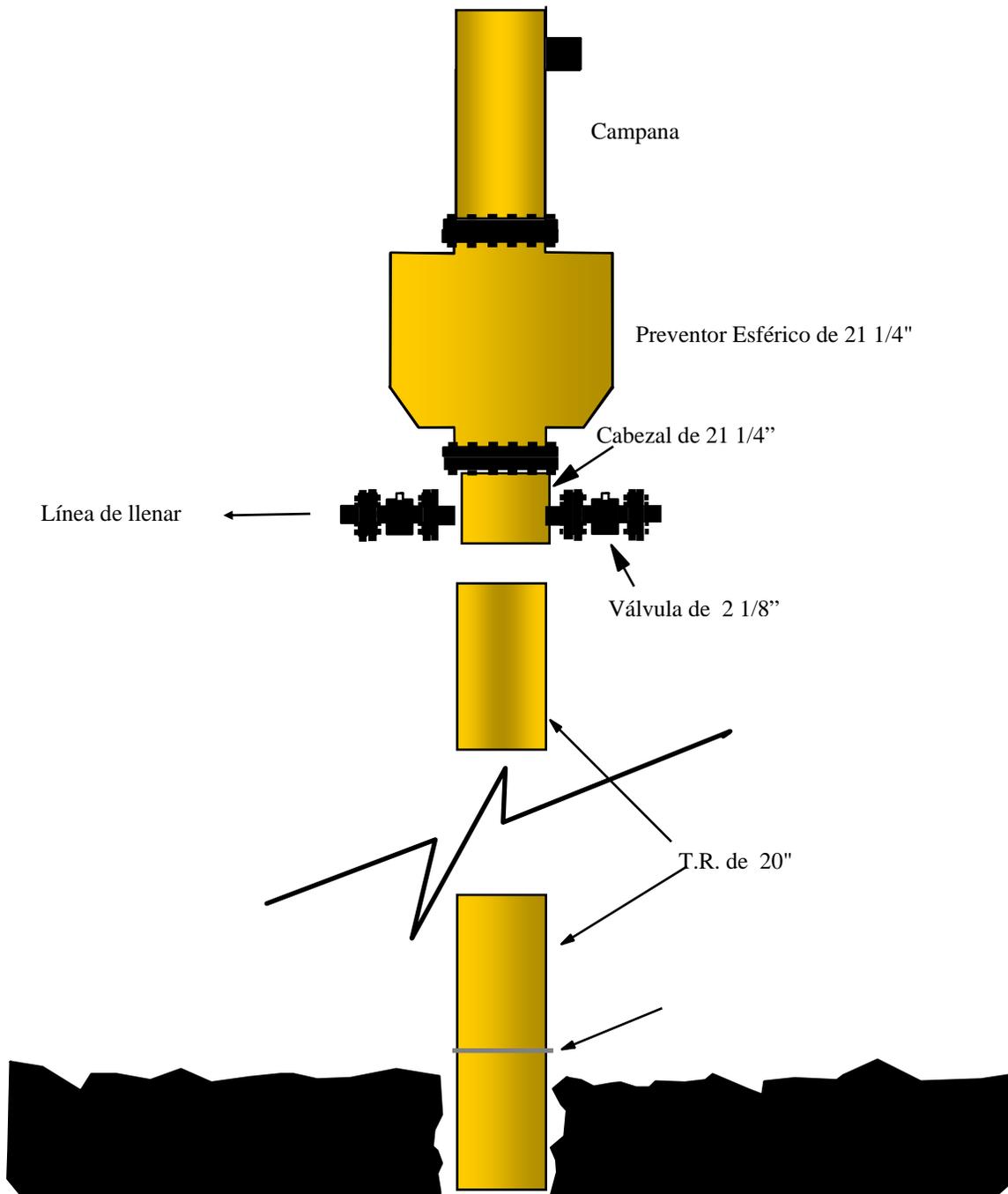
## **Instalaciones superficiales de control.**

# Conexiones superficiales de Control



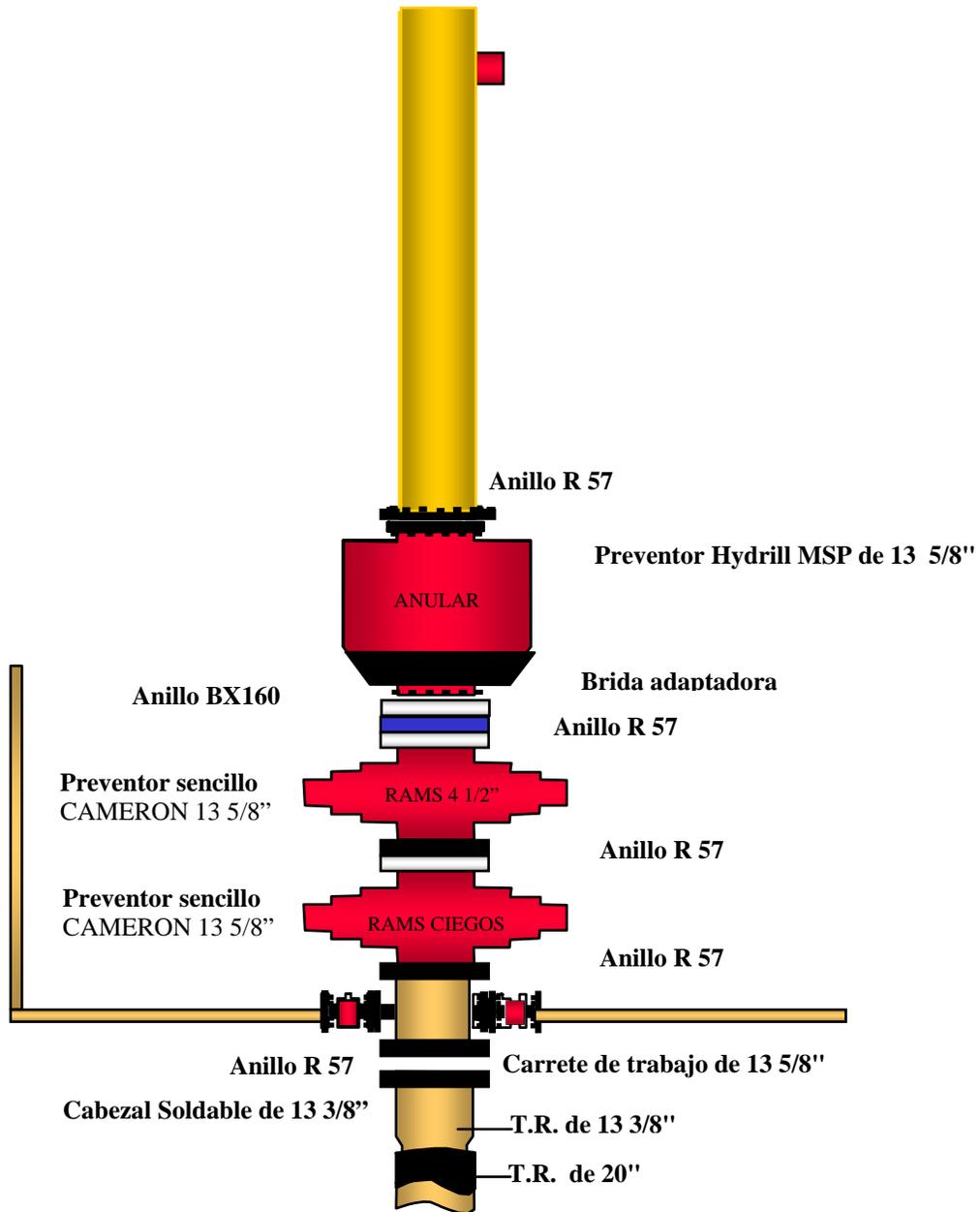
# Conexiones superficiales de Control

## Primera etapa



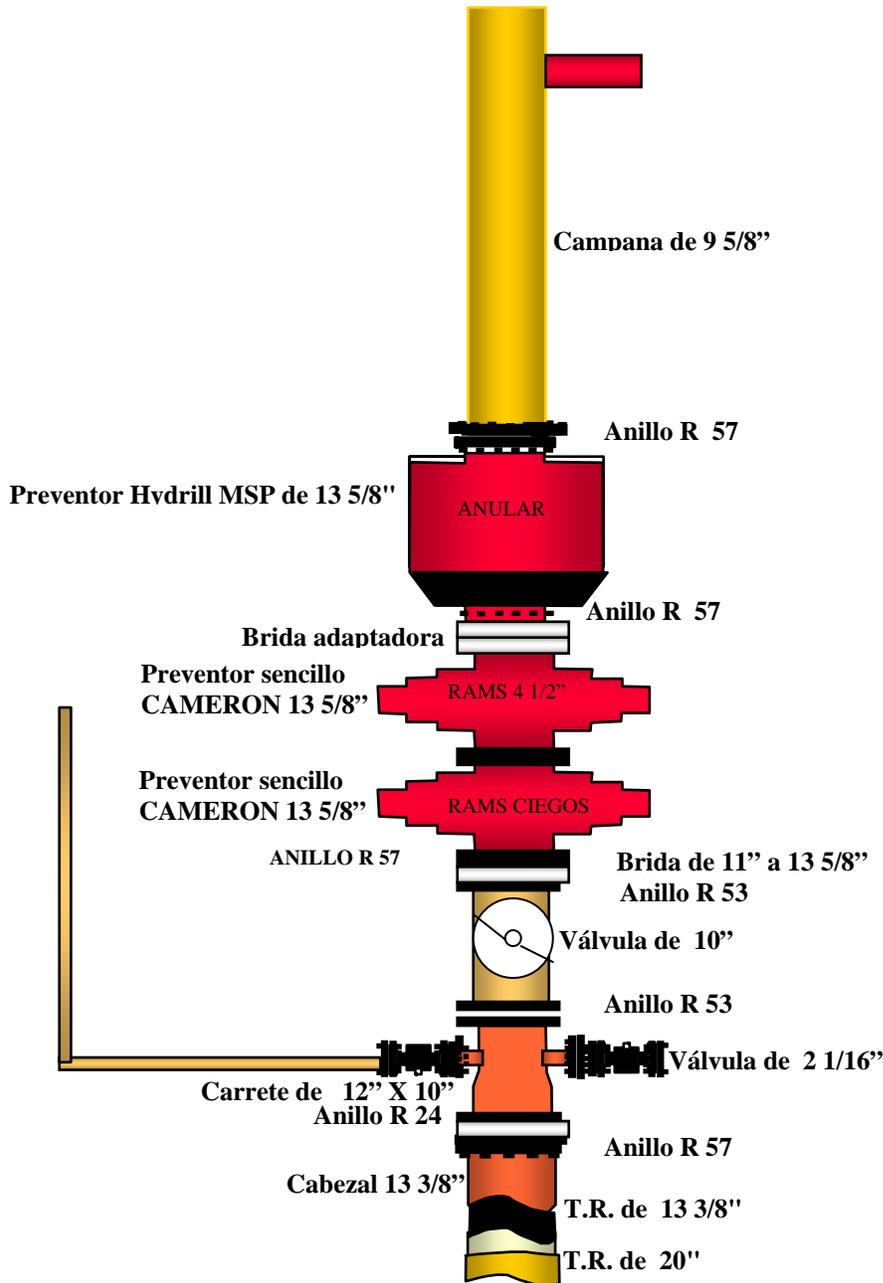
# Conexiones superficiales de control

## Segunda etapa



# Conexiones superficiales de control

## Tercera etapa



# Estado mecánico.

La figura 21 muestra el esquema de terminación del pozo Az-1a.

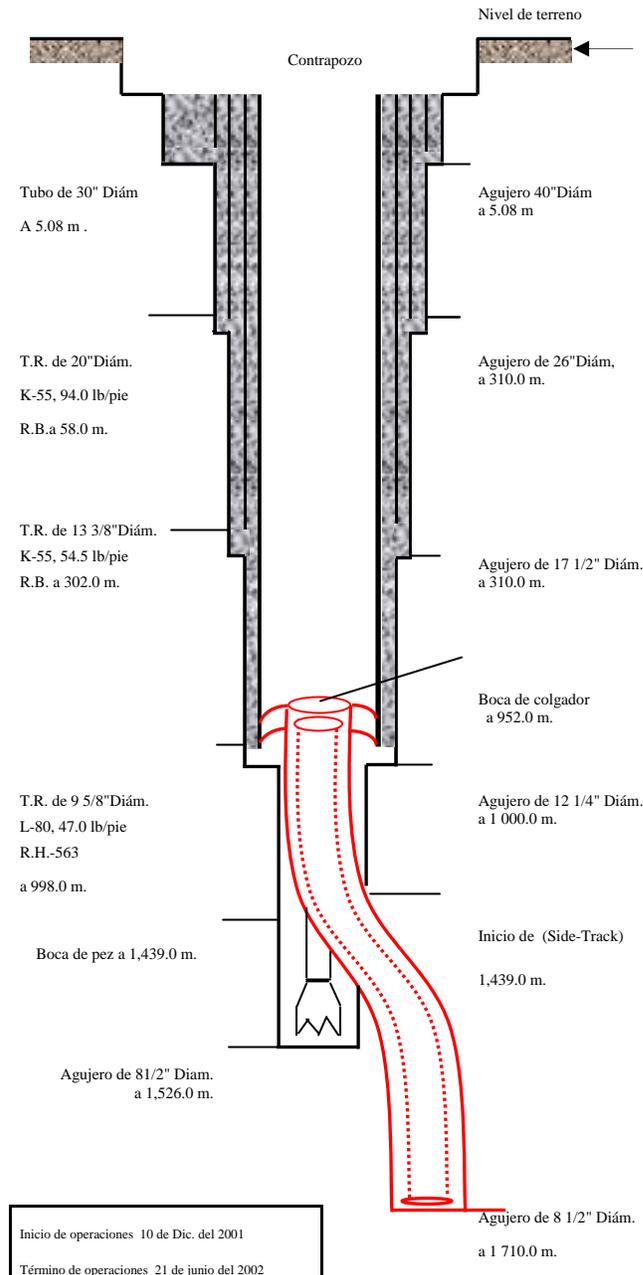


FIG. 21 ESQUEMA DE TERMINACIÓN DEL POZO Az-1a.

# Capítulo V

## Conclusiones

De acuerdo a la experiencia obtenida en la perforación del pozo geotérmico Az-1a, se deduce que:

- El lodo bentonítico no presentó estabilidad a temperatura mayor de 200 °C, ya que se presentaron derrumbes, motivo por el cual se sustituyó por el polimérico que evitó este problema.
- Se presentó exceso de sólidos por la falta de eficiencia de los equipos mecánicos, temblorina y desarcilladores; lo que ocasionó atrapamientos y viajes de reconocimiento.
- Se presentaron pérdidas de circulación, por lo que se procedió a obturarlas para evitar atrapamientos y viajes de reconocimientos.
- Para evitar atrapamientos se recomienda una remoción de sólidos eficiente, una buena planeación del sistema hidráulico; en cuanto a densidad, resistencia a la alta temperatura y capacidad inhibitoria de formaciones problemáticas.
- Debido a que es una zona altamente fracturada de acuerdo a los registros y correlaciones de pozos aledaños es recomendable el uso de sistemas de baja densidad como los lodos aireados.
- Otra alternativa de fluido de perforación para la etapa de terminación es utilizar fluidos aerobalanceados, con espumantes.

## **BIBLIOGRAFÍA**

J. Guzmán, Eduardo; “Fundamentos de geología física”.  
Ed. LIMUSA México. Quinta reimpresión: 1980.

Mc Gray, Arthur; Cole, W. Frank; Berumen, Alberto; “Tecnología de la perforación de pozos petroleros”  
Ed. Compañía editorial continental s.a. de c.v., sexta impresión  
Abril de 1982.

Smith Services, drilling Handbook; DRILCO GROUP, Smith Internacional, 2000.

Terrazas, Martín; Martínez José; Apuntes material de Perforación de Pozos, Facultad de Ingeniería UNAM.

C.F.E.; Bitácora de perforación del pozo Az-1a, campo geotérmico los azufres, mich.