

2
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**TECNOLOGIA EMPLEADA EN LA PERFORACION
DE POZOS PARA AGUA, EN EL AREA DE
CANCUN-TULUM, ESTADO DE QUINTANA ROO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A :

RAMIRO AVILA MEJIA



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CIUDAD UNIVERSITARIA

1994



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

**ESTE TRABAJO SE IMPRIMIO CON APOYO
DE LA COMISION NACIONAL DEL AGUA.**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

SR. RAMIRO AVILA MEJIA
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-I-021

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Joel Gutiérrez Arroyo, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de ingeniero petrolero:

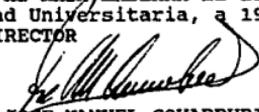
TECNOLOGIA EMPLEADA EN LA PERFORACION DE POZOS PARA AGUA, EN EL AREA DE CANCUN-TULUM, ESTADO DE QUINTANA ROO

- I INTRODUCCION**
- II LOCALIZACION DEL PROYECTO**
- III GEOLOGIA GENERAL**
- IV DESCRIPCION TECNICA DE LAS PARTES CONSTITUYENTES DE LOS EQUIPOS DE PERFORACION**
- V PERFORACION DE POZOS DE EXPLORACION, OBSERVACION Y BOMBEO**
- VI CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI REA/HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 19 de febrero de 1993
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*EGL*ggg*

Ed.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE INGENIERIA EN
CIENCIAS DE LA TIERRA

ASUNTO: Solicitud de Jurado para Examen Profesional.

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
Director de la Facultad de Ingeniería
de la U.N.A.M.
Presente

El señor **RAMIRO AVILA MEJIA**
registrado con número de cuenta **8339665-8** en la carrera de
Ingeniero **PETROLERO**, habiendo satisfecho
los requisitos académicos necesarios para realizar sus trámites de examen
profesional, le ruega atentamente autorizarle el siguiente jurado:

PRESIDENTE: ING. WALTER FRIEDEBERG MERZBACH

VOCAL: ING. J. JOEL GUTIERREZ ARROYO

SECRETARIO: ING. SALVADOR MACIAS HERRERA

1ER. SPTE.: M.I. RAFAEL RODRIGUEZ NIETO

2DO. SPTE.: ING. ROBERTO PADILLA SIXTO

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Unversitaria, a 14 de diciembre de 1993

EL JEFE DE LA DIVISION

ING. EDUARDO G. LORETO MENDOZA

ENTERADO

FIRMA DEL ALUMNO
RAMIRO AVILA MEJIA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

TEMA: TECNOLOGIA EMPLEADA EN LA PERFORACION DE
POZOS PARA AGUA, EN EL AREA DE CANCUN - TULUM,
ESTADO DE QUINTANA ROO.

Sr. RAMIRO AVILA MEJIA

JURADO DE EXAMEN PROFESIONAL

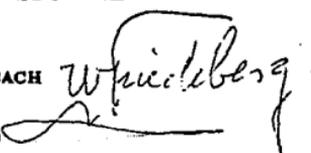
PRESIDENTE: ING. WALTER FRIEDEBERG MERZBACH

VOCAL: ING. J. JOEL GUTIERREZ ARROYO

SECRETARIO: ING. SALVADOR MACIAS HERRERA

1ER.SUPLENTI: M.I. RAFAEL RODRIGUEZ NIETO

2DO.SUPLENTI: ING. ROBERTO PADILLA SIXTO



RECONOCIMIENTOS

A mis Padres:

J.Guadalupe Avila Serrano

Teresa Mejia de Avila

" Con inmenso amor y gratitud que
con sus sacrificios y comprensión
han logrado que llegue a culminar
mis estudios ".

A mis Hermanos:

M^a.Elena Joaquin

Herlinda Jaime

Soledad Agustin

Lilia José Luis

Emma J.Guadalupe

Bertha

" Como prueba de mi eterna gratitud
por todo su apoyo y por que gracias
a ustedes he cumplido mi anhelo".

A mi novia :

Leticia Ruiz Nuñez

" Como una muestra de mi inmenso amor "

AGRADECIMIENTOS

" Mi agradecimiento al Ing. Joel Gutiérrez Arroyo por la dirección del presente trabajo ".

" Hago patente mi agradecimiento al Ing. Andres Vázquez Zuñiga por todo su apoyo brindado en la elaboración de esta tesis ".

" A mis familiares y amigos :
Por los consejos de aliento en los momentos difíciles ".

" Agradezco a la Comisión Nacional del Agua por haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo ".

" A mi querida Facultad, a mis profesores y a la U.N.A.M. por todos los conocimientos otorgados".

Reitero mi sincero agradecimiento a quienes con su valiosa colaboración y facilidades prestadas, hicieron posible la elaboración de esta tesis :

Ing. Andres Palacios Moyotl
Ing. Roberto González Duran
Ing. Heriberto Antonio Pérez
Sr. Juan Luis Anaya Aguilar

INDICE

	Pág.
I. INTRODUCCION	
I.1. Introducción.....	1
I.2. Antecedentes.....	2
I.3. Objetivos.....	3
II. LOCALIZACION DEL PROYECTO	
II.1. Situación geográfica y extensión.....	5
II.2. Actividades económicas.....	5
II.3. Climatología	
3.1. Precipitación.....	6
3.2. Temperatura.....	6
3.3. Evaporación.....	7
II.4. Vías de comunicación.....	7
III. GEOLOGIA GENERAL	
III.1. Fisiografía	
1.1. Orografía.....	9
1.2. Hidrografía.....	10
III.2. Estratigrafía.....	11
III.3. Geología estructural.....	14
III.4. Geología histórica.....	15
IV. DESCRIPCION TECNICA DE LAS PARTES CONSTITUYENTES DE LOS EQUIPOS DE PERFORACION	
IV.1. Descripción general de un equipo de perforación para	
.....	17

IV.2. Descripción técnica de las partes principales de los equipos de perforación empleados en la zona.....	19
2.1. Equipo de perforación Ingersoll Rand.....	20
2.2. Máquina perforadora Walker Neer.....	27
2.3. Recomendaciones para la operación de la sarta "con-cor".....	30
2.4. Descripción del equipo Longyear 44.....	36
IV.3. Fluidos de perforación.....	40
3.1. Lodos base agua.....	41
3.2. Lodos base aceite.....	43
3.3. Función de los fluidos de perforación.....	44
3.4. Propiedades físico-químicas de los fluidos de perforación.....	46
IV.4. Sistemas de circulación empleados en la perforación	50
4.1. Método rotatorio convencional.....	51
4.2. Sistema de perforación con aire.....	51
4.3. Máquina neumática.....	52
 V.PERFORACION DE POZOS DE EXPLORACION, OBSERVACION Y BOMBEO	
V.1. Perforación de pozos	53
V.2. Pozos exploratorios.....	53
2.1. Recuperación de muestras.....	53
2.2. Registros geofísicos.....	55
2.3. Registro eléctrico.....	56
2.4. Registro de calibración.....	62

2.5. Registro de temperatura.....	62
2.6. Registro radioactivo.....	62
V.3. Factor de formación y porosidad.....	63
3.1. Descripción de actividades realizadas en dos pozos de exploración.....	64
V.4. Pozos de bombeo.....	67
4.1. Desarrollo de un pozo.....	69
4.2. Aforo.....	70
4.3. Aforo en dos pozos de bombeo.....	70
V.5. Pozos de observación.....	73
5.1. Comportamiento y variación de la calidad de del agua en dos pozos de observación durante el aforo.....	74
VI. CONCLUSIONES	
VI.1. Conclusiones.....	79
VI.2. Recomendaciones.....	81
VI.3. Referencias.....	83

CAPITULO I
INTRODUCCION

I.1. Introducción.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión Nacional del Agua, firmó un convenio de cooperación con el Fideicomiso Caleta Xel-Ha y del Caribe, para llevar a cabo la perforación de 25 pozos de estudio en el corredor turístico Cancún-Tulum, en el estado de Quintana Roo, destinados a explorar las condiciones geohidrológicas existentes y ubicar las áreas más adecuadas para implementar un programa de explotación a gran escala de aguas subterráneas.**

Con el desarrollo de este proyecto, se pretende afrontar dos grandes problemas:

- 1) El abastecimiento de agua de buena calidad.
- 2) Eliminación de aguas negras.

Para ayudar a resolver estos problemas, se efectuó un estudio geohidrológico e hidrogeoquímico de la zona de interés, tendiente a conocer el comportamiento del agua subterránea, para de esta manera, poder planear, dictaminar y coordinar en forma más acertada la extracción del líquido para el abastecimiento doméstico, turístico e industrial, así como para determinar el proceso más adecuado de eliminación de aguas negras, para que no contaminen el acuífero de agua dulce.

La realización del presente trabajo se llevó a efecto gracias a que la Comisión Nacional del Agua cuenta con un programa de apoyo a la titulación, al cual ingresé como prestador de Servicio Social, para posteriormente continuar como tesista.

¡ Referencias al final.

De esta forma se me facilitó la consulta de los estudios con que cuenta la dependencia sobre esta área.

Se espera que el contenido del trabajo contribuya a crear conciencia entre los usuarios del agua, de que el desarrollo del área depende en gran medida, de su decidida participación en el aprovechamiento racional y eficiente de ese vital recurso.

I.2. Antecedentes.

Los estudios geológicos realizados en la zona de interés están encaminados a describir la estratigrafía y las condiciones geohidrológicas del área; tal es el caso que en años recientes J.Butterlin y F.Bonet (1960) definieron las unidades de roca que actualmente se reconocen. Pocos años después, Lesser Jones (1965), describe algunos problemas geohidrológicos de la península.

Los primeros intentos de exploración con fines petroleros se inician en los años cincuentas; uno de esos trabajos los realizó Alberto Villagómez (1953), quien propuso un programa de prospección geológica para la Península de Yucatán.

En los inicios de la década de los setentas. Petróleos Mexicanos impulsa nuevas investigaciones, entre las cuales destacan la de López Ramos (1969), en donde con base a información obtenida a través de pozos profundos perforados por esa dependencia, así como la proporcionada por la interpretación de levantamientos gravimétricos y magnetométricos, estudia las

formaciones geológicas del suelo y propone el nombre de evaporitas Yucatán para una secuencia de anhidritas, yesos, dolomías y calizas del Cretácico Medio.

Otro de los trabajos de alcance local que revisten importancia para esta porción de la península, son el realizado por Aguayo C. y colaboradores (1980), Hanshaw B. B. y Backw (1979) y Plumer L. N., en donde proporcionan resultados geoquímicos e hidrológicos de la zona de Xel-Ha, y Durón P. (1983) que con el objeto de efectuar una investigación para fines termoeléctricos, describe el comportamiento hidrogeológico e hidrogeoquímico del agua subterránea en los alrededores de Playa del Carmen.

De lo anteriormente expuesto, se aprecia la gran diversidad de estudios realizados; sin embargo, en muchos de ellos el carácter regional prevalece, básicamente en aquellos relacionados con aspectos hidrogeológicos, por lo que el conocimiento actual de la problemática geohidrológica carece de parámetros fundamentales como mediciones estacionales, tanto del nivel estático como hidrogeoquímico, así como control piezométrico y pruebas de bombeo.

1.3. Objetivos.

El presente trabajo tiene por objetivos:

Determinar el método de circulación más adecuado para perforar en formaciones calcáreas.

Establecer las características del fluido de perforación que deberá emplearse durante la perforación.

Determinar la interfase salina en función del fluido de perforación.

CAPITULO II

LOCALIZACION DEL PROYECTO

II.1. Situación Geográfica y Extensión.

El área de estudio denominada " Corredor turístico Cancún - Tulum " está ubicada en la porción nororiental de la Península de Yucatán; abarca parte de los municipios de Lázaro Cárdenas, Benito Juárez y Cozumel, en el estado de Quintana Roo.

Tiene la forma de un polígono, en cuyos vértices se ubican las ciudades de Cancún, Tulum, Coba y Nuevo X-can; geográficamente está comprendida por los paralelos 20° 15' y 21° 15' de latitud norte, y entre los meridianos 85° 44' y 87° 40' de longitud oeste, cubriendo una superficie aproximada de 4630 km² (Fig.II.1).

II.2. Actividades Económicas.

Las actividades económicas principales de la zona son: La agricultura, ganadería, pesca y la explotación forestal.

La agricultura que se practica, es el cultivo de maíz, caña de azúcar y el arroz. siendo estos los predominantes. Entre otros productos de la zona están el frijol, sorgo, soya y jitomate. Así mismo produce frutas como: chico zapote, naranja, papaya, limón, mango, piña y aguacate.

La ganadería, destaca en la producción de bovinos y porcinos principalmente; dicha actividad cuenta con zona de pastizales.

Dentro de la pesca se practica la captura de huachinango, merp, camarón y langosta, la cual se lleva a cabo en las costas.

U
N
A
M

FACULTAD DE INGENIERIA
LOCALIZACION DEL PROYECTO
CORREDOR CANCUN - TULUM
TESIS PROFESIONAL
RAMIRO AVILA MEJIA

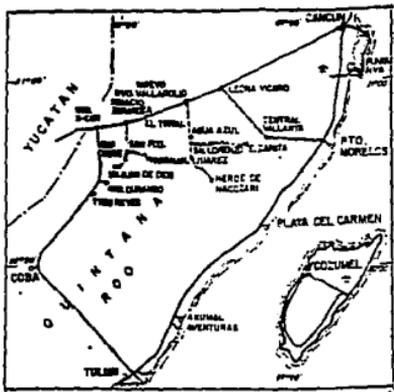


Fig. II.1 LOCALIZACION DEL PROYECTO

Con respecto a la explotación forestal, cabe señalar que produce maderas preciosas como la caoba y el cedro rojo.

Otro sector económico relevante es el turismo, que genera un gran número de empleos y favorece a diversas actividades conexas; el principal desarrollo turístico es el de Cancún.¹³

II.3. Climatología.

II.3.1. Precipitación.

Para el área de estudio, Durón (1983), considera las medias anuales de precipitación, temperatura y evaporación basadas en el análisis de datos recopilados de 5 estaciones climatológicas situadas en Leona Vicario, Puerto Morelos, Nuevo X-Can, Guadalupe Victoria y Cozumel. La precipitación media anual es de 1225 mm, que representa un volumen de precipitación anual promedio de 5672 mm.

La época de lluvias inicia durante el mes de mayo y termina en octubre, aconteciendo en estos el 74.7% del total anual. El estiaje comprende los meses de noviembre a abril.

II.3.2. Temperatura.

La temperatura en general es homogénea, aunque se puede apreciar que de abril a octubre se tienen las mayores; la media anual es de 24°C.

Respecto a su distribución, esta es de 23.5°C en la zona aledaña a Nuevo X-Can e Ignacio Zaragoza y se incrementa hacia la zona costera hasta 26°C.

II.3.3. Evaporación.

La evaporación está relacionada con la temperatura; por lo tanto, en los meses de mayor temperatura existe una mayor evaporación; esto es de abril a octubre. El promedio anual de este parámetro es de 1480 mm.

Su distribución es similar a la de la temperatura, ya que hay una relación directa; la excepción a esta regla sucede en los alrededores de Nuevo X-Can, en donde el valor de este parámetro es de 1600 mm, mientras que la temperatura registra sus valores menores.

La precipitación más alta (1500 mm) se manifiesta en los alrededores de Nuevo X-Can e Ignacio Zaragoza y disminuye en forma radial hacia el resto del área, de tal manera que en las porciones sureste y noreste se tienen los valores más bajos, con precipitaciones de 1000 y 1100 mm.

II.4. Vías de Comunicación.

La zona de interés está comunicada con el resto del estado y por ende con la República Mexicana, mediante vías terrestres, aéreas y telefónicas.

Entre las principales vías terrestres, están las carreteras federales número 180, que une a las ciudades de Mérida y Cancún, la cual pasa por la parte noroeste de la zona de estudio; la número 186 que va de Villahermosa a Chetumal y la 307, que une las ciudades de Cancún - Felipe Carrillo Puerto y Chetumal, pasando por todo lo que es la franja costera.

En lo que se refiere a vías aéreas, se cuenta con dos aeropuertos internacionales: Cancún y Cozumel, así como uno nacional, localizado en Isla Mujeres, dichos aeropuertos cuentan con varias rutas tanto nacionales como internacionales, cabe señalar que también se cuenta con pistas locales de aterrizaje para avionetas.

Por vía marítima, la compañía Servicios Marítimos y Portuarios de Quintana Roo proporciona el servicio de transbordadores que unen las ciudades y poblaciones de: Cancún-Isla Mujeres, Punta Sam-Isla Mujeres, Puerto Morelos-Cozumel y Playa del Carmen-Cozumel.

CAPITULO III
GEOLOGIA GENERAL

III.1 . Fisiografía.

III.1.1. Orografía.

El estado de Quintana Roo está comprendido en la provincia fisiográfica de Yucatán, la cual a su vez se divide en tres subprovincias, denominadas:

- 1) Llanuras con dolinas.
- 2) Plataforma de Yucatán.
- 3) Costa baja.

La zona en estudio se encuentra dentro de esta subprovincia:

La primera subprovincia ocupa las porciones norte y oriente de la entidad; se distingue por su topografía cárstica, que presenta desde oquedades minúsculas hasta grandes depresiones (localmente denominadas "cenotes"), en algunas de las cuales asoma la superficie freática.

La subprovincia Plataforma de Yucatán se extiende la porción suroccidental del estado, cuyo paisaje está configurado por lomeríos alternados con pequeñas llanuras. En su porción sur, la altitud del terreno decrece de poniente a oriente, en forma escalonada, desde unos 300.00 m.s.n.m. en el borde occidental del estado hasta unos cuantos metros en el límite oriental de esta subprovincia; en la porción norte la altitud varía entre 10 y 150 m.s.n.m.

La subprovincia Costa baja se extiende a lo largo del borde centro-oriental del estado; se caracteriza por su relieve escalonado, descendente de poniente a oriente, con reducida elevación sobre el nivel del mar.¹⁴

La topografía en la zona en estudio es muy suave, mostrando formas cársticas de absorción (dolinas, uvaes y lapiaz), existen dolinas, cenotes, microcúpulas cársticas, lagunas y llanuras de inundación, estas últimas con dimensiones de un metro hasta kilómetros presentando formas circulares, alargadas e irregulares manifestándose hacia el área de Coba el mayor grado de cársticidad, en la línea de costa se presentan playas angostas y rocosas, playas semicirculares y caleta, el área muestra un grado moderado de cársticidad.

En la porción costera, A. Villagómez (Estudio sobre Prospección Geológica), (1953) reporta eolianitas que son remanentes de crestas de dunas pleistocénicas, en las zonas de Cancún, Puerto Juárez y en la zona arqueológica de Tulúm, cabe hacer mención que se destaca la presencia del arrecife en barrera más grande de este hemisferio que se extiende desde las costas de Belice hasta Punta Nizuc a 0.5 km de distancia de la playa, frente a las poblaciones de Puerto Morelos, Playa del Carmen y Tulúm.⁴

III.1.2. Hidrografía.

Prácticamente casi toda la extensión de la zona carece de sistema de drenaje superficial, y sólo en algunas áreas se ha formado una red hidrográfica desintegrada y mal definida; otras áreas son inundables, algunas de las cuales permanecen cubiertas

de agua casi todo el año, localizándose la más extensa de ellas en la porción norte de la zona.

Cuenta únicamente con corrientes superficiales de tipo embrionario, como lo son algunos arroyos efimeros de corto recorrido que fluyen hacia las depresiones topográficas; además existen cenotes de gran tamaño.

III.2. Estratigrafía.

En base a información obtenida de pozos perforados por Pemex y C.N.A., se estableció una secuencia en la columna estratigráfica del área de estudio, describiendo las unidades de la más antigua a la más reciente. El pozo Yucatán 4, que se localiza en el Mpio. de Valladolid, Yuc., a 25 km al noroeste del área en estudio, se perforó a 2390 m de profundidad; reporta un basamento constituido de cuarcita ligeramente metamorfizada a la cual se le asigna una edad del Silúrico-Mississípico; sobreyaciendo discordantemente se tienen a las capas rojas del Triásico-Jurásico con un espesor de 41 m cortadas por los pozos en secuencias delgadas, las cuáles se encuentran subyaciendo a un depósito calcáreo-evaporítico del Cretácico con un espesor de 2100 m; sobreyaciendo a estas rocas se tienen depósitos del Paleoceno-Eoceno, formados por grainstones, brechas y dolomitas principalmente, cortados por el pozo Coba N° 268, a los 97 m. de profundidad, con un espesor de 23 m. sin que se reporte la presencia del Oligoceno de tal forma

que los depósitos del Mioceno-Plioceno descansan en discordancia sobre los depósitos del Paleoceno-Eoceno.*

A continuación se describen los depósitos del Mioceno-Holoceno; la columna está descrita de la base a la cima.
Mioceno-Plioceno.

Fm Carrillo Puerto (Pcp)

En el área de estudio afloran calizas de la formación Carrillo Puerto; los niveles inferiores están representados por coquinas, cubiertas por coquinas compactas ricas en peneroplidae. Pasan más arriba a calizas cada vez más impuras, a veces arcillas de color amarillento a rojizo. Los niveles superiores están representados por calizas blancas, compactas y masivas.

La localidad tipo de esta formación se encuentra sobre la carretera Peto-Carrillo Puerto, a la altura del kilómetro 112; en el área de estudio aflora en el tramo comprendido entre las ciudades de Nuevo X-Can a Coba. Los pozos perforados por Pemex en el norte del estado de Yucatán indican que el espesor mínimo encontrado es de 240 m en el pozo Sacapuc N° 1. ¹

Los fósiles reconocidos en estudios paleontológicos en esta formación son los siguientes:
Archais Angulatus, Archais SP, Gypsina SP, Lythophyllum Lytheoporella, Sonites SP.

La presencia del género Archais es lo que determina la edad del Plioceno superior.

Fara Butterlin (1960), el medio ambiente de depósito de estas rocas fue marino, de circulación abierta con intervenciones ocasionales de mayor energía, como lo sugiere las intercalaciones de partículas arenosas.

El espesor encontrado en el área para esta formación varía de 8 a 33 m; sólo en el caso del pozo 301 se contaron 97.2 m, el cual está asociado a un cambio de facies, representado por un frente arrecifal.

Pleistoceno-Holoceno.

Está representado por calizas de moluscos y varios tipos de sedimentos provenientes de plataforma continental somera, tales como calcarenitas biógenas y calcirruditas, eolitas, eolianitas, arrecifes de coral, lodos calcáreos, así como también yeso y halita, distribuidas en un área que varía de línea de costa a un kilómetro tierra adentro, en el tramo Playa del Carmen-Tulum, a 5.5 km. en el tramo Cancún-Puerto Morelos.

Las calizas coquiníferas son masivas, de color blanco a crema; forman una banda de afloramiento más o menos amplia a lo largo de las costas norte y oeste de la Península.

Es probable que las calizas consolidadas pertenezcan al Pleistoceno, pudiendo ser del Holoceno los niveles más elevados. El medio ambiente de depósito de estos sedimentos fue eólico-costero y de playa (ver Fig.III.1).⁴

UNIDADES ESTRATIGRAFICAS

PORCIONES						
PERIODO	EPOCA	NORTE	SUR Y CENTRO	ORIENTAL		
CUATERNARIO	HOLOCENO	SIN NOMBRE		SIN NOMBRE		
	PLEISTOCENO	(SEDS. CALCAREOS)		(SEDS. CALCAREOS)		
T E R C I A R I O	PLIOCENO	CARRILLO PUERTO	INDIFERENCIADO	CARRILLO - PUERTO (CALIZAS)		
	MIOCENO	(CALIZAS)		ESTEREO - FRANCO (CALIZA Y DOLOMITAS)		
	OLIGOCENO	SIN NOMBRE (LUTITA, CALIZA Y MARGA)		BACALAR (CALIZAS Y MARGAS)		
	EOCENO		CHUMBEC (CALIZAS)	CHUMBEC (CALIZAS)		
				PISTE (CALIZA, DOLOMITA)		INDIFERENCIADO
				PISTE (CALIZAS)	XCABAL (CALIZA, DOLOMITA)	
				ICACHE	ICACHE	
	PALEOCENO	LUTITA, MARGA	ICACHE	(CALIZA, DOLOMITA, EVAPORITA)	PETEN (?)	
	CRETACICO	CRETACICO SUPERIOR	Y CALIZA	PETEN (?) (CALIZA)	(CALIZAS)	

Fig. III.1

III.3. Geología Estructural.

Las investigaciones realizadas en la península de Yucatán por la New Orleans Geological Society en 1967 (de acuerdo a lo reportado en referencia N°4) encontraron tres zonas principales de fracturas y fallas, que caracterizan estructuralmente la región estas son: Zona de río Hondo con orientación preferencial NE-SW, su expresión es una serie de fallas normales; Sierrita de Ticul con dirección NW-SE y fracturas Holbox presentando una tendencia N-S.

El análisis estructural del Área en estudio, realizado sobre imágenes de satélite y fotografías aéreas, indican que los rasgos observados tienen las siguientes orientaciones preferenciales:

1) Una tendencia NE-SW

Su manifestación es mediante formas cársticas como dolinas, cenotes y uvales alargados y alineados en esta dirección así como también llanuras de inundación paralelas a la línea de costa, las cuales presentan dimensiones muy variables hasta 60 km. de longitud.

2) Una orientación NW-SE

Este sistema de fracturamiento se presenta en la porción occidental del Área en los alrededores de las poblaciones de Nuevo X-Can, Tres Reyes y Punta Laguna, así como también en la zona de Coba. Este sistema se manifiesta en el km. 65.3 de la carretera Coba-Nuevo X-Can, en las calizas de la formación Carrillo Puerto con dimensiones que van de 1 a 20 cm. de abertura, con bandas de carbonato de calcio en sus paredes y relleno de fragmentos de caliza y fósiles (Fig.III.2).

III.4. Geología Histórica.

La historia geológica registrada en el área de estudio comienza con la acumulación de la formación Carrillo Puerto. Las costas del Caribe en el estado de Quintana Roo son importantes sedimentológicamente, puesto que ofrecen una excelente oportunidad para observar y estudiar diversos ambientes de depósitos pleistocénicos y holocénicos gobernados por corrientes litorales permanentes.

La provincia sedimentaria tiene una accesibilidad excelente en todos los puntos de interés, los cuales están comprendidos en un trayecto de unas cuantas decenas de kilómetros.

La Plataforma de Yucatán, es una provincia que ha subsidido lentamente, lo cual se ve reflejado en su secuencia sedimentaria con litofacies repetidas de más de 3 km. de espesor, la influencia fluvial que tuvo el área se manifiesta al encontrar evaporitas y dolomías asociadas a areniscas submaduras de color rojizo por oxidación, variando a conglomeráticas hacia las porciones topográficas más altas.

Durante el Terciario y el Cuaternario el nivel del mar había oscilado varias veces. Como consecuencia de ello las facies sedimentarias depositadas son características de plataforma somera, así como restringidas evaporíticas, en ambiente de supramarea. Rocas del Terciario afloran ampliamente en el área de estudio, cuya composición sedimentológica es calcárea.

Los sedimentos carbonatados del Pleistoceno y Holoceno, fueron ampliamente distribuidos en las márgenes litorales del

estado, en una etapa transgresiva. Los sedimentos calcáreos depositados son característicos de ambiente eólico-costero y de playa.

Ward y Wilson sugieren que las costas de Quintana Roo han sido tectónicamente estables desde el último periodo interglacial (4000 - 5000 A.C.).

En isla Cancún se tienen 3 tipos principales de ambientes depositacionales:

- 1) Ambiente de playa.
- 2) Ambiente de laguna abierta o estrecha.
- 3) Ambiente de laguna restringida y protegida.

Según Ward y Wilson las partes principales corresponden a remanentes de crestas de dunas pleistocénicas, las cuales se depositaron durante un descenso del nivel del mar, que ocurrió en la etapa temprana de la regresión wisconciense.

Posteriormente, durante la transgresión holocénica se formaron los espolones o tómbolos en ambos extremos de la isla, acumulándose además dunas en el extremo oriental del cinturón eolianítico del Pleistoceno. ♀

CAPITULO IV

DESCRIPCION TECNICA DE LAS PARTES CONSTITUYENTES DE LOS EQUIPOS DE PERFORACION

IV.1. Descripción General de un Equipo de Perforación para Pozos de Agua.

El presente capítulo fue desarrollado en base a manuales de operación de equipos de perforación.

Dentro del contenido de este capítulo, únicamente se describirán equipos de tipo rotatorio, ya que los de percusión no fueron empleados durante el desarrollo de este proyecto.

Un equipo de perforación de tipo rotatorio para la realización de pozos consta de las siguientes partes (ver Fig.IV.1), así como de un equipo complementario, del cual se hablará posteriormente.

- 1) Torre o mástil de perforación.
- 2) Corona.
- 3) Manguera de presión.
- 4) Stand pipe.
- 5) Tambor de perforación.
- 6) Mesa rotatoria.
- 7) Empujador (pull down).
- 8) Plataforma.
- 9) Transmisión hidráulica.
- 10) Cilindros hidráulicos.
- 11) Gatos hidráulicos.
- 12) Caja de transmisión.
- 13) Bomba de lodos.
- 14) Unidad giratoria (swivel).
- 15) Kelly.
- 16) Unidad de potencia.

EQUIPO ROTATORIO
AUTO-TRANSPORTADO

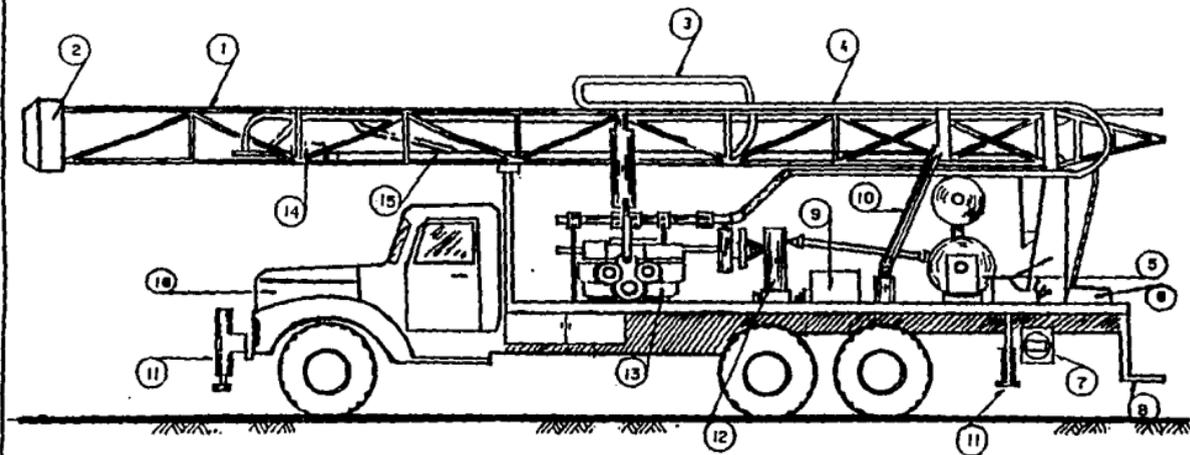


Fig. IV.1 EQUIPO ROTATORIO

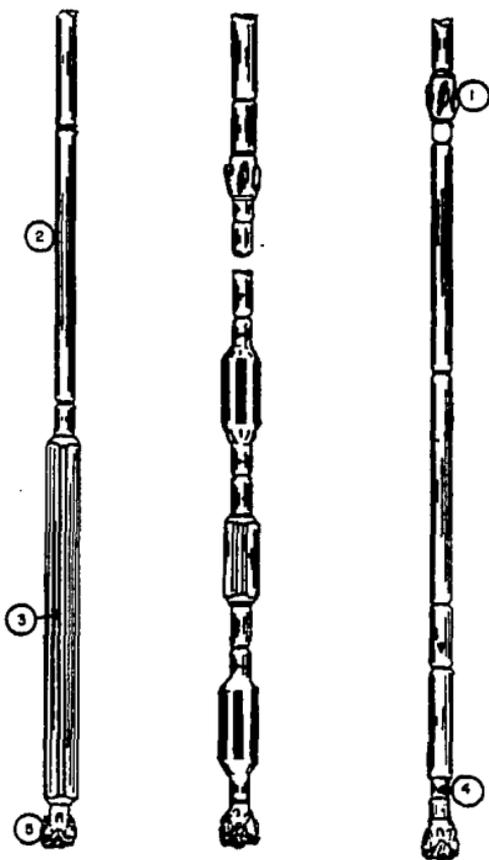
La unidad debe tener tomas de fuerza para transmitir la potencia del o de los motores, a la bomba de lodos, a los tambores, la mesa rotatoria y el sistema de alimentación de la presión descendente (pull down), pudiendo reemplazar éste por el sistema de barras de peso (drill collars).

Al conjunto de herramientas para realizar los trabajos de perforación y/o pesca se le llama sarta (Fig.IV.2), la cual está formada por una herramienta de corte que recibe el nombre de "barrena": la barrena está constituida generalmente por tres "brazos" que rematan en un número igual de "roles", cuyos dientes tienen un tamaño y una separación adecuados a la formación que van a cortar. Diente largo y espaciado, para formaciones suaves (Fig.IV.3), y para el caso de formación dura , diente corto y cercano. También se fabrican con incrustaciones de carburo de tungsteno, las cuales se emplean cuando la formación es sumamente dura y abrasiva (Fig.IV.4).

El piñón de la barrena va unido a los lastrabarrenas o drill collars por medio de un tramo corto de tubería llamado sustituto. Los lastrabarrenas son tramos de tubo de pared gruesa de 152 mm. y 203 mm de diámetro con peso de 1000 a 1500 kg cada uno; van unidos a la tubería de perforación y todos ellos son huecos para permitir el paso del fluido de perforación.

Prácticamente la sarta de perforación termina ahí, uniéndose a una barra de sección variada, kelly, la que a su vez para poder girar libremente va acoplada a una unión giratoria o swivel que mediante una asa unida al cable de perforación sostiene toda la

SARTA DE PERFORACION



- 1.- ESTABILIZADOR
- 2.- TUBERIA DE PERFORACION
- 3.- LASTRABARRENA
- 4.- SUSTITUTO
- 5.- BARRENA

Fig. IV . 2

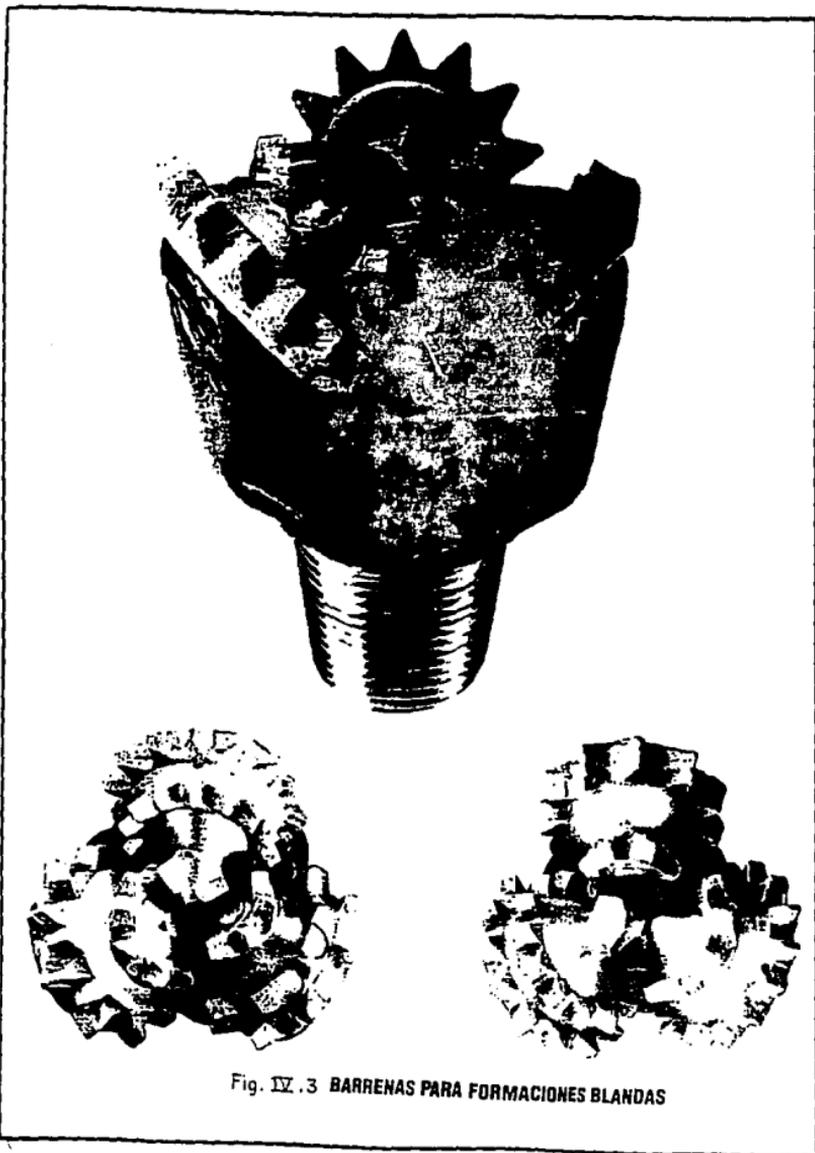


Fig. IX.3 BARRENAS PARA FORMACIONES BLANDAS

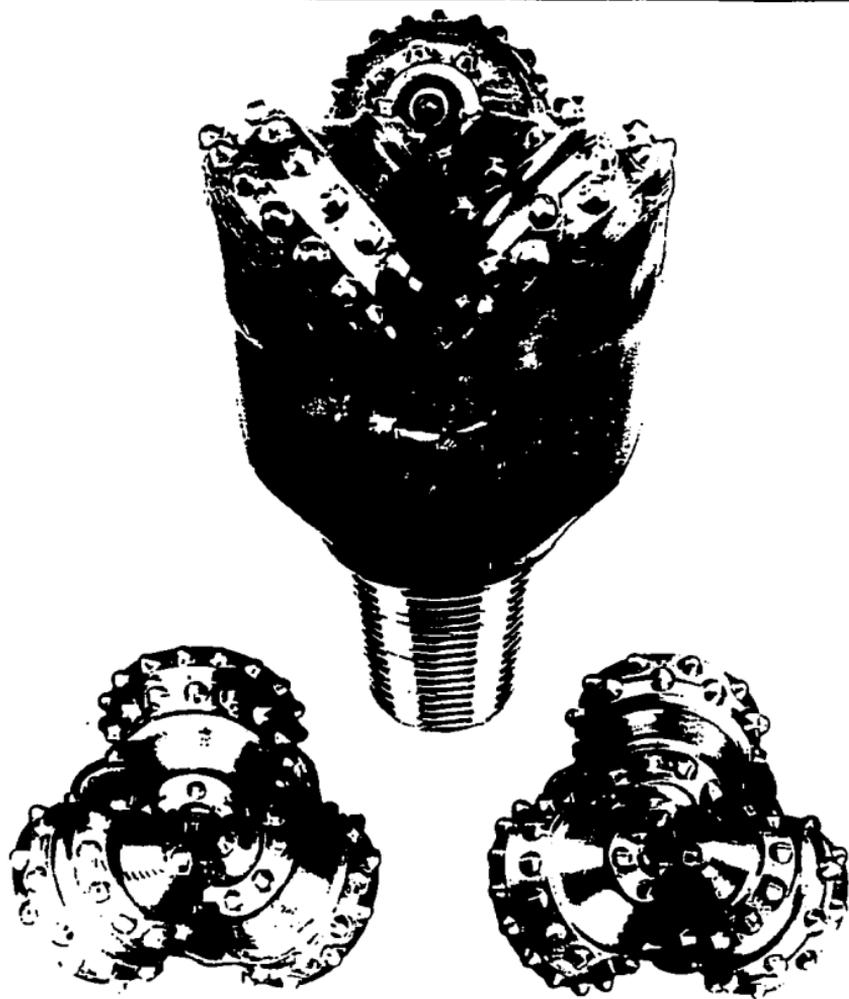


Fig. IV. 4 BARRENAS CON INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO

sarta, misma que es impulsada por la mesa rotatoria. Cuando se trata de una sarta de pesca, en lugar de la barrena se coloca el pescante diseñado para ese trabajo específico.

El torque de apriete que se aplica a la unión entre dos herramientas de trabajo, se lleva a cabo mediante el empleo de llaves especiales con boca de sección cuadrada. Actualmente, las uniones, piñón y caja, son cónicas (según especificación de A.P.I.).

La máquina perforadora se opera a través de controles localizados generalmente en la parte posterior izquierda de la unidad. Para su transporte se encuentra montado sobre un chasis de camión o trailer, que en la localización de la perforación son nivelados y soportados por gatos, que forman parte del equipo.

IV.2. Descripción Técnica de las Partes Principales de los Equipos de Perforación Empleados en la Zona.

Para la perforación de pozos de explotación, observación y de bombeo de aguas del subsuelo en el denominado corredor turístico Cancún - Tulum, se usaron, equipos rotatorios de las marcas Ingersoll Rand modelo RD-300, Walker Neer modelo 2000-a y Longyear 44; de tipo ciclónica, con-cor y nucleadora respectivamente. Las dos primeras marcas de equipo tienen una capacidad de perforación de 300 y 350 m, la tercer marca alcanza una profundidad de 600 mts.. provistos con mástil para soportar un peso de 23. 45 y 10 toneladas respectivamente; como máxima capacidad de carga.

De acuerdo a lo antes mencionado, se hace a continuación una descripción técnica breve de las partes principales de los equipos de perforación.

IV.2.1. Equipo de Perforación Ingersoll Rand (Cyclone RD-300).

Este equipo tiene una capacidad de profundidad de hasta 1500 pies (457 m) con tubería de perforación de 3½" (8.89 cm) de diámetro. A continuación se describen las partes principales:

Camión y Motor:

Camión International F-5050 o camión F-5070 con motor Detroit Diesel GMC 8V-92T de 425 H.P.

Cambio de potencia.- La caja de transferencia de potencia Cyclone con menos de una docena de piezas en movimiento, transmite fuerza del motor del camión a las ruedas posteriores o la línea de perforación moviendo dos palancas en la cabina, y quedando enclavada en posición hasta que se cambie.

Fuerza hidráulica de triple acción.- Cuenta con tres circuitos hidráulicos separados:

1. Bomba axial de émbolos de desplazamiento variable, para accionar al motor hidráulico de la bomba de lodos.
2. Bomba axial de émbolos de desplazamiento variable para accionar al motor hidráulico de la mesa rotaria.

3. Bomba de engranes de desplazamiento fijo para las funciones de : elevación de la torre, nivelación, retracción de la mesa rotaria y apriete o quiebre de herramientas.

Los tres sistemas pueden operar simultáneamente sin sobre carga o pérdidas de fuerza.

Dimensiones y peso.

Cabezal

Largo del cabezal	26' 6" (8.1 m)
Diámetro normal	3 3/8" (86 mm)
(opcional)	4 1/2" (108 mm)
Comp. Giro D.I.(normal)	2" (51 mm)
(opcional)	2 1/2" (64 mm)

Cabrestante para desarrollo de pozos

Capacidad	2300 lb (1043 kg)
velocidad máxima	160 pie/min.(48.7 m/min)
capacidad carrete	1000 pie (305 mm)
cable	3/8" (9.5mm)

Línea de izado hidráulico

Tiro de línea sencilla	16,000 lb (7258 kg)
velocidad máxima (tambor vacío)	70 pie/min.
cable	5/8" (16 mm)

Plataforma.- De dimensiones adecuadas para la instalación de equipos como: compresor de aire, bomba de lodos, etc., provisto de cuatro ruedas, equipado con cuatro gatos mecánicos o

hidráulicos, usando éstos se realiza la nivelación del equipo; (generalmente se colocan bloques de madera debajo de los gatos para evitar hundimientos en formaciones blandas), los gatos hidráulicos son controlados por tres palancas colocadas directamente frente al operador.

Mástil o torre de perforación.- Construido de acero tubular con una capacidad para soporte del tonelaje, de la sarta de perforación; cuenta con dos gatos hidráulicos para el levantamiento del mismo, en el extremo superior se localizan las poleas de la corona, las cuales están montadas en baleros por parejas en un total de 8 poleas con garganta para cable de 1.68 cm. (5/8") de diámetro del cable principal.

Dimensiones y peso.

Largo total (torre baja)	35' (10.7 m)
Altura total (torre baja)	12' 10" (3.9 m)
Altura total (torre alta)	44' (13.4 m)
Ancho de plataforma	8' (2.43 m)

Torre

Tamaño	28" x 36" x 39'	(711 mm. x 914 mm. x 11.9 m)
Capacidad		50,000 lb (22,675 kg)
Empuje hacia abajo y retención		
Empuje hacia abajo		30,000 lb (13,605 kg)
Retención		26,500 lb (12,020 kg)

Unión giratoria (swivel).- Se encuentra provista de baleros y sistema de sello de neopreno capaz de admitir la inyección del aire a presión .

Kelly.- Barra de sección redonda de 11.43 cm.(4½") de diámetro y 8.10 m de longitud. El movimiento ascendente o descendente es accionado por un cilindro hidráulico y un arreglo de cables en la torre y controlado por dos palancas. Estas palancas de controles a bajo volumen de bombeo son usadas para aplicar presión sobre la barrena en la perforación.

La cantidad de presión en el cilindro hidráulico es indicada por un manómetro localizado frente al operador.

Mesa rotaria.- Está montada en baleros de bola en baño de aceite, provista de una corona y piñón para la transmisión de fuerza, cinco velocidades y con una abertura de cierto diámetro, pudiéndose retraer para colocar tuberías de ademe.

La mesa rotaria es accionada por motor hidráulico a través de una transmisión de 4 velocidades y una flecha corta de entrada.

El circuito hidráulico esta diseñado para utilizar una bomba hidráulica de desplazamiento variable.

El arranque - paro - reversa y velocidad de la mesa rotaria es operada por una palanca de control que se encuentra en el tablero del operador.

La velocidad de la mesa rotaria es variable de cero a su máxima velocidad utilizando la transmisión de 4 velocidades y

una bomba de entrega variable que es controlada por una palanca de control.

Especificaciones de la mesa rotatoria.

Transmisión de cuatro velocidades:

0-350 rpm. par hasta 1000 lb-pie (138 kg- m)

0-200 rpm. par hasta 2000 lb-pie (277 kg- m)

0-150 rpm. par hasta 4000 lb-pie (553 kg- m)

0-75 rpm. par hasta 8000 lb-pie (1106 kg- m)

Malacate.- Formado por dos tambores de capacidad 6.5 toneladas de levante y con frenos de disco de fricción.

El malacate es de marca Germatic; esta unidad sirve para elevar la tubería de perforación y es controlada por una palanca.

La carga es sostenida por el freno automáticamente; cuando se regresa el control a su posición neutral, ya sea elevando o bajando la carga.

Este malacate también es equipado con un dispositivo de caída libre para bajar rápidamente la carga. El malacate auxiliar es controlado por una sola palanca colocada en la parte posterior de la estación del operador. Jalando la palanca hacia abajo bajará la carga, y levantándola elevará la carga.

Bomba de lodos.- Es de tipo recíproco con desplazamiento de 5½" x 8", impulsada por motor hidráulico. Es accionada hidráulicamente, mediante un motor, caja de velocidades y una flecha conectada a la propia bomba.

La velocidad de la bomba está controlada por una palanca próxima al acelerador en la consola; alcanza una velocidad máxima de 100 carreras por minuto.

Opciones de bomba de lodo.

Simple 3 x 4 centrífuga	300 gpm. @ 125 lpc. (1136 l/min. @ 8.8 kg/cm ²)
Doble 3 x 4 centrífuga	300 gpm. @ 200 lpc. (1136 l/min. @ 14 kg/cm ²)
Simple 5 x 6 duplex	228 gpm. @ 300 lpc. (863 l/min. @ 21 kg/cm ²)
Doble 5 x 6 duplex	456 gpm. @ 300 lpc. (1726 l/min. @ 21 kg/cm ²)
Doble 5½ x 8 duplex	314 gpm. @ 350 lpc. (1188 l/min. @ 39 kg/cm ²)
Simple 7½ x 8 duplex	598 gpm. @ 189 lpc. (2264 l/min. @ 13.3 kg/cm ²)
Doble 7½ x 8 duplex	637 gpm. @ 255 lpc. (2411 l/min. @ 18 kg/cm ²)

Bomba inyectora de agua.— Esta bomba tiene por objeto inyectar agua dentro de los conductos de aire y sirve para varios propósitos:

- Reduce la cantidad de polvo durante la perforación y protege a los operadores. reduce el desgaste de los equipos y prolonga su vida útil a los filtros del camión, máquina y compresor.

--- Cuando se presentan en la perforación pequeñas cantidades de roca, el polvo se adhiere en las paredes del pozo, evitando que la tubería de perforación pueda sacarse. Cuando esto sucede la bomba inyectora realiza sus funciones a base de presión limpiando a su vez el pozo.

--- Cuando se está perforando con el martillo neumático la bomba sirve para los mismos propósitos arriba mencionados, pero además el agua enfría el aire que mejora la lubricación del martillo y prolonga su vida útil. El agua sirve también como sello entre las paredes de los cilindros y pistones dando mayor compresión a martillos usados.

--- Ha habido muchos progresos en los compuestos químicos aplicados a la perforación, pudiendo ser agregados a través de la bomba de inyección.

--- La impulsión hidráulica de la bomba ofrece control preciso en capacidades hasta 8, 12, ó 25 gpm. (30, 45, ó 94 l/min.).

Compresor de aire.- Se utiliza para maniobras de pruebas de sifoneo y perforación a base de aire, cuando se utiliza el martillo neumático; este compresor Spiro-Flo Ingersoll Rand de tipo de tornillo tiene capacidad hasta 750 pie³/min. ó 250 lb/pg² (21.25 m³/min. a 17.6 kg/cm²) (Fig.IV.5). ▢

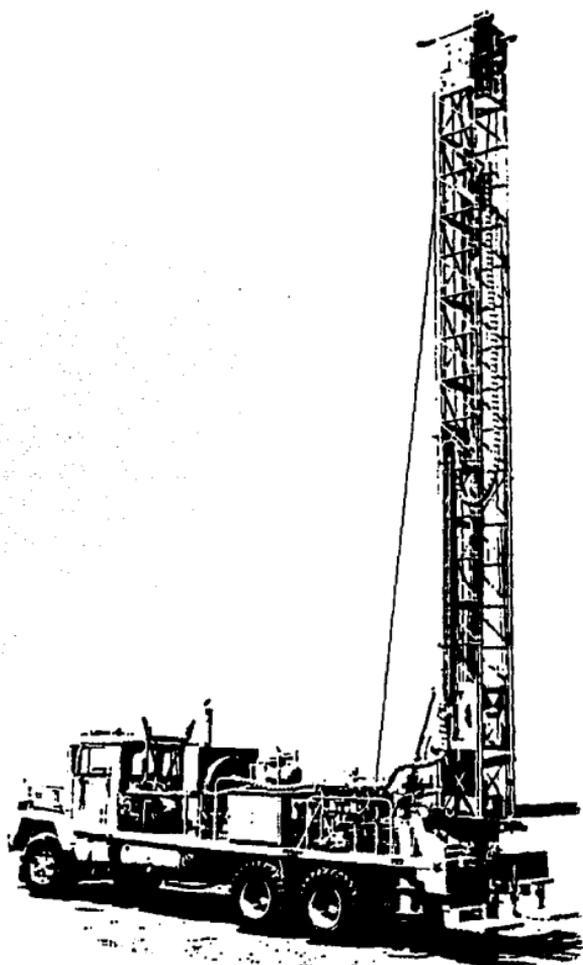


Fig. IV.5 EQUIPO INGERSOLL RAND

En lo que se refiere a el equipo complementario con el que cuenta este tipo de máquina de perforación, se tiene generalmente el siguiente:

- a) Equipo de soldar eléctrico y autógeno.- Se utiliza para soldar los tramos de tubería de ademe.
- b) Camión pipa.- Empleado para abastecer de agua a la perforación.
- c) Camión torton.- Utilizado para transportar herramientas de la sarta de perforación. En este caso puede ser tubería de perforación, lastrabarrenas, barrenas, ampliadores, sustitutos, herramientas de mano, etc.
- d) Camioneta pick up.- Para transportar la brigada de perforación y para supervisar la obra.

IV.2.2. Máquina Perforadora Walker Neer.

Esta máquina es de tipo con-con (continuous coring) y de igual forma que la máquina anterior, está integrada de las mismas partes (Fig.IV.6), con la diferencia de que son para capacidades distintas.

A continuación se hace mención de las especificaciones generales de este equipo:

- La torre de perforación tiene una longitud total de 13.40 mts. y un ancho de 2.44 m.
- El malacate es de un solo tambor accionado por cadena y una toma de fuerza, activado por clutch de aire, 2 discos de 45.72 cm. y cable de 19.10 mm.

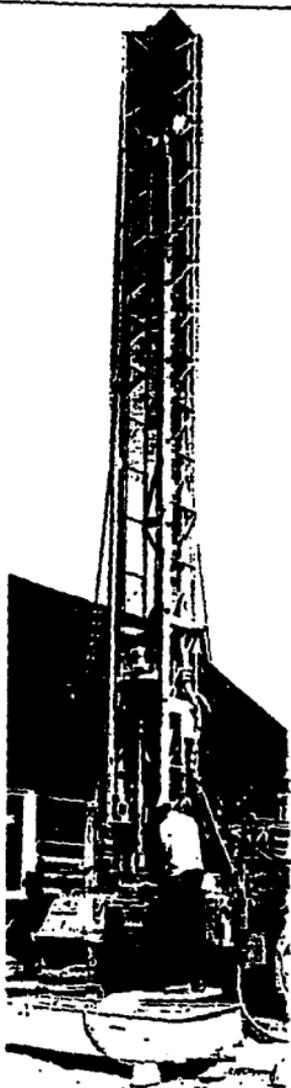


Fig. IV . 6 MAQUINA WALKER NEER

- La torre grúa tiene una altura de 10.67 m. con una capacidad de 45,400 kg, cuenta con 2 cilindros hidráulicos de doble acción para izar y bajar la torre.
- El sistema hidráulico está constituido de una bomba primaria de volumen variable para accionar mediante motor hidráulico al cabezal de potencia a velocidades hacia adelante y reversa hasta 100 r.p.m. La bomba secundaria se emplea para accionar los gatos niveladores, mástil de tubería, cilindros para subir y bajar la torre, mecanismo empujador de barrenas, y motor de la bomba de inyección. Los depósitos de aceite para la bomba primaria y secundaria son de 75.70 lts y 167.75 lts respectivamente.
- En el mástil para manejo de tubería (Boom) todos los componentes son accionados hidráulicamente y controlados para llevar la tubería desde una posición horizontal hasta el centro de perforación y viceversa, con mordazas especiales para impedir el desplazamiento o caída durante el movimiento.
- Los tanques de aire comprimido están instalados en la unidad con válvulas de control y seguridad.
- La circulación de fluidos se lleva a cabo por tubería doble conectada al tanque de aire comprimido y bomba de inyección, con mangueras de 5.08 cm y 6.35 cm para alimentar y regresar los fluidos de perforación al swivel, para operación "con-cor" manipulados con válvulas de abertura total para facilidad de circulación cruzada.

- La consola de controles es giratoria con posiciones de trabajo ajustables. Plataforma de trabajo elevada para el perforista y ayudante, montadas en la parte posterior del bastidor, de 2.44 m de ancho con piso de lámina antiderrapante.
- El indicador de peso es de marca Martin-Decker "Midget", va unido al extremo muerto del cable con indicador remoto en el tablero de control.
- El compresor de aire es de marca Ingersoll Rand, de dos pasos, enfriado por aire, accionado con bandas "v" de la flecha de transmisión y clutch accionado por aire.
- La bomba de inyección es de émbolos triplex, con una capacidad de 132.48 litros por minuto a 56.34 kg/cm², lubricación a presión accionada con motor hidráulico, manguera de succión de 7.63 m de longitud, con válvula de pie y colador.
- El cabezal de potencia es accionado hidráulicamente para trabajo pesado, para 45 ton. a 100 r.p.m. con rieles ajustables en la torre para asegurar un alineamiento preciso de la tubería de perforación, guías y conexiones del empuje hacia abajo. Poleas montadas en baleros timken para cuatro líneas de cable. Diseñado para circulación "con-cor" y conversión a circulación convencional.
- Los gatos hidráulicos son cuatro y se emplean para servicio extrepesado, de doble acción con candados para impedir movimientos una vez que ya están nivelados, con una capacidad de 20 ton. por gato.

- Las dos llaves para apretar y aflojar tubería de 3½" x 5" están adaptadas para tubería de perforación "con-cor" XII, cada juego suspendido por contrapesos sobre la torre. Y un brazo es accionado por válvula de control hidráulico.
- El alumbrado de la torre se hace mediante 4 lámparas fluorescentes totalmente cerradas a prueba de vapor (3 en la torre y una en el área de malacate). Una unidad dual a prueba de vapor, ajustable, montada en el frente para áreas del motor y bomba de lodos. Una unidad dual a prueba de vapor ajustable montada sobre la plataforma del operador iluminando la consola y área de tubería, dos contactos adicionales para tomas de corriente.
- La bomba de lodos tiene una capacidad máxima de 427.70 lts/min a 27.11 kg/cm², accionada por motor diesel "white" 4 cilindros y mangueras de 4" de succión y 2" de descarga.

Sin mayor detalle estas son las especificaciones de las partes principales que constituyen una máquina de perforación de este tipo.

IV.2.3. Recomendaciones para la Operación de la Sarta "Con-cor".

La sarta de perforación "con-cor" (continuous coring) para perforar pozos de agua. requiere al igual que cualquier otra sarta de mantenimiento y cierto cuidado; dicha sarta está constituida por una doble tubería concéntrica en la que los

fluidos de perforación circulan por el espacio anular interior y los recortes de formación circulan por el tubo interno. El recorte fluye a una velocidad en un flujo laminar no creando esencialmente desgaste a la pared interna del tubo interno.

Cada tramo de la sarta consiste de un tubo interno, un tubo externo y los medios para sellar estos dos pasajes contra las amplias fluctuaciones de presiones diferenciales que pueden existir entre ellos durante las operaciones de perforación. La tubería externa carga el total de los esfuerzos mecánicos y la tubería interna carga los esfuerzos hidráulicos.

Dentro de los esfuerzos mecánicos los que más comúnmente se presentan son los de compresión, de tensión, de torsión y de balance o vibratorios por naturaleza. El tubo externo deberá estar libre para expandirse y contraerse independiente del tubo interno. El tubo interno tiene que aislarse de los esfuerzos mecánicos y choques del tubo externo para conservar su integridad física e hidráulica, ya que de no existir este aislamiento, el tubo debería ser tan pesado como el tubo externo; lo cual resultaría una sarta muy pesada siendo poco práctica.

El aislamiento entre ambos tubos se lleva a cabo mediante la suspensión del tubo interno en un apoyo interior de la pared del tubo externo de tal manera que el tubo interno pueda girar diferencialmente con respecto al tubo externo, siendo todas estas características de la tubería "con-con" lo que la hacen útil para perforar en formaciones que incluyen zonas con pérdidas de circulación donde la perforación convencional esta imposibilitada para operar.

A continuación se enumeran las indicaciones básicas para la mejor operación y utilización de una sarta de perforación de tipo "con-cor" :

- 1) Utilizar lastrabarreras (drill collars), en lugar del empuje hacia abajo (pull down), excepto como necesidad de empezar un pozo.

El uso del empuje hacia abajo pone la sarta en compresión, dando como resultado que al abusar de la presión puede doblarse, las uniones quedan sujetas a fatiga excesiva, causando falla en las cuerdas del piñón y/o acompañado de la caja de la unión.

Otra desventaja de usar el "pull down" con cualquier tipo de sarta, es que las cargas de los choques y golpeteo se transmiten directamente a la torre causando fatiga acelerada de los componentes del mástil.

Cuando sea posible los lastrabarreras deben usarse en lugar del empuje hacia abajo para aplicar el peso requerido sobre la barrena. En general el peso de los lastrabarreras debe ser equivalente de 2000 a 8000 lbs/pg² de diámetro de la barrena para perforaciones típicas con diámetro de 8 a 17" en formaciones medianas y duras.

Por supuesto el empuje hacia abajo (pull down) deberá ser usado algunas veces, por ejemplo, cuando se inicia la perforación, si se desea que la perforación sea hecha a una velocidad satisfactoria durante la primera y segunda etapa.

- 2) **Deberán usarse siempre estabilizadores preferentemente no rotatorios.**

Los estabilizadores aumentan la vida útil de la herramienta de perforación y ayudan a asegurar la verticalidad del pozo. El emplear sargas "con-cor" nos garantiza que obtendremos como resultado pozos más verticales que las sargas convencionales, pero el uso de estabilizadores en este tipo de sarga ayuda a mantener la verticalidad deseada. Además mantienen la sarga sin golpear contra las paredes del pozo.

- 3) **El enrosque de la tubería deberá ser al torque máximo especificado para cada sarga particular.**

Para este caso la sarga debe apretarse a un torque alrededor de 13,000 lb-pie; el cual se efectúa con dos juegos de llave de lengua y un cilindro hidráulico, el no apretar o quebrar a este torque, causa en la tubería falla en los piñones, particularmente en los lastrabarreras, esto es porque las juntas de la herramienta hacen trabajar solamente el hombro, lo cual se presenta generalmente como fatiga en el piñón, alrededor de la 4ª o 6ª cuerda.

- 4) **Cuando sea posible utilice como fluido de perforación el aire, mezcla de aire y agua, agua limpia y/o espumantes y evitar circular lodos espesos o abrasivos.**

La circulación de lodos espesos particularmente en combinación con aire, tiende a taponar el espacio anular de la tubería. Al

perforar con lodos pesados o espesos hacen lenta esta operación y con la sarta "con-cor" es totalmente innecesaria. Si se encuentra una formación deleznable la cual requiere un lodo viscoso y pesado para sellar y soportar las paredes del pozo, entonces el lodo deberá ser vertido por el espacio anular del pozo en la parte de arriba del empacador no rotario o el portabarrenas con faldón según se esté utilizando. En la perforación "con-cor" los fluidos de circulación deben ser tan ligeros y bajos de viscosidad como sea posible; para lograr las mejores velocidades de perforación y más vida útil de la sarta.

- 5) Asegurar que el centro de la unión giratoria (swivel) este adecuadamente alineado con el centro de la sarta cuando enrosque el sustituto salvador.

La unión giratoria desalineada da por resultado un enrosque forzado el cual dañará el tubo interno y la caja de conexión, así como las cuerdas de la sarta; por lo que deberá tenerse extremo cuidado para asegurar que la unión giratoria esté correctamente alineada con la sarta y con el tren de deslizamiento de la torre.

- 6) Realizar regularmente inspección al sustituto salvador de roscas de la unión giratoria y reemplazarlo antes de que las cuerdas estén notoriamente dañadas.

El usar un sustituto salvador de roscas con cuerdas dañadas puede causar problemas en las cuerdas de toda la sarta. Las cuerdas

deterioradas no enroscan perfectamente y por consiguiente no distribuyen correctamente las cargas entre todos los hilos de las uniones de la herramienta.

- 7) **Mantener todas las uniones de la herramienta y todas las conexiones de los tubos internos cubiertos con lubricador de cuerdas y regularmente reemplazar la caja del tubo interno.**

Todas las superficies de las cuerdas de la tubería, los hombros y las uniones de los tubos internos, así como las cajas de conexión deben de mantenerse con grasa de cuerdas limpia todo el tiempo. La falta de aplicar esta grasa en las cuerdas da como resultado la formación de un óxido altamente abrasivo que impedirá el apriete completo de las uniones de la tubería. El óxido corrosiona y desgasta las cuerdas deformándolas. En conclusión, la arena y el óxido arruinan las juntas de la herramienta.

- 8) **Desensamblar, inspeccionar y ensamblar nuevamente cada unión de la tubería "con-cor" cada seis meses y reemplazar las partes gastadas según sea necesario.**

Una vez que el ensamble del tubo interno se ha quitado, inspeccionar la superficie en que trabaja el anillo de soporte del ancla del tubo. El desgaste es evaluado debido al achaflanado que sufre la superficie exterior del anillo del ancla en su parte interior.

El tubo interno debe ser inspeccionado en toda su longitud para detectar posibles roturas o hundimientos.

Cuando se reemplacen anclas de tubería, cajas o ensamble de tubo interno, deberá tener en cuenta que cada ensamble de tubería interna debe ser apareado a su particular tubo de perforación; siempre use candado espiral nuevo reensamble, no instale usados.

De esta forma si se sigue cada una de las recomendaciones dadas, podremos estar seguros que obtendremos una mejor operación y utilización de este tipo de sarta, lo cual se verá reflejado en un ahorro tanto económico como de tiempo.

IV.2.4. Descripción Técnica del Equipo Longyear 44.

A continuación se describen las partes principales de este equipo de perforación:

Máquina Perforadora.- Equipo Longyear modelo 44 para explorar 800 m de profundidad con herramienta NO (2 15/16") (7.46 cm) de diámetro y motor Diesel marca Ford, de 56 HP. a 200 rpm. montada en camión, cabezal NO, mástil de 6 m. (20'), enfriado por agua, transmisión de 4 velocidades hacia adelante y una reversa, con selector para obtener 8 velocidades hacia adelante y dos reversas, para operar con barrena de diamantes, tricónica de martillo neumático, y sistema Wine-line.

Cabezal hidráulico giratorio.- El cabezal hidráulico ejerce control preciso de la presión a la barrena y el ritmo de penetración, con dimensiones NO para barras hasta del tamaño NO o

para ademe hasta del tamaño BW, o HD para brocas hasta del tamaño HQ o para ademe hasta NW. Además incluye cilindros hidráulicos gemelos de diámetro interior de 89 mm (3 1/2"), con carrera de 610 mm (24").

Transmisión.- Con cambios sincronizado de velocidades, con 4 velocidades hacia adelante, la cual hace una combinación de selector de rangos de velocidad y una transmisión de 4 velocidades proporciona la adecuada velocidad en la barrena en cualquier tipo de perforación sin la necesidad de cambiar los engranes cónicos, cada ajuste al obturador permite el uso de 8 velocidades diferentes para la barrena, con un solo cambio de posición la palanca selectora el operador puede escoger velocidades mayores al perforar cuando este usando barrenas de diamante y velocidades menores al usar barrenas tricónicas o de fricción o arrastre. De esta manera se asegura el mejor rendimiento del motor y mayor eficiencia en cualquier trabajo de perforación.

Sistema hidráulico.- Este activo sistema permite el funcionamiento de los componentes hidráulicos aunque el embrague de la perforadora este suelto. Una bomba Vane-type (tipo paleta) libera la cantidad de aceite requerido, disminuyendo la posibilidad de recalentamiento y la formación de espuma en el aceite.

Dispositivo de auto-propulsión.- Esta opción proporciona conductores, poleas acanaladas y rodillos, los cuales permiten que la perforadora se desplace mediante su propia potencia y utilizando el cable de levantamiento.

Mandril (Chuck) automático.- Una característica opcional que elimina el apriete manual de las barras, aumenta la eficiencia de la perforación y ofrece mayor seguridad al operador.

Cabrestante o cabeza de gato.- Es un aditamento opcional para el funcionamiento del martinete, del manejo en general y de las tareas de levantamiento.

Control de avance.- Se puede obtener un control efectivo del peso sobre la barrena y el ritmo de penetración, purgando el aceite del fondo de los cilindros de alimentación, a través de una válvula de control tipo aguja, se establece un circuito de retorno rápido que eleva la palanca de accionamiento a la posición donde se sujeta el porta-barrena a la válvula de control direccional, usada para controlar el cabezal hidráulico. Puede moverse a 4 posiciones diferentes. A poca profundidad, debe ubicarse la válvula de control direccional donde la utilización de la presión total de la bomba hidráulica aplicada a los pistones le da peso a la barrena, a profundidades mayores, se

puede ubicar la válvula de control direccional en posición de flote, y el peso de las barras puede ser usado para dar peso a la barrena sin necesidad de aplicar presión hidráulica a los pistones.

Bomba triplex.- Es una bomba de acción simple, camisa de cerámica intercambiables, válvulas de bola, asientos para lodos, empaques de capa de neopreno, succión de 1½" (3.81 cm) de diámetro, descarga de 1¼" (3.18 cm) de diámetro, transmisión para 5 velocidades para dar un gasto de 4.5 a 35 gpm. con presiones de 500 lb/pg² en trabajo intermitente, válvula automática de seguridad sobre presiones y manómetros.

Bomba Moyno.- Es una bomba de inyección de lodos, marca Longyear modelo 3L10 con motor diesel modelo SR38HP a 1800 revoluciones, 3 cilindros refrigerado por aire, arranque eléctrico, embroque y flecha de extensión.

Mástil.- Es de avanzado diseño que lo hace adecuado en operaciones de perforación verticales y angulares, el levante o abatimiento es por medio de cable del malacate o por un cilindro hidráulico opcional, además tiene la capacidad para manejar las barras con la mayor eficiencia en las posiciones arriba señaladas dependiendo de la capacidad específica de la perforadora.

Plataforma.- Con balance para que permanezca horizontal aunque el mástil este inclinado, con acceso a la plataforma por medio de escalerillas que es parte integral del mástil.

Retroceso.- El mástil permite que la perforadora retroceda hasta 13" (33 cm). El portapoleas permanece alineado perfectamente con el agujero así cuando la perforadora sea retraída y el mástil esté en cualquier posición.

Malacate "Wireline".- Como equipo adicional se le puede instalar un malacate de esta marca integrado a la perforadora. El conjunto del tambor, esta provisto de cojinetes de bola sellados que no requieren mantenimiento. Es impulsado por una toma de fuerza y cadena de rodillos, se puede desengranar mientras se está perforando.

IV.3. Fluidos de Perforación.

Los primeros lodos de perforación, datan de 1914, cuando se definió como lodo: " A una mezcla de cualquier arcilla, la cual queda suspendida en el agua por cierto tiempo".

El Instituto Americano del Petróleo (API) lo define de la siguiente forma: " Es un fluido circulante, usado en la perforación rotatoria, para ejecutar alguna o todas las funciones requeridas".

En la perforación en general, se han empleado lodos de varios tipos, todos ellos para resolver los diversos problemas que se presentan en la perforación de pozos petroleros.

En un principio, cuando los pozos eran someros, se desarrollaron los lodos a base de agua, como: Lodos naturales de arcilla, lodos bentoníticos-sódicos, lodos calcareos, lodos a base de agua salada y lodos de bajo contenido de sólidos.

Al aumentar la profundidad surgieron diversos problemas y se desarrollaron los lodos emulsionados de agua-aceite, tanto de fase continua agua, como de fase continua aceite, así como también los lodos a base de aceite únicamente.

La gran mayoría de los pozos en busca de agua son someros, en comparación con los petroleros, por lo que los problemas de perforación se pueden resolver con los lodos más sencillos, y por lo tanto los más económicos, como son los lodos a base de agua.

Los lodos a base de agua pueden ser principalmente sódicos o cálcicos. Los primeros son en general los más económicos, por lo que mientras sea posible su uso en la perforación, deberán preferirse.

En el caso de que la perforación se realice en áreas principalmente calcáreas donde la arcilla sea escasa y de base cálcica; es preferible usar lodos a base de calcio con caloides orgánicos.

IV.3.1. Lodos Base Agua.

Lodos de Agua Dulce.

Estos lodos pueden ser de un bajo pH, lo cual se puede lograr agregando polifosfatos para el control de viscosidad y gelatinosidad. Por otro lado pueden ser también de alto pH, esto

cuando se requiera alta densidad, para lo cual se emplea calcio de alto pH en el tratamiento del lodo.

Los lodos cromolignosulfonatos, también son de base agua dulce, se logran mediante la adición de cromolignosulfonato y sosa en un medio coloidal formado por la bentonita.

Lodos Salados.

Son usados para perforar domos salinos y algunas ocasiones cuando se encuentran flujos de agua salada. Tales lodos exhiben altas velocidades de filtración y enjarres gruesos a menos que se utilicen coloides orgánicos para su control.

Lodos Cálcidos.

Estos lodos contienen calcio como un elemento esencial del sistema. Este elemento se puede agregar como cal hidratada, cemento, sulfato de calcio, cloruro de calcio o pueden ser incorporados al sistema al perforar cemento, anhidrita o yeso.

Estos lodos exhiben baja viscosidad, baja gelatinosidad, buena suspensión de los materiales pesados, y facilidad del control de su densidad, tolerancia a alta concentración de sales y facilidad en el mantenimiento de bajo filtrado.

Lodos de Bajos Sólidos.

Este tipo de lodo es el que se ha introducido recientemente, en el cual se ha sustituido o disminuido la cantidad de bentonita, mediante la adición de polímeros, de tal manera que el contenido de sólidos se ha disminuido hasta menos de 7% en volumen.

Lodos Emulsionados.

Estos lodos se preparan agregando aceite a un lodo base agua, en el cual el aceite es la fase dispersa y el agua la fase continua, obteniéndose agua como filtrado. Se puede utilizar agua dulce o agua saturada y las únicas propiedades que cambian con el empleo de aceite, son el peso del lodo, el volumen de filtrado y el espesor del enjarre.

Lodos de Silicato de Sodio.

La fase líquida de este lodo, consiste en aproximadamente el 65% en volumen de silicato de sodio y 35% de solución saturada de sal. Estos lodos fueron desarrollados para la perforación de lutitas, pero han sido cambiados por los lodos tratados con cal-yeso-lignosulfonato y los lodos surfactantes que son más fáciles de manejar.²

IV.3.2. Lodos Base Aceite.

En estos lodos el aceite es la fase continua y el filtrado es únicamente aceite. Pueden formularse con bajo contenido de agua (3 a 5% en volumen), para solubilizar totalmente los materiales solubles en agua, empleados en la formulación. También se puede emulsionar una cantidad variable de agua, de 20 a 70%, de tal manera que el lodo se pueda clasificar como una emulsión de agua en aceite, llamada comunmente "emulsión inversa". La cantidad de agua incorporada, depende de varios factores, como son: Las temperaturas encontradas en el fondo del agujero y los

requerimientos operacionales del lodo durante la perforación. obtención de núcleos u operaciones de terminación.

Generalmente los sistemas de emulsión inversa, se formulan mediante un emulsificante, un estabilizador a la temperatura y un reductor de pérdida de filtrado; dependiendo del fabricante, serán las cantidades empleadas en la preparación y el tratamiento requerido.

El control de las emulsiones inversas, generalmente se efectúa en base al filtrado estático a alta presión y alta temperatura, la relación aceite/agua y la estabilidad eléctrica, que está relacionada con el poder de emulsificación del agua y el aceite.

IV.3.3. Función de los Fluidos de Perforación.

Las funciones principales de los fluidos de perforación son las siguientes:

1) Acarrear los recortes de la formación a la superficie.

La función esencial del lodo, es limpiar el agujero. Los sólidos perforados, generalmente tienen una densidad de 2.3 a 3.0 g/cm³, mayor que la del lodo, por lo que éstos, tienden a asentarse en el lodo que se encuentra en el espacio anular, lo cual se evita circulando el fluido a una velocidad suficiente e impartiendo una viscosidad adecuada.

2) Controlar las presiones sub-superficiales.

Cuando se encuentra una formación permeable, 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 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 anormales existentes en la formación, aumentando de esta manera. la presión hidrostática de la columna de lodo.

3) Enfriar y lubricar 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 relacionadas directamente con la lubricación de la sarta.

Actualmente todos los fluidos de perforación, tienen un calor específico suficiente y buenas cualidades lubricantes para enfriar adecuadamente la barrena y la sarta. Entre los lubricantes se encuentra la bentonita, aceite, detergentes, grafito, asfaltos y surfactantes especiales.

4) 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. Los lodos base aceite, dificultan la evaluación de los horizontes potencialmente productores y los fluidos de agua salada limitan el uso de registros de potencial espontáneo para reconocer zonas permeables.

3) Proporciona protección a la productividad de la formación.

Al utilizar lodo en la perforación, siempre habrá invasión de fluido hacia la formación y este puede ser minimizado al reducir la pérdida de fluido. En algunos casos, se puede perforar con aire como fluido de perforación y no se provoca daño a la formación. También han sido usados lodos con alto contenido de calcio para disminuir el daño a la formación.

Además de las funciones señaladas anteriormente, el fluido debe ser capaz de permitir el asentamiento de los recortes en la presa donde descarga el lodo de la temblorina, 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 residencia del lodo.

IV.3.4. Propiedades Físico-químicas de los Fluidos de Perforación.

Un buen lodo de perforación debe reunir un conjunto de características físico-químicas que permitan lograr mayores avances en la perforación y mayor seguridad en la estabilidad del agujero (reducción de riesgos de pegaduras de la tubería y

derrumbes de la pared del pozo). El logro de estas buenas características del lodo representa una erogación adicional que se verá compensada ampliamente por el beneficio que se obtendrá al disminuir el tiempo necesario para la perforación del pozo.

Las propiedades más importantes en los lodos de perforación son las siguientes:

Densidad o peso específico.

Se define como la cantidad de materia contenida en la unidad de volumen y el peso específico como la fuerza que ejerce la gravedad de la Tierra sobre esta masa.

La densidad o peso específico del lodo, se mide prácticamente por medio de la balanza de lodos (ver Fig.IV.7), que esta graduada en lb/pie³ y en gradiente de presión hidrostática (lb/pg² por 1000 pies de profundidad).

Viscosidad (Reología).

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.

Ley de viscosidad de Newton:

$$F/A = \mu (- dv/dy) \text{ _____ (1)}$$

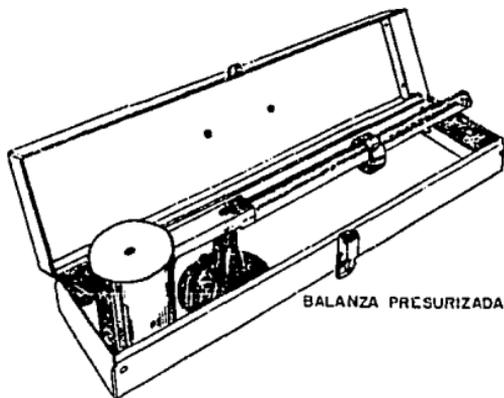


VISTA FRONTAL



VISTA TRASERA

BALANZA CONVENCIONAL



BALANZA PRESURIZADA

BALANZA DE LODOS

Fig. IV , 7

La relación F/A se denomina esfuerzo cortante (T) y el cambio de la velocidad con la distancia (dv/dy) se conoce como la velocidad de corte ($\dot{\gamma}$), quedando la ecuación (1) de la siguiente forma:

$$T = \mu (-\dot{\gamma}) \text{-----} (2)$$

Los fluidos que siguen 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 que 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 viscosidad de Newton, se les denomina "no newtonianos" y la Reología es la 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.

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

- a) Presión y temperatura.
- b) Viscosidad de la fase fluida.
- c) Cantidad, tamaño y tipo de sólidos.
- d) Fuerzas de atracción y repulsión en el sistema.

Los aparatos que se emplean para medir esta propiedad son: El embudo Marsh, viscosímetro rotacional (Fig.IV.8), viscosímetro tabular y viscosímetro capilar, siendo el más empleado el viscosímetro rotacional.

Tixotropía.

La tixotropía se puede definir como "el fenómeno exhibido por algunos geles que se hacen fluidos con el movimiento, siendo este cambio reversible".

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. ²

La tixotropía de lodo puede ser medida mediante un viscosímetro del tipo rotacional.

Filtración.

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

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

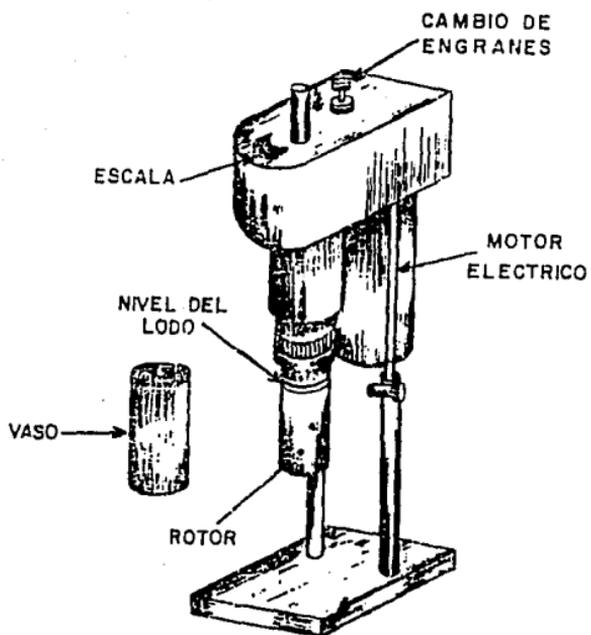


Fig. IV. 6 VISCOSIMETRO ROTACIONAL

Hay dos metodos básicos de medición de la velocidad de filtración: 1) Prueba de filtración estática y 2) Prueba de filtración dinámica; la primera da una indicación de la pérdida de liquido y la capacidad de formación del enjarre, mientras que las pruebas dinámicas representan las pérdidas de liquido cuando el lodo de perforación está circulando a través del pozo.

Resistividad.

Es una propiedad importante del lodo en lo que se refiere a la interpretación adecuada de los registros eléctricos. La determinación de la resistividad es esencialmente la medición de la resistencia al paso de la corriente eléctrica a través de la muestra colocada en un recipiente especial; esta medición, se convierte a resistividad en ohm-metro (Ω -m) utilizando una celda constante.

El resistivímetro Baroid, se usa para medir la resistividad del lodo, del filtrado y del enjarre, el cual tiene un rango de medición de 0.01 - 10 ohm-m²/m; la conductividad del medio, se calcula tomando el recíproco del valor obtenido de la resistividad.

IV.4. Sistemas de Circulación Empleados en la Perforación.

En la perforación de los 25 pozos realizados en el proyecto Cancún-Tulum, únicamente fueron empleados dos métodos de circulación, los cuales son descritos brevemente.

IV.4.1. Método Rotatorio Convencional.

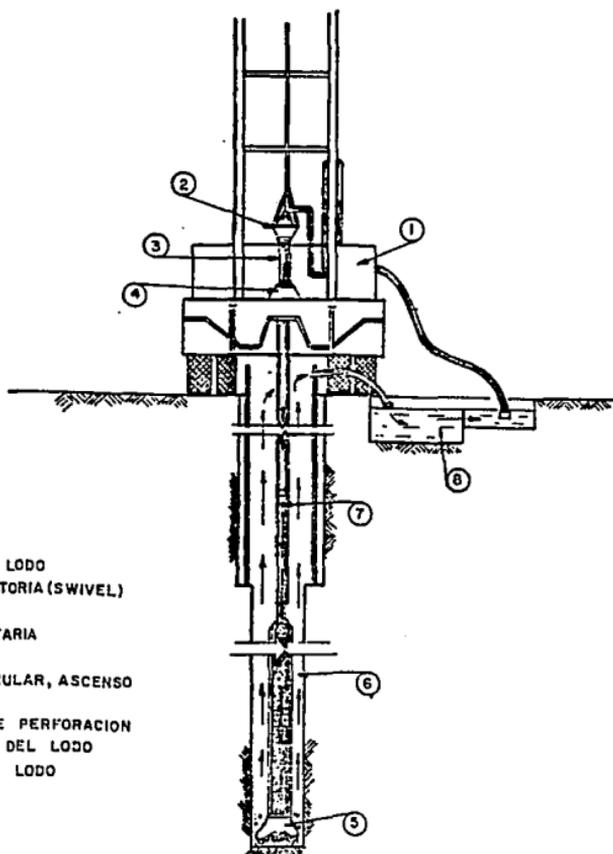
Este método es llamado también de circulación directa y consiste en inyectar el lodo a través de la sarta de perforación; una vez que las formaciones son atravesadas y se va formando el agujero, arrastrando los recortes a la superficie por el espacio anular entre la tubería de perforación y el agujero, continuando su recorrido por un canal que partiendo de la boca del pozo, después de cierto tramo llega a una fosa de decantación, para pasar a la de lodos propiamente dicha, de donde es succionado por la manguera de la bomba de lodos y vuelve a inyectarse al pozo (Figs.IV.9 y IV.10).

IV.4.2. Sistema de Perforación con Aire.

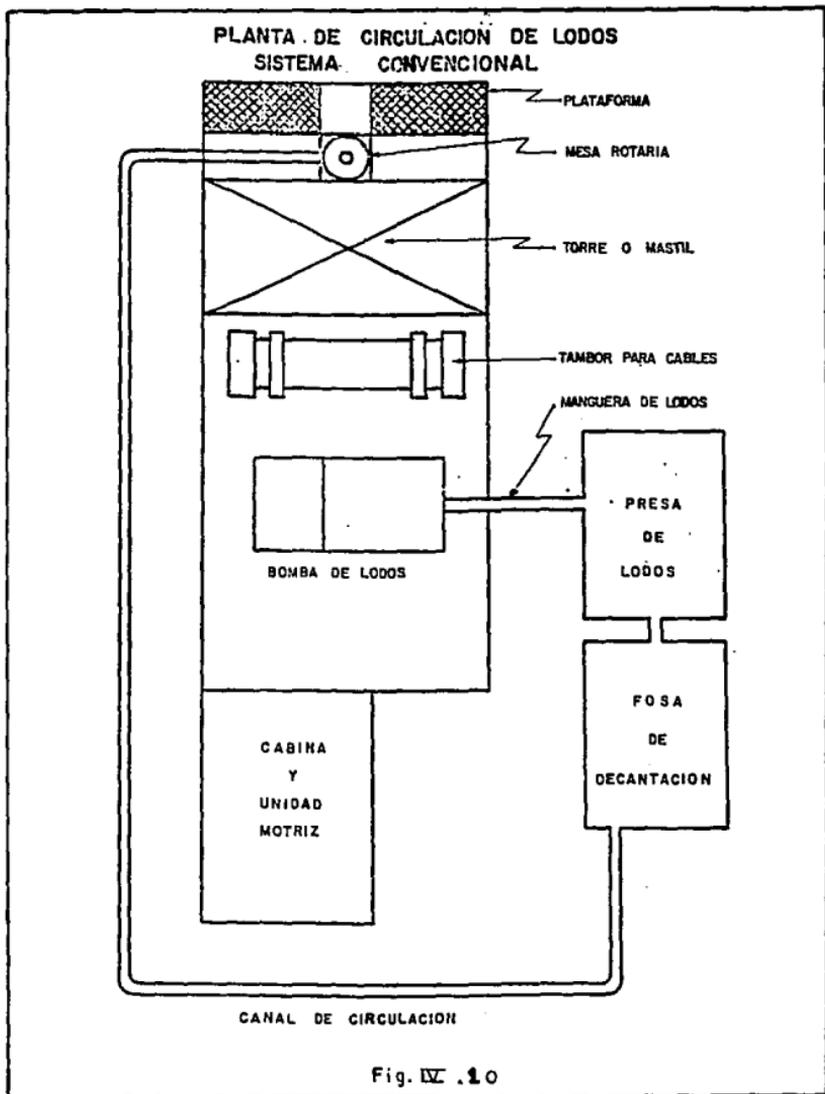
El propósito de este sistema es perforar pozos de agua de mayores diámetros con volúmenes económicos de fluidos de circulación, podrá perforarse de una sola pasada un pozo de diámetro grande sin necesidad de ampliaciones. El rendimiento en eficiencia de avance es mayor con este sistema de perforación que con el convencional. Para iniciar la perforación con este sistema de aire comprimido se introduce la sarta de perforación; el aire es inyectado mediante el compresor hacia el interior del tubo, el aire pasa en sentido descendente a la sarta de perforación.

El aire en combinación con el espumante es mucho menos denso que los recortes de la perforación, una vez que se crea la mezcla de aire, espumante y sólidos se levanta en forma de burbujas debido a que resulta una mezcla muy ligera, de esta

Fig. IV. 9 SISTEMA DE LODOS
EQUIPO ROTATORIO
CONVENCIONAL



- 1--BOMBA DE LODO
- 2--UNION GIRATORIA (SWIVEL)
- 3--KELLY
- 4--MESA ROTARIA
- 5--BARRENA
- 6--ESPACIO ANULAR, ASCENSO DEL LODO
- 7--TUBERIA DE PERFORACION DESCENSO DEL LODO
- 8--FOSAS DE LODO



forma asciende por el espacio anular entre la sarta y la pared del pozo, descargando en la superficie. 14

IV.4.3. Máquina Neumática.

Por lo general, este tipo de equipos de perforación son una adaptación del equipo de perforación rotatorio con un martillo neumático, el cual al inyectarle aire por medio de un compresor, realiza un movimiento recíproco de arriba hacia abajo que aunado al movimiento rotatorio hace que la penetración sea más efectiva en formaciones muy duras.

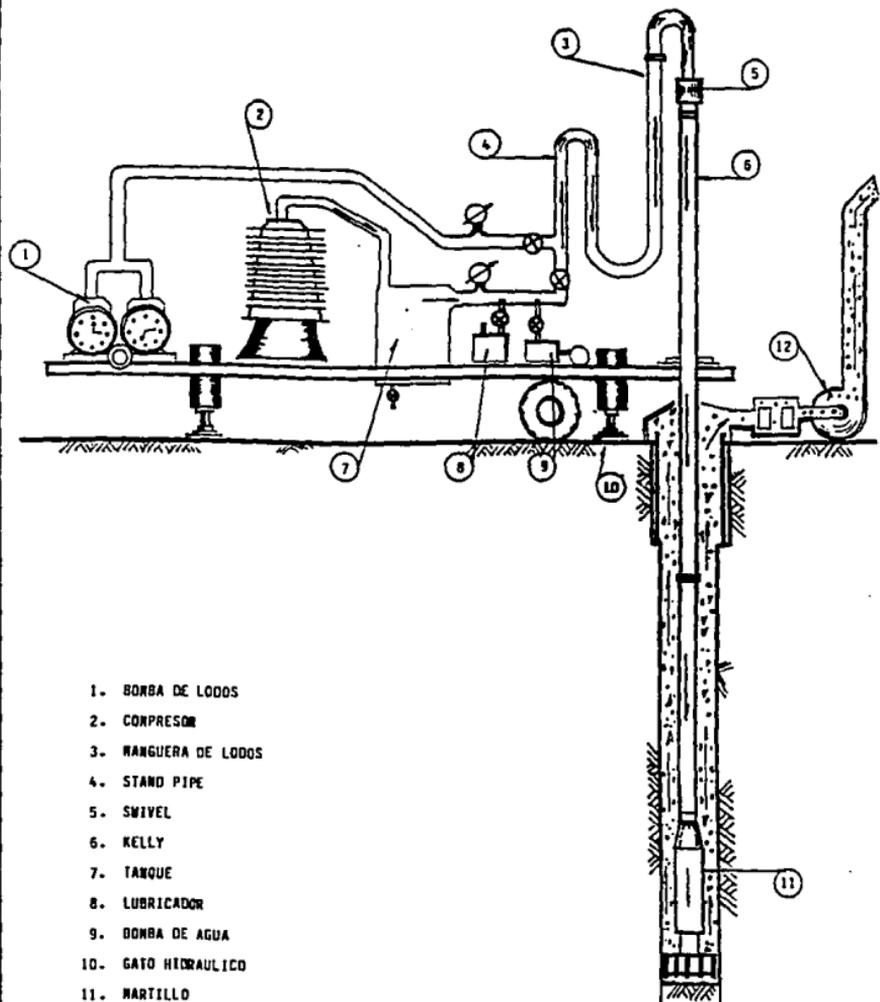
Principales componentes:

En general, son los mismos que los del equipo rotatorio más los siguientes:

- a) Un martillo neumático con incrustaciones de carburo de tungsteno.
- b) Un compresor para inyectar aire.
- c) Una bomba que inyecta un espumante, el cual lubrica, enfría el martillo y levanta el recorte producido.

(Fig.IV.11).

EQUIPO ROTATORIO NEUMATICO



1. BORBA DE LODOS
2. COMPRESOR
3. MANGUERA DE LODOS
4. STAND PIPE
5. SWIVEL
6. KELLY
7. TANQUE
8. LUBRICADOR
9. BOMBA DE AGUA
10. GATO HIDRAULICO
11. MARTILLO
12. COLECTOR DE POLVOS

Fig. IV. 11

CAPITULO V

**PERFORACION DE POZOS DE
EXPLORACION, OBSERVACION Y BOMBEO**

V.1. Perforación de Pozos.

Se entiende por perforación de pozos, al conjunto de trabajos y operaciones que se llevan a cabo, para alumbrar o explotar aguas subterráneas por medio de máquinas y herramientas.

A continuación se definen los 3 tipos de pozos perforados en el área de estudio, para posteriormente hacer una descripción breve de ellos.

- a) Exploración.
- b) Bombeo.
- c) Observación.

V.2. Pozos Exploratorios.

Son los trabajos de perforación que se inician con barrenas que van desde 2 7/8" (7.30 cm) hasta 12 ¼" (31.12 cm) a fin de determinar litología, niveles de agua, etc., pudiendo en este caso cuando es necesario cortar núcleos en los cambios de formación.

Durante estos trabajos se lleva a cabo lo que se conoce como muestreo, además de las " corridas " de los registros geofísicos lo que nos será de gran ayuda para una buena toma de decisiones en la terminación del pozo.

V.2.1. Recuperación de Muestras.

Muestreo.- Se obtienen muestras por duplicado de los materiales que se van atravesando en el curso de la perforación, las cuales deben tomarse cada 2 (dos) metros de profundidad y

otras adicionales cuando se presente cambio de formación o columna litológica. Las muestras recuperadas deben ser empacadas en frascos de vidrio con una capacidad aproximada de 250 cm³ o en bolsas de polietileno perforadas, clasificándolas y etiquetándolas cuidadosamente de acuerdo a su orden de extracción, profundidad correspondiente y demás datos adicionales que faciliten su identificación, como nombre del pozo, municipio, entidad, etc.

Las muestras junto con los informes diarios de los trabajos de perforación en los que se consignan todos los datos necesarios para reconstruir el corte litológico atravesado deben ser entregados al ingeniero responsable del pozo, lo cual sirve de base para el diseño definitivo del pozo.

La toma de muestras durante la perforación se realiza de acuerdo al tipo de equipo que se esta empleando; de esta manera las muestras se recuperan de la siguiente forma:

- a) Cuando el equipo empleado sea rotatorio de circulación directa o inversa, las muestras representativas de la formación deben tomarse en la boca del pozo de la siguiente manera: Al llegar a la profundidad programada, se suspende la perforación y se circula el tiempo necesario para retirar los recortes de las formaciones cortadas y que al no haber sido desalojados se encuentran en suspensión, lo que se obtendrá cuando el lodo descargado en la superficie esté limpio. Se continúa la perforación y se toma la muestra.

- b) Si el equipo de perforación es del tipo neumático con tubería normal o doble, las muestras se toman, como se indica a continuación: Una vez que se llega a la profundidad deseada se suspende la perforación y se inyecta el fluido de perforación el tiempo que sea necesario para desalojar el material cortado que se encuentra en suspensión, lo que se logra cuando el fluido descargado en la superficie aparezca exento de recortes. Se prosigue la perforación y se toma la muestra. 7

V.2.2. Registros Geofísicos.

Los registros geofísicos de pozos representan en la actualidad, un método seguro y económico para la obtención de datos del subsuelo, al efectuar perforaciones de pozos que tengan como objetivo la localización de hidrocarburos, agua subterránea o minerales.

Registro.- Es la representación gráfica de las características físicas de la roca (conductividad, resistividad, dureza, etc.) contra la profundidad.

En la iniciación del uso de registros geofísicos tales como el de resistividad, radioactivo, acústico, de temperatura, etc. Con fines de empleo en la industria petrolera, fue durante su desarrollo que se observó la utilidad de estos en otras áreas como la prospección minera e hidrológica, constituyéndose así, la interpretación de registros en toda una técnica con variadísimas

aplicaciones. En nuestro caso, la utilidad que se obtendrá de los registros, está enfocada a la prospección de agua subterránea.

Naturalmente que las herramientas utilizadas en la prospección de pozos para agua, no necesitan ser tan sofisticadas como las utilizadas en los pozos petroleros, ya que los análisis cuantitativos elaborados en los registros de prospección hidrológica, no van más allá de considerar la porosidad, espesor del acuífero, grado de salinidad del agua y cualitativamente su permeabilidad.¹⁰

Con el objeto de lograr el aprovechamiento adecuado de los registros tomados en la perforación de pozos para agua se describirán los más comunes:

V.2.3. Registro Eléctrico.

La función principal del registro eléctrico en la localización de cuerpos con agua subterránea, es poder determinar el espesor de los diferentes materiales que forman la columna litológica por atravesar durante la perforación, facilitar las correlaciones y estimar el carácter químico del fluido intersticial.

El registro eléctrico está constituido por una curva de potencial natural (SP) en el carril izquierdo y tres curvas de resistividad en los carriles de la parte derecha. Tanto el potencial natural como las resistividades, son registradas simultáneamente en una sola "corrida" o viaje de la sonda que se hace siempre desde el fondo del pozo a la superficie. Las

mediciones de los parámetros mencionados, sólo pueden efectuarse en los pozos que no tienen ademe o tubería de revestimiento y que estén llenos de un fluido conductivo.

El procedimiento para obtener el registro eléctrico, consiste en bajar un sistema de electrodos sobre un cable multiconductor aislado hasta el fondo del pozo y al subirlo a la superficie registrarlo de acuerdo a la profundidad, las lecturas correspondientes a los parámetros medidos sobre un papel con las escalas correspondientes.

- 1) **Curva de Potencial Espontáneo.-** La curva de potencial espontáneo en el registro de los potenciales naturales que se generan en el pozo, siendo la representación de las diferencias de potencial que existe entre un electrodo con potencial fijo colocado en la superficie y otro que se introduce al pozo.

Las variaciones de las curvas reflejan las diferencias de potencial entre dos puntos dentro del agujero frente a rocas porosas y puntos frente a cuerpos arcillosos. Cuando las rocas atravesadas están constituidas por capas de arcilla o lutita, se observa que tienen aproximadamente el mismo potencial, lo cual provoca que en la curva de potencial espontáneo aparezca casi una línea recta vertical, llamada "línea base lutitas".

En capas de suficiente espesor y permeables tiende a alcanzar una desviación definiendo una línea de arenas. La desviación puede ser hacia la izquierda (negativa) o hacia la derecha (positiva) dependiendo de las salinidades relativas del

agua de formación con respecto al filtrado de lodo. La interpretación de la posición de la línea de arcillas en el registro es de gran utilidad.

El potencial natural (SP), no se puede registrar en pozos llenos de lodo no conductivos porque tales lodos no forman una conexión eléctrica entre el electrodo del SP y la formación además si las resistividades del filtrado de lodo y el agua de formación son del mismo valor, las desviaciones del SP, serán pequeñas y la curva será achatada sin variaciones apreciables. En general la curva de potencial espontáneo permite obtener la siguiente información:

- a) Detectar capas permeables.
- b) Ubicar sus límites y permitir la correlación entre capas.
- c) Determinar en forma aproximada la resistividad o bien la salinidad del agua contenida en la roca.
- d) Dar valores cualitativos del contenido arcilloso de una capa.

La unidad de medida para esta curva es el milivolt y no tiene cero absoluto, por tal motivo se utiliza en la línea base de arcillas para su contabilidad.

Experimentalmente se ha logrado demostrar que las principales fuentes de potencial que originan la curva del SP son las siguientes:

- 1) Potencial de difusión.
- 2) Potencial de membrana.
- 3) Potencial de electrofiltración.

Los dos primeros son resultados de fenómenos electroquímicos y responsables principales de la curva del SP, por lo que sumando sus efectos, se les conoce como potencial electroquímico.

De acuerdo al principio electroquímico que genera los potenciales dentro del pozo, se puede considerar como una regla; si la curva del potencial es negativa, el agua contenida en la roca es más salada que la del lodo de perforación; en cambio si es positiva, el agua intersticial es menos salada o dulce que la del lodo y si no existe expresión en uno u otro sentido, el agua intersticial es muy semejante a la del lodo de perforación.

(Fig.V.1).

- 2) **Efecto de la porosidad.**- El potencial electroquímico no es influenciado por la porosidad, pero la amplitud de la curva del SP es indirectamente afectada por los cambios de porosidad, una disminución en la porosidad de la roca, incrementa su resistividad reduciendo la amplitud de la curva del SP.
- 3) **Curvas de resistividad.**- Las curvas normal corta, normal larga y lateral, se miden en unidades de resistividad, es decir ohm/m, contandose de la línea izquierda como cero y creciendo hacia la derecha, en escalas que pueden ser de:
0 - 20; 0 - 50; 0 - 200; 0 - 2000 Ω/m

POTENCIAL ELECTROQUIMICO

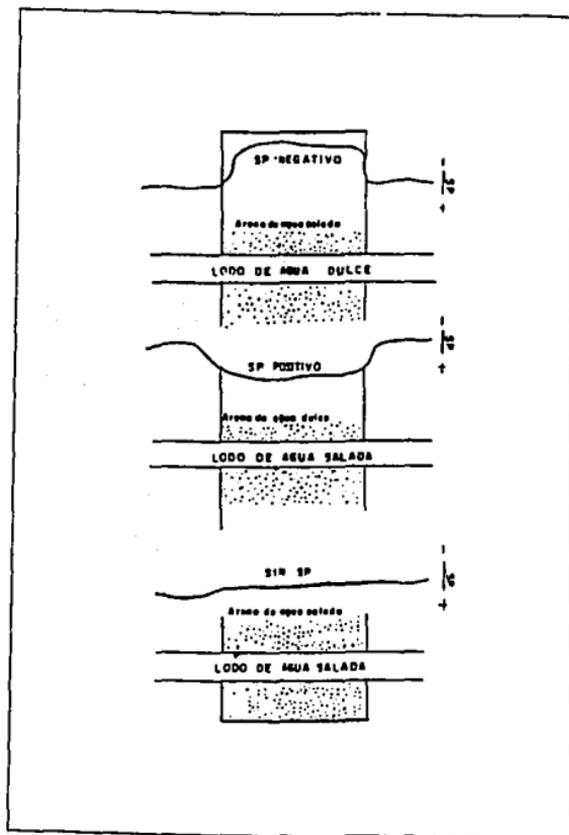


Fig. V.1

La generación de estas curvas se hace por medio de arreglo de electrodos con diferente espaciamiento entre el electrodo de corriente y los de medida.

La curva normal corta se obtiene con un arreglo de electrodos espaciados a 0.40 m.

La curva normal larga se obtiene con un arreglo de electrodos espaciados a 1.6 m.

La curva lateral se obtiene con un arreglo de electrodos espaciados a 5.7 m.

El objetivo de contar con estas tres curvas de resistividad es que cada una de ellas investiga horizontalmente a diferentes profundidades, obteniéndose información con las tres curvas en distancias que van de 0.40 m - 0.70 m alrededor del pozo, lográndose así la interpretación cualitativa de los distintos tipos de fluidos que pueden alojarse alrededor un pozo. (Fig.V.2).

Para el propósito de interpretación de registros en pozos de agua, se ha determinado la conveniencia de clasificar las formaciones en los siguientes grupos:

- 1) Acuíferos granulares limpios.- Este grupo comprende gravas, arenas, areniscas y rocas carbonatadas que tengan porosidad granular, el aluvión podría agregarse a este grupo, si sus partículas no están compuestas de minerales arcillosos.
- 2) Acuíferos granulares arcillosos.- Incluye cualquier acuífero granular que esté compuesto en parte por

REGISTRO ELECTRICO

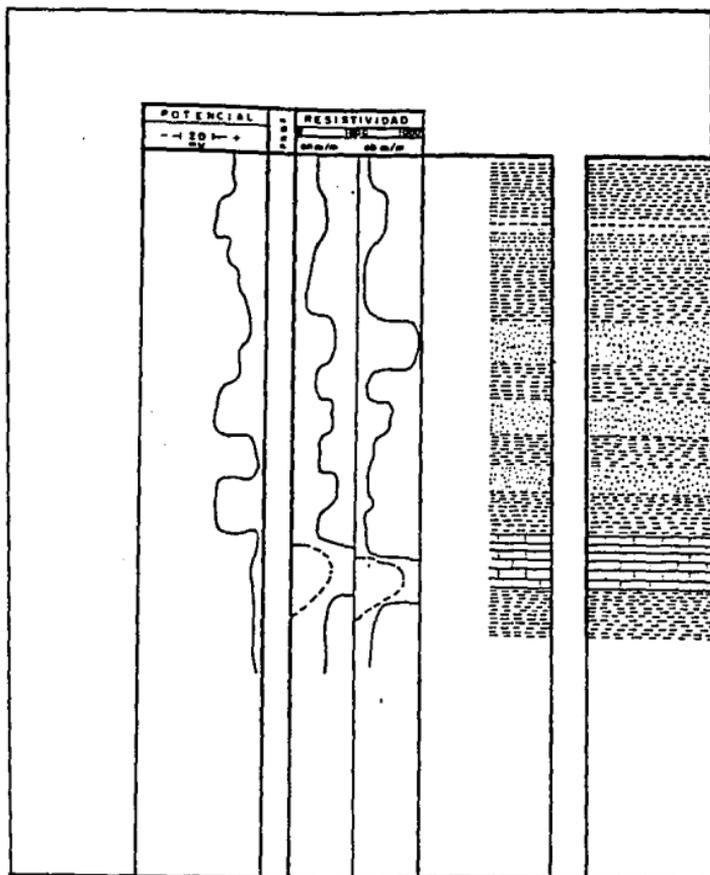


Fig. V.2

granos formados por minerales arcillosos o que contengan material arcilloso dentro de sus espacios porosos.

- 3) Acuíferos fracturados.- Representados por rocas fracturadas o conjunto de ellas, teniendo escasa o ninguna porosidad de tipo granular
- 4) Acuíferos complejos.- Son aquellos en los que la porosidad es un tipo diferente de los especificados anteriormente, por ejemplo, carbonatos que tienen porosidad granular y por fracturamiento, lava y rocas cavernosas.
- 5) Formaciones densas.- Rocas que tienen una porosidad efectiva tan baja, que normalmente no se puede obtener agua de ellas. A parte de algunas rocas carbonatadas, se incluyen anhidrita, yeso, sal, así como muchas clases de rocas ígneas y metamórficas.

Además del empleo del registro eléctrico, ocasionalmente se utilizan los registros de:

- Calibración.
- Temperatura.
- Radioactivo.

Es conveniente mencionar que generalmente se hace uso únicamente del registro eléctrico en pozos someros (máximo 500 m.) pero en pozos de profundidades mayores es conveniente el uso de los registros anotados y aún de otros más como el "sónico de porosidad" o el de "densidad de formación compensado".¹⁰

V.2.4. Registro de Calibración.

Su información es muy importante para conocer las características del diámetro del agujero, condiciones de la pared, zonas permeables (por disminución del diámetro del pozo) en los intervalos donde se desarrolla enjarre.

V.2.5. Registro de Temperatura.

Indica en los cambios de gradiente geotérmico zonas de entrada de agua o de pérdida de lodo.

Se presenta en un sólo carril y su escala puede ser en grados Fahrenheit o Celcius la cual crece de izquierda a derecha.

Los quiebres de temperatura o cambios bruscos en ésta son provocados por entradas de agua al pozo, presencia de acuíferos o de zonas gasíferas.

V.2.6. Registro Radioactivo (Rayos gamma-neutrón).

Presenta dos curvas, una en el carril izquierdo, rayos gamma y otra en el carril derecho, neutrón. Ambas curvas en unidades API, sin, embargo, miden cosas diferentes y se obtienen separadamente.

La curva de rayos gamma, mide la radioactividad natural de las rocas provocada por los minerales de uranio o potasio, diseminados en las formaciones atravesadas. Esta radioactividad se mide mediante un instrumento que se desplaza lentamente y que alberga un detector de rayos gamma, que habitualmente es un "centímetro", en el cual los rayos gamma que alcanzan el contador se detectan a partir del pequeño destello luminoso que

provocan sobre un cristal delgado, el destello intercepta un fotomultiplicador que transmite una corriente eléctrica a un aparato de registro situado en la superficie del suelo.

La curva de neutrón, presentada en el carril derecho, se genera sometiendo a las rocas a un bombardeo de neutrones los cuales reaccionan en la presencia de hidrógeno por ser ambos del mismo peso atómico. El contador debe estar convenientemente resguardado de la fuente a fin de que la mayoría de los neutrones o rayos gamma que lleguen a él provengan del medio.

Mediante la interpretación de esta curva se lleva a cabo la cuantificación de la porosidad en función del índice de hidrógeno presente en la roca.¹⁰

V.3. Factor de Formación y Porosidad.

Se ha establecido experimentalmente que la resistividad de una formación limpia (contenido mínimo de arcilla) es proporcional a la resistividad de la solución salina, con que está saturada. La constante de proporcionalidad es llamada factor de formación (F).

Así: Si R_o es la resistividad de una formación no arcillosa, saturada totalmente con una solución salina de resistividad R_w .

De aquí obtenemos :

$$F = R_o/R_w$$

Para la formación dada la R_o permanece constante para todos los valores de R_w , es verdadera para la amplitud normal de las resistividades del agua de formación.

Porosidad.- Se define como el volumen total de espacios vacíos o huecos que tiene un volumen bruto de roca, generalmente es representada con ϕ .

El factor de formación es una función de la porosidad, de la estructura poral y de la distribución de los poros por su tamaño.

Para el cual se propuso la siguiente fórmula:

$$F = a\phi^m$$

Donde m es el factor de cementación. La constante a se determina de forma empírica.

Fórmula de Humble

$$F = 0.81/2 \text{ es arena} \qquad F = 1/2 \text{ en formaciones compactas}$$

$$F = 1/\phi^2 \text{ tipo calizas} \qquad F = 1/\phi^{2.5} \text{ en rocas olicásticas}$$

$F = 0.62/\phi^{2.15}$ la fórmula de Humble es satisfactoria para rocas de porosidad intergranular de tipo arenísticas.

En algunos casos de rocas "olicásticas" m puede llegar a valer 3.

V.3.1. Descripción de Actividades Realizadas en Dos Pozos de Exploración.

A continuación se describen dos pozos de exploración perforados en la zona de interés; únicamente se describirán dos

pozos de cada tipo ya que sería poco práctico mencionar todos los pozos perforados durante el desarrollo del proyecto.

1) Pozo Héroes de Nacozari N°3.

Este pozo se encuentra situado al sureste del poblado Guadalupe Victoria, Mpio. de Cozumel, a 11 km de distancia, la perforación del pozo tuvo por objeto explorar la estratigrafía del subsuelo, así como la determinación de las características petrofísicas del mismo.

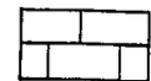
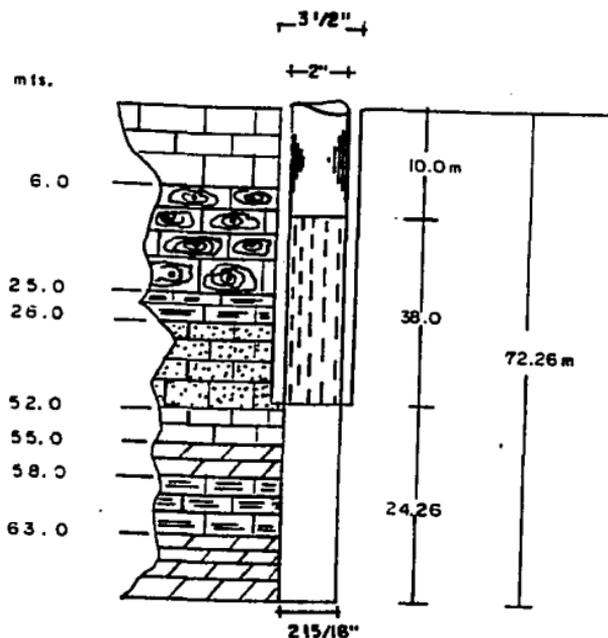
La perforación se inició con barrena triconica de 3½" (8.89 cm) de diámetro, alcanzando en su etapa inicial una profundidad de 48 m. Posteriormente se continuó perforando con un diámetro de 2 15/16" (7.46 cm) hasta la profundidad total de 72.26 m. Durante todo el proceso de perforación se tomaron muestras cada 2 (dos) metros.

Sus características de terminación son las siguientes:

- Se colocó tubería de ademe de 2" (5.08 cm) de diámetro tipo lisa de 0 a 10 m.
- De 10 a 48 m se ademó con tubería de 2" tipo ranurada, el nivel estático se detectó a los 9.76 m (Fig.V.3).

2) Pozo Tres Reyes N°2.

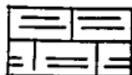
El pozo Tres Reyes N°2, se localiza al lado oeste de la zona de interés, a una distancia aproximadamente de 4.5 km del poblado Nuevo Durango, Mpio. de Lázaro Cárdenas.



CALIZA COMPACTA



CALIZA CON CAVIDADES DE DISOLUCION Y FOSILES MARINOS



CALIZA ARCILLOSA



CALCARENITA



DOLOMIA

Fig. V.3 POZO HEROES DE NACOZARI N° 3

La perforación tuvo por objeto alcanzar las calizas acuíferas de la región para llevar a cabo la determinación de las características petrofísicas de las mismas.

Una vez realizadas las operaciones necesarias para la instalación del equipo de perforación, como son excavación de fosas, canales para circulación de lodo bentonítico, instalación del conductor correspondiente, nivelación del equipo, etc. Se procedió a iniciar la perforación exploratoria, utilizando para ella barrena de 3½" (8.89 cm) de diámetro, llegando a la profundidad de 63 m. Tomándose las muestras correspondientes con barril muestreador.

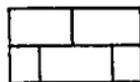
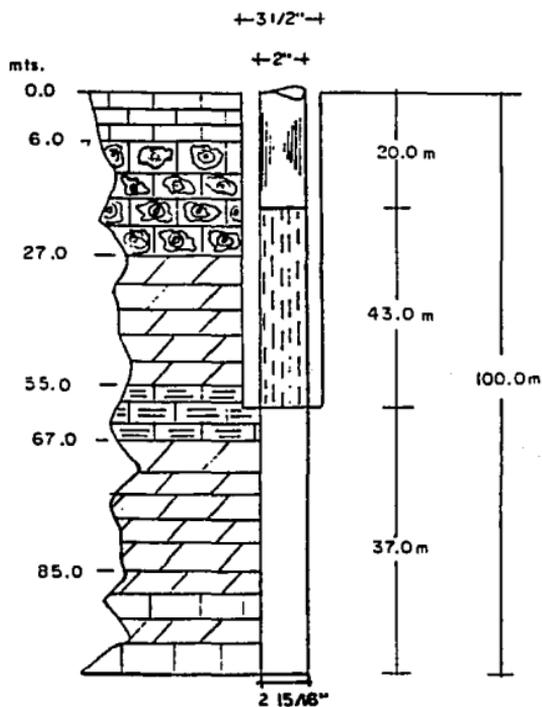
Se continuó perforando, ahora con diámetro de 2 15/16" (7.46 cm) hasta la profundidad programada, es decir a los 100 m. El nivel estático fue localizado a 19.52 m.

Durante la perforación se atravesaron formaciones calizas con intercalaciones de dolomías. Se presentaron algunos problemas como el atrapamiento de una parte de la sarta de perforación a la profundidad de 75 m. Posteriormente se tuvieron problemas de pesca, cuando se trató de recuperar el barril muestreador, que había quedado en el pozo debido a fallas mecánicas.

Las características constructivas y el corte litológico generalizado pueden observarse en la figura V.4.

Finalmente el pozo quedó terminado con las siguientes características:

- Se además de 0 a 20 m con tubería tipo PVC lisa de 2" (5.08 cm)



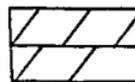
CALIZA COMPACTA



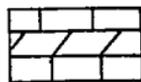
CALIZA CON CAVIDADES DE DISOLUCION Y FOSILES MARINOS



CALIZA ARCILLOSA



DOLOMIA



CALIZA DOLOMITICA ZADA.

Fig. V.4 POZO TRES REYES. N° 2

--- Se continuó ademandando el pozo, de 20 a 63 m con tubería PVC ranurada del mismo diámetro que la anterior.

De esta forma se indica la manera en que quedaron concluidos dos pozos exploratorios realizados en el corredor turístico de Tulum a Cancún.

V.4. Pozos de Bombeo.

Son considerados como pozos de bombeo aquellos que se emplean para el alumbramiento o extracción de agua subterránea, la cual podrá ser empleada como agua de riego, abrevadero, industrial o para el abastecimiento de agua potable, dependiendo de la calidad de la misma.

Conocidas las características hidráulicas del acuífero, es posible predecir los abatimientos que se provocarían bajo ciertas condiciones de bombeo. Así, por ejemplo; si se trata del diseño de un pozo, pueden calcularse los abatimientos que se van a provocar en el propio pozo por la extracción del caudal requerido, así mismo es posible conocer de antemano los abatimientos que se van a provocar en captaciones cercanas a la considerada.

Específicamente, en un acuífero costero el problema puede ser la definición de un régimen de bombeo de uno o varios pozos, tal que los niveles freáticos o piezométricos no desciendan abajo de un nivel crítico, impuesto por el riesgo de contaminación salina.

Generalmente, un buen corte geológico derivado de la clasificación de las muestras de los materiales durante la

perforación, proporciona una idea del tipo de sistema de que se trata. De la correlación de la litología de los materiales con los rangos de permeabilidad correspondientes, puede deducirse la transmisividad del acuífero; lógicamente, el valor así obtenido es sólo aproximado, ya que durante la perforación y el muestreo se alteran las condiciones que tiene el material in situ, especialmente por lo que se refiere al acomodo y grado de compactación, factores que tienen gran influencia en la permeabilidad.

Sin embargo, la transmisividad deducida en esta forma es prácticamente puntual, por lo que es necesario, efectuar una prueba de bombeo que dé una idea del tipo de sistema, y proporcione valores de las características hidráulicas del acuífero en el área de influencia de bombeo.

La prueba consiste en observar los efectos provocados en la superficie freática de un acuífero por la extracción de un caudal conocido. Los efectos (abatimientos) son registrados en el pozo de bombeo y en los llamados pozos de observación.

Para poder llevar a cabo la elección del lugar más adecuado para realizar la prueba de bombeo, deben considerarse los aspectos siguientes:

- Que el equipo de bombeo se encuentre en condiciones apropiadas para sostener un caudal constante durante la prueba.
- Que la profundidad al nivel del agua sea fácilmente medible.

- Que el caudal de extracción pueda ser fácilmente aforado.
- Que el agua bombeada no se infiltre hasta el acuífero en las proximidades del pozo.
- Que las características constructivas y el corte geológico del pozo sean conocidos y que los pozos próximos no operen durante la prueba.

Dado que no es fácil que se cumplan simultáneamente todos estos requerimientos, en cada caso deberá considerarse un criterio, para ver si el incumplimiento de uno o varios de ellos obstaculizan significativamente, el desarrollo y la interpretación de la prueba.

V.4.1. Desarrollo de un Pozo.

Se entiende por desarrollo de un pozo al conjunto de operaciones que tienen que efectuarse para que utilizando una bomba, generalmente de tipo turbina de pozo accionada por cualquier fuente de energía motriz proceda al bombeo del pozo, partiendo del caudal mínimo que permita el estado del pozo, y el cual se debe ir incrementando en la medida que vayan disminuyendo los sólidos en suspensión en el agua bombeada, hasta lograr el caudal máximo que permita la potencialidad y capacidad de los acuíferos a explotar, el cual se debe bombear libre de sólidos en suspensión.

V.4.2. Aforo.

Son las maniobras realizadas para llevar a cabo las mediciones correspondientes del caudal a diferentes revoluciones y niveles de bombeo.

Para conocer el comportamiento hidráulico del acuífero y la variación de la salinidad del agua tanto en la descarga del pozo como en el acuífero, provocada por el bombeo. se realizaron los aforos de los pozos: Punta Nizuc, Central Vallarta, Km.- 10, Santo Domingo, Coba y Akumal, así como el cenote Chemuyil.

V.4.3. Aforo en Dos Pozos de Bombeo.

El aforo se realizó en presencia del responsable del pozo, y con las lecturas tomadas durante la prueba se procedió a construir sobre un sistema de ejes cartesianos la gráfica al aforo con el objeto de determinar las características hidráulicas del pozo, así como las relaciones gasto - abatimiento.

A continuación se indican algunas lecturas del aforo realizado en dos pozos del área en estudio. no se incluyen las lecturas de toda la prueba por ser poco práctico.

1) Pozo Coba N°3.

Al pozo Coba N°3 se le realizó el aforo, tomándose lecturas de los siguientes parámetros: r.p.m., altura piezométrica, caudal y profundidad del nivel del agua, entre otros. La prueba tuvo una duración de 3 días de los cuales se

obtuvieron 48 horas efectivas de bombeo. En la tabla que a continuación se muestra se indican algunas de las lecturas obtenidas.

Fecha	Hora	R.P.M. Bomba	Alt. piezométrica (cm)	Caudal (lps)	Prof. N. Agua (m)
4/03/92	18:00	1800	79	45.0	4.7
	19:00	1800	79	45.0	4.7
	20:00	1800	79	45.0	4.7
	21:00	1800	79	45.0	4.7
	22:00	1800	79	45.0	4.7
	23:00	1800	79	45.0	4.7
	24:00	1800	79	45.0	4.7
5/03/92	1:00	1800	79	45.0	4.7
	7:00	2000	103	51.4	4.7
	8:00	2000	103	51.4	4.7
	19:00	2200	129	57.5	4.7
	20:00	2200	129	57.5	4.7
6/03/92	9:00	2400	155	62.0	4.7
	10:00	2400	155	62.0	4.7
	11:00	2400	155	62.0	4.7

De las lecturas obtenidas se puede concluir que el caudal fue aumentando de manera paulatina conforme se incrementaban las r.p.m. de la bomba, además puede observarse que la profundidad del nivel del agua no sufrió abatimiento alguno durante toda la

prueba de aforo. El diámetro de la tubería de succión y de descarga empleada fue de 6", y los tazones que se utilizaron de 7" de diámetro.

2) Pozo Santo Domingo N°1.

Durante la prueba de aforo realizada a este pozo se empleo tubería de 6" de diámetro para la tubería de succión así como en la de descarga, con tazones de 6 ½" de diámetro. El tiempo de aforo fue programado a 48 horas en 4 etapas de 12 horas cada una. La siguiente tabla muestra algunas de las lecturas tomadas en estas etapas.

Fecha	Hora	R.P.M. Alt. piezométrica		Caudal (lps)	Prof.N.Agua (m)
		Bomba	(cm)		
2/03/92	1:00	1800	78	43.92	8.85
	4:00	1800	78	43.92	8.85
	10:00	1800	78	43.92	8.85
3/03/92	1:00	2000	94	48.21	8.95
	6:00	2000	94	48.21	8.95
	7:00	2000	94	48.21	8.95
	12:00	2000	94	48.21	8.95
4/03/92	1:00	2200	109	51.92	9.00
	8:00	2200	109	51.92	9.00
	12:00	2200	109	51.92	9.00
5/03/92	1:00	2300	127	56.09	9.03
	5:00	2300	127	56.09	9.03
	7:00	2300	127	56.09	9.03
	12:00	2300	127	56.09	9.03

En los resultados obtenidos se puede observar que la profundidad del nivel del agua varía en cada una de las etapas, al incrementarse las r.p.m. manteniéndose constante en cada una de ellas. El abatimiento sufrido en dichas etapas no fue considerable, al igual que el caudal obtenido.

V.5. Pozos de Observación.

Los pozos que son utilizados para realizar mediciones pertinentes de las variaciones del nivel estático y calidad del agua, son denominados pozos de observación.

Para la interpretación completa de una prueba de bombeo es recomendable contar con uno o varios pozos de observación dispuestos a diferentes distancias del pozo de bombeo.

De gran importancia es la adecuada ubicación de los pozos de observación con respecto al de bombeo. En términos generales, el emplazamiento de los pozos de observación a distancias entre 30 y 100 m. del pozo de bombeo, es adecuado en la mayoría de los casos; aunque para una ubicación más cuidadosa deben contemplarse los aspectos siguientes: El tipo y la transmisividad del acuífero, el caudal de descarga, la ubicación y longitud del cedazo del pozo de bombeo.

Cuando se tenga alta transmisividad en un acuífero, los pozos de observación deben situarse más alejados del pozo de bombeo; contrariamente cuando la transmisividad de un acuífero es baja el pozo de observación deberá perforarse lo más próximo posible al pozo de bombeo.

Tan importante como su ubicación con respecto al pozo de bombeo, es la adecuada profundidad de los pozos de observación. Naturalmente, debe cuidarse que estos capturen el mismo acuífero que está siendo bombeado. Cuando el pozo capta la mayor parte del espesor del acuífero, y éste es homogéneo, no es necesario que los pozos de observación penetren totalmente al acuífero.

Obviamente, el empleo de pozos de observación enfrenta una gran dificultad: Su perforación en la mayoría de los casos no es viable por limitaciones económicas. Por otra parte, al respecto, cabe aclarar que el costo de tales pozos no es muy significativo, ya que su diámetro puede ser muy reducido y, por lo general, no se requiere que penetren totalmente al acuífero; por otra parte, el mejor conocimiento del tipo de sistema y de sus características hidráulicas, que se logra obtener con la disposición de ellos, es invaluable en el estudio de diversos problemas de agua subterránea. 3

V.5.1. Comportamiento y Variación de Calidad del Agua en Dos Pozos de Observación durante el Aforo.

A continuación se hace un breve resumen del comportamiento hidráulico y de la variación de calidad del agua que se presentó en dos pozos de observación durante la prueba de aforo realizada en los pozos de bombeo del mismo nombre.

1) Pozo Coba N°4.

Este pozo fue perforado a 1.5 m de distancia del pozo de bombeo Coba N°3, esta distancia fue determinada de acuerdo a la transmisividad del acuífero como la más conveniente para obtener resultados confiables en relación al comportamiento hidráulico del pozo, así como de la variación de la calidad del agua.

Se tomaron muestras de agua cada 5 m hasta llegar a los 50 m de profundidad. A las cuales se les realizó un análisis físico-químico para determinar la variación de calidad, obteniéndoles los siguientes resultados:

Prof. (m)	pH.	Conduct. eléct. (micromhos/cm)	Sólidos disuelt. (ppm)	Clasif. x Salinid. y Sodio.
5	7.3	600	527	C2 - S1
10	7.2	700	600	C2 - S1
15	7.3	603	560	C2 - S1
20	7.2	700	659	C2 - S1
25	7.3	650	642	C2 - S1
30	7.3	1500	1108	C3 - S2
35	7.3	750	735	C3 - S1
40	7.3	750	720	C3 - S1
45	7.3	1000	935	C3 - S2
50	7.3	1000	997	C3 - S1
55	7.3	1500	1151	C3 - S1

Las lecturas mostradas en la tabla anterior son de algunos de los parámetros considerados, y de igual forma que en los pozos de bombeo no se indican todos los parámetros medidos ya que sería poco práctico.

De los valores obtenidos podemos concluir que se tiene un cambio notable en la variación de la calidad del agua. De los mismos resultados se puede observar la existencia de tres capas de agua, encontrándose la primera de éstas a la profundidad de 25 m., siendo de agua dulce, la siguiente capa de agua determinada, es una mezcla de agua dulce y salada, detectada a los 30 m, la última capa de agua que se localizó fue la de agua salada (marina). Por otro lado durante la prueba de aforo realizado al Pozo Coba N°3, se tuvo un abatimiento de 0.05 m, en el pozo de observación, por lo que debido a este abatimiento se presentó el efecto de Ghyben-Herzberg en la capa de agua salada. La altura que alcanzó el efecto antes mencionado fue determinada de acuerdo el principio empleado por estos investigadores con el que llegaron a determinar la expresión para calcular dicha altura:

$$h = t / g - 1$$

Donde h = Altura del agua dulce bajo el nivel del mar.

t = Altura del agua dulce sobre el nivel del mar.

g = Densidad del agua del mar que varía de 1.024 a 1.026.

Por lo que se determinó que el efecto de Ghyben-Herzberg en este pozo alcanzó una altura de dos metros. La clasificación de

agua indicada en la tabla anterior fue hecha de acuerdo a Thomas y Paterson, de la que se concluye que el agua dulce tiene un bajo contenido de sodio.

Por otra parte cabe aclarar que la distancia de 1.5 m elegida para perforar los pozos de observación, se debieron entre otros factores, a que el acuífero secundario descubierto es de gran potencial y que por lo tanto si éstos pozos eran perforados a mayor distancia de los pozos de bombeo no se obtendrían cambios significativos en las lecturas que nos mostrarán el comportamiento del pozo.

2) Pozo Santo Domingo N°2.

El pozo Santo Domingo N°2 se perforó a 1.5 m de distancia del pozo de bombeo Santo Domingo N°1. Al finalizar la perforación del pozo se tomaron muestras de agua para su análisis físico - químico, del cual se indican algunos resultados.

Prof. (m)	pH	Conduct. elét. (micromhos/cm)	Sólidos disuelt. (ppm)	Clasif.x salinid. y sodio.
10	7.2	600	281	C2 - S1
12	7.2	600	281	C2 - S1
14	7.2	650	338	C2 - S1
16	7.2	600	338	C2 - S1
18	7.2	650	321	C2 - S1
20	7.2	800	321	C3 - S1

22	7.2	700	295	C2 - S1
..
..
58	7.2	4000	3247	C4 - S4
60	7.2	3500	3247	C4 - S4
62	7.2	3300	2476	C4 - S3
64	7.2	15000	12457	fuera de rango

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que en este pozo al igual que en Pozo Coba N°4 se tiene tres capas de agua, siendo en este caso más fácil diferenciarlas; y que el agua inicial que se obtiene es de salinidad moderada y bajo contenido de sólidos, existiendo una gran variación en la calidad de ésta, con respecto a las últimas muestras tomadas, para las cuales se obtuvo agua con alta concentración tanto de sal como de sodio; con respecto al abatimiento del nivel estático, puede decirse que fue considerable ya que bajó de 8.72 a 8.26 m durante todo el aforo. Por lo que nuevamente se presenta el efecto de Ghyben-Herzberg, alcanzando una altura de 18.4 m.

Como información complementaria de los pozos perforados durante el desarrollo del proyecto se anexa la tabla N°1.

TABLA N° 1

POZOS PERFORADOS POR LA C. N. A. Y EL FIDEICARIBE				
NOMBRE	MUNICIPIO	PROFUNDIDAD (M)	NIVEL ESTÁTICO (M)	TIPO
TRES REYES N° 1	LAZARO CARDENAS	50.00	19.52	BOMBEO
RANCHO VIEJO	COZUMEL	28.00	11.00	BOMBEO
CENTRAL VALLARTA N° 1	BENITO JUAREZ	30.00	4.00	BOMBEO
SANTO DOMINGO N° 1	LAZARO CARDENAS	52.00	8.26	BOMBEO
NUEVO Y-CAN	LAZARO CARDENAS	50.00	17.52	BOMBEO
TRES REYES N° 2	LAZARO CARDENAS	100.00	19.52	EXPLORACION
HERDES DE MACOZARI N° 2	COZUMEL	44.80	9.76	BOMBEO
SANTO DOMINGO N° 2	LAZARO CARDENAS	70.00	8.26	OBSERVACION
RANCHO VIEJO N° 2	COZUMEL	100.00	11.50	EXPLORACION
HERDES DE MACOZARI N° 3	COZUMEL	72.26	9.76	EXPLORACION
TRES REYES N° 3	LAZARO CARDENAS	82.00	19.52	OBSERVACION
COBA N° 3	COZUMEL	40.00	4.70	BOMBEO
AKUMAL N° 3	COZUMEL	23.00	10.25	BOMBEO
XEL-HA N° 3	COZUMEL	28.00	4.75	BOMBEO
CENTRAL VALLARTA N° 3	BENITO JUAREZ	50.00	4.20	OBSERVACION
RANCHO VIEJO N° 3	COZUMEL	50.00	11.50	OBSERVACION
SANTO DOMINGO N° 3	LAZARO CARDENAS	99.10	8.26	EXPLORACION
HERDES DE MACOZARI N° 4	COZUMEL	72.35	9.76	OBSERVACION
COBA N° 4	COZUMEL	70.00	4.65	OBSERVACION
AKUMAL N° 4	COZUMEL	44.00	10.25	OBSERVACION
CENTRAL VALLARTA N° 4	COZUMEL	71.10	4.00	EXPLORACION
PUERTO MORELOS N° 4	COZUMEL	100.00	5.20	EXPLORACION
XEL-HA N° 4	COZUMEL	97.20	4.85	EXPLORACION
XEL-HA N° 5	COZUMEL	30.00	4.85	OBSERVACION
COBA N° 5	COZUMEL	100.00	4.70	EXPLORACION

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

VI.1. Conclusiones.

Se emplearon dos métodos de perforación, siendo éstos el de circulación directa, el cual empleó como fluido de circulación lodo bentonítico. con barrena tricónica de insertos de carburo de tungsteno. El otro método fue el de sistema neumático, utilizando como fluido de circulación aire-agua y espumante, y barrena de botones.

Los fluidos de perforación empleados fueron controlados mediante un análisis cualitativo de campo, empleando para ello, instrumentos tales como el embudo Marsh y la balanza de lodos.

El lodo bentonítico empleado en la circulación directa o convencional, tuvo una viscosidad de 38 seg.(A.P.I) medida en el embudo Marsh.

La interfase salina pudo ser detectada a diferentes profundidades en tres pozos de observación: Pozo Tres Reyes N°3 a 82 m, Central Vallarta N°3 a 42 m, y en el Pozo Rancho Viejo N°3 a 45 m., gracias a los análisis químicos que se le practicaban al lodo bentonítico al salir a la superficie.

Se identificó la presencia de dos acuíferos. uno en sedimentos calcáreos del Cuaternario que por sus dimensiones

no representa interés y el segundo se aloja en las calizas del Terciario de la formación Carrillo Puerto, de carácter regional que representa interés como fuente para satisfacer demandas de agua potable.

El intenso fracturamiento que presentan las calizas propicia su carstificación, dando origen a amplios conductos de disolución en los que ocurre el movimiento del agua subterránea.

El agua subterránea presenta una notable estratificación, definiéndose en forma general la presencia de tres capas, una de agua dulce, otra de mezcla y la tercera de agua salada aunque en algunas partes solamente están presentes las dos últimas y en otras debajo de las tres capas se presenta otra capa de agua dulce.

La calidad del agua en la zona está sujeta a la influencia de la presencia del agua oceánica y de la posición de las cargas hidráulicas a lo largo del ciclo hidrológico.

El agua dulce tiene espesores que varían de 40 m en la zona de El Tintal a 0 m. en una franja contigua al litoral costero localizada entre Punta Maroma y Tulum.

El flujo subterráneo ocurre con dirección preferencial Sur-Norte del área, con desviaciones hacia el litoral costero a causas del fracturamiento y cavernosidad del medio.

El acuífero tiene una alta transmisividad o capacidad para conducir el agua y una baja capacidad de almacenamiento o regulación.

Por la reducida zona no saturada y la presencia de conductos de disolución desde la superficie del terreno presenta alta vulnerabilidad a la contaminación.

La descarga de aguas residuales al subsuelo está contaminando bacteriológicamente al acuífero en las áreas ocupadas por los núcleos de población, dando lugar a problemas de salud pública.

VI.2. Recomendaciones.

Emplear el método de sistema neumático, ya que en este tipo de formaciones se obtienen mayores rendimientos en los avances de perforación que con el método de circulación directa.

Vigilar regularmente las propiedades de los fluidos de perforación, ya que de éstas dependerá en gran medida que se tenga un avance eficiente en la perforación.

Continuar las exploraciones. estudio y programas constructivos encaminados a inyectar las aguas residuales al subsuelo debajo del acuífero dulce, a fin de reducir paulatinamente la contaminación de la fuente.

Promover la realización de un programa tendiente a construir y rehabilitar fosas sépticas, racionalmente diseñadas y construidas, con objeto de atenuar la carga contaminante aportada al acuífero.

Establecer un control más riguroso de las condiciones de descarga de aguas residuales.

Automatizar la operación de las baterías de pozos que abastecen los grandes desarrollos, instalando dispositivos de control acoplados a registradores de salinidad o de nivel del agua.

VI. J. Referencias

1. Aguayo C. J. E.
Araujo M. J.
Bello M. R. Estudio Sedimentológico en el área
Tulum-Cancún-Isla Mujeres, Estado
de Quintana Roo. Boletín de la
Sociedad Geologica Mexicana. Tomo
XLI, N°s 1 y 2. 1980.
2. Benítez Hernández M.
Garaicochea Petirena F.
Reyes Alvarez Ciro Apuntes de Fluidos de Perforación.
Facultad de Ingenieria. U.N.A.M.
1979.
3. Chávez Guillen Rubén Artículo de Hidráulica de Pozos.
4. Fideicaribe Estudio de Exploración Geohidroló-
gica e Hidrogeoquímica, en la
región costera del Estado de
Quintana Roo.
(zona Cancún - Tulum - Coba)
5. Ingersoll Rand Cia. Manual de operación del equipo
Ingersoll Rand.
6. Lara Trujillo Luis Método de Exploración por medio de
Pozos. Interpretación de Registros
en Pozos de Agua. 1974

7. Lara Vázquez C.A. Geología y Tecnología Empleada en la Construcción de Pozos en el Distrito de Riego del Río Colorado, México. 1972
8. Lesser I. Juan Manuel Estudio Geohidrológico e Hidrogeológico de la Península de Yucatán. Boletín de Divulgación Técnica N° 10. S. R. H. 1976
9. López Ramos E. Geología de México. Tomo III 2^{da} edición, CONACYT.
10. Martell Andrade B. Apuntes de Geología del Subsuelo y Registros Geofísicos de Exploración. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1975
11. Preston L. Moore Drilling Practices Manual.- The Petroleum Publishing Co. Tulsa. Okla. 1964.
12. Representaciones Especializadas S.A. (Represa). Manual de operación del equipo Walker Neer, tipo Con-cor.
13. Salvat Atlas de la República Mexicana.

14. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Sinopsis Geohidrologica del Estado de Quintana Roo.
15. Tamabra S. A. Catálogo de Fluidos de Perforación para Pozos de Agua.
16. Tapia García Carlos F. Problemas en la Perforación y Terminación de Pozos de Agua en el Valle de Xico. 1992
17. Varel Manufacturing Co. Catálogo de Barrenas para Diferentes Tipos de Formaciones.