



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PERFORACIONES EN EL NOROESTE DE LA
PENINSULA DE YUCATAN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A :

FRANCISCO VELAZQUEZ AYALA



CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F.

1996.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIRECCION
60-1-055

SR. FRANCISCO VELAZQUEZ AYALA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Luis Ernesto Marín Stillman, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

PERFORACIONES EN EL NOROESTE DE LA PENINSULA DE YUCATAN

- I INTRODUCCION
 - II GEOLOGIA DE LA PENINSULA DE YUCATAN
 - III METODOLOGIA
 - IV PERFORACION
 - V DISCUSION
 - VI CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA CITADA
ILUSTRACIONES

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 RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 21 de octubre de 1994
EL DIRECTOR


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS'EGLM'gtg

Con todo mi cariño y agradecimiento:

**A mi madre Irene Ayala: por su gran amor, apoyo y dedicación
que ha depositado en mí.**

**A mi padre Francisco Velázquez: por sus valiosos consejos, comprensión
y amor que me ha inculcado.**

**A mis hermanas: Sandy, Gaby y Claudia, por ser mis amigas, por su cariño y
y ternura.**

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería por permitirme haberme formado como universitario y ser humano, así como por los conocimientos que adquirí en esta larga e inolvidable estancia.

Al Dr. Luis Marín por su amistad y confianza; así como a Pedro Vera por haberme invitado a participar en este grandioso proyecto. Parte de este proyecto fue financiado a través de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (In106891; In107595) de la UNAM.

Al Instituto de Geofísica de la UNAM, por otorgarme las facilidades en inmobiliario, cursos y equipo que fueron de gran ayuda para llevar a cabo mi tesis. Así mismo a mis amigos y compañeros de este instituto por brindarme su amistad, ayuda y orientación: Jacobo Guinzberg, Eric Morales, Guadalupe Velázquez, Birgit Steinich, Elizabeth Prieto, Isabel Simón, Miryam, Alberto Trejo, Mercedes Morales, Lourdes Coteró, Lolita Ibañez, Lissette, y a últimas fechas Rene Morales, Juan Manuel Dzul, Alain, Eva Sánchez, Rodrigo y Rosa María.

A los Ingenieros Rolando de la Llata, Hector Macías, Emiliano Campos y Luis Arturo Tapia por aceptar gentilmente formar parte de mi jurado calificador.

A mis inolvidables cuates de la "Brigada Suicida": David Escobedo, Gerardo Galindo, Martín Martínez, Pedro Martínez y Roman Moreno, por los buenos y malos ratos vividos y por alientarme a no claudicar, principalmente en el Anexo de la Facultad de Ingeniería.

A mi Gaby: por su apoyo, amor y cariño incondicional.

Y a todos aquellos que desinteresadamente colaboraron en esta tesis: GRACIAS.

PERFORACIONES EN EL NOROESTE DE LA
PENINSULA DE YUCATAN

INDICE

	Página
RESUMEN	I
CAPITULO I INTRODUCCION	
Marco Geológico	1
Estudios Recientes	4
Metodología	7
Objetivos	7
CAPITULO II GEOLOGIA DE LA PENINSULA DE YUCATAN	
Introducción	8
Localización y Límites	8
Hidrografía	10
Fisiografía	10
Geología Superficial	12
Terciario	
Paleoceno o Eoceno inferior indiferenciado: Formación Icaiche	12
Eoceno Medio Superior: Formación Chichen-Itza	12
Eoceno Medio e Inferior del Norte de la Península de Yucatán	16
Oligoceno	16
Mioceno-Plioceno	16
Mioceno Superior (?): Formación Bacalar	16
Mioceno: Formación Estero Franco	17
Pleistoceno-Holoceno (Reciente)	17
Calizas de Moluscos	17
Geología del Subsuelo	17
Paleozóico	
Silúrico-Mississippi (Basamento)	18
Mesozóico	
Jurásico-Cretácico (Capas Rojas)	19
Cretácico	
Unidad Y-I	19
Unidad Y-M	21
Unidad Y-S	21
Terciario	
Paleoceno	23
Eoceno	23
Oligoceno	23
Mioceno-Plioceno	24
Plioceno-Pleistoceno	24
Geología Submarina Adyacente a la Península	24
Tectónica	25
Geología Histórica	26

CAPITULO III METODOLOGIA	
Ubicación y Localización de las Perforaciones	28
Aspectos Legales	29
Métodos de Perforación	30
Perforación a Percusión	31
Perforación a Rotación	31
Equipo de Perforación	35
Sistema Wire-Line	41
Instalación del Equipo de Perforación	44
Brigada de Perforación	45
Control y Supervisión de la Perforación	46
CAPITULO IV PERFORACION	
Pozo UNAM-5	50
Perfil Geotécnico	53
CAPITULO V DISCUSION	
Análisis del Pozo UNAM-5	58
Correlación Litológica de Pozos	65
CAPITULO VI CONCLUSIONES	
Conclusiones	68
Indice Bibliográfico	70
Anexo 1	73

RESUMEN

La exploración de la geología del subsuelo de la península de Yucatán se ha realizado utilizando los métodos geofísicos y de perforación, principalmente a través de PEMEX en la búsqueda de hidrocarburos. Se perforaron diez pozos que permitieron establecer una columna de rocas carbonatadas de más de 1,000 m de edad Cenozoica. A principios de los 80's Luis Alvarez propone que en el límite Cretáceo/Terciario existe una concentración anómala de iridio producto de un cuerpo extraterrestre que colisionó con la Tierra. En 1981 Glenn Penfield y Antonio Camargo proponen que en la península existe una estructura de impacto evidenciada por datos aeromagnéticos y gravimétricos. Investigadores del Instituto de Geofísica y del Lunar Planetary Institute de la NASA realizan estudios mineralógicos y de fechamiento radiométrico a partir de núcleos del Pozo Yucatán-6. Con el Apoyo de Servicios Corporativos Frisco S. A. de C. V., de marzo a julio de 1994 se realizan cinco perforaciones someras para explorar el cráter de Chicxulub. El equipo de perforación consistió de dos máquinas barrenadoras BBS-37 y BBS-45 de capacidad de perforación menor a 2,000 m con sistema de recuperación de núcleo continuo. En el Pozo UNAM-5 se halló la brecha de Impacto a 332 m de profundidad, sobreyaciendo a ésta una columna de rocas calcáreas. Se realizó un perfil geotécnico del Pozo UNAM-5 especificando los intervalos perforados y recuperados junto con su litología y discontinuidades. De los resultados de avance y recuperación por día se elaboraron gráficas que también permiten evaluar el desarrollo de la perforación, el tiempo de barrenación fue de 36 días, presentándose problemas de amarre de la tubería debido a la existencia de horizontes arcillosos. Conjuntando los datos de pozos tanto de la UNAM como de PEMEX, se realizó una correlación litológica que evidencia que la estructura del cráter de Chicxulub tiene un diámetro mayor a los 200 km, con lo cual se acerca al modelo propuesto por Sharpton et al., (1993).

CAPITULO I

INTRODUCCION

Marco Geológico

Para el estudio geológico de la Península de Yucatán (Fig. 1.1) fue necesario llevar a cabo una campaña de exploración utilizando métodos directos e indirectos. Hacia fines del siglo XIX y principios de este se inició el reconocimiento superficial de la Península de Yucatán con los pocos afloramientos existentes. Para finales de los 40's y principios de los 50's Petróleos Mexicanos (PEMEX) inició la exploración en toda la península, con el fin de localizar yacimientos de hidrocarburos, apoyándose en geofísica y perforación de pozos. En total, PEMEX perforó diez pozos (Fig. 1.2) en los cuales no halló evidencia de hidrocarburos, pero se obtuvieron valiosos datos acerca de la columna geológica (López Ramos, 1981). Por otra parte, organismos gubernamentales como la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.) y la Comisión Nacional del Agua (C.N.A.) llevaron a cabo perforaciones para cubrir las demandas de agua existentes en la región, con lo cual también se logró obtener información en cuanto a la composición litológica de esta área.

Geológicamente la Península está cubierta por rocas carbonatadas del Terciario cuyos espesores varían de 200 a 1000 m, estos se encuentran horizontales a subhorizontales sobre carbonatos y evaporitas Cretácicas que han sido perforados por varios pozos. Bonet y Butterlin (1962) describieron unidades Cenozoicas que abarcan edades del Paleoceno al Cuaternario. Sus Formaciones fueron modificadas por López Ramos en 1981 (Lesser y Weidie, 1988).



Figura 1.1.- Ubicación de la zona de estudio.

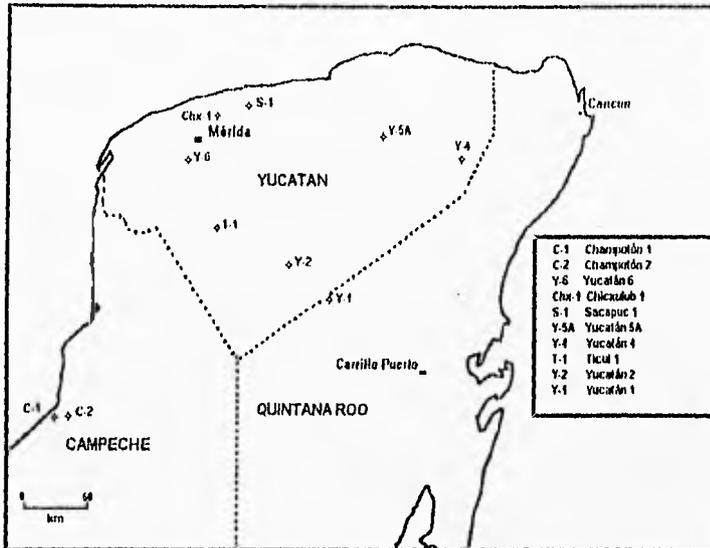


Figura 1.2.- Ubicación de Pozos Perforados por PEMEX,
(López Ramos, 1981).

La Península de Yucatán recientemente ha llamado mucho la atención debido a que en esta se ha descubierto una estructura de un impacto de un meteorito de grandes dimensiones y que ha sido corroborada por estudios geofísicos incluyendo gravimétricos y aeromagnéticos; así como por los núcleos provenientes de las distintas perforaciones llevadas a cabo por PEMEX (Sharpton et al., 1992; Sharpton et al., 1993).

En 1980 Luis Alvarez y colaboradores publicaron que habían encontrado en el límite del Cretáceo/Terciario una concentración anómala de iridio en varias partes del planeta. El iridio es un elemento que se encuentra en concentraciones muy pequeñas en la Tierra, sin embargo, se encuentra en altas concentraciones en los cuerpos extraterrestres (Alvarez et al., 1980). Esto le sugirió al grupo de Luis Alvarez que la presencia del iridio en esta capa tenía un origen extraterrestre. Es decir, que debería estar asociado por la colisión de un meteorito o cometa con nuestro planeta.

Con lo anterior se inició una gran búsqueda para hallar el cráter producido por el impacto propuesto por el grupo de Alvarez. En 1981, en la Reunión Anual de la Sociedad de Geofísicos de Exploración, que tuvo lugar en Houston, Texas, los ingenieros geofísicos Glenn Penfield y Antonio Camargo propusieron que en el subsuelo de Yucatán se encontraba una estructura de impacto (Penfield y Camargo, 1981). Esta hipótesis fue presentada con base en el modelado de los datos gravimétricos y aeromagnéticos del Noroeste de la Península de Yucatán. A la estructura se lo denominó el Cráter de Chicxulub por ubicarse el poblado del mismo nombre en el centro de éste.

En 1991, Alan Hildebrand del Servicio de Geología de Canadá, propuso así mismo que Chicxulub correspondía efectivamente a una estructura de impacto con base en el estudio de algunas muestras obtenidas de Petróleos Mexicanos (Hildebrand et al., 1991). Sin embargo, debido a que el trabajo no estuvo bien documentado, la mayor parte de la comunidad científica no quedó convencida con esta suposición. En diciembre de 1991, PEMEX le dio a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) dos muestras del pozo Yucatán-6 (núcleos 14 y 17), localizado al sur de Mérida (Fig. 1.2).

Estas muestras les permitieron a investigadores del Instituto de Geofísica en colaboración con investigadores del Lunar and Planetary Institute de la NASA probar, sin duda alguna, que Chicxulub era una estructura formada por el impacto de un cuerpo extraterrestre con una edad de 65 M. A. La edad se confirmó con base en fechamiento radiométrico de argón-argón y por estudios de paleomagnetismo. Parte de la evidencia que se presentó en este trabajo incluye estudios de geoquímica, indicadores por metamorfismo de impacto o colisión entre dos cuerpos como por ejemplo el desarrollo de vidrios diapléticos, cuarzo con estructuras de deformación plana, etc (Sharpton et al., 1992; Urrutia et al., 1994).

En septiembre de 1993, investigadores del Instituto de Geofísica en colaboración con investigadores del Lunar and Planetary Institute publicaron en Science (Vol. 261, 1993), una reinterpretación de los datos gravimétricos del Noroeste de Yucatán. Basados en este nuevo estudio, se propuso que el cráter es una cuenca multianillada de impacto (Fig. 1.3) con una dimensión aproximada de 300 km de diámetro (Sharpton et al., 1993).

Hasta ese momento, todos los estudios realizados se basaban en modelos; así como en los núcleos de PEMEX en distintos intervalos de perforación. Es decir, no se había realizado ningún trabajo de perforación con recuperación continua de la estructura de Chicxulub.

A finales de 1993 se llevó a cabo una reunión entre miembros de la comunidad científica, egresados de la Facultad de Ingeniería y el Rector de la UNAM. En esta cita, sale a relucir el Cráter de Chicxulub lo cual explicó el Dr. Arcadio Póveda lo importante que era para México y la comunidad científica la necesidad de llevar a cabo estudios para confirmar y conocer los fenómenos que un impacto de esta naturaleza involucra. Entre la concurrencia se encontró al Ing. Carlos Slim de Servicios Corporativos Frisco S.A. de C.V., el cual ofreció los servicios para realizar perforaciones con recuperación de núcleo en la zona de interés.

Bajo este acuerdo y bajo la dirección de la UNAM se perforaron cinco pozos (Fig. 1.3) entre marzo y julio de 1994, en los cuales dos penetraron a más de 500 m (UNAM-2 y UNAM-5) y los restantes (UNAM-1, UNAM-3 Y UNAM-4) fluctuaron entre los 60 y 154 m.

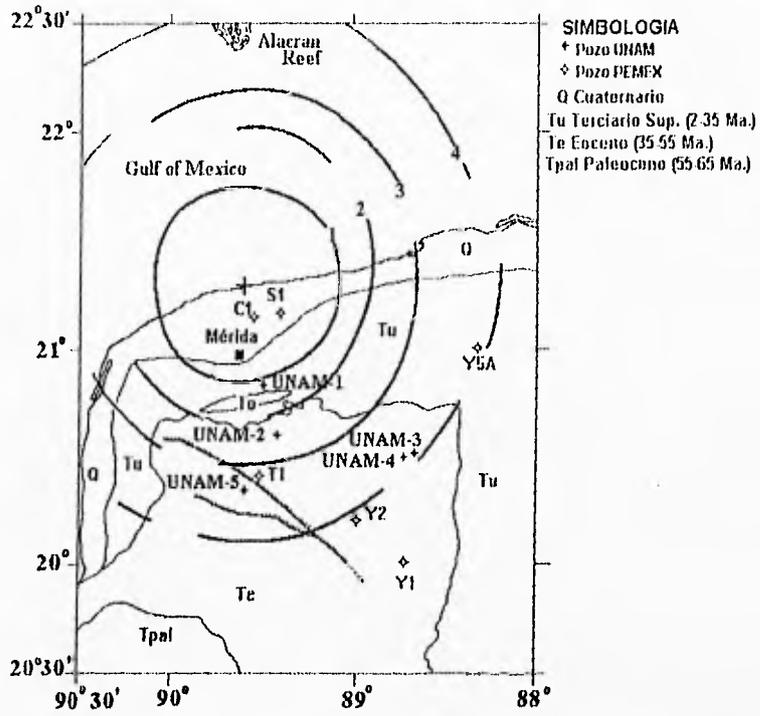


Figura 1.3.- Cuenca Multianillada de Impacto, según el Modelo de Sharpton et al., (1993); y ubicación de Pozos UNAM.

Metodología

En la realización de las perforaciones se mantuvo una brigada de perforación con un geólogo de campo, el cual fue responsable de supervisar la correcta orientación del núcleo, así como realizar un informe y descripción de la muestra obtenida y de las actividades de perforación. También colaboró en los aspectos legales (permisos con autoridades ejidales y municipales) y técnicos (obtención de aprovechamientos de agua, ubicación en campo de maquinaria, etc.), ya que le corresponde a éste que el trabajo de barrenación sea lo más eficiente y productivo, para poder así obtener un mayor avance y recuperación posible por día, lo cual reduce los costos del proyecto.

Objetivo

El objetivo de esta tesis es:

1) Describir el procedimiento general que se realizó en las Perforaciones en el Noroeste de la Península de Yucatán para el estudio del Cráter de Chicxulub, dando como ejemplo específico el desarrollo de perforación del Pozo UNAM-5.

CAPITULO II GEOLOGIA DE LA PENINSULA DE YUCATAN

Introducción

La Península de Yucatán se caracteriza por ser un llano y vasto territorio con muy pocos afloramientos, la mayoría de estos están cubiertos por caliche y extensa vegetación. Quien inició los primeros trabajos geológicos superficiales fue Sapper en 1896; Tercier en 1932 reporta evaporitas al norte de Guatemala (Arco de la Libertad); Flores en 1952 informa de sedimentos marinos del Eoceno y Cretácico Superior en Belice (norte de las Montañas Maya); Gutiérrez-Gil en 1953 realizó un estudio geológico de la Sierrita de Ticul. Alvarez en 1954 realizó un reconocimiento al sur de Quintana Roo reportando fauna de moluscos del Mioceno. Robles-Ramos en 1955 al muestrear las calizas entre Mérida y Valladolid reporta estas rocas más antiguas (Plioceno) y Butterlin y Bonet (1962) definen Formaciones Cenozoicas para la Península de Yucatán. Hernández en 1965 al explorar en busca de fosforitas al norte de la península, reporta franjas del Oligoceno al sur de Mérida (López Ramos, 1981).

Localización y límites

La Península de Yucatán en la porción este de México es limitada al oeste y al norte por el Golfo de México, en el este por el Mar Caribe; en el suroeste con las márgenes de la Planicie Costera del Golfo y al sur limita con la Sierra Madre del Sur (Lesser y Weldie, 1988). Está comprendida entre los 16° a 22° latitud norte y 86° a 91° longitud oeste sobre una superficie de 300,000 km². El área de los pozos perforados comprende la parte noroeste de la península, zona centro y sur del estado de Yucatán. Los límites geomorfológicos de la península (López Ramos, 1981) (Fig. 2.1), incluyendo el Banco de Campeche son los siguientes:

- a) Al norte y parte noroeste: el Talud Continental del Banco de Campeche.
- b) Al sur por el relieve positivo del Arco de la Libertad, que incluye el Petén de Guatemala y las montañas Maya de Belice.
- c) Al oriente por el Talud Continental del Mar Caribe, ya que la Plataforma Continental es muy angosta.
- d) Al oeste la Planicie Costera del Golfo de México, al SE del Edo. de Campeche y oriente del Edo. de Tabasco. El único cambio fisiográfico apreciable es la presencia del Río Candelaria.

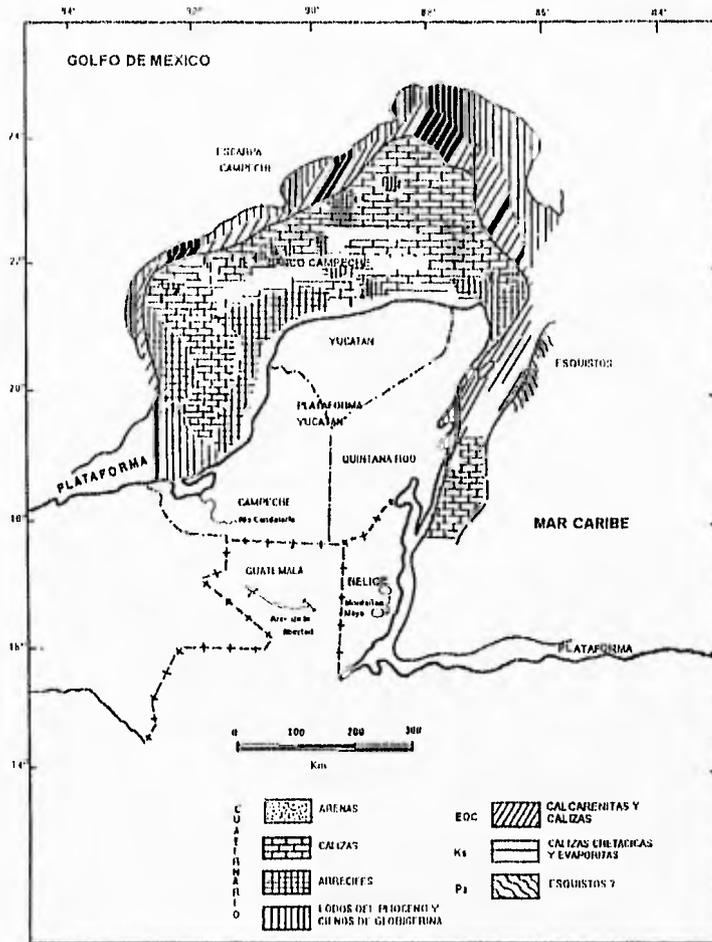


Figura 2.1.- Localización y Límites de la Península de Yucatán, (López Ramos, 1981).

Hidrografía

La península prácticamente carece de una red fluvial superficial. El escurrimiento es casi totalmente subterráneo, lo que ha dado origen a una gran cantidad de formas cársticas, que incluyen los cenotes y sistemas de cuevas, con incluso cientos de metros de profundidad y decenas de kilómetros de longitud (Lugo et al., 1992). Los únicos ríos existentes en esta región son el Río Candelaria al oeste de la Península en el estado de Campeche y el Río Hondo al sur de la península entre el estado de Quintana Roo y la República de Belice (López Ramos, 1981).

Fisiografía

Raisz (1964) sitúa a la península de Yucatán como una provincia que se subdivide en tres regiones: a) Llanuras con dolinas, b) Plataforma de Yucatán y c) Costa Baja (Fig 2.2). López Ramos (1981) también divide a ésta en tres áreas que son las siguientes: 1) La Planicie Mérida-Valladolid-Puerto Juárez, 2) Sierrita de Ticul y 3) Planicie Central.

1) La amplia planicie Mérida-Valladolid-Puerto Juárez, comprende la parte norte de la Península. Desde la Sierrita de Ticul hasta el Golfo de México, se extiende con una pendiente suave de norte a sur, elevándose sólo unos cuantos metros del nivel del mar.

2) A unos 60 km al sur de Mérida, se extiende la Sierrita de Ticul, con un rumbo de NW-SE. Esta constituida por un conjunto de lomas, cuya altura varía de 50 a 100 m con respecto a la planicie y sólo en las cercanías de Tekax llega a tener elevaciones de 50 m, alcanza una longitud de 110 km. De las laderas de la Sierrita, la del NE desciende con mayor pendiente, formando escarpas de poca longitud, en tanto que la pendiente de la ladera opuesta, es ligera y da origen a un terreno sensiblemente ondulado.

3) La tercera unidad fisiográfica la constituye la "planicie central" de la Península de Yucatán, extensa área que se encuentra al sur y sureste de la Sierrita de Ticul, hallándose su límite sur en territorio Guatemalteco, en la parte norte de la Península de Petén y las montañas Maya al SE. Es un terreno plano en partes ligeramente rugoso u ondulado según las rocas aflorantes, el cual no tiene orientación fija, con excepción de algunas lomas en la parte sur y SE de Quintana Roo que se unen entre sí y forman pequeñas cadenas orientadas de norte a sur. Los límites este y oeste de la planicie central los constituyen el Mar Caribe y el Golfo de México respectivamente.

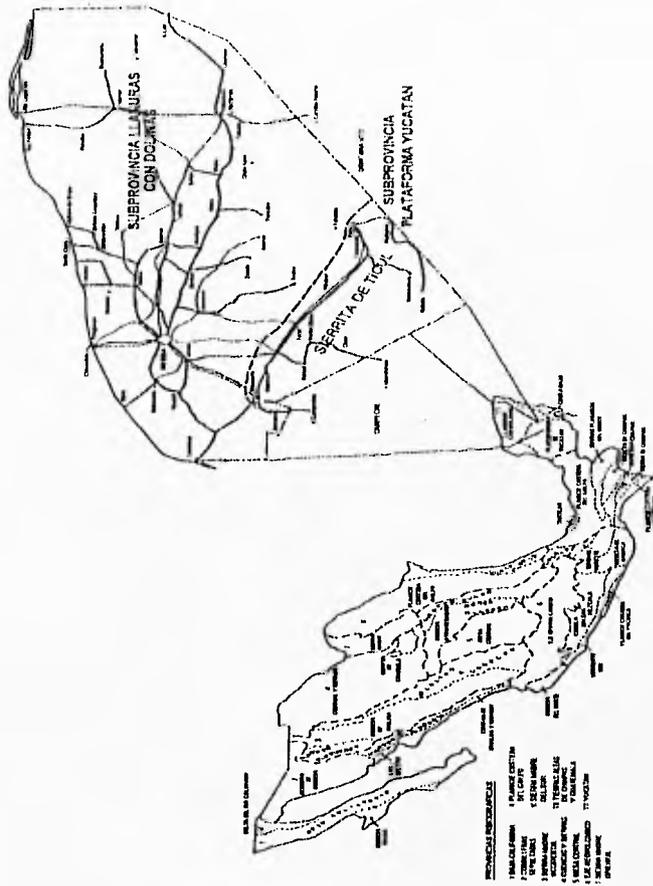


Figura 2.2.- Fisiografía de la Península de Yucatán, (Chavez-Guillen, 1988).

GEOLOGIA SUPERFICIAL

De los estudios superficiales se reporta que las rocas aflorantes se constituyen de depósitos Cenozoicos que fluctúan en edad del Paleoceno hasta el Cuaternario, siendo Butterlin y Bonet (1962) quienes proponen edades y Formaciones para la Península de Yucatán (Moran, 1984). Se ha reportado que las rocas más jóvenes afloran en la periferia de la península (Fig. 2.3) y las más antiguas en el sureste y área central (López Ramos, 1981; Lesser y Weidie, 1988). Con los datos geológicos descritos, López Ramos (1981), elaboró una correlación estratigráfica para el área de Quintana Roo, Parte Central y Parte Norte de la Península de Yucatán (Fig. 2.4). Las Formaciones y rocas superficiales de la Península de Yucatán son las siguientes:

TERCIARIO

Paleoceno o Eoceno Inferior Indiferenciado: Formación Icaiche.

Informalmente Alvarez (1954), denomina esta Formación constituida por calizas compactas, micro a macrocristalinas, de color amarillo a blanco, generalmente dolomitizadas, a veces silicificadas, o bien simplemente recristalizadas, lo que explica la ausencia de fósiles determinables, pero que indica su origen marino. La localidad tipo de esta formación se le puede observar en el kilómetro 95 de la Carretera Federal No. 186 que va de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, hacia la de Francisco Escárcega, Campeche. En otros lugares diferentes de la localidad tipo, se encontraron algas, moluscos y posiblemente serpulidos (López Ramos, 1981).

Eoceno Medio-Superior: Formación Chichen-Itza.

Bonet y Butterlin (1962), adoptan esta denominación de la zona arqueológica situada sobre la carretera de Mérida a Valladolid, aproximadamente a unos 120 km al E-SE de Mérida. Las rocas de esta Formación son calizas fosilíferas que presentan tres miembros:

Miembro Xbacal

La localidad tipo se encuentra en la carretera Champotón-Escárcega en las proximidades del pueblo de Sta. María Xbacal. Esta representada por calizas, a veces blancas o grises, pero generalmente amarillentas e impuras. Se presenta

en capas de espesor pequeño a mediano, a veces masivas, pudiendo pasar a verdaderas margas amarillas o inclusive a lutitas verdosas, más raras. Estas rocas están deformadas y forman pliegues cerrados, con echados que alcanzan 20° o más en oposición al resto de la Formación en general tectónicamente poco afectada. Su microfauna está representada por foraminíferos. El espesor de este miembro debe llegar a varios centenares de metros.

Miembro Pisté

Su nombre proviene del pueblo situado en los alrededores del km 117 de la Carretera Federal No. 180 México-Puerto Juárez, en la proximidad de Chichén Itzá. Este miembro está representado por calizas blancas o amarillentas, a menudo masivas, a veces en estratos más o menos gruesas. Los echados son muy pequeños o nulos, salvo en el estado de Campeche, en el que las calizas están plegadas en anticlinales y sinclinales, dispuestos bastante regularmente y cuyos ejes tienen una dirección dominante WNW-ESE.

La microfauna es abundante y está representada por algas calcáreas y por numerosos foraminíferos, característica del Eoceno Medio del Caribe y semejante a la de la cima de las calizas Petén en el Norte de Belice. Su espesor debe llegar a varios centenares de metros. Las calizas del miembro Pisté cubren a las del miembro Xbacal, probablemente en concordancia, al sur de Champotón (Alvarez, 1969).

Miembro Chumbec

El nombre de este miembro está tomado de una localidad situada a algunos kilómetros al norte de Libre Unión (Edo. de Yucatán). Está representado por calizas masivas blancas, muy cristalinas, con el aspecto de mármol sacaroides. La microfauna comprende principalmente foraminíferos. Su espesor no debe sobrepasar de los 100 m.

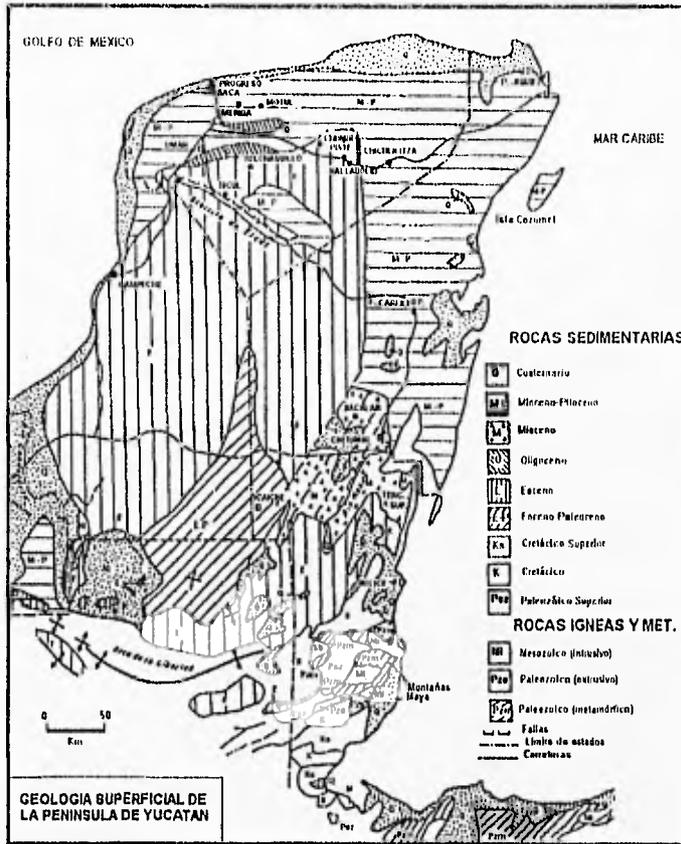


Figura 2.3.- Mapa Geológico de la Península de Yucatán,
(Lopez Ramos, 1981).

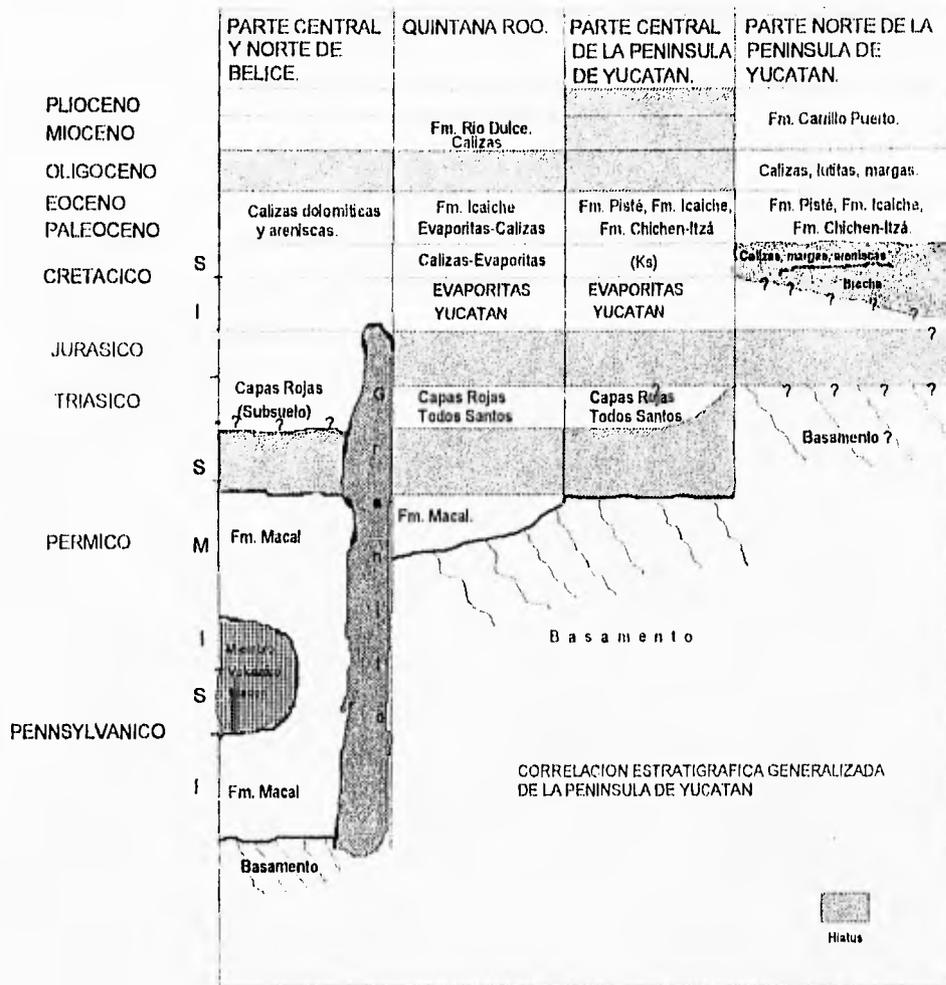


Figura 2.4.- Correlación Estratigráfica Generalizada de la Península de Yucatán.
(Lopez Ramos, 1981).

Eoceno Medio e Interior del Norte de la Península de Yucatán.

Consta de calizas microcristalinas, cubiertas por travertino (pueblo de Telchaquillo, a 50 km al Sur de Mérida), de color blanco a gris crema, a veces manchadas de color café debido a la presencia de óxidos de hierro; no se aprecia estratificación verdadera, aunque existen tramos de caliza de 1 a 1.20 m de espesor y la fauna consiste de foraminíferos (López Ramos, 1981).

Oligoceno

Al norte de la Península, al sur de Mérida, PEMEX realizó un reconocimiento geológico en busca de fosforita y se tuvo ocasión de estudiar algunos afloramientos y fosas hechas con dinamita, encontrando lo siguiente:

El Oligoceno Inferior se presentó como una calcarenita pulverulenta, quebradiza, suave en partes, blanca y rosada con caliche, en bancos que subyacen a la caliza superficial alterada, mal estratificados, sin echado real en que sólo se aprecian ondulaciones en todas direcciones, que dan la impresión de horizontalidad, dichos bancos son de 1 a 1.5 m de espesor y su contenido faunístico principal es de algas, foraminíferos y Nummulitides.

El Oligoceno Superior corresponde a una caliza y calcarenita pulverulenta, coquinoide, con abundantes restos de moluscos y briozoarios, en colores crema y blanco que subyace a la caliza superficial alterada. Contiene además, algas y foraminíferos (López Ramos, 1981).

Mioceno-Plioceno

Butterlin (1962) describe esta unidad conteniendo partes en discordancia. En ciertos lugares se presenta en forma de caliza blanca recristalizada con microfauna; en otras, se presenta como una caliza coquinoide, pulverulenta, más o menos bien cementada con carbonato de calcio con restos de bivalvos; también se presenta en forma conglomerática, pero en ninguna se puede apreciar estratificación definida y su aspecto estructural aparentemente es horizontal. La fauna encontrada consiste de moluscos, ostrácodos y algas.

Mioceno Superior (?): Formación Bacalar

Esta denominación fue tomada por J. Butterlin en 1958, del nombre de la población que se localiza a lo largo de la Carretera Federal No. 307 que va de Carrillo Puerto a Chetumal, Quintana Roo. Corresponde a calizas cretosas, de un blanco generalmente brillante, con nódulos, amarillentos, que pueden formar

niveles: pasan a margas blancas en su base. Se encuentran allí, a veces, finas capas de yeso. Localmente este tipo de rocas recibe el nombre de "Sashcab". La fauna comprende peneroplidae, hexacorarios y moluscos abundantes (López Ramos, 1981).

Mioceno: Formación Estero Franco

Con este nombre Butterlin en 1958 denomina a unas calizas y dolomías amarillas muy cristalinas, en capas regulares a menudo delgadas (5-10 cm) a veces con nódulos de calcita de textura sacaróide que se ubican aledañas a la población del mismo nombre (Butterlin y Bonet, 1962).

Mioceno-Plioceno: Formación Carrillo Puerto

Butterlin en 1958 asigna esta Formación a una serie de coquinas, calizas impuras y arcillosas que gradua hacia su parte superior a calizas blancas y masivas que se ubican aledañas al pueblo de Carrillo Puerto, en Quintana Roo. Su fauna se compone de moluscos y hexacorarios (Butterlin y Bonet, 1962).

Pleistoceno-Reciente (Holoceno)

Es el caliche superficial que cubre gran parte de la Península y las porciones pantanosas, calizas alteradas, calcarenitas y calcilitas que bordean la Península, terminando en playas (Fig. 2.3) (López Ramos, 1981).

Calizas de Moluscos

Con este nombre se han denominado unas calizas coquíniferas, masivas de color generalmente blanco a crema y que forman una faja de afloramientos a lo largo de las costas norte y poniente, interrumpido solamente donde el Eoceno se extiende hasta el mar. Su fauna comprende sobre todo moluscos. Es probable que las calizas consolidadas pertenezcan al Pleistoceno y las capas superiores más blandas y costeras pertenezcan al Reciente. Su espesor no debe llegar a más de algunas decenas de metros (López Ramos, 1981).

GEOLOGIA DEL SUBSUELO

En 1947 PEMEX inicio los estudios geofísicos gravimétricos, magnéticos y sismológicos de la Península. En 1952 se empezaron las perforaciones siendo en total diez pozos: YUCATAN 1, 2, 4, 5-A y 6; TICUL-1, SACAPUC-1, CHICXULUB-1, y CHAMPOTON 1 y 2 (Fig. 1.2, y Tabla II). El reporte de la geología del subsuelo lo realizaron Acosta de 1951 a 1955, Flores de 1964 de 1966 y Godoy en 1965. Los anteriores utilizaron para la descripción del Cretácico unidades u horizontes eléctricos (Y-1, Y-M y Y-S) para facilitar la posición estratigráfica y estructural de los distintos pozos. Para las unidades del Terciario realizaron correlaciones con Formaciones Cenozoicas ya establecidas. En la época de los 50's y 60's se perforaron 35 pozos en la península distribuidos entre Guatemala, Belice y México (Fig. 2.5), (López Ramos, 1981). La columna litológica del subsuelo de la Península de Yucatán se compone de las siguientes unidades:

PALEOZOICO

Silúrico-Mississípico (Basamento)

Los pozos en los que se reporta haber perforado el basamento son el Yucatán No. 1 y el Yucatán No. 4 (Fig. 2.5 y Tabla I). En el primero a 3,200 m se encontró una riolita (pórfido volcánico), con una probable edad por el método de Rb-Sr de 410 millones de años (Silúrico) y un posible evento metamórfico de 330 millones de años (Mississípico). El pórfido se encuentra alojado en un "Esquisto de cuarzo y clorita, cristaloblástico", que aparece en el núcleo No. 48 a 3,219 m. La descripción petrológica de este núcleo, es de "esquistos gris oscuro, con bandas y zonas irregulares de colores verde, verde grisáceo, café rojizo y algunos verdes amarillentos; es una roca dura de aspecto lustroso" (López Ramos, 1981).

En el pozo Yucatán No. 4 a 3,290 m, debajo de las capas rojas se atravesaron ocho metros de una roca gris claro, muy dura, compacta, ligeramente fracturada, que intemperiza a color café amarillento, ocasionalmente presenta relieves planchados y que fue clasificada como "cuarcita ligeramente metamorfizada" (López Ramos, 1981). Los pozos que penetraron hasta el basamento se resumen a continuación en la siguiente tabla:

Tabla I.- Pozos que penetraron el basamento.

POZO	PROFUNDIDAD	PETROLOGIA
BELICE		
Basil Jones 1	2,190 m	esquisto
Tower Hill	2,140 m	granito
MEXICO		
Yucatán No. 1	3,173 m	esquisto
Yucatán No. 4	2,390 m	cuarcita

MESOZOICO

Jurásico-Cretácico (Capas Rojas).

Sólo se han perforado delgadas secuencias de estas rocas en los pozos Yucatán No. 1 y 4, en ambos pozos subyacen a las evaporitas Cretácicas y sobreyacen a rocas del basamento. Las Capas Rojas estan formadas por limolitas y areniscas de grano fino a muy fino, ocasionalmente como en el pozo Yucatán No. 1 contiene algunas gravas de cuarzo y granos gruesos de arena cuarzosa. Los colores son blanco, blanco-amarillento, blanco verdoso y café rojizo con intercalaciones de capas de bentonita verde esmeralda (López Ramos, 1981).

Cretácico

UNIDAD Y-I Albiano-Aptiano (Horizonte Nummoloculina-Albiano-Cenomaniano).

Por sus características petrográficas y paleontológicas es posible separarla como tal, aún cuando es posible efectuar en ella dos divisiones importantes, considerando el contenido de piroclásticos alterados y el porcentaje más o menos notable de caliza en la porción basal. Esta unidad en general se constituye de anhidrita, bentonita, toba pelítica y algunas intercalaciones notables de caliza. A veces tanto la anhidrita como la caliza contienen ceniza volcánica con tendencia bentonítica. La petrología de esta unidad consiste de una potente secuencia de evaporitas con delgadas intercalaciones de caliza dolomítica. Su espesor aproximado en el pozo Yucatán No. 1 es de 824 m y abarca el intervalo de 3,089 a 2,265 m. La determinación micropaleontológica la ubica de edad Albiano-Cenomaniano, criterio basado solamente en los datos obtenidos en las calizas de la cima. (López Ramos, 1981).

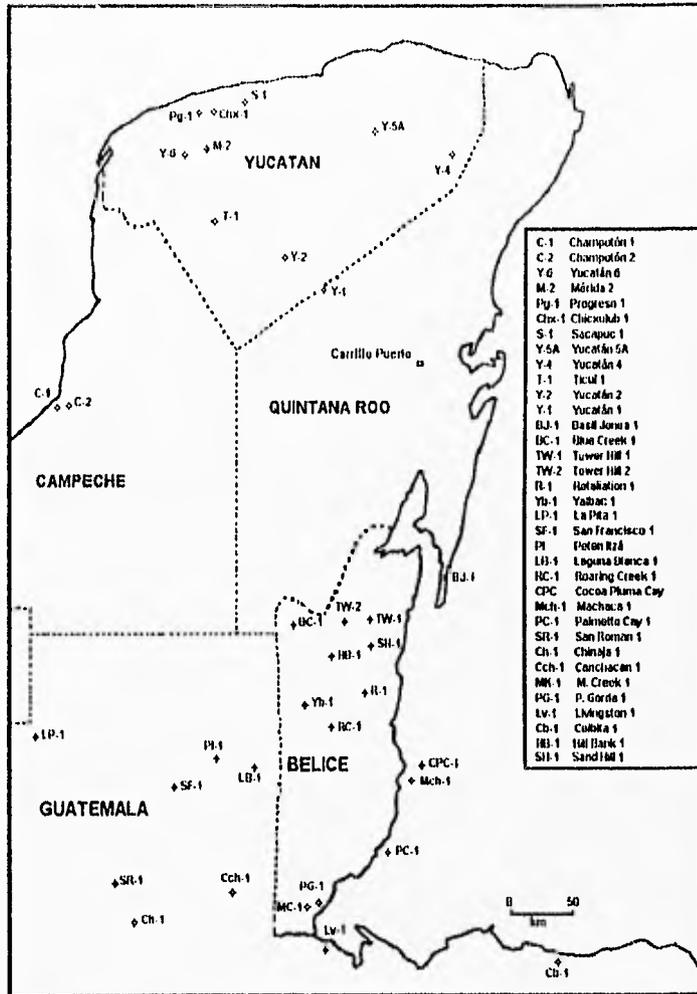


Figura 2.5.- Ubicación de Pozos Profundos (López Ramos, 1981).

UNIDAD Y-M (Horizonte Rudistas)

En general, esta unidad estratigráfica consiste en su mayor espesor de anhidrita y en menor porcentaje de caliza, en su base. El cuerpo basal de esta unidad está constituido casi en su totalidad por calizas con algunas intercalaciones de anhidrita y comprende la parte inferior del Turoniano. Su espesor medido en el pozo Yucatán No. 1 es de aproximadamente 778 m que abarca el intervalo de 2,265 a 1,487 m. Las características que distinguen a esta unidad son la presencia de relativa abundancia de rudistas, de caliza oolítica y pseudoolítica en la parte superior y por los tramos de caliza criptocristalina (López Ramos, 1981).

UNIDAD Y-S Maestrichtiano - Cretácico Superior (Horizonte valvulina).

Esta constituida en general por anhidrita en su mayor parte translúcida. Contiene escasa cantidad de cuerpos de caliza dolomítica a dolomía, a veces de textura criptocristalina. Este cuerpo abarca un espesor aproximado de 1,222 m, del intervalo de 1,487 a 265 m y se identifica en su cima por la aparición de anhidritas que subyacen a calizas que son sumamente deleznable. Se nota un cambio de facies de este a oeste, pues mientras que en el pozo Yucatán No. 1 esta constituido por una gruesa secuencia predominante de anhidrita con cantidades subordinadas de calizas, en el pozo Ticul No. 1, aumenta el espesor de las calizas casi en forma predominante, y más hacia el Nor-Noroeste (Pozo Sacapuc No. 1), desaparecen las evaporitas.

En el pozo Chicxulub No. 1 también se delimitó esta unidad. Los sedimentos perforados pertenecen al Cretácico Superior, por la microfauna encontrada en ellos. Su espesor aproximado es de 661 m, que va de 1,581.5 a 920 m. Su litología consiste en general por margas, lilitas, dolomía, anhidrita, brechas de calizas y bentonita e intercalaciones de margas y calizas gris claro y oscuro. A partir de los 1,090 hasta los 1,581 m se reportó vidrio andesítico, tobas de color gris verde y gris café y una roca andesítica con textura microcristalina, con cristales de piroxenos, magnetita y pirita (López Ramos, 1981). Estudios recientes señalan que esta roca pertenece a la estructura de Chicxulub, y se le asigna el término de "brecha de impacto" (Hildebrand et al., 1991; Sharpton et al., 1992; Koeberl, 1993).

	YUCATAN					TICUL	SACAPUC	CHICXULUB	CHAMPOTON	
	1	2	4	5-A	6	1	1	1	1	2
Plioceno-Mioceno (F. Carrillo Pto.)			Aflora			Aflora (?)		Aflora		
Oligoceno	--	--	--	--	76	--	375	298	--	--
Eoceno (Sup. Med.) (M. Pisté). (F. Chichen-Itzá).	20	1	13	53	426	--	619	483	Aflora	Aflora
Eoceno (Med. Inf.) Paleoceno (Icalché).	195	208	193	214	736	195	714	666	304	435
Cretácico Superior Maestr. (Ks).	276	322	249	292	986	525	932	901	564	(?)
Sin nombre de Form. Turoniano.	1476	1381	1176	1809	--	1745	1240	--	1684	1650
Cenomaniano-Albiano.	2258 2914	2153 --	1891 --	2587 --	-- --	1900 --	-- --	-- --	1879 --	1805 --
Triásico-Jurásico. Todos Santos. (Lechos Rojos).	3058	3298	2349	--	--	--	--	--	--	--
Basamento.	3173		2390	--	--	--	--	--	--	--
Andesita (brecha de impacto)					1245	--	1415	1258	--	--
Profundidad Total.	3202	3474	2398	2983	1631	3145	1516	1569	2413	2146

Profundidad en metros bajo el nivel del mar.

Tabla II.- Estratigrafía de los pozos perforados por PEMEX (López Ramos, 1981).

TERCIARIO

En este período se determinan algunas formaciones y unidades en base a la descripción de la litología, fósiles, registros eléctricos, núcleos y en los cambios de velocidad de perforación. Las anteriores descripciones se derivan principalmente de los pozos Yucatán No. 1, Chicxulub No. 1 y Yucatán No. 6 (López Ramos, 1981). El Terciario se conforma de la siguiente litología y edades:

Paleoceno

En el pozo Yucatán No. 1 se señala esta edad del intervalo de 265 a 180 m como parte de la Formación Icaiche, siendo constituida en esta parte por calizas cristalinas, finas a gruesas de colores blanco, café claro y en parte gris oscuro; con cavernas muy pequeñas e intercalaciones o bandas de bentonita verde, contiene sobre todo macrofósiles. En el pozo Chicxulub No. 1 se consideran los sedimentos cortados de 920 a 810 m como del Paleoceno, se constituyen de calizas color blanco y gris claro, con margas de igual color y escasa lutita gris oscuro y gris verde. Su microfauna consiste de foraminíferos.

Eoceno

Se constituye de calizas de textura cristalina a muy fina, en su mayor parte deleznable en colores blancos y crema a café claro, siendo reconocido en el pozo Yucatán No. 1 en el intervalo de 180 a 25 m. Este material lo nombran como Formación Icaiche Superior - Formación Pisté (Godoy, 1965).

En el pozo Chicxulub No. 1 también se determinó el Eoceno y se constituye de calizas blancas, intercaladas con margas del mismo color, escasa caliza gris oscuro ocurriendo calcita y pirita cristalizadas, también se reportan lutitas y fragmentos de pedernal. El espesor de esta unidad lo asignan de 810 a 525 m. Su microfauna consiste de foraminíferos.

Oligoceno

En el pozo Chicxulub No. 1, esta formado por margas blancas, grises y gris crema, margas con intercalaciones de arcillas, así como calizas gris-crema. Se asigna su espesor de 525 a 370 m.

Mioceno-Plioceno

Se constituye de caliza cretosa, blanca con ligero contenido de arcilla color calé amarillento. Se le denomina Formación Carrillo Puerto hasta los 5.25 m y contiene microfósiles. En el pozo Chicxulub No. 1 el Mioceno está formado en general por margas con intercalaciones de arcillas y escasas calizas, conteniendo microfauna (foraminíferos).

Plioceno-Pleistoceno

Se reconoció litología de esta época en la región en la que se perforó el pozo Chicxulub No. 1, afloran calizas de color crema y blanco cremoso, porosas, en partes oolíticas y otras con grandes cavidades, con fragmentos de conchas de microfósiles. De estas calizas, en el pozo sólo pudieron recuperarse hasta los 15 m, pues abajo de esta profundidad se perdió la circulación. Por la observación y los cambios de velocidad de perforación, se han marcado a estas calizas con un espesor de 205 m, determinando a esta profundidad el contacto calizas-margas.

Geología Submarina Adyacente a la Península.

La parte norte y noroeste de la Península de Yucatán forma el Banco de Campeche (Fig. 2.1). Los afloramientos submarinos son irregulares, estando formados por calizas autógenas y porciones arrecifales muy limitadas como la Isla del Alacrán (Bonet, 1962). Las edades de estas rocas son principalmente del Plioceno al Pleistoceno (Logan et al., 1969), hasta los 172 m donde de acuerdo con Wilhelm y Ewing (1972), sobreyacen en discordancia a una franja de sedimentos del Eoceno, los que a su vez descansan sobre rocas Cretácicas que aparecen en el fondo del mar rodeando el Banco de Campeche al norte y noroeste y apareciendo también en la porción más profunda del Canal de Yucatán a unos 60 km al oriente de la Isla de Cozumel. Los sondeos submarinos en el canal de Yucatán y a unos 100 km del extremo NE de la península, indican haber encontrado dos localidades con esquistos y mármoles (Ewing, 1970) que presentan un alineamiento casi Norte-Sur. De confirmarse la presencia de esquistos en esta área, podrían correlacionarse con los encontrados en el Pozo Basil Jones No. 1 al NE de Belice.

Tectónica

Los accidentes geomorfológicos que resaltan en la península son la Sierrita de Ticul al Norte, la zona de fallas del Río Hondo y las montañas Maya al Sur, además de la distribución geológica de sedimentos marinos del Eoceno y Paleoceno, rodeados de rocas marinas más recientes. Al hacer un análisis de la tectónica a partir de la información geológica disponible se ve el antepaís Paleozoico de Yucatán, que se sumergió durante el Mesozoico, pero quedó como una plataforma, en la cual la cubierta de sedimentos continentales fue delgada. López Ramos (1981) reporta que el alto gravimétrico de Progreso-Mérida es producto de una actividad ígnea de rocas extrusivas (tobas y andesitas) las cuales aparecen en los pozos Chicxulub No. 1, Sacapuc No. 1 y Yucatán No. 6. Penfield y Camargo (1981), señalan que esta anomalía refleja un cráter de impacto. Hildebrand (1991) y Sharpton (1992, 1993), han evidenciando esta estructura mediante trabajos de gravimetría y petrografía.

De sureste a noreste de la península, las rocas Mesozoicas que yacen sobre el basamento son cada vez más jóvenes, ya que existen rocas evaporíticas en el pozo Yucatán No. 2 del Cretácico Medio y margas y tobas del Cretácico Superior, en el pozo Chicxulub No. 1. La gran masa de rocas evaporíticas que comprende la Península de Yucatán y el Banco de Campeche, no sufrió movimiento de gran intensidad durante el Mesozoico, a no ser una continua sumersión que permitió el depósito de extensas secuencias de evaporitas que persistieron hasta el Terciario cuando tuvo una ligera inclinación hacia el Norte o bien un aumento del nivel eustático del mar, debido a glaciaciones ya en el Cuaternario Superior. El cambio de rumbo actual de los pliegues de la Sierra Madre de Chiapas (NW-SE) al sistema de plegamiento y fallas al norte de Guatemala y Belice que es NE-SW, indica que pudo haber una rotación de la península desde el este de su posición actual (López Ramos, 1981). Estudios diversos basados en diferentes enfoques disciplinarios (petrológicos, estratigráficos, geofísicos, etc.), durante los años recientes parecen concluir hasta el momento que los grandes desplazamientos y rotaciones de la península ocurrieron durante el Jurásico Temprano y medio, habiendo alcanzado su posición actual durante el Jurásico Tardío (Guerrero-García, 1986). Pindeli (1985), en base a la geología regional interpreta la costa oeste del Golfo de México como el sitio de una falla de movimiento lateral derecho y sugiere que Yucatán rotó a lo largo de este límite hasta su actual localización por un movimiento en sentido opuesto a las manecillas del reloj desde una

posición en la costa noreste del Golfo de México sobre un polo cercano a la costa este de Florida (Burke, 1988). Hall et al., (1982), afirman que la costa oeste de el Golfo de México se originó por la rotación de 24° del Bloque Yucatán desde Texas y parte de continente mexicano.

Geología Histórica

Gran parte de la Península era una plataforma ya en el Paleozoico, (Fig. 2.6-A) y la cual estuvo emergida hasta el Triásico-Jurásico, como lo indica la presencia de capas rojas. Es a partir del Cretácico Inferior cuando se inicia el depósito de grandes masas de evaporitas llegando a realizarse en ocasiones una evaporación total, que dió lugar a la formación de masas salinas que aparecen en el subsuelo. Tal parece que la sedimentación de las evaporitas (calizas, dolomías y anhidritas) se inicia a partir del Aptiano-Albiano (Comancheano), prevaleciendo estas condiciones de depósito durante el Cretácico Superior en la parte media y sur de la Península y casi todo el Terciario.

El Cretácico Superior y parte del Terciario al Norte de la Península, es muy margoso, indicando una profundización de los mares en ese sentido (Fig. 2.6-D y 2.6-E). La Península de Yucatán aparece durante el Terciario Medio y Superior como una plataforma sumergida con oscilaciones a poca profundidad, y en la que predominantemente se han depositado calizas litorales y neríticas. Al final del Plioceno y Cuaternario la Península adquiere la forma actual, no obstante que siguen desarrollándose grandes alineamientos de arrecifes de tipo biostromal al Norte del Banco de Campeche, el cual está formado esencialmente de material calcáreo, ya que la carencia de ríos en la Península limita al máximo la presencia de material terrígeno. Inmediata a la costa actual se formó una franja paralela de varios kilómetros de ancho donde aparecen grandes conjuntos de moluscos (Fig. 2.6-F) (López Ramos, 1981).

CAPITULO III METODOLOGIA

Ubicación y Localización de las Perforaciones.

Para la ubicación de las perforaciones, se utilizó el modelo gravimétrico propuesto por Sharpton et al., (1993), en donde se propuso que la estructura de Chicxulub consiste en una serie de anillos concéntricos (Fig. 1.3), los cuales a su vez denotan una serie de valles y crestas entre sí. Por lo tanto, para poder llegar a la zona de brechas en un intervalo de cubierta calcárea lo menor posible, se eligió perforar de preferencia en las zonas someras de la estructura. Así mismo, la ubicación de las perforaciones (Fig. 1.3) también obedeció a otros criterios legales y técnicos tales como el sitio o terreno autorizado por los representantes municipales y ejidales del poblado más cercano, condiciones y acceso hacia el sitio de perforación; otro factor, fue el contar con una fuente constante de abastecimiento de agua.

La primera perforación (UNAM-1) se decidió ubicar dentro del primer anillo a 53 km del centro del cráter. Geográficamente sus coordenadas son: Latitud Norte $20^{\circ} 48.61'$ y Longitud Oeste $89^{\circ} 31.01'$. Estatalmente se localiza a 32 km al SE de la Ciudad de Mérida, rumbo al poblado de Acanceh. Esta perforación se encuentra a un kilómetro al norte del pueblo de Timucuy y a siete kilómetros al oeste de Acanceh.

La segunda perforación (UNAM-2) tiene por coordenadas geográficas: Latitud Norte $20^{\circ} 34.77'$ y $89^{\circ} 24.09'$ Longitud Oeste. Se localiza a 55 km al SE de Mérida, entre el poblado de Telchaquillo y el poblado de Tekit, hacia el Rancho San Antonio X-Pakay. Este barrenos se localiza entre el segundo y tercer anillo a 80 km del centro de la estructura.

La tercera perforación (UNAM-3) se ubicó hacia el cuarto y último anillo a 125 km de Chicxulub Puerto. Sus coordenadas son: $20^{\circ} 30.81'$ Latitud Norte y $88^{\circ} 42.96'$ Longitud Oeste. Se encuentra a 122 km al SE de Mérida a las afueras del poblado de Kancabdzonot, el cual se ubica a 11 km al oeste de San Pedro Yaxcaba, este último a 17 km del poblado de Libre Unión sobre la carretera Federal No. 180 Mérida-Puerto Juárez.

La cuarta perforación (UNAM-4) se halla entre el tercero y cuarto anillo y tiene por coordenadas geográficas: 20° 33.54' Latitud Norte y 88° 47.91' Longitud Oeste. Se ubica a 113 km al SE de Mérida, a dos kilómetros a las afueras del poblado de San Pedro Yaxcaba, con rumbo al poblado de Kancabdzonot. Dista 118 km del centro del cráter.

La quinta y última perforación (UNAM-5) se ubicó entre el tercero y cuarto anillo. Sus coordenadas geográficas son: Latitud Norte 20° 20.31' y Longitud Oeste 89° 39.75'. Este barreno se localiza a 110 km de Chicxulub Puerto y a tres km al NW del pueblo de Santa Elena.

Aspectos Legales

Para la realización de las perforaciones fue requisito indispensable obtener los permisos de las autoridades municipales a través del Comisario Ejidal y Presidente Municipal del poblado en cuestión. Asimismo, se le dió aviso verbal y escrito a la C.N.A. (Comisión Nacional del Agua) ya que las perforaciones eran de carácter exploratorio y dado que el proyecto de perforación pretendió obtener las características petrológicas de la estructura de Chicxulub, al obtenerse núcleos, estos también pueden ser utilizados para estudiar la hidrogeología de la península.

En México se encuentran reglamentados los recursos hidráulicos mediante la "Ley de Aguas Nacionales" elaborada en 1992 por la C.N.A. La Ley de Aguas Nacionales se inscribe en el marco de la modernización, planeación y programación de la administración y del uso eficiente y racional de los recursos naturales, y se suma a una tradición legislativa que se inicia con la Ley sobre Irrigación promulgada en 1926. La nueva ley sustituye a la Ley Federal de Aguas, promulgada en 1972. El marco legislativo tiene su fundamento en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y reitera ante todo, el dominio de la nación sobre las aguas, así como su carácter de inalienable e imprescriptible (C.N.A., 1992). La Ley de Aguas Nacionales consta de diez Títulos, y en el Título Cuarto (Derechos de Uso o Aprovechamiento de Aguas Nacionales) se contempla la asignación y condiciones para llevar a cabo una perforación con fines de extracción e investigación de las aguas subterráneas. Otro documento de índole legal asociado a los recursos hidráulicos es el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales el cual tiene a su cargo, como lo indica su artículo primero reglamentar la Ley de Aguas Nacionales (Pérez, 1994).

En cuanto a la tramitación legal en el ejido, el procedimiento era el siguiente: Una vez que se establecía el sitio de perforación se procedía a visitar el poblado

más cercano a éste y se hacía una entrevista con el comisario ejidal y presidente municipal explicándoles el requerimiento y el consentimiento de su parte y de la comunidad para que en algún sitio del ejido se instalara equipo para llevar a cabo una perforación con fines de investigación y que en la medida de lo posible no dañaría las zonas de cultivo, labranza o pastoreo. También se les mencionaba que dicha perforación podría ser útil una vez que hubiera terminado la etapa de investigación en el pozo y así poder aprovechar el acuífero presente. Así mismo, cuando se obtenía el permiso verbal, también se solicitaba por escrito y el comisario ejidal se comprometía a dar contestación mediante un documento con su firma y con el sello del ejido en el cual se otorgaba autorización para realizar la perforación.

Ya que el comisario ejidal conocía todos los aspectos del proyecto de perforación, consultaba con los distintos integrantes del ejido para informarles de lo que se llevaría a cabo y si era posible obtener la autorización de algún ejidatario en particular para perforar en un sitio ocioso o sin sembrar. Se visitaban diversos terrenos en los cuales se deberfan conjuntar varias características tales como que el acceso al camino principal no fuera muy lejano y accidentado; es decir, que las condiciones cársticas no obstaculizaran el tránsito de vehículos, y que el tamaño del terreno alojara una longitud de 20x20 m (un mecate) situándose de manera que no afectara otras áreas.

Otro aspecto de importancia fue la obtención de una fuente constante de agua, dado que la perforación es mediante este líquido, por lo cual era necesario hacer del conocimiento a las autoridades ejidales y municipales para que se proporcionara, ya sea a través de un pozo de riego distrital, algún pozo particular o depósito natural (aguada o cenote).

Métodos de Perforación

En general existen dos métodos para la perforación (Puy, 1977). Si una herramienta va haciendo el agujero golpeando contra el fondo de él, se trata de una perforación a base de percusión. Si lo hace sin golpear, sino girando sobre el fondo, es una perforación a base de rotación. En el caso de una percusión, la herramienta que golpea contra el fondo del agujero va girando a cada golpe, pues de lo contrario golpearía siempre en el mismo sitio y se acuñaría. Dentro de estos dos grupos de perforación existen diversos métodos en cada uno:

Perforación a Percusión:

- Procedimientos manuales
- Martillos de Percusión
- Martillos de Fondo
- Hinca de Tubos
- Canadiense
- Pensilvaniense

Perforación a Rotación:

- Procedimientos manuales
- Perforación con hélice
- Perforación con diamante
- Perforación inversa
- Perforación rotaria tricónica
- Procedimientos especiales

Perforación a Percusión

Los procedimientos manuales se hacen golpeando una barrena a la vez que se gira después de cada golpe (Fig. 3.1). El martillo de percusión es una herramienta que contiene un martillo neumático que tiene un pistón de acero y una barrena que termina en un corte. La energía procedente del pistón se transmite al mango de la barrena, llegando a través de su corte al terreno, bajo la forma de percusiones.

El martillo de fondo consiste en hacer un martillo de tamaño más pequeño y meterlo por el agujero que va haciendo. En estas condiciones el diámetro de la cabeza del trépano que golpea el fondo del agujero es mayor que el diámetro del martillo.

La hinca de tubos (Fig. 3.2) se realiza con tubos de uno a tres metros en donde el primer tubo va provisto de una zapata cortante. La introducción de los tubos se hace con un equipo que se compone de un pequeño trípode, una maza de unos 100 kg y una cabeza de cabrestante accionada por un motor de 10 C.V. (Caballos de Vapor).

En el sistema de percusión en seco se emplean dos procedimientos: uno, aquel en que la batería de perforación está formada por barras macizas, y otro en el que la batería esta reemplazada por un cable. El primero recibe el nombre de Canadiense y el segundo de Pensilvaniense. En estos procedimientos, la percusión

se produce al caer de una forma repetida y continua un trépano que golpea sobre el fondo del agujero (Fig. 3.3).

Perforación a Rotación

Para la rotación los procedimientos manuales (Fig. 3.4) se emplean solamente en terrenos poco coherentes o de dureza pequeña, tales como recubrimientos de suelos para el primer caso y capas de sal para el segundo. Taladros y barrenas de forma diferente y complicada a veces, permiten disgregar el terreno y subir los detritos a superficie. Este procedimiento es basado en la rotación de la herramienta.

El uso de barrenas helicoidales (Fig. 3.5) para toma de muestras preliminares es un procedimiento que cada vez se emplea más, sobre todo en terrenos sedimentarios blandos y en zonas de gravas no cementadas. En estos tipos de terrenos poco consolidados suele tener dificultad profundizar los primeros metros por los procedimientos normales, pero el empleo de una barrena helicoidal ayuda a pasarlos con una mayor facilidad.

La perforación con diamante (Fig. 3.6) tiene la ventaja de obtener un testigo o núcleo, cualquiera que sea la dureza de la roca, aunque en terrenos muy alterados es necesario tomar varias precauciones. Para que el testigo pueda obtenerse por percusión, es necesario que la roca sea relativamente blanda. Por lo tanto, puede decirse que la perforación a diamante es un procedimiento universal para obtener testigo en toda investigación geológica. La perforación se efectúa siempre suministrando la energía por un motor. La particularidad de este método es que la broca al ir avanzando en el terreno va obteniendo una barra cilíndrica, la cual es el núcleo.

En la perforación normal el agua o lodo de perforación llega a la broca o tricono, descendiendo por el interior de la tubería y subiendo con los detritos de la perforación por el espacio anular comprendido entre el agujero y el exterior de las barras. El método de perforación de circulación inversa consiste (Fig. 3.7) en perforar haciendo que el agua circule en sentido inverso, es decir, descendiendo por el espacio anular y subiendo por el interior de las barras.

La perforación tricónica rotaria (Fig. 3.8) se emplea para hacer agujeros verticales con diámetros más grandes que los que se emplean en la industria minera. Se pueden emplear brocas de diamantes, pero generalmente se emplean triconos que son unas herramientas formadas por tres conos dentados que al rodar sobre el fondo del agujero van rompiendo la roca.

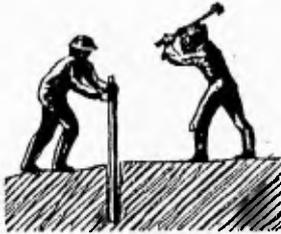


Figura 3.1.- Procedimiento Manual de Perforación a Percusión.

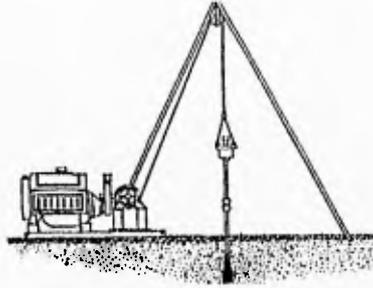


Figura 3.2.- Hincado de Tubos.

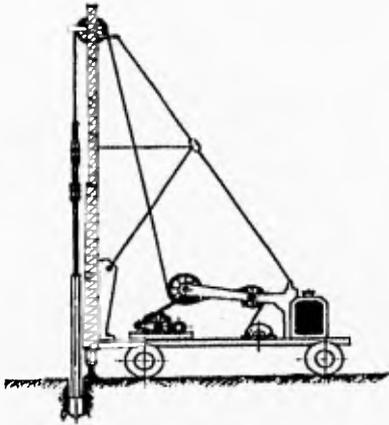


Figura 3.4.- Sistema de Percusión en Seco.

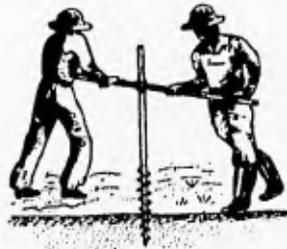


Figura 3.4.- Procedimiento Manual de Perforación a Rotación.

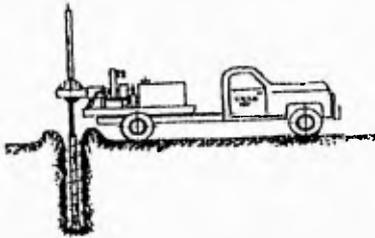


Figura 3.5.- Barrena Helicoidal.

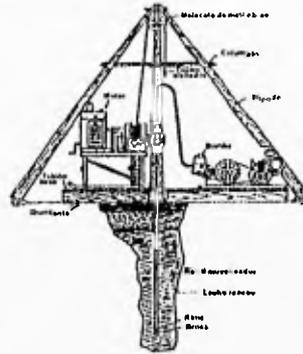


Figura 3.6.- Perforación a Diamante.

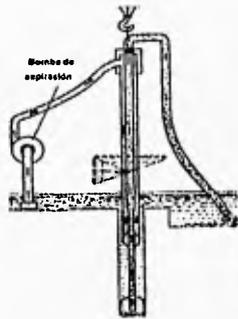


Figura 3.7.- Perforación a Circulación Inversa.

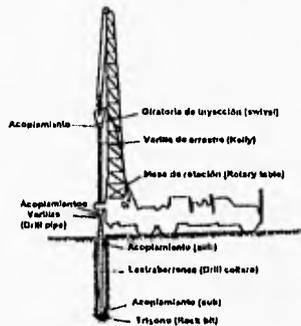


Figura 3.8.- Perforación Tridimensional Rotaria.

El movimiento de rotación esta originado por una parte de la máquina llamada mesa de rotación, la cual está animada por un movimiento de rotación. A través de ella se desliza una varilla que recibe el nombre de barra de arrastre (Kelly), así como en el tricono un peso llamado lastrabarena.

Por último, dentro de la perforación a rotación existe una serie de procedimientos para este fin que requieren una técnica especial. Por ejemplo, la turboperforación consiste en un motor hidráulico subterráneo que mueve al tricono. Transforma la energía hidráulica suministrada por las bombas de energía mecánica que se consume en la rotación del tricono. Se coloca entre la broca y el tren de perforación.

Otros métodos más modernos son las descargas eléctricas, disparo de proyectiles, perforación con cadena continua y el cambio de la broca sin sacar la tubería. El primero consiste en aplicar corriente eléctrica en el agujero relleno de lodo, lo cual crea una onda de choque de gran presión que rompe la roca en pedazos. El segundo método se basa en disparar proyectiles por medio de tres tubos situados entre las piñas del tricono, con lo cual se fragmenta la roca. La cadena continua, consiste en una cadena cuyos eslabones tienen unas pastillas de diamantes que se mueve entre dos ruedas dentadas, situadas en la parte inferior y superior del cuerpo que sustituye esta nueva broca.

El cambio de broca sin sacar la tubería tiene la particularidad de que cuando se han desgastado las piñas del tricono, son cambiadas automáticamente por otras que están almacenadas en el cuerpo de la corona. Aunque las piñas deben ser más pequeñas que las convencionales, lo cual hace que duren tres veces menos, o el cuerpo de la broca puede almacenar doce piñas (Puy, 1977).

Equipo de Perforación

La única justificación para la inversión de las perforaciones a diamante es obtener información sobre lo que hay en el subsuelo, y la forma más rápida y económica de obtener esa información es la perforación a diamante para extraer el núcleo o muestra que indique lo que ahí existe. La recuperación del mayor porcentaje de núcleo sólo se puede lograr usando las herramientas y equipos convenientes. En un barreno de reconocimiento se necesita la muestra y hay que sacrificar avance para obtener una buena testificación de las formaciones atravesadas (Vázquez, 1992).

El equipo de perforación utilizado en este proyecto de Investigación consistió de dos máquinas de exploración minera superficial de barrenación a diamante y

recuperación continua de núcleo de marca JKS BOYLES BROS, BBS-37 y BBS-45 (Fig. 3.9 y 3.10) de origen Canadiense y de capacidad de perforación media, es decir, de 690 a 870 m (menor a 2,000 m) dependiendo del diámetro de perforación.

La configuración básica de una perforadora (Fig. 3.11) es de un motor, grúa o malacate de maniobras, barras de perforación, alimentador de las barras, cabezal de perforación y brocal; todo montado en un trineo de acero estructural soldado que permite el fácil traslado de la perforadora al camión y viceversa (Cumming, 1980). Cada máquina de barrenación se acompaña de una torre o mástil, bomba de agua (Fig. 3.12), depósitos o cárcamos para almacenamiento de agua (Fig. 3.13), tubería y cajas de almacenamiento para los núcleos; así como, diversos accesorios y herramientas inherentes a la perforación como lo son trampas, llaves, mangueras, brocas, etc.

Con respecto a las perforadoras, la BBS-45 y la BBS-37 difieren en que esta última está equipada con su mástil o torre de perforación y su malacate o "winch" (Fig. 3.14) el cual no está ensamblado en la BBS-45, y en cambio se le tienen que adaptar estos aditamentos para su operación.

La torre o mástil es de 20 pies (para ambas máquinas) y su trabajo consiste en levantar e introducir la tubería y el cable con el pescador y/o el barril muestreador. Para la BBS-45 se le adaptó una torre de perforación de forma trapezoidal de siete patas tubulares de apoyo (Fig. 3.15), y un malacate marca Longyear de motor a gasolina de 12 H. P. con aproximadamente 550 m de cable de acero (Fig. 3.16).

Las bombas de agua usadas fueron marca "Royal Bean" con una capacidad de hasta 37 Gal/min (147.07 l/min), las cuales son de transmisión estándar de cuatro velocidades y emplean combustible diesel. La bomba inyecta agua y/o lodo durante la perforación, a través de la sarta que permite el enfriamiento de la broca y la extracción de la cortadura hasta la superficie. Los accesorios del equipo de bombeo son la válvula de alivio y el manómetro que indica taponamiento o bloqueo de la broca cuando ocurre elevación de presión. Inherente al sistema de bombeo se encuentran los depósitos de agua o cárcamos, que son dos o tres toneles de forma rectangular los cuales varían en capacidad de 2000 a 3000 litros aproximadamente.

Otros accesorios auxiliares de la perforación son la cabeza giratoria de inyección de líquido, el tapón elevador y la trampa de seguridad. La cabeza giratoria de inyección de líquido tiene por objetivo alimentar de fluido al barreno

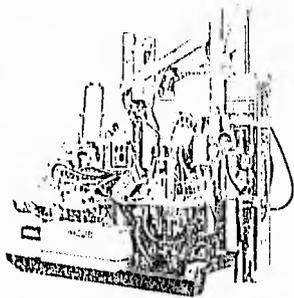


Figura 3.9.- Perforadora BBS-37

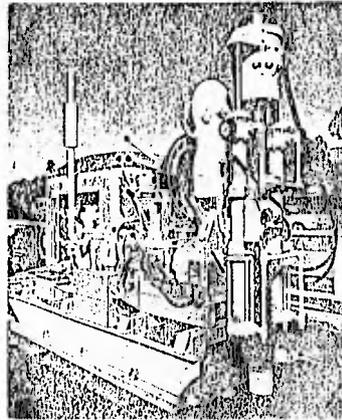


Figura 3.10.- Perforadora BBS-45

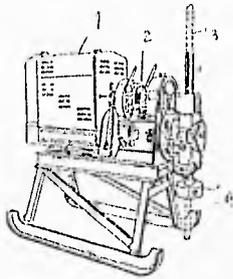


Figura 3.11.- Configuración básica de una perforadora.

- 1) Motor
- 2) Grúa o malacate de maniobras
- 3) Alimentador de barras de perforación
- 4) Cabezal de perforación y brocal ("Chuck")

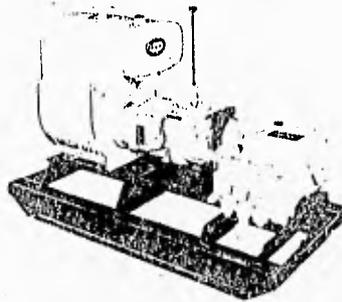


Figura 3.12.- Bomba de agua.

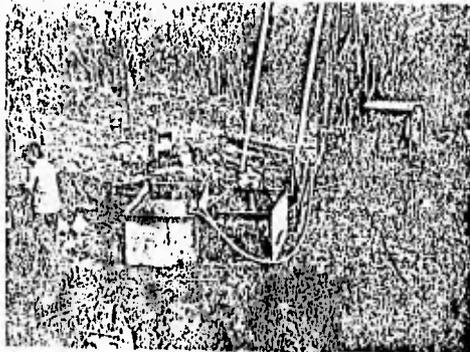
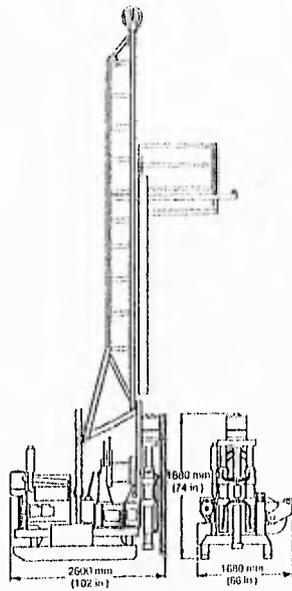


Figura 3.13.- Cárcamos para agua.



Complete Drill Assy kg lbs
 2645 5830

	W/L Hoist Assy	kg	lbs
	Complete	227	500
	LEVELWIND Only	54	120

Figura 3.14.- Torre de Perforación y malacate BBS-37.



Figura 3.17.- Broca de Diamante Impregnado.

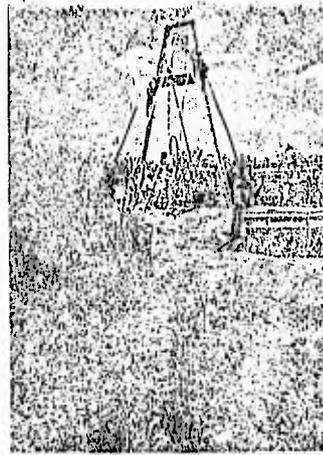


Figura 3.15.- Torre de Perforación BBS-45

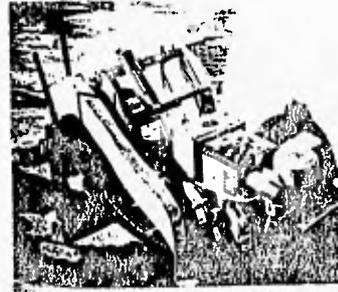


Figura 3.16.- Malacate BBS-45

permitiendo a la vez la rotación de la tubería. El tapón elevador se usa para la extracción y bajado de las barras. La trampa de seguridad es el accesorio que sirve para sostener la sarta cuando se necesita hacer alguna maniobra como sacar la tubería, cambiar tubos, sostener la sarta cuando se extrae el tubo portanúcleo, etc. Se acompaña de mordazas, que son de inserto intercambiable para el tipo de tubería que se este trabajando, NQ ó BQ. Otro accesorio utilizado en la perforación es el reductor de diámetro que se usa para acoplar barras de diferente diámetro. Los reductores se usan también como accesorios del tapón elevador, de la cabeza giratoria, etc, igualmente para conectar barras de perforación con barras de ademe.

La parte que comprende desde la broca hasta la cabeza giratoria se le llama sarta de perforación e incluye todo el varillaje o tubería introducido en el barreno incluyendo el barril muestrero. Con respecto a las barras de perforación existen dos tipos de barras de uso común para las perforaciones a diamante que son barras de la serie W y barras de la serie Q. Anteriormente existió la serie X, pero esta ha sido sustituida por la W que es la de uso actual para perforación convencional que consiste en extraer toda la sarta para extraer el núcleo. La serie Q permite la extracción del tubo interior que contiene la muestra sin sacar la sarta del barreno. La tubería con que se perforó uso diámetros para sistema "wire-line", los cuales fueron NQ y BQ con diámetro de muestra de 47.6 mm (1-7/8 pulgada) y 36.5 mm (1-7/16 pulgada) respectivamente. También asociado a la tubería se utilizó el ademe o "casing" que es otro accesorio importante que se usa por las condiciones especiales del terreno que se encuentren al comenzar la perforación, o a veces es necesario para recuperar pérdida de circulación causada por obras o cavidades y en las cuales no dan resultado los obturantes o la cimentación. En particular, en las perforaciones realizadas en Yucatán el ademe se utilizó para cubrir los tramos con material arcilloso, y los ademes utilizados fueron HQ para NQ, y NQ para BQ. El tipo de broca que se usó fue de diamante impregnado Serie Longyear (Fig. 3.17) para formaciones de mediana dureza a duras, moderadamente abrasivas y parcialmente fracturadas o para formaciones semi-duras, abrasivas y compactas.

Existen dos clases de diamante para la fabricación de brocas y rimas que son el Bortz y el Congo que son del tipo de diamante industrial. El diamante resiste muy alta presión, aproximadamente unos 80,000 kg/cm², pero su desventaja es que es muy frágil, se rompe con un pequeño golpe y es muy sensible a la alta temperatura.

Para la selección de una broca de diamante se debe especificar el tamaño del diamante, cantidad de diamantes, calidad, dureza de la matriz, número y profundidad de vías de agua y perfil o forma de la broca. Aunadas a las brocas para el proceso de perforación se utilizan también las rimas o escareadores. Las rimas son un componente tubular del barril, el cual une la broca con el barril. La superficie exterior de las rimas es montada con diamantes en un diámetro específico para asegurar un diámetro constante del hoyo, independiente del desgaste de la broca. La rima también sirve como estabilizador. Otro implemento de perforación y específicamente unido al ademe son las brocas zapata y brocas de ademado o revestimiento. La broca zapata, es de pared delgada y no contiene diamantes en su interior para permitir el paso del barril muestrero y la rotación de la sarta. Tiene menos resistencia y se usa para rimar en tramos cortos sin necesidad de extraer el ademe y se coloca de modo permanente en él. Las zapatas son atornilladas a la tubería de ademe y se usan para penetrar aluvión y para asentar el ademe en roca firme o para prolongar la entubación cuando se avanza el ademe en un hoyo con la sarta en el lugar. La broca para rimar, se usa cuando se tiene que ensanchar el barreno en tramos de gran longitud. Esta broca no permite el paso del barril muestrero por su interior y contiene diamante en esta parte. Al final de la operación de rimado se retira la broca y se coloca el ademe. Las brocas de ademado se utilizan cuando se requiere avanzar la tubería de ademe sustancialmente mientras las barras estén retiradas del hoyo. Dentro del proceso de perforación el uso de la broca de diamante se hace efectivo cuando se aplica de manera adecuada presión, rotación y caudal de bombeo sobre ésta. La presión que se aplica sobre la broca, depende de la dureza de la roca. Cuando se aplica demasiado peso, se causa grave daño a la tubería de perforación y se origina una desviación notable del barreno. Una buena penetración y un buen rendimiento de la broca se logra sólo cuando la cortadura se desaloja rápidamente del fondo del barreno para que la broca no tenga que triturar la cortadura que se produce (Vázquez, 1992).

Otra herramienta necesaria en la perforación son las llaves stæilson de 8,16, 24 y 32 pulgadas que sirven para "quebrar" (desatomillar) o unir tubería. Así mismo, se ayuda en esta operación con tubos defectuosos de perforación de 1.5 m para hacer acción de palanca al momento de desatomillar la tubería.

Una de las características esenciales de un sistema de perforación rotatorio es el sistema de circulación, también conocido como el fluido de perforación. Para que el sistema de perforación rotatorio pueda funcionar, es necesario circular fluido a través de la tubería de perforación. Los propósitos principales del fluido de perforación son:

- 1) Proteger las paredes del agujero de socavamiento.
- 2) Sellar las paredes, para reducir la pérdida por circulación.
- 3) Enfriar y limpiar la broca y tubería.
- 4) Recoger los fragmentos del fondo (si es que no existe pérdida de circulación del fluido).
- 5) Soportar las paredes del hoyo para que no se derrumben.
- 6) Mantener los fragmentos en suspensión cuando la circulación cesa.
- 7) Evitar que fluidos de las formaciones entren al hoyo.

La efectividad de los fluidos de perforación depende de ciertas características físicas que debe poseer, que son: agua libre y espesor de la costra depositada, densidad, viscosidad y gelatinidad. Los lodos de perforación son mezclas de arcilla (bentonita) y otros aditivos tales como aceites. Un factor importante en los lodos es la calidad del agua que se usa. El agua es el constituyente primario en los lodos de perforación. Las propiedades de la bentonita en el agua son seriamente afectadas por sustancias ácidas o salinas disueltas en el agua. El agua que contiene calcio o magnesio restringe las cualidades de suspensión y dispersión de la bentonita. Los lodos que se usan exclusivamente en la perforación a diamante con extracción de núcleo son los siguientes: lodo para iniciar el barreno, lodo de bentonita tratado, lodo con coloides orgánicos tratado y lodo emulsionado con aceite (diesel) (Puy, 1977; Vázquez, 1992). En las perforaciones realizadas, el principal fluido de perforación utilizado fue agua, y se aplicó bentonita únicamente en los sitios o tramos donde el barreno presentaba indicios de atascamiento.

Sistema "Wire-Line"

El principio del sistema Wire line y el barril nucleador no es nuevo; la industria petrolera desarrolló el equipo y el método hace muchos años, y sucesivamente se ha aplicado la técnica a perforaciones de gran profundidad (Cumming, 1980). El sistema wireline y el barril nucleador consisten de las siguientes partes (Fig. 3.18):

- 1) Broca de diamantes
- 2) Rima con impregnación de diamantes

- 3) Barril exterior que es sujetado a un cable wireline.
- 4) Tubo interior o barril interior recuperable (retenedor de muestra), con un liberador de núcleo en la parte final, un swivel con cojinetes en la parte superior final del tubo interior y una cerradura y cono de extracción.
- 5) Gancho pescador
- 6) Cable wireline
- 7) Tubos o barras de perforación
- 8) Grúa del wireline

El barril muestrero o nucleador es el accesorio más importante en la perforación a diamante, y con broca y rima acoplado, su función es la de perforar y coleccionar la muestra o núcleo si se le aplica rotación y presión adecuada por medio de las barras de perforación acopladas a éste. Las barras reciben rotación y presión por medio del cabezal de la perforadora. El barril muestreador se compone de cuatro partes: tubo exterior, tubo interior o portanúcleo, rima escañadora, y broca de diamante (Cumming, 1980; Vázquez, 1992).

La operación es como sigue: comienza la perforación y procedimientos de manera acostumbrada; es decir, se une nueva tubería a la sarta, se conecta el swivel, se aprietan las mordazas del chuck, se libera la trampa de pie y se pone en marcha la bomba de agua y la perforadora hasta que el manómetro de agua indique aumento de presión o hasta que haya retorno de agua, se empieza a dar avance y entonces la perforación ha comenzado. Cuando el barril muestreador está lleno u ocurre un bloqueo, el tubo interior conteniendo el núcleo es desmontado. A una determinada exactitud ocurre un bloqueo, una válvula de goma que forma parte del interior corta o interrumpe el fluido; al instante en que ocurre el bloqueo en el tubo interior la válvula restringe la circulación y alerta al operador al incrementarse la presión de la bomba, y descarga el agua a través de una válvula de alivio. Al final de cada núcleo corrido las barras de perforación y el barril exterior permanecen en el hoyo, el interior reteniendo el barril es extraído usando el pescador. Este gancho pescador es llevado hasta el fondo a través de los tubos de perforación del wireline cuando se recupera el interior. El despegue o levantamiento de la muestra es por medio del cable del wireline y el pescador. El tubo interior con el núcleo es llevado a superficie por la grúa del wireline y un tubo interior de repuesto es introducido (previando que el barreno este relleno con agua) o bajado lentamente con ayuda del pescador (si es que no existe agua en el barreno) a

través de la tubería hacia el barril exterior y la broca, haciendo contacto con el sujetador del tubo exterior asegurándose en su lugar y con esto continuar la perforación. A medida que se profundiza la perforación el viaje de ida y vuelta para rescatar el interior con el núcleo se hace más largo (Cumming, 1980; Puy, 1977. Vázquez, 1992).

La tubería es alzada sólo cuando se requiere reemplazar la broca. También es necesario cuidar la rectitud del hoyo cuando se perfora verticalmente y ha pasado mucho tiempo en determinar apropiadamente los contornos de la broca (Cumming, 1980). Los tubos testigos normales (interiores) tienen un largo de 3.05 m. No suelen hacerlos más largos, puesto que una barra testigo de más de tres metros se partiría más fácilmente y contribuirá a acuñaer el testigo dentro del tubo (Puy, 1977).

Las ventajas del barril wireline son particularmente evidentes en trabajo profundo, y cuando las condiciones de perforación permiten un buen avance por tramo (Puy, 1977, Cumming, 1980). Algunas de estas ventajas son:

- a) En poco tiempo se obtiene la información a través del barril interior, sin tener que desarmar toda la tubería de perforación.
- b) Disminución del tiempo en maniobras, incrementando el tiempo neto y de mayor avance de perforación.
- c) Menos socavamiento en el hoyo, menor bloqueo del núcleo.
- d) Largos tramos de núcleo y alta recuperación.
- e) Menor fatiga para el operador.
- f) Se puede perforar a mayor velocidad de rotación, aumentando por lo tanto la velocidad de penetración.
- g) A partir de unos 100 m es más económico y se obtiene mayores rendimientos con este sistema.

Los inconvenientes o desventajas de este sistema son los siguientes:

- a) En terrenos en los cuales se perfora con lodo hay que tener mucho cuidado, pues un bloqueo del tren de perforación sería muy difícil de salvar.
- b) Donde las condiciones de la roca hacen necesario reemplazar la broca a menos de 20 pies de perforación o menos.
- c) La broca es mucho más cara por tener un mayor espesor en cantidad y tamaño de diamantes.

Instalación del Equipo de Perforación

Para instalar el equipo de perforación, es necesario que donde se asiente, este libre de vegetación en un área aproximada de 20x20 m (un "mecate"), así como ampliar y emparejar el acceso para los vehículos que transportan maquinaria y equipo, dado que en Yucatán en general los caminos son poco anchos y muy dispares por las condiciones cársticas. Hecho lo anterior, se procede a descargar, seleccionando previamente el sitio donde quedará la perforadora y equipo aldeaño, es decir, planear la disposición de todo el material de barrenación.

Ya señalado el sitio del barreno, se acomoda la máquina sobre dos patines o durmientes de ferrocarril perpendiculares a los patines de la perforadora, se nivela horizontalmente y se ancla con tensores de acero en tres puntos, dos laterales y uno central. Es necesaria esta implementación debido a que se puede dar una volteadura o intento de giro cuando la máquina este soportando gran cantidad de tubería o si existe un "amarré", es decir, un atascamiento en el cual la tubería no se pueda mover y sea necesario utilizar la máxima potencia de la máquina para desatorar todo el cuerpo de tubos. Instalada la máquina se levanta la torre o mástil, lo cual se logra con la misma perforadora.

En la BBS-45 se levantan las patas de apoyo en forma paralela, es decir, primero se van armando las laterales y luego las longitudinales, verificando que estas últimas queden centradas a lo largo del eje de la máquina. Así mismo, se instala el columpio de maniobras que sirve para el cambio de tubería e introducción de ademe, también el sistema de poleas para el malacate, el tapón elevador y el swivel (junta giratoria).

Cuando la máquina y torre quedan en el sitio preciso, se acomoda la bomba de agua y los cárcamos de tal manera que el operador pueda observar claramente el manómetro de la bomba y el nivel que guardan estos. Lo anterior es con el fin de no perforar sin agua y verificar la lectura normal del manómetro, pues si se incrementa su valor puede indicar un taponamiento en la broca o completo relleno de muestra en el barril. Aunado a la perforadora y bomba de agua, se cava un depósito de 1.5 m de radio por 1.5 m de profundo que sirve para sedimentar los lodos de perforación y reutilizar la recuperación de agua. El medio por el cual se abastecía de agua a los depósitos consistió en instalar un cárcamo rectangular de aproximadamente 7,000 litros en un camión de carga de capacidad de 15 toneladas, mismo que sirvió para el transporte de los equipos. Al momento de descargar el equipo se prevee donde se colocara la tubería, la cual no debe quedar alejada de la máquina. Junto a la tubería, también se colocan las cajas,

separadores y tapas para muestras, lambos de grasa, aditivos de perforación, cajón de herramientas y refacciones tales como brocas, llaves, rimas, zapatas, tensores, etc. Un aditamento inherente a la perforación es el canal de muestras (Fig. 3.19), colocado muy cerca del sitio de barrenación, que es un tubo normal de perforación el cual está cortado longitudinalmente a la mitad y sostenido por dos palas en cada extremo y sirve para lavar y analizar la muestra obtenida.

Brigada de Perforación

La brigada se compone de un supervisor, un perforista y uno o dos ayudantes. El supervisor, en este caso el ingeniero geólogo, se encarga de clasificar, describir y analizar los núcleos, así como de verificar el debido acomodo y orientación de la muestra o núcleo.

Aunado a esto, cuantifica la profundidad, avance y recuperación recomendando intervalos de perforación y anticipando las posibles características litológicas en base a la misma información recuperada a través de los núcleos y bibliografía estudiada.

El perforista se encarga del buen funcionamiento de la máquina, desde su traslado y descarga, hasta su instalación y operación. Verifica el avance, recuperación y profundidad del barreno y lleva a cabo el acomodo y lavado de la muestra. Junto con sus ayudantes realiza las operaciones de perforación.

Control y Supervisión de la Perforación.

El control de la perforación se lleva a cabo mediante una libreta de campo - misma que sirve para la descripción de muestra- y en la cual se anotan los siguientes datos:

Tabla III.- Formato para el Control y Supervisión de la Perforación.

POZO:		
FECHA:		
DESCRIPCION:		
De: ___ m	A: ___ m	P: ___ m R: ___ m Observaciones Columna

P: Perforado

R: Recuperado

m: metros

En la parte de descripción se refiere a describir las características petrológicas de la muestra, es decir, su color, tamaño de grano, intemperismo, fracturamiento, contenido fosilífero, mineralogía, porosidad, etc., así como especificar en metros el intervalo y sus datos de perforación señalados anteriormente.

Aunada a la descripción se tiene la sección de observaciones y columna. En la parte de observaciones se anotan dos tipos de datos, ya sea referentes a la perforación o con respecto a la columna.

Para los primeros se especifican datos técnicos tales como profundidad del ademe, inicio y paro de la barrenación, descomposturas y tipos de fallas mecánicas, así como pérdida de agua, amarres o atascamientos, cambio de broca, etc.

En la segunda columna se anota la explicación o leyenda de la misma columna, es decir, se especifica la simbología del tipo de roca descrita; fósiles, fracturas, huecos y texturas. Se realiza un pequeño esquema litológico sin escala o una resumida columna estratigráfica del intervalo perforado en base a las características descritas y contenidas en la muestra donde se puede observar de manera general los rasgos más importantes que van desde el intervalo de profundidad señalada en la parte superior e inferior, hasta el contenido faunístico y textural entre otros.

La supervisión constó de verificar junto con el perforista los intervalos de perforación, recuperación y adecuada orientación y acomodo de la muestra. Los intervalos de perforación permiten cuantificar lo que se va profundizando, y estos pueden ser variables debido al tipo de formación que se está atacando en ese momento, esto es, se puede avanzar menos de un metro si el terreno es muy quebradizo o hasta tres metros si la roca es competente. Por lo tanto, es importante observar cuanto es lo que descendió la tubería verificando que distancia profundizo el cabezal o "Chuck" (Fig. 3.11) de la perforadora. La recuperación es un parámetro que indica cual es la longitud total recuperada en un intervalo de perforación. O sea, aunque se perforen tres metros no siempre se recuperara esa misma longitud de roca. Esto se debe a características propias de la litología. De lo anterior, siempre se verificó la recuperación cuando la muestra o núcleo se vaciaba en el canal de muestras, en donde con ayuda de una cinta métrica se media el núcleo recuperado. La recuperación puede ser igual pero no mayor a lo perforado, aunque en algunos casos se podía quedar muestra atorada en el intervalo anterior de perforación y sumarse al intervalo obteniendo con lo cual se incrementaba el valor de recuperación. Una de las claves para determinar si pertenecía la muestra al

intervalo anterior, era fijarse en los extremos de la muestra en donde se tendrían las marcas de los sujetadores de la muestra (core lifters), con lo cual se podría diferenciar cual intervalo era anterior y posterior. La orientación de la muestra también es una parte esencial en el control de la perforación, de tal manera que cuando sale el tubo interior con el núcleo y se vacía sobre el canal de muestras, se debe verificar que parte es la más antigua y cual la más joven. Por lo tanto, al iniciar la barrenación idealmente el barril se encuentra vacío, pero a medida que se perfora este se va rellendo con muestra hasta llegar a su tope o máxima capacidad, o sea, que lo primero que se perforó queda arriba y lo último abajo. Con lo anterior se podrá acomodar el núcleo en el orden correcto sin alterar el muestreo continuo. Antes de acomodar la muestra, ésta se debe encontrar limpia y numerada la caja donde se resguardara con los siguientes datos: número de caja, nombre del proyecto, número de barreno, intervalo de perforación (De:_____m. A:_____m.) y por último en la caja se marca el sentido de perforación con las palabras INICIA y TERMINA junto con flechas indicativas. Una vez que los núcleos se encuentran correctamente acomodados, con un marcador en color negro se indica el sentido de perforación a manera de flechas discontinuas sobre el núcleo para así al tomar una muestra se sepa a que parte pertenece (Fig. 3.20).

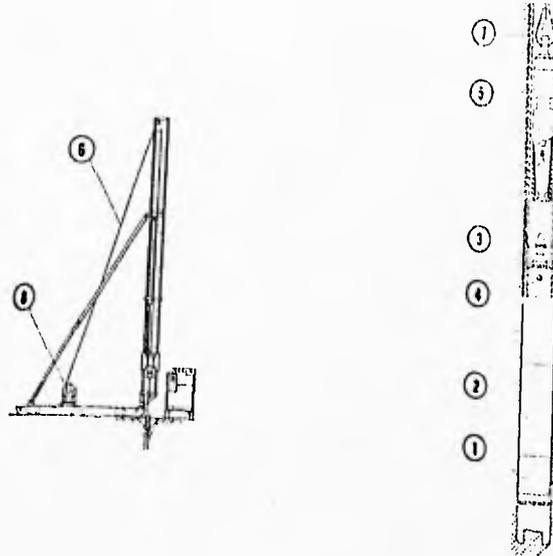


Figura 3.18.- Partes del Sistema Wireline y Barril Muestreador.

- | | |
|--|---------------------------|
| 1) Broca de diamantes. | 5) Gancho pescador. |
| 2) Rima con impregnación de diamantes. | 6) Cable wireline. |
| 3) Barril exterior. | 7) Barras de perforación. |
| 4) Tubo interior o barril interior. | 8) Guía del wireline. |

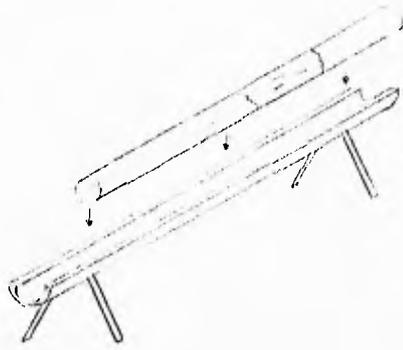


Figura 3.19.- Canal de Muestras.



Figura 3.20.- Caja de Núcleos. Colocación y Orientación.

CAPITULO IV PERFORACIÓN

El programa de perforación realizado en el noroeste de la península de Yucatán tuvo como finalidad la exploración del cráter de Chicxulub. La disposición y ubicación de los sitios de pozos se estableció bajo el modelo de Sharpton et al., (1993). El pozo UNAM-1 a 53 km al sur del centro del cráter solo pudo penetrar 154.45 m y se obtuvo una recuperación de 93.60 m (60.60 % de recuperación). Al mismo tiempo que el pozo UNAM-1 barrenaba, el pozo UNAM-2 se ubicó a 80 km, también hacia el sur del centro de la estructura, perforando 559.00 m y recuperando 501.45 m (89.70 % de recuperación). El pozo UNAM-3 se ubicó a 125 km al sureste del centro del cráter, perforó 137.55 m y recuperó 120.10 m (87.31% de recuperación). El pozo UNAM-4 se ubicó a 113 km al sureste del cráter, perforó 69.10 m y recuperó 59.35 m (94.05% de recuperación). Finalmente el pozo UNAM-5 perforó 502.60 m y recuperó 459.15 m (91.35 % de recuperación) ubicándose al sur a 110 km de Chicxulub Puerto.

Los cinco pozos perforados contemplaron penetrar la estructura de Chicxulub, pero solo el UNAM-5 fue quien recuperó roca con indicios del cráter y los demás solo obtuvieron una columna carbonatada. El desarrollo de los pozos fue variable debido a los contratiempos que surgieron en estos principalmente por problemas de atascos que cuando se presentaban, se perforaba un nuevo pozo en otro sitio previamente seleccionado. Los Pozos UNAM-1, UNAM-3 Y UNAM-4 fueron los que

se cambiaron de sitio al presentar amarres de tubería. Dada esta situación y al observar que los pozos no profundizaban lo suficiente, la empresa Frisco S.A. de C.V. ofreció perforar dos pozos a 500 m cada uno para poder penetrar la estructura, pues los gastos de costos e insumos aumentaban a medida que avanzaba el tiempo y no se obtenían los resultados esperados. Con lo anterior, dado que el pozo UNAM-2 se encontraba cercano al segundo anillo del modelo de Sharpton et al., (1993) y en la zona denominada anillo de cenotes (Velázquez, 1995), se continuó su perforación y por otro lado el nuevo pozo a barrenar fue el pozo UNAM-5, que se ubicó hacia la parte externa y sur de la estructura. El pozo UNAM-5 se localiza a tres kilómetros al noroeste del pueblo de Santa Elena y 17 km de Ticul. Sus coordenadas son: Latitud Norte 20° 20.31' y Longitud Oeste 89° 39.75'. Con respecto a el modelo gravimétrico de Sharpton et al., (1993) se ubicó entre el tercero y cuarto anillo. La maquinaria utilizada en este pozo fue la BBS-45. La barrenación comenzó el once de mayo de 1994 y concluyó el ocho de junio del mismo año. En un principio el trabajo de perforación consistió solamente de un turno, pero a partir del primero de julio se implementó doble. El periodo de trabajo fue interrumpido desde el veinte y ocho de mayo hasta el quince de junio debido a que solamente se barrenó en el pozo UNAM-2. Los principales datos concernientes al pozo UNAM-5 son:

Localización Regional: Ejido Santa Elena, Pozo No. 1 Benito Juárez.

Altitud = 60 m (lectura GPS).

Nivel Freático = 33.00 m

Tiempo Total de Perforación = 36 días

Perforación Total del Pozo = 502.60 m

Recuperación Total de Núcleo = 459.15 m

% de Recuperación Total de Núcleo = 91.35 %

TABLA V.- Intervalo y tipo de tubería del Pozo UNAM-5

Intervalo	Tubería
De 000.00 a 255.30 m	NQ 2' 3/4 (69.9 mm. D. E.)
De 255.30 a 502.60 m	BQ 2' 3/16 (55.6 mm. D. E.)

D.E. : Diámetro Exterior

Para describir el desarrollo de la perforación del pozo UNAM-5, se realizó el Perfil Geotécnico de éste. Los datos con que se elaboró este perfil son los siguientes: número de día (Día), profundidad en metros (Prof.), tipo de tubería (Tub.), tipo de roca (Litología, Perfil y Descripción), fracturamiento, disolución y horizontes arcillosos (Discontinuidades, Perfil y Descripción), intervalos de perforación (Perforado, Recuperado), intervalo de perforación total por día (Avance, Recuperación), porcentaje de recuperación total por día (%Rec) y observaciones generales acerca del tramo o día perforado (Observaciones). La anterior información proviene del Anexo 1 el cual contiene los principales datos acerca de la perforación.

Día	Prof (m)	Tub.	Litología		Discontinuidades		Perforado Recuperado	Avance Recuperación	%Rec	Observaciones
			Perfil	Descripción	Perfil	Descripción				
1	5.75	2 3/4 (617)	Q	Caliza recristalizada de color blanco cremoso a gris y tonos amarillos con fragmentos de bivalvos (V) y gastropodos (G) (m. 5cm) así como óxidos de hierro (A) diseminados en color rojo.	Fracturamiento a 45 grados con algún relleno arcilloso					Ademe HQ 3.70 m
2	10		Q			Horizontes arcillosos de hasta 10cm de espesor				Ademe HQ 9.15 m
3	14.35		A		Horizontes arcillosos de color café de 10 a 20 cm de espesor, huecos por disolución (b) de hasta 5cm de longitud y fracturamiento a 30, 45 y 60 grados con relleno arcilloso y calcita				- Perdida (110) total de agua - Tapamiento por caídas de paredes - Material fragmentado/Bajo Vec	
4	20		Q							
5	23.50		Q							
6	25		Q							
7	26.55		Q							
8	29.60		Q							
9	32.45		Q							
10	35		Q							
11	35.70		Q							
12	40		A							
13	41.80		Q							
14	44.45		Q							
15	47.10		Q							
16	50		Q							
17	52.15		A							
18	54.00		Q							
19	55		A							
20	57.05		Q							
21	60		Q							
22	62.10		Q							
23	63.15		Q							
24	65		Q							
25	67.20		A							
26	70		Q							
27	72.30		Q							
28	75		Q							
29	77.35		Q							
30	78.40		Q							
31	80		Q							
32	81.45		A							
33	84.50		Q							
34	85		Q							
35	87.55		Q							
36	90		Q							
37	92.60		Q							
38	94.65		Q							
39	95		A							
40	97.70		Q							
41	99.75		Q							

TESIS: PERFORACIONES EN EL NOROESTE DE LA PENINSULA DE YUCATAN. FRANCISCO VELAZQUEZ AYALA U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA

PERFIL GEOTECNICO DEL POZO UNAM-5 Esc. 1:500 Hoja 1/5

Programa UNAM de Perforación de la Estructura de Impacto Chicxutub

Equipo de Perforación: JKS-BBS-45

Inicio: 11/05/94
Termino: 08/06/94

Dia	Prof (m)	Tub.	Litología		Discontinuidades		Perforado (m)	Recuperado (m)	Avance (m)	Recuperación (%)	N. Rec.	Observaciones
			Perfil	Descripción	Perfil	Descripción						
12	102.80	NQ										
	105											
13	106.80	(11)										
	108.90											
	110											
	111.15											
14	115											
	118.05											
	120											
	121.10											
15	121.15											
	125											
	127.20											
	130											
	131.25											
	130.85											
	131.10											
	135											
	134.35											
16	133.15											
	140											
	141.00											
	143.20											
	145											
	143.50											
	148.55											
	150											
	151.60											
	154.65											
17	155											
	157.70											
	160											
	161.20											
	162.00											
	165											
	164.85											
18	167.20											
	170											
	172.25											
19	175											
	175.25											
	178.65											
	180											
	180.75											
20	182.10											
	185											
	183.75											
21	183.70											
	190											
	191.75											
	193.05											
22	195											
	193.10											
	197.80											

Dia	Prof. (m)	Tub	Litología		Discontinuidades		Perforado		Avance		Observaciones
			Perfil	Descripción	Perfil	Descripción	Recuperado (m)	Recuperación (%)	1	2	
22	201.40	110 2 3/4 (61.1) (mm)				Material brechoso					Reinicio de perforación
	204.70				Intercala arcillosa (m)						
	205				Huecos por disolución de 1 a 3 cm						
23	207.15					Fracturamiento a 30 y 45 grados en parte relleno con material arcilloso y huecos de 1 a 2 cm.					
	210.00										
	214.15										
	215										
	217.30										
24	220										
	220.45										
	221.05										
	225										
25	228.45										
	230										
	234.55										
	235										
	231.10										
26	235.60										
	240										
	244.40										
	243.7										
	245										
27	246.15										
	247.80										
	250										
	252.55										
	255										
28	255.30										
	257.75										
	260										
	261.10										
	264.45										
29	265										
	261.10										
	270										
	270.45										
	271.00										
30	275										
	277.05										
	280										
	281.70										
	283.15										

TESIS: PERFORACIONES EN EL NOROESTE DE LA PENINSULA DE YUCATAN. FRANCISCO VELAZQUEZ AYALA U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA	PERFIL GEOTECNICO DEL POZO UNAM-5 Esc. 1:500 Hoja 3/5	Programa UNAM de Perforación de la Estructura de Impacto Chicxulub	Equipo de Perforación: JKS-BBS-45	Inicio: 11/05/94 Término: 08/06/94
---	---	--	-----------------------------------	---------------------------------------

Dia	Prof. (m)	Tub.	Litología		Discontinuidades		Perforado Recuperado	Avance Recuperación	%Rec	Observaciones
			Perfil	Descripción	Perfil	Descripción				
	322.4	EQ	-	Caliza arcillosa de color gris claro-oscuro, con horizontes de lutitas de hasta 10 cm de espesor		Intervalo brecha consistente de clastos calcáreos subangulosos a subredondeados de 0.5 cm a 10cm				Perforación sin problemas
	323.50	2"3/4 (55.6 mm)	-							
	305									
	306.60									
	307.20									
	310									
	311.65									
	313.65									
	315									
	316.70									
	317.75									
	322									
	322.60									
	325									
	325.75									
	328.70									
	330									
	331.15									
	335									
	335.45									
	337.10									
	340									
	342.20									
	343.10									
	345									
	346.65									
	347.75									
	350									
	352.85									
	355									
	355.75									
	358.25									
	360									
	361.25									
	364.45									
	365									
	367.55									
	370									
	372.45									
	374.60									
	374.65									
	375									
	377.70									
	380									
	382.75									
	387.45									
	385									
	386.65									
	389.15									
	390									
	391.25									
	395									
	395.55									
	394.45									

TESIS: PERFORACIONES EN EL NOROESTE DE LA PENINSULA DE YUCATAN. FRANCISCO VELAZQUEZ AYALA U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA

PERFIL GEOTECNICO DEL POZO UNAM-5 Esc. 1:500 Hoja 4/5

Programa UNAM de Perforación de la Estructura de Impacto Chicxulub

Equipo de Perforación: JKS-BBS-45

Inicio: 11/05/94
Término: 08/06/94

Día	Prof. (m)	Tub.	Litología		Discontinuidades		Perforado Recuperado (%)	Avance Recuperación (%)	% Rec %	Observaciones
			Perfil	Descripción	Perfil	Descripción				
33	401.20	BQ 23/16 18.6 (mm)	o	Intervalo continuo de brecha hasta 502.60 m		No se observan huecos por disolución o fracturamiento.				Perforación sin problemas
	405		o							
	407.80		o							
	410		o							
	412.50		o							
	415		o							
	417.00		o							
	418		o							
	419.00		o							
	420		o							
	422.00		o							
	423.15		o							
	425		o							
	426.70		o							
	427.25		o							
	430		o							
	432.25		o							
	435		o							
436.00	o									
34	437.15	o	Carbonetado, que contiene fragmentos de carbonatos, partículas de yeso en forma de cristales y fragmentos de rocas angulosas a subangulosas de tamaño milimétrico y de hasta tres a cinco, y siete centímetros.							
	440	o								
	441.50	o								
	445	o								
	447.10	o								
	450	o								
	450.25	o								
	453.70	o								
	455	o								
	456.75	o								
	457.25	o								
	460	o								
35	462.25	o	Algunos fragmentos tienen un intenso color verde y la apariencia de haber sido fusionados.							
	465	o								
	465.70	o								
	468.25	o								
	470	o								
	472.00	o								
	475	o								
	475.25	o								
	478.70	o								
	480	o								
	481.15	o								
	482.20	o								
36	485	o								
	487.25	o								
	490	o								
	490.30	o								
	493.25	o								
	495	o								
	496.45	o							Terminación del Pozo UNAM-5 a 502.60 m.	
	499.50	o								
	500	o								

TESIS: PERFORACIONES EN EL NOROESTE DE LA PENINSULA DE YUCATAN. FRANCISCO VELAZQUEZ AYALA U.N.A.M. FACULTAD DE INGENIERIA

PERFIL GEOTECNICO DEL POZO UNAM-5 Esc. 1:500 Hoja 5/5

Programa UNAM de Perforación de la Estructura de Impacto Chicxulub

Equipo de Perforación: JKS-BBS-45

Inicio: 11/05/94
Termino: 08/06/94

CAPITULO V

DISCUSION

Análisis del Pozo UNAM-5

El Perfil Geotécnico del Pozo UNAM-5 permite evaluar y analizar el desarrollo de toda la perforación, la cual es óptima cuando el tramo perforado es igual al tramo recuperado. Este último parámetro es muy importante pues se pretendió con la barrenación obtener la mayor cantidad de roca recuperada que en sí es información directa del subsuelo. Estudiando el perfil se observa que la relación "Perforado" - "Recuperado" (P. - R.) se comporta irregular de 0.00 a 72.30 m con tramos perforados de 3.05 m y recuperados entre 0.50 m y 2.80 m. De 72.30 m a 130.85 m el intervalo de perforación es constante (3.05 m) y el de recuperación varía entre dos y tres metros. Al llegar a 130.85 m (Día 15) se agrava el problema de falta de agua y a la vez se requiere trabajar doble turno en el Pozo UNAM-2, por lo cual se suspende la perforación en el Pozo UNAM-5. Después de quince días se reinicia de nuevo la perforación (Día 16) en el Pozo UNAM-5, observándose que de 130.85 m a 180.65 m se mantienen estables P y R, siendo el menor valor 1.60 m y el máximo de 3.05 m para ambos parámetros. Cuando se llega a la profundidad de 180.65 m ocurre el primer amarre de tubería en el intervalo 178.95 - 180.65 m, y debido a que persisten los problemas; el día 20 en su intervalo 180.65 - 182.10 m sólo se perfora y recupera 1.45 m. Se continúa barrenando y se presenta el segundo amarre de tubería en el intervalo 199.40 - 201.60 m. Los anteriores problemas se atacaron realizando lavado, extracción de tubería, y rimado. Se continúa penetrando sin contratiempos, pero en el intervalo 252.55 - 255.30 m ocurre otro amarre, que dada su profundidad obliga a reducir el diámetro de perforación a BQ. Con esta implementación, la perforación se aguilza y así mismo se trabaja doble turno a partir de los 267.90 m para no permitir azolve y por lo tanto evitar un nuevo amarre de la tubería. A partir de la anterior profundidad y hasta el final del pozo a 502.60 m no se suscita ningún problema o contratiempo en la perforación

Las características litológicas son principalmente las que causaron los amarres de la tubería en el Pozo UNAM-5. La columna litológica de este consiste básicamente de calizas hasta 331.95 m y de brecha polimíctica de 331.95 a 502.60 m. Las rocas carbonatadas fluctúan de caliza recristalizada a caliza dolomítica y caliza arcillosa. En todas estas se manifiesta en menor o mayor grado fracturamiento, horizontes arcillosos muy plásticos y adherentes, huecos por

disolución y algunas cavernas. El intervalo de brecha de impacto se manifiesta por el contenido de fragmentos de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias de hasta siete centímetros de longitud con rasgos de fusión, partículas evaporíticas, matriz arcillo-carbonatada y colores de la brecha variantes entre verde y gris claro. En esta no se observan las discontinuidades (fracturamiento, disolución, etc) de las rocas carbonatadas anteriormente descritas. El primer amarre ocurre cuando la litología cambia de la caliza recristalizada a una caliza arcillosa, y en esta misma ocurre el segundo amarre. La anterior roca contiene gran cantidad de horizontes arcillosos que se pueden observar en el perfil geotécnico. El último bloqueo o amarre de la tubería se produce a 255.30 m y también existe un ligero cambio litológico ya que la caliza arcillosa a esta profundidad presentaba horizontes de lutitas y material evaporítico (yeso), y aunque se habían traspasado los horizontes arcillosos, estos muy probablemente vuelven a sujetar la tubería lo que provoca el atasque en este último tramo. Otro aspecto que debe ser considerado, es el tiempo que se dejó de barrenar, lo cual también pudo provocar azolve en el agujero del barreno. Vázquez (1992), menciona las causas que pueden amarrar una tubería: "En las formaciones inestables o cavemosas las principales dificultades son la pérdida de tiempo por cementación o poner ademe. El derrumbe es causado por el saturamiento con agua de las formaciones inestables que, al contacto con agua se hinchan y sobreviene el derrumbe. La descomposición de éstas es causada por altas velocidades de circulación por el espacio anular, cambios de presión causados por el levantamiento o introducción de la sarta de perforación, rotación excesiva, vibración en la tubería, tubos torcidos o chuecos, o bien, por no mantener el barreno lleno de lodo cuando se introduce la sarta. Así mismo, una tubería se pega cuando permanece sin movimiento por causa de agregar una barra para continuar o por finalizar el turno, por alguna descompostura, etc". La descripción anterior da una idea de lo que sucedió en el Pozo UNAM-5, principalmente en el aspecto litológico y en parte en el procedimiento de operación. Si se llegaba a presentar un amarre se recurría a desatorar mediante uno de tres métodos generalmente establecidos. El primero es mediante el lavado del pozo, que consiste en inyectar gran cantidad de agua para remover la arcilla. La segunda opción consistía en tratar de levantar lentamente toda la sarta y desatorar tubo por tubo. Por último, si no funcionaban las dos anteriores alternativas se utilizaba un galo hidráulico que alzaba todo el cuerpo de tubería tratando de liberarla de la zona de atasque, con la particularidad de poder perder parte de la tubería o bien obtener íntegramente todas las barras.

En el pozo UNAM-5 no se llegó a condiciones extremas para desatorar la sarta, pues los tramos problemáticos generalmente se solucionaron con lavado a presión, colocación de ademe, rimado y por último disminución del diámetro de perforación. La falta de agua para perforar ocasionó pérdidas de tiempo de hasta tres horas, y obligó a que en parte se abandonara este pozo hasta obtener un suministro seguro. Aunque existía la cercanía de un pozo de riego, este solo funcionaba en un horario indeterminado, lo cual propicio que se buscaran fuentes alternas de abastecimiento tales como pozos particulares. Ante tal situación se adquirió un tanque de almacenamiento de agua con capacidad aproximada de 5,000 litros, para mantener una reserva en caso de no contar con el volumen suficiente.

Al conjuntar diariamente los datos de los tramos perforados, se estableció el avance y recuperación por día que situados en el perfil geotécnico reflejan que tan óptima había sido la perforación. Para poder obtener una estimación real y porcentual de lo que se estaba recuperando se estableció la siguiente relación:

Porcentaje de Recuperación = %Rec

$\%Rec = (I. R./I. P.) \times 100$

Donde:

I. R.= Intervalo Recuperado (m)

I. P.= Intervalo Perforado (m)

Al final de cada turno o día de barrenación se anotaba el avance total y el porcentaje de recuperación anteriormente descrito. Conjuntando estos datos se elaboró una tabla (Tabla V) que muestra los días de perforación (lunes (L), martes (M), etc), la semana laborada (09-15 de mayo, 16-22 de mayo, etc), el avance por día (Av.), la recuperación (Rec.), el avance semanal (Av. Sem.), la profundidad total (Prof. Tot.) y el número de día de perforación (NDP 1, 2, etc).

TABLA V.- Avance y Recuperación del Pozo UNAM-5

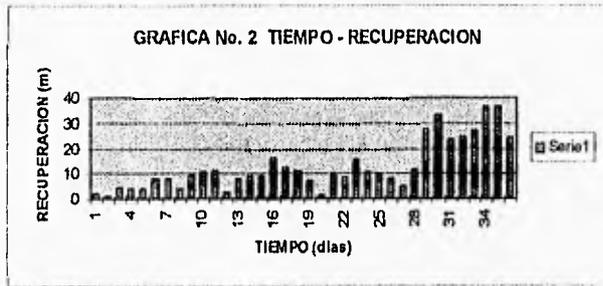
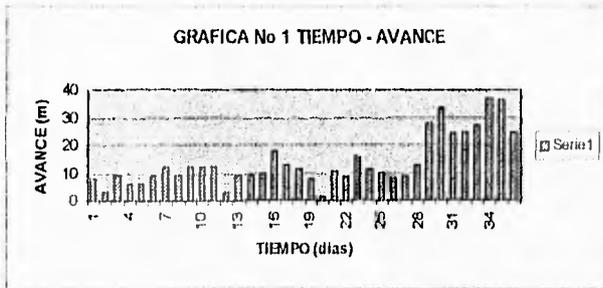
Semana	Días							Av. Sem.	Prof. Tot.
	L	M	M	J	V	S	D		
09-15 de mayo									
NDP			1	2	3	4	5		
Av. (m)	---	---	8.25	3.05	9.15	6.10	6.10	32.65	32.65
Rec. (m)	---	---	2.35	1.20	4.65	3.8	3.90	15.9	
%Rec.	---	---	28.48	39.34	50.81	62.29	63.93	48.69	
16-22 de mayo									
NDP	6	7	8	9	10	11	12		
Av. (m)	9.15	12.20	9.15	12.20	12.20	12.20	3.05	70.15	102.80
Rec. (m)	7.85	8.00	3.8	9.65	10.90	11.45	3.05	54.70	
%Rec.	85.79	65.57	41.53	79.09	89.34	93.85	100.00	77	
23-29 de mayo									
NDP			13	14	15				
Av. (m)	---	---	9.15	9.15	9.75	---	---	28.05	130.85
Rec. (m)	---	---	7.70	8.90	8.95	---	---	25.55	
%Rec.	---	---	84.15	97.26	91.79	---	---	91.08	
13-19 de junio									
NDP				16		17	18		
Av. (m)	---	---	---	17.7	---	12.75	11.45	41.9	172.75
Rec. (m)	---	---	---	16.6	---	12.30	11.25	40.15	
%Rec.	---	---	---	93.78	---	96.47	98.25	95.82	

	L	M	M	J	V	S	D	Av.	Prof.
20-26 de junio								Sem.	Tot.
NDP	19		20	21	22	23	24		
Av. (m)	7.9	---	1.45	10.95	8.55	15.7	11.15	55.70	228.45
Rec. (m)	7.5	---	1.45	10.25	8.50	15.55	10.65	53.9	
%Rec.	94.93	---	100.00	93.60	99.41	99.04	95.51	95.06	

	L	M	M	J	V	S	D	Av.	Prof.
27 de junio - 03 de julio								Sem.	Tot.
NDP	25	26	27	28	29	30	31		
Av. (m)	10.15	8.15	8.55	12.60	27.45	33.55	23.95	124.40	352.85
Rec. (m)	9.90	8.00	5.15	12.10	27.40	33.20	23.80	119.55	
%Rec.	97.53	98.15	60.23	96.03	99.81	98.95	99.37	96.10	

	L	M	M	J	V	S	D	Av.	Prof.
04-10 de julio								Sem.	Tot.
NDP	32	33	34	35	36				
Av. (m)	24.85	27.05	36.75	36.60	24.50	---	---	149.75	502.60
Rec. (m)	24.85	27.05	36.65	36.50	24.40	---	---	149.45	
%Rec.	100.00	100.00	99.72	99.72	99.59	---	---	99.79	

De la información de avance, recuperación y porcentaje de recuperación se elaboraron las gráficas correspondientes:



De la gráfica No. 1 se observa que hasta el día 28 el avance es muy irregular y no se sobrepasan los 20 m de perforación por día, pero a partir del día se incrementa hasta casi el doble. Los días con el menor avance registrado fueron el 2, 12 y 20 en donde los dos primeros se atribuyen a un solo intervalo perforado de 3.05 m, y el último es donde ocurre un atasco de tubería. La media de avance en los 36 días es $M_{Av} = 13.96$ m. Del uno al 28 $M_{Av} = 9.56$ m y del 29 al 36 $M_{Av} = 29.33$ m.

La gráfica No. 2 al igual que la anterior también registra una irregular recuperación hasta el día 28. Los días con recuperaciones menores a cinco metros no corresponden en su totalidad con dificultades en la barrenación, salvo el día 20 que ocurre el primer amarre de tubería. La media de recuperación en los 36 días es $M_{Rec} = 12.75$ m. Del uno al 28 $M_{Rec} = 8.04$ m y del 29 al 36 $M_{Rec} = 29.23$ m.

Para la gráfica No. 3 se nota la tendencia con que evoluciona la recuperación, salvo el día 8 y 27 en donde se nota una drástica disminución del porcentaje de recuperación debido a que el día 8 hubo material muy fragmentado y el día 27 ocurre un amarre. También es de notar que hubo tramos muy próximos o iguales al 100% de recuperación aunque hayan tenido un muy bajo avance, es decir, aunque se hallan perforado 3.05 m, también se recuperan los 3.05 m. La media de porcentaje de recuperación es $M_{\%Rec} = 85.67$ %

La homogeneidad de las tres gráficas se manifiesta a partir del día 28, pues es cuando se trabaja doble turno y así mismo se reduce el diámetro de perforación, lo cual permite una mayor penetración y recuperación. También es de notar que aunque el avance no fue muy constante, en general se obtuvieron altos índices de roca recuperada.

Correlación Litológica de Pozos Perforados

Con la información de los pozos perforados por PEMEX y la UNAM se construyó una correlación que se basa en la distancia radial del centro de la estructura hacia los pozos (eje x) y desde superficie hasta su máxima profundidad (eje y) (Fig. No. 5.1). Los pozos de PEMEX representados en la figura son el Chicxulub-1 (C1), Sacapuc-1 (S1), Yucatán-6 (Y6), Ticul-1 (T1), Yucatán-2 (Y2), Yucatán-5A (Y5A), Yucatán-1 (Y1) y Yucatán-4 (Y4); así como los de la UNAM: UNAM-1 (U1), UNAM-2 (U2), UNAM-3 (U3), UNAM-4 (U4) Y UNAM-5 (U5). El pozo más cercano al centro del cráter es el C1 a 23 km y el más alejado es el Y4 a 205 km, la mayor profundidad se desarrolló en el pozo Y2 a 3,474 m y la mínima en el pozo S1 a 1,516 m estos pertenecientes a PEMEX. De los pozos UNAM, el U1 se halla a 53 km del centro, y el más distante es el U3 a 125 km. La mayor profundidad la contiene el UNAM-2 a 559 m y la menor el UNAM-4 a 63.10 m. Como se observa en la figura, la litología consiste en su mayoría de rocas sedimentarias tales como, calizas, dolomías, margas, evaporitas (anhídrita y yeso), brecha polimigmática con matriz arcillo-calcárea con fragmentos de rocas carbonatadas, ígneas y metamórficas (brecha de impacto), brecha de anhidrita y dolomía, así como arenisca en muy bajo porcentaje. De naturaleza metamórfica se halló esquisto y cuarcita en el pozo Y1 y Y4 respectivamente, las cuales son rocas pertenecientes al basamento.

En la correlación se pueden apreciar los contactos del basamento, brecha de impacto y brecha de anhidrita y dolomía. El contacto de la brecha de impacto se distribuye desde el pozo C1 hasta el U5. Se observa que el pozo U5 halla parte de la estructura a una profundidad somera de 332 m con un espesor de 170 m, mientras que los pozos de PEMEX C1, S1 y Y6 intersectan la brecha entre 1080 y 1100 m y el espesor alcanza hasta 500 m. En el Pozo Ticul-1 se estableció el contacto de la brecha con clastos de basamento a 550 m. En este pozo dada su profundidad a 3,145 m muy similar a la del Y1 a 3,202 m y superior a la del Y4 a 2,398 m no se alcanzó el basamento.

En los pozos Y2, Y5A, Y1 y Y4 se tiene un tipo de brecha consistente de anhidrita y dolomía la cual contiene cantidades traza (<1% de volumen) de clastos de basamento sin fundir impactados y clastos de rocas fundidas con pequeños

xenocristales de cuarzo y feldespatos impactados (Sharpton et al., 1995). Estas brechas de material evaporítico y carbonatado son materiales producidos por el impacto y que al parecer se depositan gradualmente hacia el exterior de la estructura. De la brecha de impacto del pozo U5 se puede corroborar que el tamaño del cráter es mayor a los 200 km de longitud lo cual apoya el modelo de Sharpton et al., (1993) quien propone que la estructura alcanza un diámetro cercano a los 300 km. En el pozo U5 el espesor de brecha es considerable y no se encontró su base, lo cual indica que ésta brecha probablemente se adelgace a medida que uno se sitúa hacia afuera de los anillos, es decir, del anillo tres a cuatro (Fig 1.3) la potencia de la brecha debe disminuir notablemente hasta acunarse.

CAPITULO VI CONCLUSIONES

1.- La UNAM fue pionera al realizar las primeras perforaciones con recuperación continua de núcleo para el estudio del Cráter de Chicxulub y se comprueba que el método de barrenación a diamante aportó resultados rápidos y precisos.

2.- Se verifica el modelo de Sharpton et al., (1993) de que el cráter tiene una longitud mayor a 200 km al encontrar en el Pozo UNAM-5 a 110 km del centro de la estructura la brecha de impacto, lo cual confirma su geometría.

3.- La columna litológica del Pozo UNAM-5 hasta los 332.00 m se compone de carbonatos entre calizas y calizas dolomíticas, dolomías, intervalos de lutitas, nódulos y horizontes evaporíticos, así como gran cantidad de horizontes arcillosos plásticos, hidratados y muy adheribles, siendo estos últimos principalmente los causantes de algunos amarres y problemas de perforación.

4.- La brecha de impacto en el Pozo UNAM-5 se halló a partir de los 332.00 m y es una brecha polimítica constituida de una matriz arcillo calcárea con una granulometría fina en su parte superior y a medida que profundiza ésta aumenta y se obtienen fragmentos de rocas tales como granitos, calizas y esquistos de cinco a siete centímetros de longitud.

5.- El tiempo total de perforación del Pozo UNAM-5 fue de 36 días con una penetración de 502 m y una recuperación de 459.15 m que equivale al 91.35 %.

6.- Los parámetros de avance (Av.), recuperación (Rec.) y porcentaje de recuperación (%Rec) junto con sus gráficas permitieron evaluar y verificar el desarrollo de la perforación y sus problemas, que aunado al perfil geotécnico permite visualizar el desarrollo de todo el pozo.

7.- La correlación litológica de los pozos de PEMEX y UNAM proporcionan un panorama de la distribución de la brecha de impacto, así como el de las demás rocas que conforman la península de Yucatán.

8.- De los cinco pozos perforados por la UNAM en total se profundizo 1,416.7 m, y se obtuvo una columna de 1,233.65 m de núcleo o muestra, que conforma un 87.70 % de roca recuperada.

9.- En su conjunto las perforaciones en el Noroeste de la Península de Yucatán arrojaron los siguientes resultados:

CARACTERISTICAS	P O Z O				
	UNAM-1	UNAM-2	UNAM-3	UNAM-4	UNAM-5
Profundidad Total (m)	154.45	559.00	137.55	63.10	502.60
Recuperación de núcleo (m)	93.60	501.45	120.10	59.35	459.15
Recuperación de núcleo (%)	60.60	89.70	87.31	94.05	91.35
Nivel Freático (promedio) (m)	10.00	11.00	22.00	20.00	33.00
Litología general	Czas.	Czas. Evap.	Czas. Marg.	Czas. Marg.	Czas. Evap. B. Pol.
Ademe PVC (m)	60.00	330.00	60.00	60.00	250.00

Abreviaciones:

Czas. : calizas

Evap. : evaporitas

Marg. : margosas

B. Pol. : brecha polimigítica

INDICE BIBLIOGRAFICO

- Alvarez Jr., M., 1954, Exploración Geológica preliminar del Río Hondo, Quintana Roo. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. 6, p. 207-213.
- Alvarez, L. W., Alvarez W., Asaro, F., and Michel, H. V., 1980, Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction: Science, v. 208, p. 1095-1108.
- Anónimo. 1988. Manual de Operación para Productos Diamantados Longyear. Guía para la Selección y Uso en el Campo de Productos Diamantados. Longyear U.S.A.
- Burke, Kevin. 1988. Tectonic Evolution of the Caribbean. Ann. Rev. Earth. Planet. Sci. 16: 201-230.
- Butterlin, J. y Bonet, F. 1958, Reconocimiento Geológico Preliminar del Territorio de Quintana Roo. Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros. Vol. X, No. 9-10.
- Butterlin, Jacques y Bonet, Federico. 1959. Las Formaciones Cenozoicas de la Parte Mexicana de la Península de Yucatán. Su contribución al conocimiento de la Paleogeografía durante el Paleogeno, de la Margen Meridional del Golfo de México. Instituto de Geología. UNAM
- Chavez Guillen, Ruben. 1988. Sinopsis Geohidrológica del Estado de Yucatán. Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos. México, D.F.
- Cumming., James D. 1980. Diamond Drill Handbook. J. K. Smit 81 Tycos Drive Toronto, Canada.
- Ewing, M., Worzel, J. L., 1970, GEOTIMES, Deep Sea Drilling Project. Leg 10. Pag. 11-13.
- Godoy, R. Dustano, 1965, Bosquejo Geológico de la Península de Yucatán. Tesis Profesional ESIA-IPN, México, 55p. más anexos.

- Guerrero García, Jose C. Tectónica Mesozoica de la Península de Yucatán. En: Programa y Resúmenes. Simposio sobre Geología Regional de México. UNAM. Instituto de Geología. 1986. p. 56-57.
- Hall, D. J., Cavanaugh, T. D., Walkins, J. S., McMillen, K.J. 1982. The Rotational Origin of the Gulf of Mexico Based on Regional Gravity Data. Studies in Continental Margin Geology. AAPG. Memoir 34.
- Hildebrand, A. R., Penfield, G. T., Kring, D. A., Pilkington, M., Camargo, Z. A., Jacobsen, S. B., and Boyton, W. V., 1991, Chicxulub crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatán Peninsula, Mexico: *Geology*, v. 19, p. 867-871.
- Isphording, W. C., 1975, The physical geology of Yucatán: *Gulf Coast Association of Geological Societies Transactions*, v. 25, p. 231-262.
- Lesser, Juan M. and Weldie E, A. 1988. Region 25, Yucatan Peninsula. The Geology of North America. Vol 0-2 Hydrogeology. The Geological Society of America.
- Lesser, J. M., 1976. Resumen del Estudio Geohidrológico e Hidrogeoquímico de la Península de Yucatán. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Boletín de Divulgación Técnica No. 10, 11 p.
- Ley de Aguas Nacionales. 1992. Comisión Nacional del Agua. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México D.F.
- Logan, Brian W., Harding, J. Ahr. W., Williams J. and Snead R. 1969, Carbonate Sediments and Reefs, Yucatan Shelf, México Memoir 11, AAPG.
- Lopez Ramos, E., 1981, Geología de México, Tomo III 2a Edición. 446 p. México, D.F.
- Lugo Hubp, Hugo; Aceves Quesada, J. Fernando; Espinosa Pereña, Ramón; 1992, Rasgos Geomorfológicos Mayores de la Península de Yucatán, *Revista del Instituto de Geología*, Vol. 10, No. 2, p. 143-150.
- Moran Zenteno, Dante., 1984, Geología de la República Mexicana., INEGI, Facultad de Ingeniería, UNAM.

- Pérez Miranda, Ma. Guadalupe., miércoles 12 de enero de 1994., *Diario Oficial de la Federación. Organó del Gobierno Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Tomo CDLXXXIV, No. 8, México, D. F.*
- Puy Huarte, Jesus. 1977. *Procedimientos de Sondeos. Teoría, práctica y aplicaciones.* Servicio de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear. Madrid, España.
- Sharpton, V. L., Dalrymple, G. B., Marín, L. E., Ryder, G., Schuraytz, B. C., and Urrutia-Fucugauchi, J., 1992, New links between the Chicxulub impact structure and the Cretaceous/Tertiary boundary: *Nature*, v. 359, p. 819-821.
- Sharpton, V. L., Burke, K., Camargo-Zanoguera, A., Hall, S. A., Lee, S., Marín, L. E., Suárez-Reynoso, G., Quezada-Muñeton, J. M., Spudis, P. D., and Urrutia-Fucugauchi, J., 1993, Chicxulub multiring impact basin: Size and another characteristics derived from gravity analysis: *Science*, v. 261, p. 1564-1567.
- Sharpton, V. L., Marín, L. E., Carney, C., Scott, L., Ryder, G., Schuraytz, B. C., Sikora, P., Spudis, P. D., 1995, A model of the Chicxulub impact basin based on evaluation of geophysical data, well logs and drill core samples: *Geological Society of America Special Paper 307*.
- Urrutia-Fucugauchi, J., Marín, L., and Sharpton, V. L., 1994, Reverse polarity magnetized melt rocks from the Cretaceous/Tertiary Chicxulub structure, Yucatan Peninsula, Mexico; *Tectonophysics*, v. 237, p. 105-112.
- Vázquez Ramos, Jesús, 1992 (?), *Instructivo de Perforación y Manual de Perforadoras Longyear 24, 38 y 44.* Industrial Minera México.
- Raisz, E., 1964, *Landforms of Mexico.* Cambridge, Massachusetts.
- Velázquez-Aguirre, Luis y Ordaz-Ayala, Anselmo. 1994. *Provincias Hidrogeológicas de México.* Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.
- Velázquez Ollman, Guadalupe, 1995, *Estudio Geoquímico del Anillo de Cenotes, Yucatán.* Tesis de Maestría en Aguas Subterráneas. Instituto de Geofísica, UNAM.
- Wilhelm, O., and Maurice Ewing, 1972, *Geology and history of the Gulf of Mexico,* *Geol. Soc. of America.* V. 88, p. 575-600.

ANEXO 1

La perforación del pozo UNAM-5 se describe a continuación con sus principales datos:

- Fecha y número de día de perforación
- Intervalo
- Características o comentarios acerca del intervalo.
- Avance
- Recuperación
- Porcentaje de Recuperación (%Rec)
- Litología

11/05/94 día: 1
0.00-5.20 m P: 5.20 R: 0.55
- Ademado hasta 3.70 m
5.20-8.25 m P: 3.05 R: 1.80
Avance= 8.25 m
Recuperación= 2.35 m
% Rec = 28.48%

Caliza recristalizada color blanco y con tonos rosados con fragmentos y moldes de moluscos (bivalvos y gasterópodos) de hasta 2.5 cm, reemplazados por cristales de calcita. Fracturamiento vertical y a 45 grados en parte con relleno arcilloso de color café. Huecos por disolución de hasta tres milímetros, algunos rellenos con material arcilloso. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja-media.

12/05/94 día: 2
8.25-11.30 m P: 3.05 R: 1.20
Avance= 3.05 m
Recuperación= 1.20 m
% Rec = 39.34 %

- Introduccion de ademe hasta los 9.15 m de profundidad
- Taponamiento por caidos de paredes
- Material fragmentado y baja recuperación

Caliza recristalizada color blanco cremoso con tonos amarillentos, presenta moldes de bivalvos de hasta 1.5 cm rellenos de cristales de CaCO_3 precipitado. Fracturamiento a 45 grados y vertical con rasgos de disolución y precipitación de cristales de calcita. Huecos por disolución de hasta 1.5 cm, algunos con material terroso color rojizo. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

13/05/94

día: 3

11.30-14.35 m P:3.05 R:1.20

- Material muy fragmentado
- Perdida de agua a los 13.00 m aproximadamente.

14.35-17.40 m P:3.05 R:1.35

- Material fragmentado
- Relleno de fracturas con material lodoso

17.40-20.45 m P:3.05 R:2.10

Avance = 9.15 m

Recuperación = 4.65 m

% Rec = 50.81%

Caliza recristalizada color blanco cremoso con algunos tonos amarillentos. Se observan algunos moldes y fragmentos de bivalvos con longitud de 0.5 cm. Se tienen manchas de oxidación muy fuerte hacia los 20.45 m y también horizontes arcillosos muy plásticos y adherentes en color café de hasta 10 cm. Existen huecos por disolución de hasta dos centímetros, algunos rellenos con cristales de CaCO_3 . Fracturamiento a 45 grados presentando material rojizo en algunos planos de hasta un milímetro de espesor. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja-media.

14/05/94

día: 4

20.45-23.50 m P:3.05 R:2.25

23.50-26.55 m P:3.05 R:1.55

Avance= 6.10 m

Recuperado= 3.8 m

% Rec= 62.29%

Caliza recristalizada color blanco y en tonos rojizos con fragmentos y moldes de gasterópodos de hasta un centímetro. Fracturamiento a 45 grados con presencia de material arcilloso y óxidos de hierro con espesores de dos a cinco milímetros.

Huecos por disolución de hasta cuatro centímetros, algunos rellenos con material arcilloso y óxidos de hierro, y hacia los 23.50 m se encontró un horizonte arcilloso de 20 cm. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media alta.

15/05/94

día: 5

26.55-29.60 m P:3.05 R:1.90

- Barrenación detenida tres horas por falta de agua.

29.60-32.65 m P:3.05 R:2.00

Avance=6.10 m

Recuperación=3.90 m

%Rec=63.93%

Caliza recristalizada de color blanco cremoso con fragmentos y moldes de gasterópodos y bivalvos de hasta 0.5 cm con fracturamiento preferencial a 45 grados y presencia de material arcilloso y óxidos de hierro de hasta dos milímetros de espesor. Huecos por disolución de hasta cuatro centímetros, rellenos con óxidos, material arcilloso y cristales de calcita. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media-alta.

16/05/94

día: 6

32.65-35.70 m P:3.05 R:2.60

35.70-38.75 m P:3.05 R:2.60

38.75-41.80 m P:3.05 R:2.65

Avance=9.15 m

Recuperación=7.85 m

%Rec=85.79%

Caliza recristalizada en color blanco y blanco cremoso, presentándose hacia los 32.65 m en tonos café claro-amarillento. Se observan fragmentos fósiles de moluscos (bivalvos y gasterópodos?) de hasta 0.5 cm. Fracturamiento a 45 grados y vertical con presencia de material arcilloso, óxidos de hierro y cristales de calcita. Huecos por disolución de entre tres y cuatro centímetros, algunos rellenos por arcilla y óxidos. Hacia los 33.00 m la caliza denota una textura grainstone-boundstone color blanco cremoso con bivalvos y gasterópodos de hasta un centímetro. Esta textura tiene una longitud de 30 cm aproximadamente, y después se transforma nuevamente en una caliza recristalizada. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

17/05/94

día: 7

41.80-44.85 m P:3.05 R:2.40

44.85-47.90 m P:3.05 R:2.70

- Se deslizó 40 cm la barrena al realizarse lavado de la perforación

47.90-50.95 m P:3.05 R:0.90

- Horizonte arcilloso de 20 cm aproximadamente al comienzo del tramo 47.90 m

50.95-54.00 m P:3.05 R:2.00

Avance=12.20 m

Recuperación=8.0 m

%Rec=65.57%

Caliza recristalizada en color blanco cremoso, café claro-oscuro, y gris con fragmentos fósiles de bivalvos y gasterópodos de 0.5 a 1.0 cm aproximadamente. Fracturamiento con direcciones a 30, 45, y 60 grados, en parte relleno con material arcilloso principalmente y algunos óxidos de hierro y arcilla en color verde con espesores de hasta tres milímetros. Huecos por disolución con longitud de cuatro a cinco centímetros, algunos rellenos de arcilla. Hacia los 47.90 m se presentan pequeños cristales euhedrales de CaCO_3 de color café precipitados en huecos de hasta un centímetro. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

18/05/94

día: 8

54.00-57.05 m P:3.05 R:1.50

- Material muy fragmentado hacia los 54.00 m

57.05-60.10 m P:3.05 R:1.20

60.10-63.15 m P:3.05 R:1.10

Avance=9.15 m

Recuperación=3.8 m

%Rec=41.53%

Caliza recristalizada en coloraciones gris claro, café claro y amarillento con fragmentos y moldes de bivalvos de hasta medio centímetro que disminuyen en cantidad hacia los 63.15 m. En esta profundidad existe un intervalo de bandeamientos color amarillo de hasta un centímetro de espesor. Se tiene fracturamiento vertical, horizontal y a 45 grados, en parte relleno con arcilla y óxidos de hierro. Huecos por disolución de dos a tres centímetros, algunos rellenos de arcilla color verde claro. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

19/05/94

día: 9

63.15-66.20 m P:3.05 R:2.05

- Intervalos de material fragmentado

66.20-69.25 m P:3.05 R:2.80

69.25-72.30 m P:3.05 R:1.75

72.30-75.35 m P:3.05 R:3.05

- Reporte del perforista: "barrenando sobre terreno firme"

Avance=12.20 m

Recuperación=9.65 m

%Rec=79.09%

Caliza recristalizada en color blanco grisáceo, gris claro y café claro con moldes de bivalvos y gasterópodos de 1.5 cm de longitud hacia los 25.35 m. Fracturamiento vertical, horizontal, a 45 y 60 grados, en algunas partes relleno con calcita, material arcilloso y algunos óxidos de hierro con espesores de hasta dos milímetros. Huecos por disolución de dos a cuatro centímetros, asociados a fracturamiento conteniendo cristales de CaCO_3 y $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja-media.

20/05/94

día: 10

75.35-78.40 m P:3.05 R:2.65

78.40-81.45 m P:3.05 R:2.90

81.45-84.50 m P:3.05 R:2.75

84.50-87.55 m P:3.05 R:2.60

- Detenida la perforación dos horas por falta de agua

Avance=12.20 m

Recuperación=10.90 m

%Rec=89.19%

Caliza recristalizada color gris claro y café con fragmentos y moldes de bivalvos de hasta un centímetro de longitud. Fracturamiento a 15, 30, 45 y 90 grados conteniendo rellenos de óxidos de hierro de hasta dos milímetros de espesor, arcilla color café y cristales de calcita y dolomita. Huecos por disolución de hasta cinco centímetros, algunos rellenos de óxidos de hierro, arcilla y cristales de calcita. Se presentan horizontes arcillosos hacia los 76.80 m, 77.05 m y 77.40 m con

espesores de 20 cm cada uno aproximadamente. Porosidad Primaria: baja.
Porosidad Secundaria: media.

21/05/94

día: 11

87.55-90.60 m P:3.05 R:2.80

90.60-93.65 m P:3.05 R:3.00

93.65-96.70 m P:3.05 R:3.05

- Presencia de "macrofacturas" con relleno de material arcilloso y calcáreo anguloso

96.70-99.75 m P:3.05 R:2.60

Avance=12.20 m

Recuperación=11.45 m

% Rec=93.69%

Caliza recristalizada color gris claro-café claro con fragmentos y moldes de bivalvos y gasterópodos de longitud entre 1.0 y 1.5 cm. Fracturamiento a 30 y 45 grados en parte relleno con óxidos de hierro, material arcilloso y calcita. Se tienen huecos por disolución de hasta cinco centímetros que se asocian también a zonas fracturadas de la roca. Algunos huecos se encuentran rellenos por arcilla, cristales de calcita y manchas de oxidación. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

22/05/94

día: 12

99.75-102.80 m P:3.05 R:3.05

- Introducción de ademe hasta los 51.85 m

- Cambio de zapata JKS BOYLES BROS 475603-NW

- Cambio de mordazas para ademar

- Presencia de material silíceo a los 101.25 m

Avance= 3.05 m

Recuperación= 3.05 m

%Rec=100.00%

Caliza recristalizada color gris claro-blanquisco con fragmentos y moldes de bivalvos de hasta 1.2 cm. Fracturamiento a 30 y 45 grados con partes rellenas de calcita con espesores de hasta dos milímetros, así como óxidos de hierro y cristales de calcita y dolomita. Huecos debido a disolución en forma de burbuja de hasta 2.5 cm con cristales de calcita y dolomita. A los 101.25 m se tiene una fractura horizontal que contiene cristales euhedrales de cuarzo de menos de 0.5 cm. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja-media.

23/05/94

- Descompostura de máquina: rotura de banda

24/05/94

- Terminación de introducción de ademe hasta los 73.20 m

- Cambio de broca S-7 No. 126370 (Prof. 101.25 m).

25/05/94

día: 13

102.80-105.85 m P:3.05 R:2.40

- Reinicio de perforación

105.85-108.90 m P:3.05 R:2.25

108.90-111.95 m P:3.05 R:3.05

Avance=9.15 m

Recuperación=7.70 m

%Rec=84.15%

Caliza recristalizada color gris claro y oscuro con moldes de bivalvos de hasta 0.5 cm. Fracturamiento con dirección preferencial a 30 y 45 grados. En algunas partes el fracturamiento esta relleno de arcilla en color verde, óxidos de hierro y cristales de calcita y dolomita color oscuro. Huecos por disolución de hasta dos centímetros, algunos rellenos con cristales de calcita o dolomita. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

26/05/94

día: 14

111.95-115.00 m P:3.05 R:3.05

115.00-118.05 m P:3.05 R:2.80

118.05-121.10 m P:3.05 R:3.05

Avance= 9.15 m

Recuperación=8.9 m

%Rec=97.26%

Caliza recristalizada en color gris claro-oscuro con moldes de bivalvos y gasterópodos de hasta 0.5 cm. Fracturamiento con dirección preferencial a 45 grados, siendo en ocasiones relleno por arcilla color verde, óxidos de hierro y cristales de calcita y dolomita color café oscuro. Huecos por disolución de hasta 2.5 cm, algunos rellenos con cristales de calcita y/o dolomita. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

27/05/94

día: 15

121.10-124.15 m P:3.05 R:3.00

124.15-127.20 m P:3.05 R:2.90

127.20-130.25 m P:3.05 R:2.80

130.25-130.85 m P:0.60 R:0.25

Avance=9.75 m

Recuperación=8.95 m

%Rec=91.79%

- Suspensión de perforación del 28/05/94 al 16/06/94 (tiempo empleado para doble turno en el pozo UNAM-2).

Caliza recristalizada en tonos blanco, rosado, amarillo y grisáceo con presencia de bivalvos y gasterópodos de hasta tres centímetros, distribuidos irregularmente a lo largo del núcleo. Fracturamiento a 30-45 grados con rellenos de cristales de dolomita y en huecos por disolución de uno a tres centímetros. También se presentan intervalos de material brechoso, es decir clastos de caliza cementados

con CaCO₃, material arcilloso y óxidos de hierro, todo lo anterior algunas veces en forma bandeada. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: alta.

16/06/94

día: 16

- Reinicio de perforación

130.85-133.30 m P:2.45 R:1.80

133.30-136.35 m P:3.05 R:3.05

136.35-138.95 m P:2.60 R:2.40

138.95-142.00 m P:3.05 R:3.05

142.00-143.60 m P:1.60 R:1.60

143.60-145.50 m P:1.90 R:1.85

145.50-148.55 m P:3.05 R:2.85

Avance=17.7 m

Recuperación= 16.6 m

%Rec= 93.78 %

Calza dolomitizada presentando variaciones de coloración en tonos blanco cremoso, rosado, amarillo, gris claro, café y rojo por precipitación y disolución, así como bandeamiento con presencia irregular de fragmentos fósiles de bivalvos y gasterópodos de uno a tres centímetros. Fracturamiento abundante con relleno de calcita y dolomita con espesores de hasta tres milímetros con orientación a 30, 45 y 90 grados. Presenta huecos por disolución de tres a cuatro centímetros de ancho con cristales de dolomita en paredes de los huecos. Existen horizontes brechoides por disolución en donde existen clastos que han sido cementados junto con material arcilloso y óxidos de hierro. Porosidad Secundaria: Alta.

17/06/94

- No hubo perforación.

18/06/94

día: 17

148.55-151.60 m P:3.05 R:3.00

151.60-154.65 m P:3.05 R:3.00
154.65-157.70 m P:3.05 R:3.00
157.70-161.30 m P:3.60 R:3.25
- Caverna de 35 cm tramo 160.85-161.20 m
Avance= 12.75 m
Recuperación= 12.25 m
%Rec= 96.07%

Caliza dolomitizada de color blanco cremoso, amarillento, rosa y gris, con bandeamientos en distintos tonos en colores amarillo, rosa y gris. Posibles fósiles de bivalvos de 0.5 cm de longitud, que se presentan esporádicamente. Fracturamiento a 30, 45 y 60 grados relleno en algunos de sus planos por cristales de dolomita y arcilla color verde. Huecos por disolución de hasta tres centímetros de largo rellenos por arcilla color verde. Así mismo existen intercalados horizontes brechoides y arcillosos. Porosidad Secundaria: media-alta.

19/06/94 día: 18
161.30-163.80 m P:2.50 R:2.45
163.80-166.85 m P:3.05 R:3.05
166.85-169.70 m P:2.85 R:2.75
169.70-172.75 m P:3.05 R:3.00
Avance=11.45 m
Recuperación=11.25 m
%Rec=98.25 %

Caliza dolomitizada en tonos grisáceos claros y oscuros, rosados, blanquiscos y amarillentos que presenta bandeamientos en color rosado, gris claro y oscuro. A la profundidad de 163.00 m se observan moldes de bivalvos y gasterópodos con longitud de 0.5 a 1.0 cm. El fracturamiento tiene una orientación preferencial a 30 y 45 grados. Huecos por disolución de hasta 1.5 cm siendo de mayor intensidad en zonas de bandeamiento. Hacia los 169.70 m la dolomía adquiere un color café

claro con textura cristalina y claro oscuro en horizontes brechosos. Porosidad Secundaria: alta. Esta dolomía cambia texturalmente a una caliza arcillosa color blanco cremoso con partículas de pirita en forma de granos diseminados. Su fracturamiento es de 60 grados y se tienen huecos por disolución de hasta cuatro centímetros con dolomitización en paredes. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja-media.

20/06/94

día: 19

172.75-175.85 m P:3.10 R:3.10

175.85-178.95 m P:3.10 R:3.10

178.95-180.65 m P:1.70 R:1.30

- Problemas de "amarre" de tubería

Avance= 7.90 m

Recuperación=7.50 m

%Rec=94.93%

Caliza arcillosa color blanco cremoso con horizontes brechosos de clastos de caliza en una matriz arcillo-carbonatada. Se presenta plitización en forma diseminada y pequeños lentes observándose cristales euhedrales de hasta dos milímetros. Contenido fosfórico compuesto por bivalvos y gasterópodos de uno a dos centímetros de longitud. No se observan huecos por disolución, pero se tienen zonas de brechamiento por disolución y colapsamiento, con fragmentos calcáreos angulosos alojados en una matriz arcillo-carbonatada. Se observan rasgos de evaporitas que se encuentran circundando algunos clastos de carbonatos. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja-media

21/06/94

- Maniobras por cambio de tubería y arreglos para evitar "amarres".

22/06/94

día: 20

180.65-182.10 m P:1.45 R:1.45

- Sólo se perforó este tramo por problemas en la barrenación.

Avance= 1.45 m

Recuperación= 1.45 m

%Rec=100%

Caliza bandeada por precipitación de evaporitas (sulfatos) con texturas brechosas e imbricación horizontal en clastos alojados en una matriz arcillosa por alteración, la mineralogía esta definida por la alternancia de CaCO_3 y SO_4 con presencia de cristales diseminados de pirita. Presenta fracturamiento abundante y horizontes de arcillas plásticas. Disolución en paredes de fracturas y en huecos con tamaños de hasta dos centímetros; así mismo, la caliza presenta texturas wackestone-packstone con microfósiles (foraminíferos). Porosidad principalmente secundaria por disolución y fracturamiento.

23/06/94

día: 21

182.10-185.15 m P:3.05 R:2.55

185.15-188.20 m P:3.05 R:2.85

188.20-191.25 m P:3.05 R:3.05

191.25-193.05 m P:1.80 R:1.80

Avance=10.95 m

Recuperación=10.25 m

% Rec= 93.60%

Caliza de textura grainstone-boundstone color blanco cremoso a grisáceo con intercalaciones de materiales arcillosos y evaporíticos de 5 a 10 cm de espesor. Contiene fragmentos y moldes de gasterópodos y bivalvos de uno a dos centímetros de longitud. Disolución a manera de poros mayores a un milímetro y de hasta dos centímetros en zonas de fracturas. Fracturamiento a 15 y 30 grados relleno en partes por arcilla. Horizontes brechosos con clastos carbonatados en

matriz arcillosa. Porosidad secundaria media principalmente por disolución (baja-media).

24/06/94

día: 22

193.05-196.30 m P:3.25 R:3.20

196.30-199.40 m P:3.10 R:3.10

199.40-201.60 m P:2.20 R:2.20

- Bloqueo de la barrena debido a arcillas.

- Extracción de tubería.

Avance=8.55 m

Recuperación=8.50 m

%Rec.=99.41 %

Caliza arcillosa color blanco a grisáceo con presencia de materiales arcillosos y evaporíticos con espesores de 10 a 20 cm. Contiene fragmentos y moldes de gasterópodos y bivalvos de hasta un centímetro de longitud. Se observan huecos por disolución de hasta un centímetro, algunos rellenos de arcilla. Fracturamiento a 15 y 30 grados. Horizontes brechosos de 10 a 15 cm con clastos carbonatados en una matriz arcillo-calcárea. Porosidad Secundaria por disolución (baja-media).

25/06/94

día: 23

201.60-204.70 m P:3.10 R:3.05

204.70-207.85 m P:3.15 R:3.10

207.85-211.00 m P:3.15 R:3.10

211.00-214.15 m P:3.15 R:3.15

214.15-217.30 m P:3.15 R:3.15

Avance=15.7 m

Recuperación= 15.55 m

%Rec= 99.04%

Caliza arcillosa de color grisáceo a blanco con algunos fragmentos de bivalvos y gasterópodos de hasta dos centímetros. Se presentan horizontes arcillosos color café de hasta 20 cm intercalados en la caliza. Fracturamiento a 30 grados, en partes con relleno arcilloso. Huecos por disolución de hasta dos centímetros, algunos rellenos con arcilla. Disminuyen los horizontes brechosos con clastos carbonatados, alojados en una matriz arcillo-calcárea. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

26/06/94

día: 24

217.30-220.45 m P:3.15 R:3.15

220.45-223.05 m P:2.60 R:2.10

223.05-226.10 m P:3.05 R:3.05

226.10-228.45 m P:2.35 R:2.35

Avance=11.15 m

Recuperación= 10.65 m

%Rec=95.51%

Caliza arcillosa en color blanco a gris con horizontes arcillosos de color café de hasta 10 centímetros con irregular presencia de bivalvos y gasterópodos en toda la muestra y con tamaños oscilantes entre uno y dos centímetros. Fracturamiento irregular a 45 grados, relleno en ocasiones por material arcilloso. Huecos por disolución de hasta un centímetro, algunos con arcilla. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja.

27/06/94

día: 25

228.45-231.50 m P:3.05 R:2.90

231.50-234.55 m P:3.05 R:3.05

234.55-237.60 m P:3.05 R:3.05

237.60-238.60 m P:1.00 R:0.90

Avance=10.15 m

Recuperación=9.9 m

%Rec=97.53 %

Caliza arcillosa en tonos gris y blanco con horizontes arcillosos de color café, irregular presencia de bivalvos y gasterópodos de 0.5 a 1.0 cm. Fracturamiento a 30 y 45 grados en parte con relleno arcilloso. Huecos por disolución de dos a tres centímetros, algunos rellenos con arcilla. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja-media.

28/06/94

día: 26

238.60-240.65 m P:2.05 R:2.00

240.65-243.70 m P:3.05 R:3.05

243.70-246.75 m P:3.05 R:2.95

Avance=8.15 m

Recuperación= 8.0 m

%Rec=98.15 %

Caliza arcillosa color gris y blanco con irregular presencia de fósiles de bivalvos y gasterópodos de hasta un centímetro de longitud. Así mismo existen intervalos de lutitas en color claro, gris-oscuro y presencia de evaporitas (yeso) en fracturas y relleno de huecos. Fracturamiento a 30 grados en parte con relleno arcilloso y material evaporítico en vetillas. Huecos por disolución de 0.5 a 1.0 cm, algunos con material evaporítico y otros con arcilla. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: media.

29/06/94

día: 27

246.75-249.80 m P:3.05 R:2.95

249.80-252.55 m P:2.75 R:1.60

252.55-255.30 m P:2.75 R:0.60

- Problemas de amarre a la profundidad de 255.30 m

- Reducción de diámetro a BQ

Avance=8.55 m

Recuperación=5.15 m

%Rec=60.23 %

Caliza arcillosa color gris claro-oscuro y blanco cremoso con intervalos de lutitas de hasta 20 cm en color oscuro y claro y rasgos de bioturbación y materia orgánica en vetillas. Se observan algunos fósiles de bivalvos y gasterópodos de hasta dos centímetros de longitud. Fracturamiento a 30 y 45 en ocasiones relleno con materia orgánica y material arcilloso. Huecos por disolución de hasta un centímetro, sin relleno alguno. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja

30/06/94

día: 28

255.30-258.75 m P:3.45 R:3.20

258.75-261.80 m P:3.05 R:3.00

261.80-264.85 m P:3.05 R:2.90

264.85-267.90 m P:3.05 R:3.00

Avance=12.6 m

Recuperación=12.10 m

%Rec=96.03 %

Caliza arcillosa (margosa) de color gris claro y oscuro, con intervalos de lutitas, evaporitas, materia orgánica y bioturbación. Se observan algunos fósiles de bivalvos de hasta un centímetro. Fracturamiento irregular y aleatorio, observándose la materia orgánica alojada en vetillas. Se tiene yeso en fracturas y en huecos no mayores a un centímetro. Porosidad variante dependiendo del tramo. Existen intervalos de hasta 10 cm con texturas packstone-grainstone.

01/07/94

día: 29

267.90-270.95 m P:3.05 R:3.05

270.95-274.00 m P:3.05 R:3.05

274.00-277.05 m P:3.05 R:3.00

277.05-280.10 m P:3.05 R:3.05

280.10-283.15 m P:3.05 R:3.05

283.15-286.20 m P:3.05 R:3.05

286.20-289.25 m P:3.05 R:3.05

289.25-292.30 m P:3.05 R:3.05

292.30-295.35 m P:3.05 R:3.05

- Comienzo de doble turno.

Avance=27.45 m

Recuperación=27.40 m

%Rec=99.81 %

Caliza arcillosa color gris claro y oscuro, con intercalaciones de lutitas en color oscuro de hasta 12 cm de espesor, caliza con texturas packstone-grainstone y contenido de materia orgánica en tramos arcillosos. Existen algunos intervalos con fragmentos clásticos calcáreos de 0.5 a 1.0 cm subangulosos a subredondeados alojados en una matriz arcillo-calcárea. Se tienen algunas estructuras fósiles de bivalvos y gasterópodos menores a un centímetro. El fracturamiento es irregular presentándose o no en distintos tramos y con patrones aleatorios. Existe material evaporítico alojado en fracturas y huecos, así como en vetillas. Porosidad variante.

02/07/94

día: 30

295.35-300.40 m P:5.05 R:4.90

300.40-303.50 m P:3.10 R:3.05

303.50-306.60 m P:3.10 R:3.05

306.60-309.70 m P:3.10 R:3.05

309.70-311.65 m P:1.95 R:1.95

311.65-313.65 m P:2.00 R:1.95

313.65-316.70 m P:3.05 R:3.05

316.70-319.75 m P:3.05 R:3.05

319.75-322.80 m P:3.05 R:3.05

322.80-325.85 m P:3.05 R:3.05

325.85-328.90 m P:3.05 R:3.05

Avance=33.55 m

Recuperación=33.20 m

%Rec=98.95 %

Caliza arcillosa de color gris claro-oscuro, con horizontes de lutitas de hasta 10 cm de espesor, lenes y vetillas de materia orgánica distribuidos irregularmente. Se tienen fragmentos de material calcáreo, subanguloso a subredondeado de 0.5 cm a 1.0 cm, que le da una apariencia brechosa a la roca y que se alterna con zonas de bioturbación tales como pistas y galerías. Gran cantidad de evaporitas en forma de cristales, algunos milimétricos y de hasta dos centímetros. Se tiene pirita que envuelve fragmentos de bivalvos y gasterópodos no mayores a un centímetro. Fracturamiento sin dirección preferencial. Porosidad Primaria: baja. Porosidad Secundaria: baja-media.

03/07/94

día: 31

328.90-331.95 m P:3.05 R:3.05

331.95-335.05 m P:3.10 R:3.10

- Contacto brecha-caliza.

335.05-338.10 m P:3.05 R:3.05

- Intervalo continuo de brecha.

338.10-340.50 m P:2.40 R:2.25

340.50-343.60 m P:3.10 P:3.10

343.60-346.65 m P:3.05 P:3.05

346.65-349.75 m P:3.10 P:3.10

349.75-352.85 m P:3.10 P:3.10

Avance=23.95 m

Recuperación=23.8 m

%Rec= 99.37 %

Caliza arcillosa color gris oscuro a verdoso con presencia de evaporitas en forma de cristal masivo en tamaños de 0.1 cm a 4.0 cm, así como materia orgánica diseminada y en forma laminar. Existe pirita reemplazando CaCO₃, en las estructuras de bivalvos y gasterópodos. A la profundidad de 331.95 m desaparece la caliza y comienza un pequeño intervalo de yeso de aproximadamente cinco

centímetros de espesor que termina abruptamente e inmediatamente aflora material arenoso muy fino en color verde dentro de una matriz arcillo-calcárea que a medida que avanza la secuencia y se profundiza, la granulometría aumenta gradualmente y se empiezan a observar clastos de caliza, parches de evaporitas y fragmentos de roca en tamaños de milímetros y de tres a cuatro centímetros. Esta roca adquiere la apariencia de una brecha polimíctica de color verde-grisáceo y no muestra fracturamiento y fósiles visibles.

04/07/94

día: 32

352.85-355.95 m P:3.10 R:3.10

355.95-358.25 m P:2.30 R:2.30

358.25-361.35 m P:3.10 R:3.10

361.35-364.45 m P:3.10 R:3.10

364.45-367.55 m P:3.10 R:3.10

367.55-370.65 m P:3.10 R:3.10

370.65-371.60 m P:0.95 R:0.95

371.60-374.65 m P:3.05 R:3.05

374.65-377.70 m P:3.05 R:3.05

Avance=24.85 m

Recuperación=24.85 m

%Rec=100 %

Brecha color verde claro a oscuro con fragmentos de caliza, partículas sulfatadas (yeso principalmente) con marcas de óxidos de hierro en los bordes, así como partículas de tipo arcilloso en color oscuro y fragmentos de roca en tonos oscuros y rojizos de textura áspera. Todos los clastos son de forma angulosa a subangulosa con tamaños variables que van de milímetros a tres centímetros aproximadamente, algunos con un ligero color verde. No se observa fracturamiento alguno ni fósiles y la disposición de las partículas es aleatoria, observándose que en partes de la matriz se incrementa el color verde y en otras es más tenue, siendo casi gris claro.

05/07/94

día: 33

377.70-380.25 m P:2.55 R:2.55

380.25-382.95 m P:2.70 R:2.70

382.95-386.05 m P:3.10 R:3.10

386.05-389.15 m P:3.10 R:3.10

389.15-392.25 m P:3.10 R:3.10

392.25-395.35 m P:3.10 R:3.10

395.35-398.45 m P:3.10 R:3.10

398.45-401.60 m P:3.15 R:3.15

401.60-404.75 m P:3.15 R:3.15

Avance=27.05 m

Recuperación=27.05 m

%Rec=100 %

Brecha color verde-claro y gris alojada en una matriz arcillo-carbonatada con fragmentos de carbonatos, partículas de yeso en forma de cristales y fragmentos de rocas angulosas a subangulosas de tamaño milimétrico y de hasta dos o tres centímetros, aunque existen algunos de hasta cinco centímetros. Algunos fragmentos tienen un intenso color verde y la apariencia de haber sido fusionados. No se observa algún patrón de fracturamiento, huecos por disolución o fósiles.

06/07/94

día: 34

404.75-407.80 m P:3.05 R:3.05

407.80-410.90 m P:3.10 R:3.10

410.90-414.00 m P:3.10 R:3.10

414.00-417.05 m P:3.05 R:3.05

417.05-420.10 m P:3.05 R:3.05

420.10-423.15 m P:3.05 R:3.05

423.15-426.20 m P:3.05 R:3.05

426.20-429.25 m P:3.05 R:3.00

429.25-432.35 m P:3.10 R:3.10

432.35-435.40 m P:3.05 R:3.05
435.40-438.45 m P:3.05 R:3.05
438.45-441.50 m P:3.05 R:3.00
Avance= 36.75 m
Recuperación= 36.65 m
%Rec= 99.72 %

Brecha color verde grisáceo constituida de una matriz arcillo calcárea conformada por clastos de caliza, partículas de yeso en tonos blancos y cafés y fragmentos de rocas (volcánicas y metamórficas?) de angulosos a subangulosos de tamaño milimétrico y de tres a cuatro centímetros. Existe una disposición aleatoria de todos los fragmentos a lo largo del núcleo, se observa que el tamaño de fragmentos tiende a aumentar. No se observan fósiles, huecos o fracturamiento.

07/07/94

día: 35

441.50-444.55 m P:3.05 R:3.05
444.55-447.60 m P:3.05 R:3.05
447.60-450.65 m P:3.05 R:3.05
450.65-453.70 m P:3.05 R:3.05
453.70-456.75 m P:3.05 R:3.05
456.75-459.80 m P:3.05 R:3.05
459.80-462.85 m P:3.05 R:3.00
462.85-465.90 m P:3.05 R:3.05
465.90-468.95 m P:3.05 R:3.05
468.95-472.00 m P:3.05 R:3.05
472.00-475.05 m P:3.05 R:3.00
475.05-478.10 m P:3.05 R:3.05

- Continuación de brecha.

- Sobrealen clastos de color verde de hasta 4 cm.

Avance= 36.60 m
Recuperación= 36.50 m
%Rec= 99.72 %

Brecha de color gris con fragmentos de caliza, fragmentos arcillosos, partículas de yeso, y fragmentos de roca en color oscuro, alojado este material en una matriz arcillo-calcárea. El tamaño de los fragmentos abarca desde milímetros hasta tres o cuatro centímetros y su forma va de anguloso a subanguloso. No se observa algún patrón de fracturamiento o fósiles, ni de acomodo o arreglo preferencial de los clastos.

08/07/94

día: 36

478.10-481.15 m P:3.05 R:3.00

481.15-484.20 m P:3.05 R:3.05

484.20-487.25 m P:3.05 R:3.05

487.25-490.30 m P:3.05 R:3.05

490.30-493.35 m P:3.05 R:3.05

493.35-496.45 m P:3.10 R:3.10

496.45-499.50 m P:3.05 R:3.00

499.50-502.60 m P:3.10 R:3.10

Avance= 24.50 m

Recuperación= 24.40 m

%Rec= 99.59 %

Brecha de color gris con fragmentos de roca que van de calizas, rocas ígneas, rocas metamórficas, así como menor cantidad de partículas evaporíticas y arcillosas, todo lo anterior alojado en una matriz arcillo-calcárea. Existen clastos de cinco a siete centímetros con una aureola verde que los circunda. En ciertos tramos el tamaño de fragmentos tiende a disminuir y en otros a aumentar, pero en general se comporta de manera uniforme. No se observa algún patrón de fracturamiento o fósiles y persiste la disposición aleatoria de los constituyentes.