



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ANÁLISIS DE LA PERFORACIÓN DEL POZO YAXCOPOIL-1, PLATAFORMA  
CARBONATADA DE YUCATÁN”**

# **T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**I N G E N I E R O P E T R O L E R O**

**P R E S E N T A**

**ALONSO PEÑA VAZQUEZ**

***DIRECTOR: DR. JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI***

**MÉXICO, D.F. 2009.**



## *Agradecimientos*

### *A mi madre*

*Por haberme dado la vida y estar en esos momentos tan difíciles de la carrera, por sus consejos, Desvelos, por demostrarme que en la vida uno puede salir adelante solo sin la necesidad de un compañero, eso es lo que admiro mas de ti madre sobran las palabras pero esto te lo debo a ti por creer en mí y tenerme la confianza y poder realizar uno de mis grandes sueños.*

### *A mi padre*

*Por haberme enseñado como es la vida aunque ya no estás aquí siempre estuviste conmigo en cada momento con tus consejos y cree que puedo decir que pese a todo termine este proyecto como lo prometí, y el cual antes de partir lo viste empezar gracias padre por darme la vida.*

### *A mis hermanos*

*Por motivarme a terminar este proyecto y darme ánimo cuando más lo necesite, por sus regaños que ha fin de cuentas era para mí bien y que sin estos no hubiera podido terminar esta carrera.*

### *A mis amigos*

*Por apoyarme incondicionalmente tanto en la escuela como en la vida, por la gran cantidad de aventuras que pasamos a lo largo de la carrera*

### *A mi novia*

*Por es una persona muy importante en mi vida gracias por apoyarme en los momentos más difíciles de la carrera y en mi vida , por los momentos más increíbles que he pasado en mi vida muchas gracias pequeña*

### *A mi universidad*

*Por haberme dado la oportunidad de estudiar esta carrera en sus instalaciones las cuales son las muy hermosas y cuentan con los mejores servicios*

### *A mis profesores*

*Por haberme enseñado los conocimientos que han adquirido atreves de los años y que ahora los podre en práctica por sus consejos y apoyo incondicional.*

Asunto: Propuesta del tema de tesis ó trabajo escrito.

**MTRO. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA**  
Director de la Facultad de ingeniería  
De la U.N.A.M  
Presente.

En contestación de su oficio de fecha 6/Marzo/08 en el que se me solicita proponer **TEMA DE TESIS O TRABAJO ESCRITO**, para que sea desarrollado por el alumno Peña Vázquez Alonso Registrado con número de cuenta 09924609-1 y que pueda presentar su examen profesional de la carrera de **INGENIERO PETROLERO**, me permito someter a su consideración el siguiente:

TEMA:

“Análisis de la perforación del pozo Yaxcopoil-1, Plataforma Carbonatada de Yucatán”

CAPITULOS

Resumen

1. Introducción

2. Plataforma Carbonatada de Yucatán

3. Pozo Exploratorio Yaxcopoil-1

4. Análisis de núcleos

5. Discusión

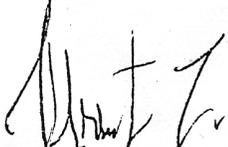
Conclusiones

Bibliografía

Atentamente

México, D.F., a 7 de marzo de 2008

Nombre y firma del Director de Tesis

  
DR. JAIME URRUTIA FUCUGACCHI

Vo. Bo.

  
Dra. Raio G. de la Torre Sánchez.

Marzo 7, 2008.

<b>INDICE</b>	<b>Pag</b>
Resumen	6
Capítulo I Introducción.	7
Capítulo II Plataforma Carbonatada de Yucatán.	8
2.1 Sonda de Campeche.	9
2.2 Carbonatos	11
2.3 Porosidad y Densidad en la secuencia Cretácica Pozo Yaxcopoil-1	12
Capítulo III Pozo Exploratorio Yaxcopoil-1	15
3.1 Perforación de pozos petroleros	15
3.2 Fluidos de perforación	17
3.3. Tipos de lodo	18
3.4 Propiedades de los lodos de perforación	22
3.5 Contaminaciones en lodos de perforación	23
3.6 Pérdidas por circulación	24
3.7 Pérdidas naturales	25
3.8 Pérdidas inducidas	25
3.9 Velocidad de perforación	26
3.10 Barrenas	27
3.11 Clasificación de las barrenas	31
3.12 Núcleos	33
3.13 Objetivo de la perforación del Pozo Yaxcopoil-1.	37
3.14 Estratigrafía del Pozo Yaxcopoil-1	45
3.15 Síntesis de la perforación del Pozo Yaxcopoil-1	54
3.16 Relaciones con el Yacimiento Cantarell	60

Capítulo IV Análisis de Núcleos.	63
4.1 Secuencia Cretácica en el Pozo Yaxcopoil-1	63
4.2 Estimación de densidades de muestras y ensayos de laboratorio	79
Capítulo V Discusión	82
Conclusiones	83
<b>Bibliografía</b>	<b>85</b>

## Resumen

En esta tesis se presentan los resultados de estudios en núcleos y un análisis de la perforación del pozo exploratorio Yaxcopoil-1. Este pozo se perforó en la plataforma carbonatada de Yucatán como parte del Programa de Investigaciones del Cráter de Impacto de Chicxulub. El cráter de Chicxulub tiene un diámetro de 200 km y constituye una estructura compleja multi-anillo formada por un impacto de meteorito hace 65 millones de años. El impacto está relacionado a los eventos que marcan el límite Cretácico/Terciario y las extinciones masivas de organismos. El cráter está cubierto por sedimentos Terciarios y requiere para su estudio de métodos geofísicos y de perforación y recuperación de núcleos. El pozo Yaxcopoil-1 es el primero perforado que muestrea la secuencia en el interior del cráter y ha permitido investigar las rocas de impacto y las secuencias carbonatadas del Terciario (post-impacto) y del Cretácico (pre-impacto). El programa incorporado de núcleo continuo, además de proporcionar información para las investigaciones, constituye un pozo de referencia estratigráfica para la plataforma carbonatada de Yucatán y de interés para las correlaciones en la región sureste del Golfo de México.

En este trabajo se presenta un análisis de la perforación del pozo, incluyendo los sistemas de recuperación continua de núcleos y los análisis y descripciones de un intervalo seleccionado de la secuencia de núcleos de las rocas carbonatadas. Los análisis de la perforación incluyen desde los planteamientos del proyecto, objetivos, sistemas de perforación, sistemas de núcleo continuo, desarrollo de la perforación y núcleo, acabados del pozo y obtención de núcleos. Dado que una parte importante del proyecto es la obtención de núcleos, se describen las operaciones de registro y descripciones de los núcleos. Estos han sido archivados y analizados en las Nucleotecas I y II del Programa de Investigación Chicxulub en la Universidad Nacional Autónoma de México. El intervalo estudiado comprende de los 1465 m a los 1490 m de profundidad y se escoge por la ocurrencia de cambios litológicos, fracturas y otros rasgos en la secuencia de carbonatos. El intervalo está dentro de la secuencia pre-impacto del Cretácico Tardío. Además de las descripciones y análisis de colectaron 60 sub-muestras en el intervalo para determinaciones de densidad en el laboratorio. Los resultados se analizan en términos de los cambios en densidad, porosidad y permeabilidad en los carbonatos.

La perforación de pozos petroleros es de gran importancia ya que gracias a esta se pueden descubrir, explorar o explotar diferentes campos petroleros, cabe señalar que para llevar a cabo una perforación exitosa se deben tomar en cuenta diferentes condiciones tanto en los lodos como en los equipos de perforación, así como llevar a cabo un buen análisis de las diferentes litologías que van saliendo a través de la tubería y que son depositadas en las temblorinas ya dependiendo de qué litología esté saliendo se puede seleccionar el tipo de barrena a utilizar y las condiciones de operación a las que debe someterse el equipo de perforación para evitar entrapamientos de tubería o que se dañe la formación y esto traiga consigo pérdidas tanto económicas como humanas. En la tesis se tratarán algunos temas de perforación de pozos petroleros y finalmente se tomara la perforación del pozo exploratorio Yaxcopoil-1 como una aplicación de estos temas.

# Capítulo I

## Introducción

Nuestro estudio sobre la perforación se divide en cuatro capítulos, en el primero de ellos se hace un análisis de la estructura del trabajo; en el segundo se trata de mencionar las características generales de la plataforma carbonatada de Yucatán, ya que en este lugar es donde se encuentra el Pozo Yaxcopoil-1, y es necesario saber su desarrollo y características, como está formada litológicamente ya que predominan los carbonatos y es por esta causa que también se mencionan algunas características generales de los carbonatos, en el capítulo 3 se habla sobre las principales características de la perforación de pozos, como son fluidos, barrenas y núcleos; una vez teniendo estas características se realizó un análisis de la perforación del Pozo Yaxcopoil-1, el cual es de gran importancia ya que ha sido el único pozo que se ha nucleado en su totalidad y como se sabe en la actualidad sale caro cortar un núcleo y solo se corta cuando se requieren hacer estudios de: saturación de fluidos, permeabilidad, porosidad, edad, depositación, planos de fractura, textura, etc.

Este pozo fue financiado por el Programa Continental Internacional de la Perforación (ICDP) y por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); se estudia cómo se realizó el proceso de recuperación de núcleos, se menciona el uso de los registros geofísicos de pozos que como sabemos es una herramienta muy poderosa cuando se está realizando un estudio sobre las formaciones que se van a perforar, también se describen las litologías que se generaron después del impacto que provocó el meteorito en la península de Yucatán, como se sabe el uso de simuladores es importante ya que la información que se genera de ellos es más confiable que la proporcionada por los registros eléctricos en el pozo Yaxcopoil-1 se utilizaron dos simuladores para modelar el impacto de Chicxulub: 2D SALEB y 3D SOVA. cuyas características y desventajas se detallarán más adelante, una vez conocidos los estudios que se realizaron en este pozo con anterioridad se decidió hacer un análisis de los núcleos de un intervalo para ver las características de manera real de cada uno de estos para que finalmente en el último capítulo se realizó un análisis de nuestra investigación y se llegaron a algunas conclusiones que serán de importancia para que se realice una perforación de manera exitosa.

## Capítulo II

### Plataforma Carbonatada de Yucatán

Las rocas sedimentarias mesozoicas y cenozoicas que componen la plataforma Yucateca presentan un grosor de más de 3,500 metros que se encuentran sobre un basamento de rocas cristalinas del Paleozoico.

Sobre este basamento se inicia la historia geológica de la península, en el Cretácico superior hace 100 millones de años, con una extensa depositación de carbonatos y evaporitas que continua hasta nuestros días en la plataforma Continental.

Las características geológicas superficiales del subsuelo, demuestran que la plataforma que constituye la península actual, inició su emersión lenta y gradual sobre el nivel del mar durante el Eoceno. Posteriormente en el Oligoceno y Mioceno inferior hubo depositación de carbonatos sobre todo en la porción Norte, es hasta el Mioceno superior que se reinicia un levantamiento más importante en la porción meridional de la península y menos pronunciado en la porción Norte y en el área de Los Petenes. Finalmente un levantamiento diferencial más importante en la parte meridional que en la parte septentrional determina un basculamiento Sur-Norte de todos los estratos de rocas carbonatadas que componen la Península de Yucatán.

Después del levantamiento gradual generalizado, se inicia la configuración moderna de la zona costera en una alternancia de transgresiones y regresiones menores. En el Pleistoceno, hace 80,000 años, una transgresión interglacial originó cordones litorales a los cuales se les asocia la presencia actual de las lagunas costeras. Enseguida, una regresión ocasionada por una glaciación (18,000 años) provoca un descenso en el nivel del mar de hasta 130 m generando temporalmente el modelado terrestre de condiciones aéreas. Esta última regresión termina con la gran avanzada transgresiva que expone las geoformas terrestres a la energía marina sepultándolas y marcando el inicio del Holoceno. Finalmente la transgresión reconoce paulatinamente el océano desde hace 5,000 años estabilizando gradualmente la línea de costa a un nivel de 3 o 4 m. por debajo del nivel medio del mar actual. A partir de este momento y hasta la actualidad se mantiene una tendencia gradual en la disminución del nivel del mar.

## 2.1 Sonda de Campeche.

Las numerosas evidencias del impacto de un meteorito en el límite Cretácico-Terciario en afloramientos distantes de la Península de Yucatán, permite predecir qué efectos de mayor envergadura pueden estar registrados en localidades costa afuera de áreas más próximas a la estructura de Chicxulub. Por ejemplo, en el occidente de Cuba, una secuencia sedimentaria del límite K/T de 450 m de espesor o mayor, muy similar a la del sureste de México ha sido reinterpretada como una acumulación sedimentaria relacionada al impacto (Pszczolkowski, 1986; Takayama *et al.*, 2000). La zona costa afuera en la margen occidental de la Plataforma de Yucatán, también conocida como el Banco de Campeche o Bahía de Campeche, es actualmente la provincia de México más prolífica en producción de hidrocarburos en el Sureste de México. La producción de hidrocarburos en la Sonda de Campeche ubicada en el mar patrimonial del sureste de México, se obtiene en rocas de cuatro unidades estratigráficas principales: (1) arenas y dolomías del Oxfordiano (2); calizas oolíticas del Kimmeridgiano, (3) calizas dolomitizadas del Cretácico Inferior-medio, y (4) brechas calcáreas del Cretácico Superior-Paleoceno, siendo esta última unidad la más importante como roca almacenadora de hidrocarburos (Pemex-Exploración y Producción, 1999) y una parte de estas brechas se asocian al impacto del meteorito.

En Campeche se estudiaron rocas del límite K/T en campos petroleros localizados costa afuera a ~80 Km al norte-noreste de Cd. del Carmen, en la denominada Sonda de Campeche. En trabajos previos se definió la arquitectura estratigráfica, los mecanismos de depósito y se señaló que el origen de la brecha productora y su sello, la capa de expulsión (ejecta layer), estaban relacionados al impacto en Chicxulub (Grajales-Nishimura *et al.*, 2000; Murillo-Muñetón *et al.*, 2000).

La sucesión sedimentaria del límite K/T está compuesta, de base a cima, por cuatro unidades: (1) una brecha carbonatada de 40 a 300 m de espesor, (2) una brecha carbonatada de 10 a 20 m de espesor, de grano medio a fino mezclado con escaso material de choque y (3) una litofacies de arena calcárea, limo y arcilla de 9 a 30 m de espesor con abundante material de expulsión (vidrio alterado y cuarzo de choque); esta unidad culmina con material arcilloso casi puro (1 a 2 m) en la cima de la cual se encontró la anomalía de Iridio. Esta unidad es equivalente a lo que se ha denominado capa de expulsión (ejecta layer) en otras partes del mundo. La unidad (4) es una brecha conglomerática de 10 a 20 m de espesor con material de expulsión y que en algunos pozos petroleros se ha identificado intercalada o sobreyaciendo a la unidad 3 (capa de expulsión). Las unidades 1, 2 y 3 en el subsuelo de la Sonda de Campeche están fuertemente dolomitizadas y el vidrio de la unidad 3 está alterado a minerales arcillosos (esmeclita). Las unidades 1 y 2 son las litofacies almacenadoras de hidrocarburos y la unidad 3 corresponde a la capa sello del yacimiento. Regionalmente, la secuencia muestra una

estructura gradada que parece representar un gran flujo de escombros, seguido por sedimentación balística y retrabajo de materiales depositados previamente por corrientes. Adicionalmente, los datos de registros de pozo, su distribución y las relaciones estratigráficas sugieren una geometría de “apron” de base de talud para la gruesa sucesión sedimentaria del límite K/T. Basados en la estratigrafía única, la sedimentología y la distribución de los materiales de impacto en la sucesión sedimentaria carbonatada, y a pesar de que la secuencia parece representar un solo depósito gradado, se puede visualizar la siguiente secuencia de eventos y sus productos, que tuvieron lugar en minutos, horas o días después del impacto en Chicxulub: (A) mega sacudimiento sísmico que indujo el colapso del margen de la plataforma, dando lugar al depósito de la litofacies de brecha inferior (unidades 1 y 2); (B) emplazamiento balístico de material de expulsión (fragmentos de carbonatos, minerales chocados y vidrio) que aportó componentes para la unidad 2 y formó la capa de expulsión (unidad 3), sello del yacimiento petrolero de Cantarell y campos vecinos, y (C) retrabajo y mezcla de materiales de la capa de expulsión con materiales carbonatados de textura más gruesa a consecuencia del paso de una o más olas de tsunami generadas por el impacto y que formó la unidad de brecha conglomerática 4 intercalada en la unidad 3.

La principal roca generadora de hidrocarburos en la Sonda de Campeche es una lutita orgánica marina de edad Jurásico Tardío que generó hidrocarburos durante el Neógeno (Romero-Ibarra, 2001). Las brechas carbonatadas de las unidades 2 y 1 representan las litofacies almacenadoras de hidrocarburos de la secuencia del límite K/T en la Sonda de Campeche. Las brechas carbonatadas fueron afectadas en el Cenozoico por una historia compleja de deformaciones tectónicas y procesos diagenéticos que dieron lugar a la formación de un yacimiento carbonatado complejo con porosidad vugular y naturalmente fracturado.

La plataforma yucateca está formada por rocas calizas con poca deformación significativas, al norte predomina en superficie un relieve de planicies kársticas y al centro y sur de la Sierra de Ticul, dominan mesetas tabulares de desarrollo kárstico (Butterlin y Bonet 1963; Lugo J. op.cit.). Las perforaciones al subsuelo realizadas por PEMEX, indican que las rocas carbonatadas del terciario alcanzan profundidades de más de 1000 m y que sobreyacen carbonatos y evaporitas del Cretácico. Las rocas calizas más jóvenes corresponden al Holoceno y Pleistoceno; se encuentran cercanas a la línea de costa formando grandes depósitos de carbonatos. Las rocas más antiguas que se encuentran al sur de la Península corresponden a calizas del Paleoceno-Eoceno, en estas rocas se encuentran las mayores altitudes de la Península de Yucatán, (López Ramos, E.1975), a 200 m en la Sierrita de Ticul y aumenta a 380 msnm, al sur de Calakmul, en la frontera con Guatemala)

## 2.2 Carbonatos

Los carbonatos son unos minerales muy importantes constituidos por grupos  $(\text{CO}_3)^-$  compuestos por un átomo central de C rodeado por tres O en disposición triangular. El enlace C-O es fuerte pero no tanto como en el  $\text{CO}_2$ . Los carbonatos reaccionan a los ácidos pues frente al hidrógeno se debilitan.  $2\text{H}^+ + \text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$

En la península de Yucatán se tienen identificados los siguientes tres grupos de carbonatos

- Grupo de la calcita:  $\text{CaCO}_3$ , la estructura es semejante a la del  $\text{NaCl}$ , donde los grupos triangulares  $(\text{CO}_3)^{2-}$  serían los grupos esféricos del Cl y el Ca sería el Na. De esto obtenemos que la estructura de la calcita es romboédrica y no isométrica como la del  $\text{NaCl}$ . Además la cristalografía de la calcita es trigonal. La calcita (Fig. 2.1) es un mineral generalmente blanco o incoloro con alta birrefringencia es un polimorfo del aragonito y constituye gran parte de las rocas sedimentarias y algunas metamórficas con un índice de coordinación 6 y de gran exfoliación romboédrica.
- Grupo del aragonito:  $\text{CaCO}_3$ , es polimorfo de la calcita, es decir, tiene la misma fórmula química pero diferente estructura cristalina. La estructura es semejante a la de la calcita y, a diferencia de esta, tiene coordinación 9, es decir, cada Ca está rodeado por nueve oxígenos próximos. El aragonito es un mineral rómbico, pseudo hexagonal
- Grupo de la dolomita:  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , su estructura es parecida a la de la calcita pero a diferencia de esta en la dolomita se van alternando capas de Ca y Mg, la relación Ca:Mg es 1:1. Es trigonal



Fig. 2.1. En la figura se observa a un grupo de carbonatos principalmente la calcita de color blanco

### **2.3 Porosidad y Densidad en la secuencia Cretácica en el Pozo Yaxcopoil-1**

El pozo Yaxcopoil-1 permitió muestreo de parte de la secuencia carbonatada Mesozoica, en particular las unidades Cretácicas que fueron afectadas por la deformación asociada al impacto y formación del cráter. En el pozo Yaxcopoil-1, la unidad carbonatada debajo de la secuencia de brechas ha sido interpretada en términos de megabloques de carbonatos Cretácicos movidos en el impacto (Figs.2.3 y 2.4) Los núcleos permiten estudiar y caracterizar las unidades Cretácicas. Dentro de los parámetros para caracterización de la secuencia carbonatada los relacionados a la densidad, porosidad son importantes para evaluar la posible presencia de fluidos.

En la (fig. 2.2) se muestran algunas graficas que relacionan la porosidad y la densidad

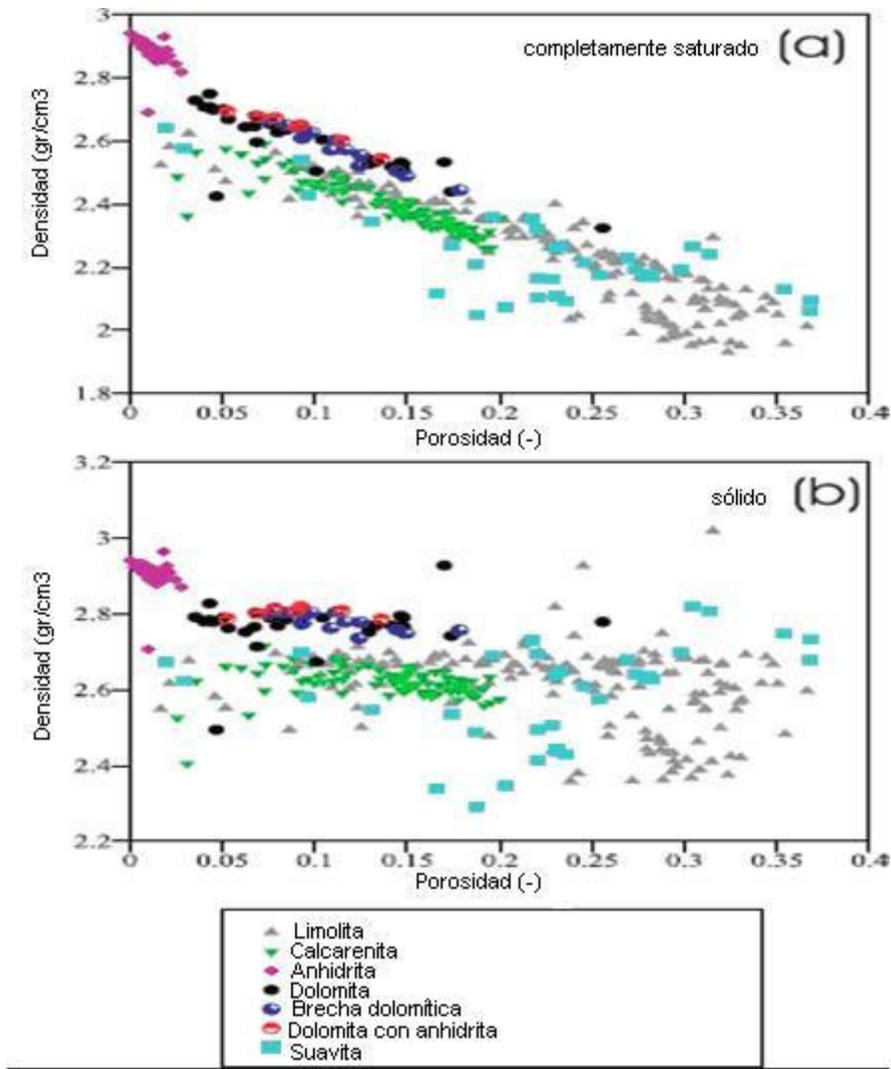


Fig. 2.2 en la grafica se muestra que en la fase solida como en la parte liquida la anhidrita son las rocas que presentan una mayor dureza la cual es de 3 g/c<sup>3</sup> y su porosidad es de 0.05 y en cuanto a las demás litologías presentan una diversidad de porosidades como de densidades

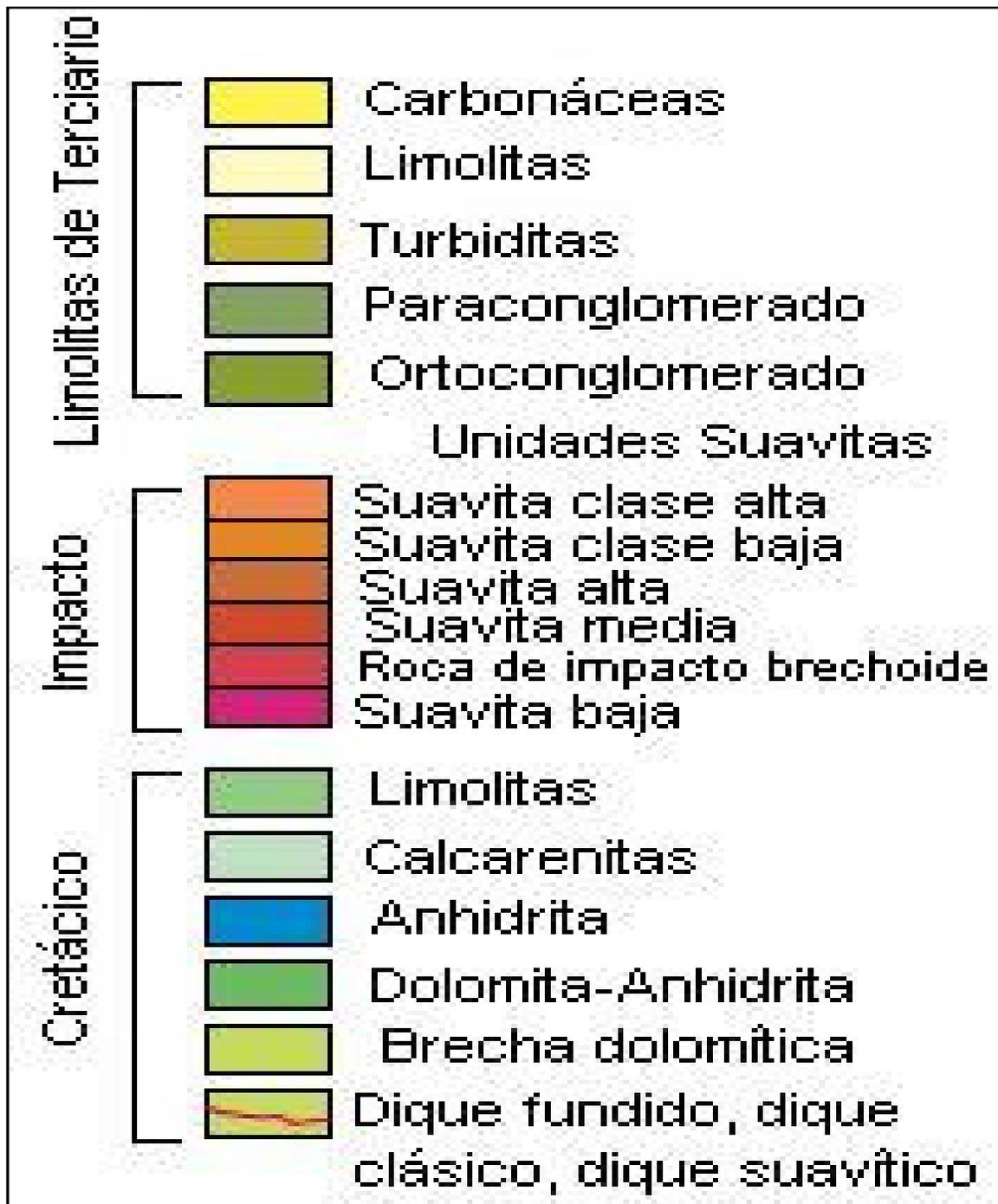


Fig. 2.3 En la grafica se muestran los bloques en los que ha sido dividido el pozo Yaxcopoil-1

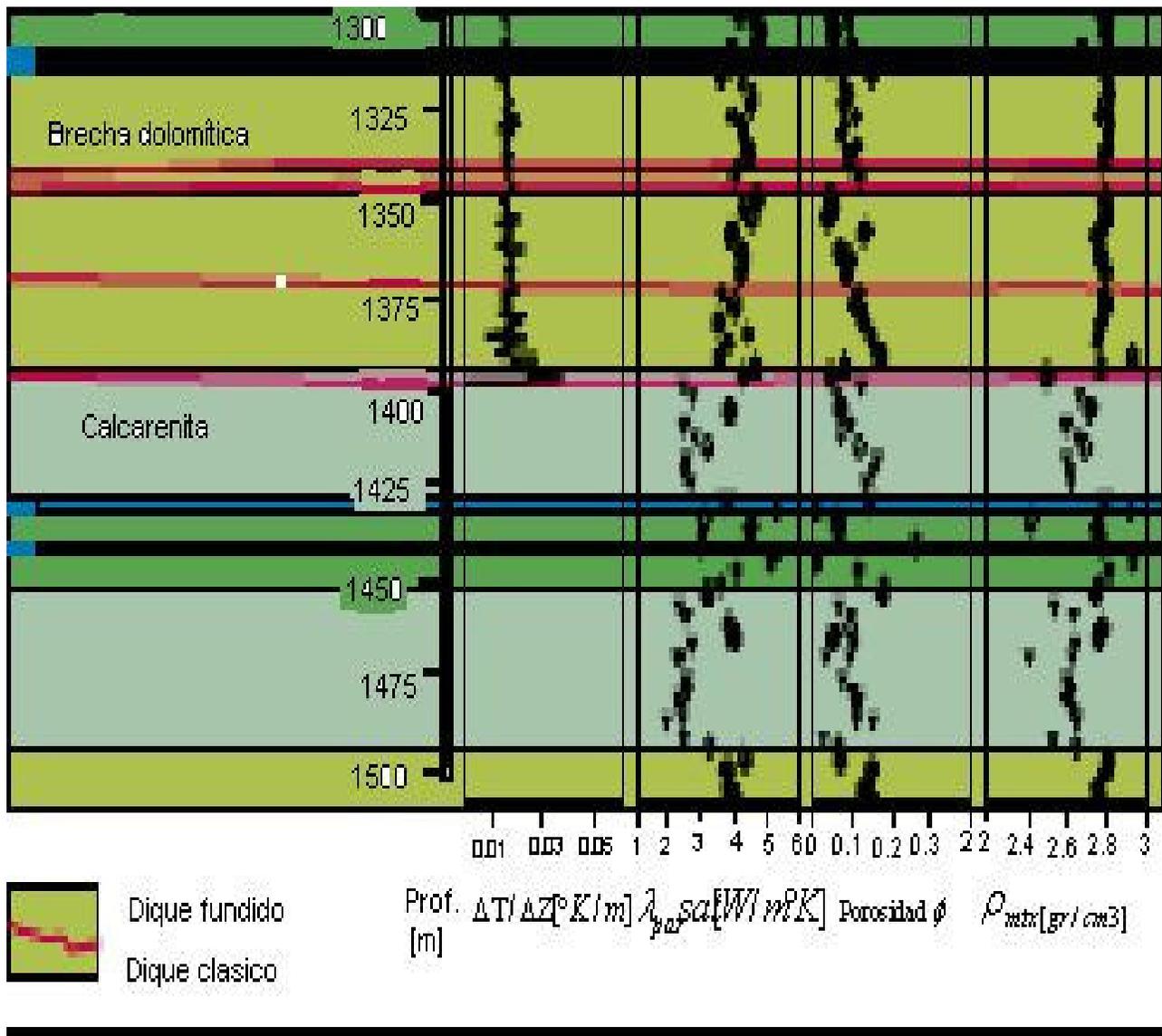


Fig.2.4 en esta grafica se muestra detalladamente el intervalo que comprende de 1200 ha 1500m se observa la presencia de brechas dolomíticas en la parte superior y en la parte de abajo se observa la presencia de calcarenitas a los 1400 hasta los 1425 y después vuelven a aparecer a los 1475m se observa también que existe una porosidad constante que va de 1 a .3 y una densidad de 2.4 a 3 g/cm<sup>3</sup>

## **Capítulo III**

### **Pozo Exploratorio Yaxcopoil-1**

En el presente capítulo se mencionara la perforación del pozo Yaxcopoil-1, partiendo primero de algunos conceptos y elementos que se deben de tomar en cuenta para poder llevar a cabo un proyecto de perforación de la mejor manera posible.

#### **3.1 Perforación de pozos petroleros**

Para llevar a cabo la perforación de un pozo petrolero se deben de llevar a cabo varias etapas de planeación, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- Recopilación de la información
- Análisis de la presión de formación
- Predicción del gradiente de fractura
- Asentamiento de TRS
- Diseño de la geometría de pozo
- Planeación de la terminación
- Diseño del fluido de perforación
- Diseño de la cementación
- Programa de barrenas
- Diseño de
- Diseño de la sarta de perforación
- Selección del equipo de perforación
- Estimación de costos

Una manera resumida de una perforación se puede hacer en 3 etapas y éstas son perforación, revestimiento y cementación:

#### *Perforación*

Consiste en perforar un agujero mediante la acción rotatoria de la barrena, removiendo los fragmentos de material perforado con un fluido (lodo) de perforación que circula a medida que la barrena penetra en los materiales de las formaciones. La barrena de perforación actúa según el principio de berbiquí y está conectada a la sarta de perforación a la cual se le hace girar por medio de la mesa rotaria o top drive según sea el caso cuando la barrena a alcanzado una profundidad de 8 a 10 metros, la barrena es regresada a la superficie y se le agrega un tubo adicional entre la barrena y el kelly, se le agregan los tubos que sean necesarios y se introducen en el pozo para continuar la perforación la barrena está suspendida de una sarta de perforación la cual está formada por tramos de tubería que se van agregando a medida que la barrena avanza, con el tiempo la barrena tiende a sufrir un desgaste y por este fenómeno tiene que ser remplazada, para esto la sarta de perforación que pesa más de 100 toneladas aproximadamente se levanta hasta la superficie y es desarmada por secciones a medida que esta va subiendo. Una vez sacada la sarta se procede al cambio de barrena y posteriormente se vuelve a armar la sarta para continuar con la perforación.

El lodo de perforación es bombeado desde la superficie por las bombas de lodo que succionan al mismo de la presa de succión y es inyectado hacia el fondo del agujero a través de la TP, al llegar al fondo es expulsado por las boquillas llamadas toberas que tiene la barrena de perforación, el lodo entonces fluye verticalmente por el espacio anular alrededor de la tubería, a medida que se inyecta fluido al pozo, ascendiendo a la superficie arrastrando el material perforado para luego ser conducido hasta la presa de asentamiento y descarga.

La resistencia de las paredes del agujero para no derrumbarse, se obtiene mediante la presión hidrostática del lodo de perforación, dirigida radialmente hacia afuera, por lo tanto el revestimiento filtrante es solo una cobertura flexible que retiene partículas sueltas la presión hidrostática del lodo de perforación debe superar a las de formación para evitar derrumbes. El espesamiento del lodo se maneja a conveniencia, introduciendo polímeros, bentonita o algún aditivo especial y barita u otro material densificante para proporcionar la densidad adecuada y se logre siempre que la presión hidrostática sea mayor a la de formación. Una cierta cantidad de lodo de perforación pasa a la formación en la pared del agujero y debe sellar completamente las paredes obstruyendo los poros de la pared. El control del lodo de perforación viene dado por el acondicionamiento de sus propiedades tales como densidad, viscosidad, gelatinosidad, filtrado, enjarre y contenido de arena las condiciones del lodo se deben de evaluar continuamente por el químico responsable de lodo

### *Revestimiento*

Durante el proceso de la perforación, es necesario revestir el pozo a diferentes intervalos, para esto se emplea tubería que se cementa dentro del agujero llamada tubería de revestimiento o TR. La tubería de revestimiento o TR es el conjunto de tuberías de acero que se colocan dentro del pozo de frente a las formaciones rocosas que han sido perforadas con el objetivo de evitar derrumbes de las mismas y para aislar zonas con presiones anormales, es decir, diferentes a las de gradiente normal de presión esperada.

La tubería de revestimiento varia su diámetro y número de acuerdo a las diferentes áreas perforadas y a las características productoras del pozo, generalmente se revisten tres tuberías en un pozo, a la de mayor diámetro y menor profundidad se le llama tubería superficial y de control, la que sigue se llama tubería intermedia, y a la de menor diámetro y mayor profundidad se le llama tubería productora.

Cada tubería de revestimiento se fija en su lugar con una lechada de cemento y se deja en reposo durante varias horas para que fragüe antes de continuar con la perforación o cualquier otra operación, a este proceso se le llama cementación primaria, al finalizar la perforación el pozo queda literalmente entubado desde la superficie hasta el fondo lo que nos garantiza su consistencia y así mismo la facilidad posterior a la hora de extraer el hidrocarburo.

### *Cementación*

La cementación es el proceso por el cual se bombea al pozo un mezcla de cemento que al fraguarse se endurece, proporcionando una sustentación a la tubería de revestimiento dando una hermeticidad contra la filtración de fluidos de la formación.

El cemento que se utiliza con mayor frecuencia para la cementación de pozos es el llamado cemento hidráulico o cemento clase G el cual es un material inorgánico finamente mezclado con arena, grava asbesto u otros materiales similares, tiene la particularidad de fraguar y endurecer incluso bajo el agua.

El cemento clase G se emplea desde la superficie y hasta 2440 m de profundidad la elaboración de este cemento está regida por las normas API que marcan los parámetros que debe de cumplir, las pruebas a que se somete son una simulación de las condiciones a que será sometido al cementar un pozo.

Para las pruebas físicas se deberá realizar mediante lechadas (agua –cemento) y para la cual la especificación que marca la norma API, deberá ser una mezcla de agua cemento del 44% en peso las temperaturas y presiones a las cuales se efectúan normalmente las cementaciones son superiores a 150 grados centígrados y 200 Bars a una profundidad muy cercana a los 10000 m.

Para proteger el pozo de problemas propios de la perforación, se pegan los tubos por (tubos de revestimiento) con un cemento especial, a continuación mencionaremos cuales son las funciones de la tubería de revestimiento

- 1.- Proteger el agujero de derrumbes en formaciones no consolidadas y en zonas de alta presión.
- 2.-Evitar filtraciones excesivas del agua del lodo de perforación hacia las rocas porosas permeables.
- 3.-Aislar los intervalos productores de hidrocarburos de los que contienen otros hidrocarburos.
- 4.-Evitar que los fluidos de la formación (gas, aceite, agua salada, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, agua sulfurosa) invadan la columna del lodo de perforación.
- 5.-Permitir la colocación de las conexiones superficiales (sistemas de preventores)

Durante la perforación se deben de tomar en cuenta dos elementos que son de suma importancia; estos son el lodo de perforación y la barrena ya que ambos van a ser seleccionados de acuerdo a las características y tipo de formación por atravesar, a continuación se mencionaran algunas características de cada uno de estos elementos

### **3.2 Fluidos de perforación**

Un lodo de perforación, es un fluido circulante que se introduce dentro del agujero por el interior de la tubería de perforación impulsado por una bomba, dicho lodo retorna a la superficie por el espacio anular para cumplir con las características requeridas durante la perforación y/o la circulación.

#### *Funciones del lodo de perforación*

El termino lodo de perforación incluye gas, aire, petróleo, agua y suspensión coloidal a base de agua y arcilla, los fluidos usados durante la perforación que inicialmente fueron utilizados como medio para transportar recortes de las rocas a la superficie son considerados ahora como uno de los factores más importantes para evitar fallas en las operaciones de perforación.

Además de su cualidad de transportar cortes a la superficie, los fluidos de perforación deben de cumplir otras funciones de igual importancia y que están directamente relacionadas con la eficiencia económica, por esta razón la composición de los fluidos de perforación y sus propiedades deberán estar sujetas a varias pruebas, estudios y análisis.

Los fluidos de perforación deben poseer la capacidad de tener propiedades físicas y químicas que le permitan adaptarse a una gran variedad de condiciones para satisfacer las funciones más complejas; para lo cual se ha requerido que la composición sea más variada y que sus propiedades estén sujetas a mayor control, esto ha traído como consecuencia un incremento en los costos de los mismos, enseguida se mencionaran las funciones que tiene el fluido de perforación:

### *1.-Limpiar de cortes el fondo del agujero y el acarreo de los mismos a la superficie*

El lodo de perforación debe proporcionar un flujo adecuado para crear una turbulencia a través de la barrena, que levante y acarree instantáneamente los recortes perforados. La eficiencia de acarreo depende de la velocidad del lodo en el espacio anular y está en función del gasto de la bomba del lodo, del diámetro del agujero, la velocidad de bombeo y del diámetro exterior de la tubería de perforación.

En una perforación, los recortes hechos por la barrena o en algunos casos pedazos de la formación provenientes de las paredes del agujero debidas al ocurrir un derrumbe, deben de ser evacuados desde el fondo hasta la superficie.

El funcionamiento dependerá de los siguientes factores:

- Densidad del fluido
- Viscosidad del fluido
- Densidad de los recortes
- Tamaño de los recortes

En la mayoría de los casos, el mantener una velocidad anular suficiente permite un movimiento neto hacia arriba de los recortes; sin embargo cuando la capacidad de las bombas es baja como para poder proporcionar una velocidad anular suficiente para levantar los recortes es necesario un incremento en la viscosidad del lodo para obtener una mejor limpieza del agujero.

Cuando la velocidad de asentamiento de las partículas es mayor a la velocidad anular, las partículas o recortes tienden a asentarse en el agujero ocasionando grandes problemas, para disminuir la velocidad de asentamiento de los recortes es necesario aumentar la viscosidad del lodo lo que refleja un aumento en la presión de las bombas para mantener un caudal previamente establecido lo que provoca una alta contrapresión capaz de ocasionar pérdidas de circulación.

Otra forma de disminuir la velocidad de asentamiento de los recortes, es mediante el incremento de la densidad del lodo ya que este trae como consecuencia un efecto de flotación mayor sobre los recortes.

### *2.-Enfriar y lubricar la barrena*

Durante la perforación la fricción originada por el contacto de la barrena y la sarta de perforación con la formación produce un calor considerable, existe otro factor importante llamado gradiente geotérmico el cual es la relación entre la temperatura y la profundidad del pozo siendo dicho gradiente de 1 grado centígrado por cada 30 m de profundidad

El lodo de perforación, debe tener suficiente capacidad calorífica y la adecuada conductividad térmica para permitir que el calor sea recogido del fondo del pozo para transportarlo hacia la superficie y disiparlo en la atmósfera.

La posibilidad de que este calor se elimine por conducción a través del subsuelo es mínima, en consecuencia debe eliminarse por el fluido circulante, el calor transmitido desde los puntos de fricción al lodo es disipado a medida que este alcanza la superficie.

En menor grado, el lodo por si mismo ayuda a la lubricación, esta lubricidad es aumentada por medio del uso de emulsificantes o aditivos especiales que afectan la tensión superficial; la capacidad lubricante es demostrada por la disminución de la torsión de la sarta, aumento de la vida útil de la barrena y reducción de la presión de la bomba entre otras.

### *3.- Estabilizar las paredes del agujero*

Con el objetivo de estabilizar las paredes del agujero el lodo tiene la propiedad de formar un enjarre alrededor del agujero; así mismo este enjarre evita las filtraciones del agua contenida en el pozo hacia las formaciones permeables y a su vez reduce la entrada de fluidos contenidos en la formación hacia el agujero.

Un buen lodo de perforación, debe depositar un enjarre que sea liso, delgado, flexible y de baja permeabilidad con la intención de evitar derrumbes y atrapamiento de la tubería, consolidar la formación y retrasar el paso del fluido hacia la misma por efecto de presión sobre las paredes del agujero descubierto.

### *4.-Control de presiones de formación*

Otra propiedad que tiene el lodo de perforación es la de controlar las presiones de la formación, el valor de la presión de formación es de  $0.107 \text{ kg/cm}^2$  por metro a esto se le denomina gradiente de presión de formación.

El lodo genera una presión llamada presión hidrostática que contrarresta a la presión de formación, la presión hidrostática está en función de la densidad del lodo y de la profundidad, por lo cual la densidad del lodo de perforación debe ser la adecuada para contrarrestar la presión de la formación y evitar el flujo de fluidos de la formación hacia el pozo.

A continuación se da a conocer la fórmula para calcular la presión hidrostática:

$$PH = (D * h) / 10 (\text{Kg/cm}^2)$$

Ecuación 3.1

Donde:

PH= Presión hidrostática ( $\text{Kg/cm}^2$ )

D= Densidad ( $\text{kg/cm}^3$ )

h=Profundidad (cm)

Normalmente la densidad del agua mas la densidad de los sólidos obtenidos durante la perforación es suficiente para balancear la presión de formación en las zonas superficiales.

La presión de la formación es aquella que tienen los fluidos contenidos en el espacio poroso y puede estimarse usando el gradiente de presión de formación en ecuación:

$$PF=J \text{ (kg/cm}^2\text{)} * h \text{ (cm)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

J= gradiente de presión de formación

h=Profundidad (cm)

Siendo gradientes normales 0.0998 (Kg/cm<sup>2</sup>)/m para el agua dulce y 1.072(Kg/cm<sup>2</sup>)/m para el agua salada.

Cabe señalar que cuando la tubería se baja dentro del agujero se desplaza fluido de perforación haciendo que suba a través del espacio anular entre la sarta de perforación y las paredes del agujero.

El control de las presiones anormales altas requiere que se agregue al lodo de perforación material de alta gravedad específica como barita para aumentar la presión hidrostática. y en el caso de una zona de presión anormalmente baja se procede a retirar el lodo y cambiarlo por uno nuevo

#### *5.-Soporta parte del peso de la tubería*

Con el aumento de la profundidad del pozo, el peso que soporta el equipo de perforación se hace cada vez mayor, el peso de la sarta de perforación y de la tubería de revestimiento en el lodo es igual a su peso en el aire multiplicado por el factor de flotación.

Un aumento en la densidad del lodo conduce a la reducción del peso total que el equipo en la superficie debe soportar, así la forma en que el lodo ayuda a soportar el peso es por medio del principio de Arquímedes, esto es, la tubería recibe un empuje hacia arriba.

Al estar ésta sumergida en el fluido de perforación, el empuje dependerá de la profundidad a la que se encuentre la tubería y a la densidad del lodo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Peso de la tubería} = W_t * C \qquad \qquad \qquad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde

W<sub>t</sub> = peso de la tubería (aire)

C= factor de flotación (kg)

#### *6.-Suspender los recortes y los sólidos cuando se interrumpe la circulación*

La suspensión de los recortes se efectúa principalmente cuando la circulación se interrumpe por un tiempo determinado esto se lleva a cabo debido a una característica del lodo llamada tixotropía la cual evita que los recortes caigan al fondo y causen problemas al meter la tubería y reanudar la perforación.

Bajo condiciones estáticas, la resistencia o fuerza de gelatinización debe evitar en lodos pesados el asentamiento del material densificante.

#### *7.-Transmitir potencia hidráulica a la barrena*

Las salidas del lodo en la barrena requieren gran parte de la potencia hidráulica producida por la bomba del lodo para mover la columna del lodo existente en el espacio anular y así establecer una circulación, siendo el fluido de perforación el medio a través del cual se transmite dicha potencia hidráulica

Las propiedades reológicas y tixotrópicas del lodo (viscosidad, enjarre, gelatinosidad, etc) ejercen una determinada influencia sobre las propiedades hidráulicas y deben de ser controladas en los valores adecuados, el contenido de sólidos en el lodo también debe de ser controlado a un nivel óptimo para lograr mejores rendimientos

#### *8.-Facilitar la máxima obtención de información*

La calidad del lodo de perforación, debe permitir la obtención de toda la información necesaria para valorar la capacidad productiva de las formaciones perforadas. Las características fisicoquímicas del mismo deben de ser tales que logren asegurar la información geológica deseada, la obtención de mejores registros y la toma de núcleos.

### **3.3. Tipos de lodo**

La composición de los fluidos de perforación es una función de los requerimientos de la operación, la mayoría de los lodos de perforación son base agua y forman un sistema constituido básicamente por las fases siguientes

#### *1.-Fase líquida*

Constituye el elemento de mayor proporción que mantendrá en suspensión los diferentes aditivos que forman las otras fases, esta fase puede ser agua (dulce o salada); o una emulsión (agua-petróleo).

#### *2.- Fase coloidal o reactiva*

Esta fase está constituida por la arcilla que será un elemento primario utilizado para darle cuerpo al fluido, se utilizan dos tipos de arcilla dependiendo de la salinidad del agua; si el lodo es de agua dulce se utiliza montmorilonita, si es lodo de agua salada, se utiliza una arcilla especial conocida como atapulgita.

#### *3.- Fase inerte*

Esta fase está constituida por el material densificante (barita) el cual es sulfato de bario pulverizado de alta gravedad específica ( $4.2 \text{ gr/cm}^3$  -  $4.6 \text{ gr/cm}^3$ ). Los sólidos no deseables como la arena y los sólidos de perforación también se ubican dentro de esta fase, en la siguiente tabla se muestran algunos materiales densificantes

<b>Material densificante</b>	<b>SG</b>	<b>Densidad máxima obtenida (<math>\text{gr/cm}^3</math>)</b>
barita, sulfato de Bario	4.2	2.4
Hematita, Óxido de bario	5	3

Carbonato de Calcio (cal molida)	2.8	1.44
Carbonato de Calcio (mármol molido)	2.8	1.44

#### 4.-Fase Química

Está constituida por iones y sustancias en solución tales como dispersantes, emulsificantes, sólidos disueltos , reductores de filtrado y otras sustancias químicas, que controlan el comportamiento de la arcilla y se encargan de mantener el fluido según lo requerido.

#### *Lodos base aceite*

Conocidos también como lodos de emulsión inversa contienen agua como fase dispersa y aceite (diesel) como fase continua .Valores de hasta el 40% de agua se pueden dispersar y emulsificar con aceite, estos fluidos tienen un filtrado API (100 psi) igual a cero, generalmente tienen una gran estabilidad eléctrica a 10 cm<sup>3</sup> a 500 psi (3.447 Kpa) Y 300 °F (149 °C), inertes a la contaminación química y pueden ser densificados después de ser ajustada la relación aceite-agua.

Los lodos base aceite se utilizan en las siguientes ocasiones:

- Formaciones de alta temperatura.
- Zonas de alta presión.
- Lutitas hidrófilas.
- Anhidritas o yesos.
- Sal.
- Formaciones con intercalaciones de asfalto.

Los lodos de emulsión inversa están constituidos por 5 elementos

- Aceite.
- Agua.
- Emulsificantes.
- Estabilizadores.
- Material densificante.

### 3.4 Propiedades de los lodos de perforación

Durante la perforación de un pozo petrolero, es de suma importancia el control de las propiedades físicas y químicas del fluido de perforación, estas propiedades deben controlarse de tal forma que el lodo ejecute un trabajo eficiente y óptimo, en consecuencia se evalúan las propiedades del lodo para obtener:

- El nivel deseado de cada propiedad.
- El control de sus propiedades físicas y químicas.
- Conocimiento de los problemas ocasionados y las causas que los originan.
- Tratamientos efectivos para solucionar problemas.

Las propiedades principales se mencionan a continuación:

- 1.- Densidad.
- 2.- Viscosidad.
- 3.-Filtrado.
- 4.-Enjarre.
- 5.-Grado de acidez o alcalinidad en el lodo.
- 6.- Cloruros.

### **3.5 Contaminaciones en lodos de perforación**

Durante la perforación el lodo puede sufrir contaminación por materiales sólidos o líquidos provenientes de la formación, modificando las características originales, a continuación se mencionaran algunos de los efectos que se observan al presentarse la contaminación de los fluidos de control.

#### *lodos base agua*

Efectos de la contaminación con gas:

- Disminuye la densidad.
- Aumenta la gelatinosidad y la viscosidad.
- Disminuye la conductividad.
- Aumenta el nivel de presas.
- Aumentan las lecturas de gas.
- Disminuye el filtrado.
- En ocasiones al parar la bomba de lodo, este sigue saliendo por efectos de presión del gas.

Efectos de la contaminación con agua salada

:

- Disminuye la densidad.
- Aumenta la viscosidad.
- Aumenta la conductividad.

- Aumenta el filtrado.
- Aumenta la salinidad.
- Aumenta el nivel de presas.
- En ocasiones al parar la bomba de lodo, este sigue saliendo por efectos de presión del agua salada.

#### *lodos de emulsión inversa*

Efectos de la contaminación con gas

- Disminuye la densidad.
- Aumenta el nivel de presas.
- En ocasiones al parar la bomba de lodo, este sigue saliendo por efectos de presión del gas.

Efectos de la contaminación con agua salada

- Disminuye la densidad.
- Aumenta la viscosidad.
- Disminuye la relación de agua-aceite.
- En ocasiones al parar la bomba de lodo, este continúa saliendo por efectos de la presión del agua salada.

### **3.6 Pérdidas por circulación**

Durante la perforación, existen varios problemas que pueden ser provocados por los fluidos de perforación, uno de los más importantes es la pérdida de circulación.

La pérdida de circulación consiste en migración de lodo hacia las formaciones expuestas en el agujero, es el flujo de lodo sin separación de sus componentes hacia las formaciones porosas y permeables que se han perforado.

El flujo de lodo hacia la formación, implica que hay menos lodo volviendo a la línea de descarga que el que se bombeo o bien que no hay retorno, la reducción del flujo de lodo en el espacio anular por encima de la zona perdida de circulación puede ocasionar muchos problemas, los recortes se pueden acumular en la zona de baja velocidad y caer al fondo cuando se suspende el bombeo.

Una velocidad menor en el espacio anular disminuye la capacidad de acarreo del lodo y como consecuencia la acumulación de recortes puede ocasionar un atrapamiento de la tubería o la pérdida del pozo, además la pérdida de lodo en el espacio anular trae consigo una reducción de la presión hidrostática.

Para que se pierda lodo hacia la formación se necesitan en general dos condiciones:

1.-La porosidad de la formación debe de ser tres veces más grande que la mayor de las partículas existentes en el lodo.

2.-La presión debida al lodo debe de ser superior a la presión de formación.

Las formaciones que típicamente se caracterizan por tener (orificio) lo suficientemente grande como para permitir la pérdida de circulación son:

- Formaciones no consolidadas o sumamente permeables (fallas, grietas, fisuras)
- Fracturas naturales.
- Zonas cavernosas o con cavidades (calizas y formaciones volcánicas)
- Fracturas inducidas.

La severidad de pueden variar desde una disminución parcial y gradual en el nivel de las presas hasta una falta rápida y total de circulación; por lo tanto pueden ser totales (se va todo el fluido) o parciales (se va parte del fluido)

### **3.7 Pérdidas naturales**

Son aquellas que no tienen control humano tales como fracturas, cavernas, formaciones no consolidadas, rocas de alta permeabilidad y zonas de baja presión entre otras.

### **3.8 Pérdidas inducidas**

Son aquellas que son ocasionadas debido al error humano, la mala operación o la falta de control, los siguientes factores ocasionan rupturas en la formación:

- Excesiva presión hidrostática.
- Alta presión de circulación.
- Alta gelatinosidad del lodo.
- Efecto de pistoneo al meter la tubería de perforación.
- Incremento brusco de presión de circulación debido al taponamiento de las toberas los cuales son provocados por derrumbes, hules protectores, estabilizadores los cuales taponan las toberas

### *Medidas preventivas*

Para evitar los problemas y que implica una pérdida de circulación, es conveniente tomar las siguientes medidas:

- Emplear la densidad adecuada que permita proporcionar una presión hidrostática suficiente para igualar a la presión de formación y evitar que el pozo se arranque.
- Mantener al mínimo el porcentaje de sólidos.
- Mantener la velocidad anular al mínimo.
- Evitar obturaciones mecánicas.
- Evitar incrementos bruscos de la presión de bombeo.
- Romper la circulación a intervalos regulares antes de llegar al fondo con la barrena.
- Meter la tubería de perforación a baja velocidad.
- Mantener lo más bajas las propiedades reológicas del lodo.

Cabe señalar que las medidas anteriores son preventivas y si se presenta una pérdida de circulación las medidas a tomar son las siguientes:

- Disminuir la velocidad de la bomba.
- Agregar material obturante.

Si la pérdida es total, levantar la barrena a la zapata si las condiciones del pozo lo permiten y acondicionar el lodo de las presas

### **3.9 Velocidad de perforación**

La velocidad de perforación es el tiempo que se tarda en perforar un metro de formación, esta es un factor importante y depende básicamente de la dureza de la formación, así como del diámetro de la barrena, entre más dura es la roca menor será la velocidad y aunque pudiera presentarse que al aumentar el peso sobre la barrena puede ejercer más fuerza y perforar a mayor profundidad, en realidad a mayor velocidad se genera más calentamiento de la barrena lo que implica menor corte, por otra parte a mayor diámetro de la barrena, menor será la velocidad de perforación.

#### *Factores que afectan la velocidad de perforación*

Los factores que afectan la velocidad de perforación son muchos pero los clasificamos en dos grupos:

- 1.-Condiciones de perforación.
- 2.-Características del subsuelo

#### *Condiciones de Perforación*

- a) Diámetro de la barrena.
- b) Peso sobre la barrena.
- c) Velocidad de la rotaria.
- d) Condiciones del lodo.
- e) Limpieza del agujero.
- f) Tipo de barrena.
- g) Presión diferencial.
- h) Desgaste de la barrena.
- i) Inclinación del agujero.

#### *Características del subsuelo*

- a) Porosidad de la roca.
- b) Dureza de la formación.
- c) Profundidad.
- d) Presión de formación.

El siguiente factor que se debe de tomar en cuenta durante la perforación es el tipo de barrena que se va a utilizar. A continuación se tratará el tema de las barrenas.

### **3.10 Barrenas**

#### **Definición:**

Barrena es la herramienta de corte localizada en el extremo inferior de la sarta de perforación que se utiliza para cortar o triturar la formación durante la perforación rotatoria.

Para realizar la perforación, las barrenas funcionan en base a dos principios esenciales:

Fallar la roca venciendo sus esfuerzos de corte y de compresión.

El principio de ataque de la barrena se realiza mediante la incrustación de sus dientes en la formación y posteriormente en el corte de la roca al desplazarse dentro ella, o bien mediante el cizallamiento generado por los cortadores de la barrena y que al vencer la resistencia de la roca de ahí que se destacan dos tipos de barrenas: de dientes y de arrastre

La forma de ataque de los dientes dependerá del tipo y características de la roca que se va a cortar, principalmente en función de su dureza, este factor resulta muy importante en la clasificación de las barrenas.

Durante casi una década la industria petrolera utilizó todo tipo de barrenas desde pulsetas, barrenas de arrastre, de discos, de rodillo, de cruz, de uno y de dos conos, así como las de diamantes. Estas últimas han sufrido algunas modificaciones pero su costo reduce su uso a operaciones especiales.

#### *Tipos de barrenas*

Con la barrena de diamantes se han logrado grandes procesos, sin embargo la barrena tricónica se sigue usando más extensamente los tipos de barrenas más utilizados en la perforación rotatoria así como para operaciones especiales se clasifican de la siguiente manera:

- a) Barrena tricónica.
- b) Barrena de cortadores fijos.
- c) Barrenas especiales.

#### *Barrenas Tricónicas*

Las barrenas tricónicas (Fig. 3.1) tienen tres cortadores que giran sobre su propio eje, son usadas desde 1931 y desde entonces no han sufrido grandes cambios en su forma y estructura, fueron empleados para su construcción cojines de fricción y en vez de tener los dientes en línea sobre su longitud de un cono, cada hilera de dientes fue producida separadamente y escalonada con los dientes de las otras hileras

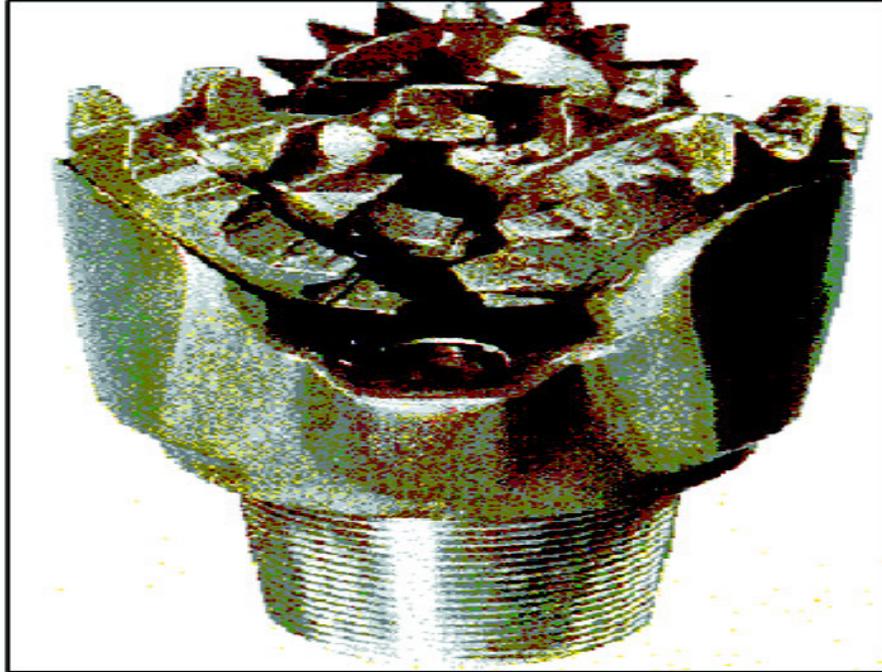


Fig.3.1 En la imagen se muestra una barrena triconica de 3 conos esta es la que más se usa en el campo tanto por su costo como por su eficiencia

Hasta 1948 con la introducción de las barrenas a chorro; las toberas en las barrenas de este tipo envían el fluido de perforación a alta velocidad contra el fondo del pozo para remover y levantar las partículas a medida que la barrena afloja la roca. Una importante modificación de las barrenas fue el empleo de insertos de carburo de tungsteno como elementos de corte.

En 1959, la primera aplicación práctica del balero sellado, del compensador de presión y del sistema de auto lubricación proporciono a los cojinetes de rodillos la ayuda necesaria para alargar la vida de la barrena.

El más espectacular progreso llego en 1969 con la introducción del cojinete de fricción (chumacera sellada) gracias a este adelanto la vida útil de la barrena logro cuadruplicarse.

El cuerpo de la barrena consiste en:

- a) una conexión roscada que une la barrena con la tubería de perforación.
- b) Tres ejes del cojinete de donde van montados los conos.
- c) Los depósitos que contienen el lubricante para los cojinetes.
- d) Los orificios a través de los cuales el lodo fluye para limpiar el fondo del agujero y levantar los recortes.

Uno de los depósitos del cuerpo de la barrena tiene la función de dirigir el fluido de perforación hacia donde hará más efectiva la limpieza del fondo del pozo, la mayoría de las barrenas son del tipo de chorro, el cual apunta el fluido hacia el fondo del agujero.

En algunas formaciones blandas, los chorros del fluido de perforación remueven el material por su propia fuerza. La erosión del fluido sobre el cuerpo de la barrena, proviene de altas velocidades, se reduce al mínimo con el empleo de las toberas de carburo de tungsteno.

Cada compañía tiene sus propios diseños de barrena pero siempre de acuerdo con un código de estandarización emitido por la Asociación Nacional de Contratistas (IADC por sus siglas en inglés).

### *Barrenas de cortadores fijos*

Las barrenas de diamantes, a diferencia de las tricónicas carecen de partes móviles (funcionan por fricción) normalmente el cuerpo fijo de la barrena puede ser de acero o de carburo de tungsteno (matriz) o una combinación de ambos

La dureza extrema y la alta conductividad térmica del diamante lo hacen un material con alta resistencia para perforar en formaciones duras y semiduras; y en algunos casos en formaciones suaves.

Las barrenas de diamante a excepción de las PDC no usan toberas para lodo que hagan circular el fluido de perforación para aprovechar la hidráulica, están diseñadas de tal manera que el lodo puede pasar a través del centro de la misma, alrededor de la cara de la barrena y entre los diamantes por unos canales llamados vías de agua o de circulación.

Hay dos tipos de barrenas de diamante y son:

- Barrenas de diamante térmicamente estable (TSP)
- Barrena de diamante policristalino (PDC) (Fig3.2)



Fig.3.2 Aquí se muestran algunos tipos de barrenas pdc, son útiles en la industria petrolera aunque su costo es alto.

### *Barrenas Especiales*

Las barrenas especiales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Barrenas desviadoras.(fig. .3.4)
- b) Barrenas monocónicas
- c) Barrenas especiales
- d) Barrenas ampliadoras



Fig.3.4 La figura muestra una barrena desviadora SIDE TRACK. Este tipo de barrena se utiliza durante la perforación direccional

Las barrenas de chorro desviadoras se emplean para la perforación direccional de las formaciones blandas durante las operaciones de desviación de agujero. La barrena especial es bajada con la tubería de perforación y el chorro es generado de forma que, cuando se aplica presión de las bombas, el chorro erosiona la roca en una dirección específica.

Las barrenas especiales se usan para fines muy específicos como son: para ampliar agujeros que estén estrechos, barrenas para cortar tuberías revestidoras, etc.

Esta barrena es considerada para trabajos especiales y es usada para perforar con aire. Las barrenas de chorro de aire se diseñan para operar con aire, gas o niebla como medio de circulación a través de los cojinetes no sellados, se hace pasar cualquiera de estos fluidos

para enfriar y mantener limpios los sistemas de fricción que están en contacto con la roca. El desgaste es muy considerable pero los avances son muy rápidos y la roca sale pulverizada lejos del equipo de perforación.

### 3.11 Clasificación de las barrenas

La Asociación Nacional de Contratistas (IADC) ha desarrollado un sistema estandarizado para clasificar las barrenas tricónicas de rodillos, las cuales se clasifican de acuerdo con el tipo (dientes de acero o de insertos), la clase de formación para la cual son diseñadas (en termino de serie y tipo), las características mecánicas, y en función del fabricante, el sistema de clasificación permite hacer comparaciones entre los tipos de barrena que ofrecen los fabricantes.

La IADC creó el sistema de clasificación de tres dígitos como se observa a continuación:

*Primer dígito:* Identifica el tipo de estructura de corte y también el diseño de la estructura de corte con respecto al tipo de formación como se relaciona a continuación:

- 1) Dientes fresados para formaciones blandas.
- 2) Dientes para formaciones medias.
- 3) Dientes fresados para formaciones duras.
- 4) Dientes de inserto de carburo de tungsteno para formación muy blanda.
- 5) Dientes de inserto de carburo de tungsteno para formación blanda.
- 6) Dientes de inserto de carburo de tungsteno para formación media.
- 7) Dientes de inserto de carburo de tungsteno para formación dura y abrasiva.
- 8) Dientes de inserto de carburo de tungsteno para formación extradura y abrasiva.

*Segundo dígito:* Identifica el grado de dureza de la formación en el cual se usara la barrena varia de suave a dura, como la siguiente relación:

- 1-Para formación suave.
- 2-Para formaciones semidura.
- 3-Para formación dura.
- 4-Para formación muy dura.

*Tercer dígito:* Identifica el sistema de rodamiento y lubricación de la barrena.

- 1-Con toberas para lodo y balero estándar.
- 2-De toberas para aire y/o lodo con dientes diseño en T y balero estándar.
- 3-Balero estándar con protección en el calibre (diámetro).
- 4-Balero sellado autolubricante.
- 5-Balero sellado y protección al calibre.
- 6-Chumacera sellada.
- 7 -Chumacera sellada y protección al calibre.

8-Para perforación direccional.

### *Códigos IADC para barrenas de cortadores fijos*

La IADC desarrollo un sistema de codificación para la identificación de barrenas de cortadores fijos que incluyen a todos los tipos; de diamante natural, diamante policristalino PDC y diamante térmicamente estable TST, este código consiste en cuatro caracteres (una letra y tres números) que describen siete características básicas:

- 1-Tipo de cortadores
- 2-Material del cuerpo de la barrena.
- 3-Perfil de la barrena.
- 4-Diseño hidráulica para el fluido de perforación.
- 5-Distribución del flujo.
- 6-Tamaño de los cortadores.
- 7-Densidad de los cortadores.

### *Criterios para la selección de la barrena*

Para el proceso de sección de la barrena, es fundamental conocer los objetivos de la perforación, esto ayudara a determinar las mejore características de la barrena a usar y se podrá satisfacer las necesidades de la compañía perforadora: estos criterios son:

- a) Rendimiento.
- b) Direccional.
- c) Economía.
- d) Análisis histórico.
- e) Fluidos de perforación.
- f) Energía hidráulica.
- g) Énfasis de los costos.
- h) Restricciones de la perforación.
  - ) Limitación del peso sobre la barrena.
- j) Escalas de revoluciones por minuto.
- k) Formaciones nodulares.
- l) Ampliación.
- m) Pozos profundos.
- n) Pozos de diámetro reducido.
- o) Aplicaciones con motores.

- p) Tipo de roca.
- q) Registros eléctricos.

Cabe señalar que en nuestro pozo de análisis se llevo a cabo un proceso de nucleado, para entender mas este proceso y poderlo abarcar más adelante se mencionaran algunos elementos importantes en el tema de núcleos.

### **3.12 Núcleos**

Un núcleo se puede definir como un trozo de roca o formación, cortado bajo diferentes condiciones de perforación con la intención de obtener información especial referente a la litología, saturación de fluidos, echados, etc, de una determinada formación.

Un núcleo es una roca que ha no ha sido sometida a la contaminación del lodo y proporciona muestras intactas de formación y es el único método para realizar mediciones directas de las propiedades de la roca y de los fluidos contenidos en ella.

Los geólogos y los ingenieros de yacimientos obtienen información sobre: litología, porosidad, permeabilidad, saturación de aceite, gas y agua, interfases agua-aceite, rumbo y echado de las capas (fig.3.5)

Por lo regular se corta un núcleo en cada una de las formaciones que son productoras en los pozos de correlación.

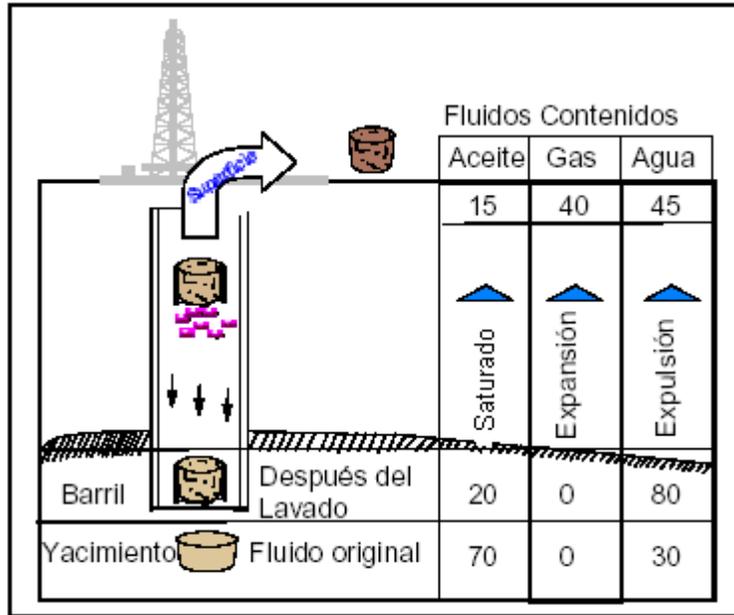


Fig.3.5 En la figura se observa cuales son las condiciones en las cuales se encuentra el núcleo en el yacimiento y los estudios que se le hacen en este caso se realizó un estudio para saber los fluidos contenidos en el núcleo.

### *Tipos de núcleos*

Existen 5 tipos de núcleos

- 1) *Núcleos convencionales*: estos se cortan una vez que se ha llegado a la profundidad deseada
  - a) Se baja un barril muestrero con la sarta de perforación y se inicia el corte del núcleo.
  - b) A medida que la perforación continua, el núcleo cortado se mueve al interior.
  - c) cuando se tiene cortada la longitud programada se reduce el peso sobre la corona, se aumentan las rpm, y en algunas ocasiones, se retiene la circulación para desprender el núcleo.

- d) Se obtienen muestras cilíndricas de 9 metros de largo,
  - e) Una vez en superficie, el núcleo se recupera en el piso de perforación y el geólogo se encarga de guardarlo en forma orientada.
- 2) *Núcleos encamisados*: se recomienda encamisar un núcleo en formaciones suaves, quebradizas o semi-consolidadas, el método consiste en cubrir con una camisa de neopreno o de una fibra de vidrio el núcleo que se esté cortando, la consolidación artificial del núcleo se lleva a cabo congelándolo o inyectando gel plástico, posteriormente se transporta al laboratorio para su análisis.
- 3) *Núcleos orientados*: una de las ventajas geológicas de los núcleos sobre los recortes es que se pueden identificar estructuras d'á genéticas y sedimentarias a gran escala.

El estado de los estratos, las fracturas y otras estructuras sedimentarias o diagenéticas pueden evaluarse en un núcleo convencional, tal estimación es posible con una exactitud controlada por la inclinación del agujero nucleado.

- 4) *Núcleos presurizados*: en las operaciones convencionales, las propiedades del núcleo cambian a medida que el núcleo sube a la superficie.

La declinación en la presión y en cierta medida la temperatura, resultan en una liberación de los esfuerzos de la roca y con ello la modificación de la permeabilidad y porosidades absolutas y efectivas, la expansión del gas modifica sustancialmente la saturación relativa de los fluidos, un núcleo presurizado permite obtener muestras que mantengan lo más cerca posible las condiciones originales, la composición y las propiedades representativas del yacimiento.

Una vez cortado el núcleo, se presuriza el barril por medios mecánicos en la parte superior e inferior de la herramienta, esto debe mantener las condiciones originales.

Una vez en la superficie, el núcleo se congela por medio de hielo seco o nitrógeno líquido durante 12 horas. la desventaja de este proceso es que es demasiado costoso

- 5) *Núcleos de pared*: Esta técnica se utiliza para recuperar pequeñas muestras de las formaciones ya perforadas a una profundidad determinada.

La pistola se baja con un cable y se disparan las cámaras de recuperación. Cada herramienta puede recuperar un promedio de 30 a 50 muestras a diferentes profundidades y paredes del agujero. Por lo regular esta técnica se emplea una vez analizados los registros.

El costo es bastante inferior y las mediciones realizadas a los núcleos de fondo también pueden efectuarse a las muestras de pared.

*Factores que afectan a los núcleos*

Existen dos factores que afectan los núcleos: El lavado de la roca por medio de los fluidos que penetran durante la perforación y los cambios de presión y temperatura instantáneos a los que son expuestos.

Para el primer caso, durante la perforación existe el problema dado por la penetración en la roca, esto provoca un desplazamiento de los fluidos originales (reducción del contenido de hidrocarburos e incremento del contenido de agua) lo que afecta agregando fluidos diferentes a los originales.

Para el segundo caso, la presión y la temperatura son cambiadas bruscamente provocando un efecto durante la medición de la permeabilidad, porosidad y resistividad las cuales comúnmente son usadas para definir el factor de cementación y el exponente de saturación.

### *Herramientas para cortar un núcleo*

Existen dos métodos para cortar un núcleo; núcleo de fondo y núcleos laterales (pared del pozo).

La selección del método depende de varios factores, entre ellos: profundidad del pozo, condiciones del agujero, costos de operación, % de recuperación.

Las operaciones de fondo permiten la obtención de diferentes tipos de núcleos, núcleos convencionales, núcleos encamisados, núcleos orientados, núcleos presurizados.

Para el corte de núcleos se emplean herramientas especiales las cuales consisten en un barril muestrero de aproximadamente 9.5 a 10m y una corona.

La profundidad donde se debe de cortar un núcleo depende de varios factores entre ellos:

Tipo de pozo: exploratorio o de desarrollo

Tipo de información requerida: geológica, de yacimientos, perforación, etc.

Para el caso de los pozos exploratorios, se requiere evaluar los horizontes que por correlación tienen posibilidades de ser productores para ello se cortan de 1 a 2 núcleos por intervalo dependiendo del análisis de los primeros núcleos, así mismo se busca obtener información geológica adicional como; litología, textura, edad, depositación, planos de fractura, porosidad, permeabilidad y saturación de fluidos.

Para el caso de pozos de desarrollo, la información requerida depende de los antecedentes de producción de los pozos de correlación; distribución de permeabilidades, permeabilidades relativas, saturación de aceite, mojabilidad, contacto agua-aceite.

La necesidad de sacar un núcleo siempre obedece a la necesidad de resolver problemas (sedimentario, estructural, de reservas de producción) actuales y futuros, así hay núcleos para el control estratigráfico y paleontológico, para el análisis de contenido de fluidos y las características petrofísicas de la roca, o por litologías complejas. También existen núcleos de pared.

### *Corte y recuperación de núcleos*

Al estar perforando y al llegarse a una zona de interés la cual puede ser una formación con manifestación de hidrocarburos, se suspende la perforación, se circula tiempo de atraso para

recuperar la muestra de fondo y ver si hay continuidad de la roca de interés para poder cortar el núcleo, porque hay ocasiones en que no sucede así, debido a que son capas muy delgadas y el tiempo de penetración es rápido principalmente por tratarse de rocas consolidadas como es el caso de los sedimentos arcillo-arenosos del terciario y las arenas y las areniscas pobremente consolidadas del Jurásico Superior Oxfordiano, si continua la roca de interés se suspende la perforación, se saca la barrena y se baja el barril muestrero y corona para el corte del núcleo

Se recupera el núcleo en el piso de perforación o en el patio de tuberías, se orienta con una raya roja a la derecha y otra negra hacia la izquierda, tomando como referencia la zapata (esto sirve para diferenciar la parte superior y la parte inferior), se cortan tramos de un metro cada uno, no se recomienda lavarlo con agua ni con detergente porque se borran las evidencias de aceite que contiene.

Se orientan los fragmentos, se enumera en orden ascendente cada fragmento a partir de la parte inferior del núcleo hasta el último fragmento de la parte superior del mismo se seleccionan fragmentos de la parte inferior, parte media y parte superior respectivamente, se analizan al microscopio estereoscópico y se hace una descripción litológica de campo o una descripción petrográfica de campo.

Una vez hecho el análisis y la descripción litológica de campo del núcleo, se guarda en cajas de madera o de plástico previamente rotuladas con el nombre del pozo, intervalo nucleado y parte a la que corresponde cada caja o solo se cierran los tubos cortados y se mandan al departamento de paleontología.

Una vez teniendo conocimientos que son indispensables en la perforación nos enfocaremos a la perforación de pozo Yaxcopoil-1.

### **3.13 Objetivo de la perforación del pozo Yaxcopoil-1.**

El objetivo principal que sigue al perforar el pozo en el cráter Chicxulub es aumentar y profundizar las investigaciones que se han venido realizando con anterioridad con la colaboración de la comunidad internacional.

El objetivo principal consistía en la recuperación continua de una sección del terciario, así como de las brechas las cuales se generaron debido al impacto que sufrieron debido al meteorito, por lo cual es uno de los trabajos más importantes sobre el límite cretácico-superior a nivel internacional.

Este proyecto es importante debido a que es el primer programa en perforación profunda con fines científicos que se ha realizado en nuestro país, cabe destacar que este trabajo cuenta con la participación de gente muy importante en el ámbito como son el Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi, quien tenía a su cargo la dirección de instituto de geofísica.

La recuperación de núcleos se realizó de manera continua de 400m hasta 2500m de profundidad, con esto la comunidad internacional tiene acceso a los mismos en el Instituto y pueda realizar los estudios correspondientes para dar

Una explicación sobre los cambios que trajo el impacto del meteorito tanto en lo estructural como en el clima y la evolución de las especies

Se presentara e interpretara los resultados de análisis petrográficos, el pozo Yaxcopoil-1 (Yax-1), con énfasis especial en las unidades del impacto, usando los cálculos del modelo numérico de la formación, y de la modificación dinámica del cráter de Chicxulub, con datos del laboratorio, un modelo del origen y el emplazamiento de las formaciones del impacto de Yax-1 y de la estructura de impacto.

La parte más inferior de Yax-1 es formada por las rocas cretáceas desplazadas (610 m de grueso), mientras que la parte superior abarca seis suavitas-tipo unidades alóctonas de la brecha (100 m de grueso), de la textura y de la composición de estas unidades litológicas y de cálculos del modelo numérico, podíamos ligar las siete unidades impacto-inducidas distintas de Yax-1 a las fases sucesivas correspondientes de la formación y de la modificación del cráter, son como sigue:

- 1) formación transitoria de la cavidad incluyendo la dislocación y deposición de “megabloques cretáceos;”
- 2) tierra que se afloja y que se mezcla de derretimiento del impacto y de clastos líticos en la base de la cortina de las deyecciones y de la deposición de la derecha más baja del suevite después de la formación de la cavidad transitoria;
- 3) deposición de una capa fina del derretimiento encima de las brechas suevitas más bajo y del transporte lateral hacia el final del derrumbamiento de la cavidad transitoria (roca brechada del derretimiento del impacto);
- 4) derrumbamiento de la cima de las deyecciones y de la deposición del material del retraso de la parte más inferior de las deyecciones para formar el suevite medio cerca del final de la modificación dinámica del cráter;
- 5) derrumbamiento continuo de la cima de las deyecciones y de la deposición del suevite superior;
- 6) última fase del derrumbamiento y de la deposición del suevite clasificado más bajo después de la interacción;

- 7) la fase final de retraso de la parte más alta de las deyecciones y establecimiento del derretimiento y partículas sólidas a través de la atmósfera restablecida para formar el suevite clasificado superior; y
- 8) vuelta del océano en el cráter después de un tiempo para trabajar el suevite más somero bajo condiciones acuáticas, los resultados son compatibles con: 180-200 kilómetros y para los diámetros del cráter final y la cavidad transitoria de Chicxulub, respectivamente, según lo propuesto previamente por varios autores.

Las teorías fundamentales de la ciencia son parte de un nuevo paradigma eso acentúa el papel de colisiones interplanetarias en evolución geológica y biológica de la tierra.

El problema del acontecimiento del límite de K/T ha puesto en discusión las extinciones totales y la evolución biológica y climática de la tierra en un contexto del nuevo, sistema planetario con este concepto en mente, el agujero Yaxcopoil-1 (Yax-1) fue organizado y financiado por el programa continental internacional de la perforación (ICDP), el proyecto científico de la perforación de Chicxulub (CSDP), y por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Yax-1 está situado un 60 kilómetros de sur del centro de la estructura de impacto de Chicxulub de 180-200 kilómetros de diámetro y perforado a una profundidad de 1511 m (Urrutia-Fucugauchi et al., 2004; Dressler y otros 2003).

El sitio de perforación se establece entre el “anillo máximo interno” y el borde del cráter (fig.3.6) La perforación fue terminada en febrero de 2002, y las primeras muestras eran recuperadas por el principio del mayo de 2002.

Chicxulub es de gran importancia también porque es el único de las tres grandes cuencas de impacto en la tierra (además de Vredefort y de Sudbury) en la cual se conservan todas las formaciones del impacto incluyendo la manta de las deyecciones, y una capa global de ruina del impacto (Kiessling y Claeys 2001) se puede correlacionar con el cráter de origen (Krogh y otros 1993; Aflíjase y Therriault 2000)

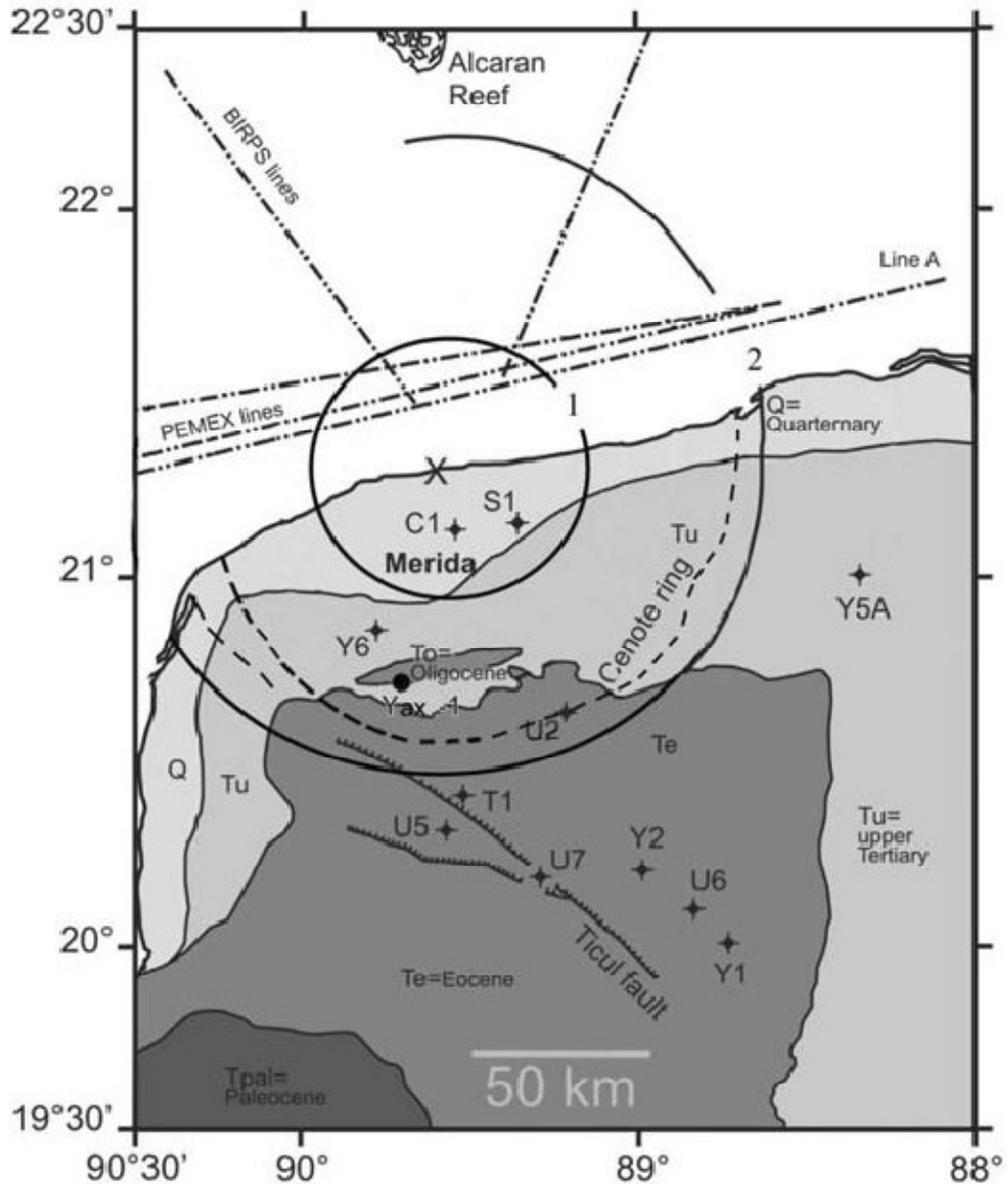


Fig.3.6 En la imagen se observa el mapa geológico del norte de Yucatán con la localización del lugar de perforación de ICDP Yax-1 y de otros lugares de perforación de PEMEX y por UNAM (C1 = Chicxulub 1, S1 = Sacapuc 1, T1 = Ticul 1, Y = Yucatán, U = UNAM); BIRPS (instituciones británicas Reflexión que perfila el sindicato), los perfiles sísmicos son indicados por las líneas rayado-punteadas; los anillos concéntricos representan (1) el centro del anillo máximo, (2) el borde final del cráter, y un anillo de cenotes y de agujeros del fregadero (línea de puntos); el perfil de la línea.

Las siguientes imágenes muestran los equipos de perforación que se utilizaron así como en proceso de recuperación de núcleos.



Fig.3.7 Se muestra el equipo de perforación tanto como la cabina que se utilizo para la recolección de datos



Fig. 3.8 La figura nos muestra a la torre de perforación así como a la polea viajera la changuera y la línea conductora del fluido de perforación utilizados durante la perforación del pozo Yaxcopoil-1



Fig. 3.9 La figura nos muestra el tipo de camiones que se utilizaron para el manejo de la tubería que se introdujo durante todo el proceso



Fig.3.10. Aquí se observa el proceso de corte de nucleos así como al equipo de geólogos que participo en este proceso.



Fig.3.11 En la ilustración se muestra el momento en el cual se estaba levantando la torre de perforación



Fig.3.12 Diferentes tanques de almacenamiento de fluidos de perforación que se utilizaron

Durante el proceso de la perforación, una primera opción para la estratigrafía y la clasificación de las varias unidades litológicas fueron propuestas por Dressler y otros en 2003 y más adelante modificadas y adaptadas a los estudios de detalles en los núcleos y dentro de la sistemática internacionalmente propuesta de rocas impacto-metamórficas (Stöffler y otros, 1994, 2003; Tuchscherer y otros 2004).

Aquí se presentaran los resultados de un modelado numérico “estándar” para la estructura de impacto de Chicxulub y las estimaciones simplificadas del proceso del polvo radiactivo de las deyecciones que ocurren durante mucho tiempo después de la formación del cráter.se, intenta derivar un modelo para el origen y el emplazamiento de las diversas unidades del impacto expuestas en Yax- 1 y la estructura de Chicxulub en conjunto.

### *Muestras y métodos*

Se tomaron treinta y nueve muestras que cubren la gama de la profundidad de 797.84 a 895.00 m fueron analizados sus pesos los cuales variaron entre 20 a 200gramos y las partes alícuotas de 10-40 g fueron tomadas para los análisis químicos.

Una o dos secciones finas fueron pulidas y tomadas como base para la microscopia óptica y del electrón y los análisis microquímicos.

Los métodos siguientes fueron aplicados en las muestras:

- 1) microscopia óptica.
- 2) microscopia electrónica de exploración.
- 3) análisis de microsondeo electrónico del electrón.
- 4) fluorescencia de la radiografía análisis para 24 de estas muestras (véase también Schmitt y otros 2004).
- 5, espectrometría de la ICP

#### 3.13.1 Métodos numéricos

Se utilizaron dos métodos para modelar el impacto de Chicxulub: 2D SALEB y 3D SOVA. Este último se utiliza para modelar los primeros tiempos del impacto.mientras que el otro se aplica para modelar la excavación y etapas de la modificación.

El modelado de dos dimensiones con el SALEB es empleado para solucionar una ecuación del movimiento diferencial de un medio continuo, utilizamos el código altamente modificado de la VENTA, sobre todo diseñado para modelar los flujos fluidos (Amsden y otros).

La descripción de la tensión del desviador (modelar comportamiento elástico-plástico) y la falta frágil de rocas fueron agregadas por Melosh y otros (1992). Además se utilizaron ecuaciones estado y mezcló el tratamiento de la célula

En el modo euleriano se ha agregado recientemente (Ivanov y otros 1997, 2002). La versión euleriana del multi-material de la VENTA con características de la fuerza del granito y de la dunita correspondiente a las pruebas triaxiales.

Un modelo del ablandamiento termal (Ohnaka 1995) se utiliza para representar una disminución gradual de la fuerza y la fricción así como a la temperatura cuando esta se acerca al punto de fusión.

Para el derrumbamiento de un cráter grande uno tiene que asumir (además del ablandamiento termal) una reducción temporal de la fricción en rocas hechas fragmentos alrededor de un cráter creciente del impacto.

El modelo acústico de la fluidificación (AF) (Melosh 1989) se utiliza en “un modo de la oscilación del bloque” (e.g., Ivanov y Kostuchenko 1997). La opción primaria de los parámetros se hace con un modelo de escalamiento lineal (Ivanov y Artemieva 2002).

### *El modelado (3D) tridimensional con el SOVA Hydrocode*

Es un código euleriano de dos etapas que puede modelar; multidimensional, multi-material, deformación, la física fuerte de la onda de choque. Se basa en los mismos principios usados en el código bien conocido de CTH (McGlaun y otros 1990).

Una característica entre la cual hace SOVA único entre los hydrocodes usados para los estudios del impacto es que pone en práctica un procedimiento para describir el movimiento de la partícula en la zona de desarrollo de la deyección-gas, incluyendo la interacción de partículas con el gas.

Las ecuaciones estado tabuladas (FOE) son computadas por separado con el código de FORTRAN de ANEOS (Thompson y Lauson 1972).,se emplean los parámetros de entrada para calcita, granito, y dunita (Pierazzo y otros 1997) para simular la cubierta sedimentaria, el sótano cortical, y la capa, respectivamente

La estratigrafía del blanco ha sido reconstruida y simplificada para el I pre-impacto sabido (Urrutia-Fucugauchi y otros 2001; Morgan y otros. 1997).

Para 3D (SOVA),el blanco consiste en una capa sedimentaria de 3 km de espesor (FOE) de calcita,30 kilómetros de basamento cristalino, y la capa de dunita

Para modelar la deposición de las deyecciones después de un impacto oblicuo, utilizamos la atmósfera de la Tierra estándar.

El modelado más simple debe incluir dos variedades de sedimento, corteza, y capa. como una primera aproximación, se utiliza un blanco de dos capas: roca sedimentaria y roca cristalina. Aunque esta representación esté sobre simplificada, el anterior se utiliza para representar la corteza entera, y este último se utiliza para representar la capa.

La fricción atmosférica se descuida para modelar de deyecciones deposición dentro del borde del cráter

Un modelo geofísico 3D revela que el cráter de Chicxulub tiene una profundidad de 700 m, a lo largo de la superficie cretácea y de la superficie coherente de la hoja del derretimiento.

Los apremios adicionales para el modelado se deducen de la interpretación de un examen sísmico (Morgan y otros 2000): la superficie cretácea se remonta cerca de 40 kilómetros al centro, bajo la forma de megablocks caídos

Realizamos un análisis paramétrico del diámetro del proyectil, de su forma, y de su velocidad del impacto la cual está entre 12 a 25 km/s

El “parámetro del impacto”  $L = 0.58$  (dienes y Walsh 1970) se utiliza para comparar diversas velocidades del impacto. Para tener un impacto oblicuo, se utilizó un ajuste del impacto vertical, considerando la eficacia alta de impactos oblicuos naturales (Ivanov y Artemieva 2002). De estas pruebas, el proyectil da un diámetro de afectación de 12 kilómetros con una velocidad de 20 km/s a los ángulos de 30° y de 45.

### **3.14 Estratigrafía del Pozo Yaxcopoil-1**

La sección superior de la base de la barrena consiste en 795 m de Rocas sedimentarias carbonato-ricas del poste-impacto terciario que cubren 100 m de las brechas alóctonas del impacto del poli mítico (794.63-894.94 m), estas brechas consisten en una mezcla de partículas del derretimiento del impacto y de clastos líticos y minerales derivados de la sección completa del blanco que fue afectada por la excavación.

Esta sección de blanco se extiende del basamento cristalino a las rocas cretáceas superiores del carbonato y del sulfato tales como piedra caliza, dolomía, anhidrita, y yeso (López Ramos 1975, 1979).

Los brechas polimiticas y las brechas clásticas de la matriz del polimitico consisten con las partículas congénitas del derretimiento (Stöffler y otros 1994).

La unidad alóctona de las suavitas ha sido la base de una sección sedimentaria de la edad cretácica que consiste en una secuencia de 616m de grueso de calizas y de dolomías con intercalaciones de la anhidrita. Estas rocas sedimentarias representan muy probablemente una habitación de los megabloques inclinados que son cortados por los varios tipos de brechas impacto-inducidas del dique incluyendo derretimiento del impacto, suevita, brecha lítica del polimítico brecha del monomítico (Kenkmann y otros 2004; Wittmann y otros 2004).

Las discusiones para esta subdivisión se basan en de textura y características compositivas de las unidades litológicas individuales tales como tamaño de grano, relaciones de la matriz-clasto, y abundancia de clastos líticos y de partículas del derretimiento.

#### *Perforación del pozo Yaxcopoil-1, administración de los datos del proyecto*

Las estructuras de impacto del meteorito se reconocen y se exploran principalmente con la teledetección y un registro geofísico continuo.

Un muestreo científico continuó del impacto de las rocas de la cubierta al material de blanco no se ha realizado.

La primera perforación profunda y base de un proyecto de la estructura de impacto más grande en la tierra fue ejecutada en el invierno 2001/2002 en el cráter viejo de 65 Chicxulub en México usando el muestreo de base integrado y con medidas “in-situ”

teniendo en cuenta la penetración tridimensional y una mejor comprensión de los procesos del impacto.

Aquí se da a conocer la integración de las técnicas de perforación rotatoria convencionales con la tecnología de la explotación minera que se aplicó durante la perforación, se utilizó un cable metálico para perforar los 1510 m Yaxcopoil-1 profundo a una distancia de 40 kilómetros de Mérida, Yucatán, México. Durante el curso del proyecto se recuperaron aproximadamente 900 m de muestras intactas de la base incluyendo la transición de la roca del post-impacto a las deyecciones y la transición de roca impacto-generada.

La base fue complementada por las medidas geofísicas del cable metálico que se obtenían de un sistema continuo de los datos petrofísicos “in-situ” de las paredes de la perforación.

Los datos adquiridos abarcan: el contenido del elemento radiactivo natural, velocidades de ondas acústicas de compresión así como tan bien como medida de resistencias eléctricas. Todos los conjuntos de datos digitales incluyendo parámetros técnicos de la perforación, descripciones científicas iniciales de la muestra y cuadros de la base fueron distribuidos durante el curso de las operaciones vía Internet y almacenados en el sistema de información de la perforación que servía a la comunidad global de científicos de cooperación como servicio informativo básico.

Las estructuras de impacto del meteorito son características comunes en la superficie de planetas solares internos y de sus satélites.

Las investigaciones recientes de procesos que ahuecaban en la tierra han corroborado su importancia fundamental para la evolución planetaria y biológica. Sin embargo, la mayor parte del actual conocimiento es limitado porque se basa en la teledetección, el muestreo superficial restringido, y la proyección de imagen geofísica. La única manera de muestrear un solo cráter del impacto en diversos niveles y de explorar activamente la tercera dimensión está con la perforación.

A continuación se dar a conocer los métodos y los resultados de la primera perforación profunda continua en la estructura de impacto de Chicxulub en Yucatán, México, es uno de los cráteres bien preservado más grande de rocas en la tierra y su tiempo del impacto coincide con una de las extinciones totales más grandes de la vida en 65 millones de años antes del presente

Las operaciones de la perforación fueron ejecutadas en la pequeña ciudad de Yaxcopoil unos 40 kilómetros del suroeste de Mérida, México en diciembre de 2001 a marzo de 2002 (Dressler y otros, 2003). Esta localización fue elegida debido al control stratigráfico a través de pozos próximos del campo petrolífero y a su posición fuera del cráter transitorio supuesto con la deformación y la excavación intensas pero aún dentro de una zona con una sección completa de las rocas del impacto

#### *Perforación y operaciones de nucleado*

Se desarrolló un concepto de la perforación para el Yaxcopoil 1 pozo (YAX-1) bajo apremios de un plan limitado y terminante del presupuesto sin capacidades de la contingencia, de una capacidad proyectada de la profundidad de la perforación de más de

2000 m de profundidad y del requisito científico de alta calidad continua que se empleo para nuclear a partir de 400 m (rocas terciarias superiores de la cubierta) a la profundidad final (en rocas cretácicas).

Se contrató una compañía mexicana de perforación para, proporcionar un aparejo para la perforación del campo petrolífero (tipo IDECO gama de la profundidad. 2.8 kilómetros) para las operaciones de la perforación rotatoria sin la recuperación de la base durante la perforación de la sección más somera de 400 m. Este aparejo también fue utilizado para desplegar un sistema de base, conducido por un eslabón giratorio del diamante del cable metálico de la energía (el sistema de base híbrido de DOSECC)

Tales sistemas permiten la recuperación rápida de núcleos a través de la pipa mientras que la columna de sondeo entera permanece en la perforación para evitar desperdicios de tiempo del viaje-hacia fuera de la pipa.

La combinación de tecnología minera de base del cable metálico con el equipo rotatorio del campo petrolífero estándar facilito la perforación y el muestreo a profundidad de 1510 m (véase tabal 3.1 para los detalles técnicos).

Tabla 3.1 Características técnicas de la perforación del pozo Yax-1	
Fase de Perforación Rotaria	Fase de nucleo con el cable de registro
0-392m de profundidad	404 m-1510.6 m de profundidad
diámetro del agujero:311 mm	404-993 m:96mm(63.5mm del núcleo)
5-1-5 1ADC-Insertos en la base	96 mm de impregnación de diamante en la base del núcleo
velocidad de perforación(ROP) 2.0-4.5 m/h	2 m/h ROP
20-60 KN de peso en la barrena	5-25 KN WOB/350-450 RPM/70-80 l/min
60-90 revoluciones por minuto(RPM)	76 mm de impregnación de diamante en la base del núcleo
lodo bentonítico base agua	lodo bentonítico polimérico base agua
características del aparejo: 110 toneladas de carga en gancho,450 HP para trabajos de drenado,350 RPM de rotaria 1x 350 HP en la bomba sistema de lodos no centrífugo, 300psi en el preventor características del topdrive: 450 HP, 113 de capacidad estática,4875m de profundidad se uso una sarta HP,0-900 RPM en el torque y velocidad cable de registro conductor-hidráulico Condiciones finales de la perforación; 9 de diciembre del 2001-febrero del 2002(77 días) profundidad final:1510.6m Rango Nucleado: 404 m-1510.6 m 372 núcleos cortados con una longitud de 3m de longitud Recuperación de Núcleos:98.5 % vida promedio de la barrena:152 m vida máxima de la barrena:280 m	

Al principio, un pozo profundo de 392 m (312 milímetros) fue perforado y encajonado con los tubos de acero de 245 milímetros y cementado para fijar el tubo a las paredes del pozo.

En un segundo paso el pozo fue nuclearlo abajo a 980 m con la columna de sondeo del cable metálico del HQ (96 milímetros) que sirvió para encajonar durante las operaciones posteriores. La tercera sección fue nucleada con el sistema más pequeño del NQ (76 milímetros) a la profundidad del final de 1510 m. Este procedimiento permitido continúa recuperación de la base del 98.5% incluso en regiones con inestabilidades de la pared del pozo

La mayor parte de las operaciones incluyendo la perforación, nucleado, encajonando y cementando fueron ejecutadas según el planeamiento. Sin embargo, las rocas carbonosas muy duras más someras causaron pérdidas de circulación del lodo En una profundidad de 993 m la secuencia de base del cable metálico (HQ-sistema) se pego. La causa básica de la secuencia pegada era desbloques de la perforación en la sección superior de los estratos del impacto según lo indicado por medidas de registro proporcionadas por el cable metálico a través de la pipa.

La secuencia HQ-que quitaba el núcleo tuvo que permanecer en la perforación como cubierta mientras se realizaba la operación, fue perseguido usando el principio de telescopia. Una secuencia de base de un NQ-cable metálico más pequeño fue desplegada a través de la cubierta del HQ y utilizada hasta que profundidad final (véase fig. 3.13).

Todas las operaciones de la perforación y de registración fueron ejecutadas en los 77 días entre el 9 de diciembre de 2001 y 26 de febrero de 2002 (perforación rotatoria de 6 días, HQ, 39 días de nucleado

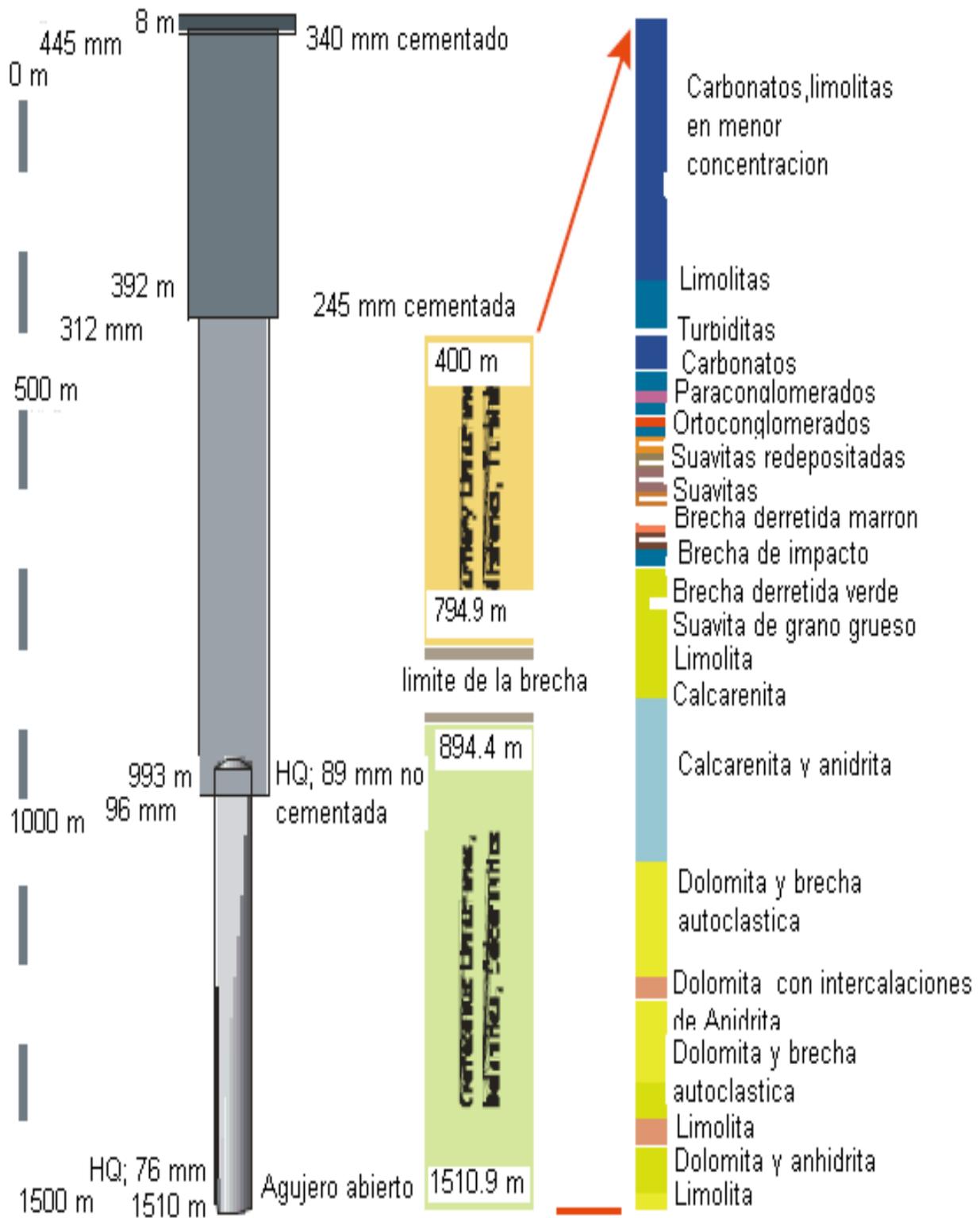


Fig.3.13 Esquema de perforación y que encajona de la perforación Yaxcopoil-1 y del bosquejo geológico de los estratos truncados. La columna derecha demuestra la sucesión

litológica de la descripción inicial de la base en el sistema de información de la perforación; brecha de suevitas y del derretimiento según Stöffler y otros (2003)

Los costos totales de perforación, registrando, la preparación del drillsite, la movilización y la desmovilización del equipo así como el funcionamiento sumaban a cerca de 1.6 USD La distribución de costo representada en la fig. 3.14 demuestra que la perforación y las operaciones de base contribuyeron cerca del 55% de los costos totales mientras que la movilización y la desmovilización abarcan el 27%.

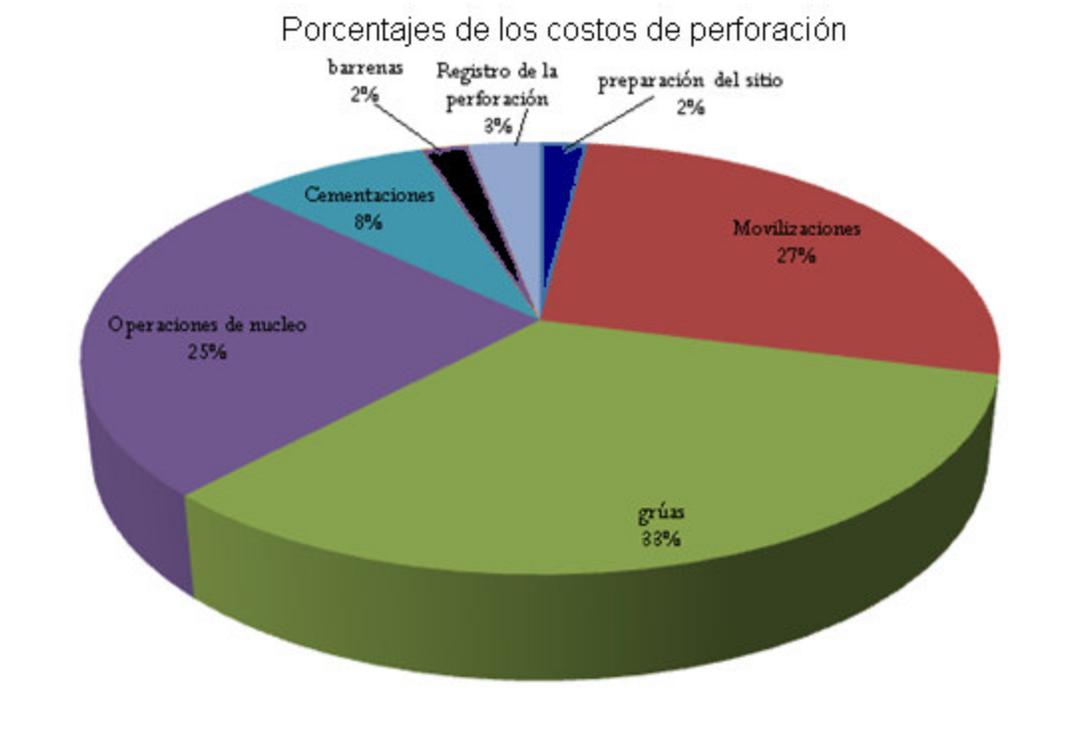


Fig.3.14 Distribución en porcentajes de los costos en las operaciones del pozo Yaxcopoil-1

#### Porcentajes de los costos de perforación

Las medidas continuas de la barrena con el cable metálico; tales como calibración, azimut, desviación, y profundidad vertical verdadera del pozo perforado y las medidas científicas de las características petrofísicas de la pared de la perforación fueron obtenidas de manera muy útil con el empleo de este dispositivo, complementando las investigaciones de la base y el tener en cuenta la calibración de datos superficiales geofísicos.

Se realizaron medidas geofísicas del martillo con un sistema de slimhole ICDP-poseído en dos campañas en una profundidad de la perforación de 400 m antes del ajuste de la cubierta, y en una profundidad total de 1510 m después de la terminación de la perforación (Tabla 3. 2 y 3.3).

Tabla 3.2 Primera sección de registro en agujero descubierto,16 de Diciembre 200 8-400m

Sonda	Parámetros	Rango del registro
DIP,TS	agujero desviado, campo magnético ,GR	0-85
SGR,MSDH,TS	K,U,Th,susceptibilidad magnética ,GR	0-85
DLL,TS	Resistividad eléctrica profunda y poco profunda GR	0-85
BCS	Velocidad acústica	0-85
Agujero obstruido por operaciones de cableado de la sonda en 85 m funcionando un registro profundo en una primera sección empezada en 4.5 pulgadas y terminada en 89 m		
DIP,TS	agujero desviado, campo magnético ,GR	58-401
SGR,DLL,TS	K,U,Th,Resistividad eléctrica profunda y poco profunda GR	89-399
MSdh,TS	Susceptibilidad magnética,GR	87-398

Tabla 3.3 Segunda sección de registro en agujero descubierto ,24 y 25 de febrero de 2002 (981-1511m)

Sonda	Parámetros	rango del registro
DIP,TS	Agujero desviado+azimut,calibrador,campo magnético GR	960-1511
FAC40	imágenes de pared	960-1505
DLL,SGR,TS	Resistividad eléctrica profunda y poco profunda GR	390-1505
MSDH,TS	Susceptibilidad magnética, GR	976-1507
BCS	Velocidad acústica	400-1505

La sonda de registración del slimhole de ICDP puede funcionar en condiciones de hasta 150 °C y una presión de 80 MPa y en agujeros de diámetro bajo (75 - 120 milímetros). Por lo tanto, son ideales en los agujeros del tamaño del HQ y del NQ

La aplicación de la sonda registra 15 parámetros: la actividad natural total del rayo gama, el contenido del potasio, el uranio y el torio, los tres componentes del campo magnético, la susceptibilidad magnética, la resistencia eléctrica para la penetración profunda y baja, la velocidad de compresión acústica y las formas de onda acústica completas, los calibradores

de la perforación, la desviación y el azimut, los datos estratigráficos del dip meter y la perforación acústica (Fig. 3.15).

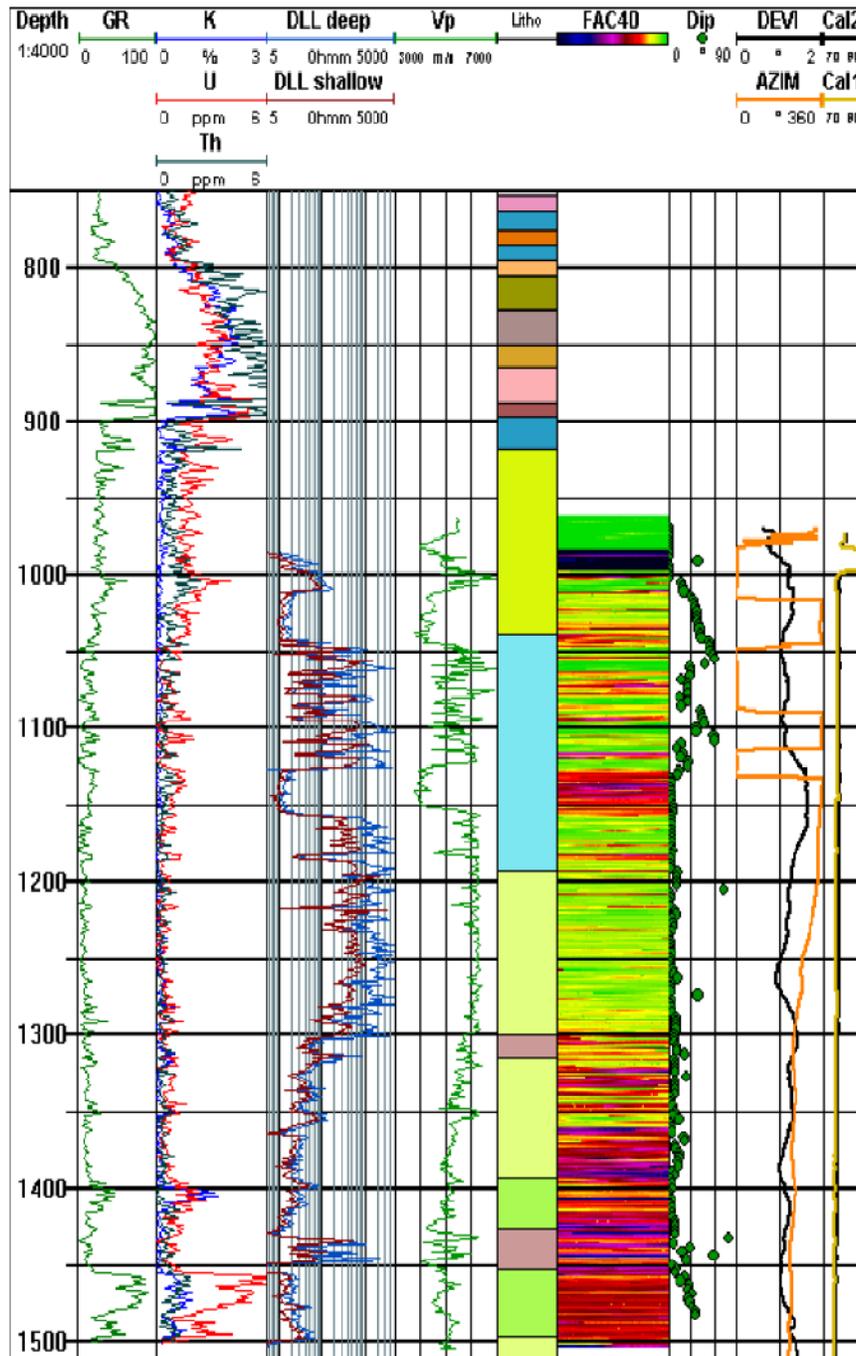


Fig. 3.15 Registro compuesto de la segunda sección del registro de la barrena del OSG en el Yacopoil-1 bien se utilizan rayos gama de la profundidad de M. 981 - 1511 de izquierda a derecha: GR = actividad en unidades del API, K, U, contenido del Th, DLL rayo gama total medidas eléctricas de la resistencia [Ohm], Vp = velocidad de onda sísmica acústica de compresión (registro acústico) [m/s], FAC40 = imagen acústica de la pared de la perforación [amplitud], INMERSIÓN = inmersión de estructuras en la pared de la

perforación del proceso del dipmeter DEVI = desviación de la perforación [°], AZI = acimut de la perforación [°], & Cal1; Cal2 = dos medidas ortogonales del diámetro de la perforación (calibrador) [milímetro], Litho = litología de la descripción inicial de la base

El desafío de una pared inestable en la perforación en 85 m podía hacerse accesible funcionando las sondas del slimhole a través del paso de la columna de sondeo la zona de bloqueo.

En el pozo la sección entre rayo gama espectral de 400 y 993 m y los registros acústicos fue realizada porque fue encajonada con la columna de sondeo que prohibía otras medidas que no pueden ser hechas a través de los tubos de acero.

El sistema de registración de parámetros revela la información “in-situ” detallada sobre las variaciones en la comprobación de las características

Se relacionaron las diferentes litologías, la orientación de estructuras geológicas, las características elásticas, y la geometría de la perforación. La Fig. 3.15 demuestra los datos de registración sobre estratos cretáceos de la roca en la sección abierta del agujero; observe la alta actividad total del rayo gama en la secuencia del impacto entre 800 y 900 m mientras que el uranio es la fuente principal de actividad gamma natural en rocas carbonatadas

Las resistencias eléctricas y la velocidad de onda acústica muestran sobre todo perfiles concordantes con una alta variabilidad. Y junto con datos de GR y del Sumergir-Registro esto permite una diferenciación mucho más fina del perfil litológico con respecto a la descripción inicial de la base.

Los datos de registración corregidos profundidad se integran adentro y disponible en “el sistema de los datos y de información de ICDP

El YAX-1 fue documentado en forma digital y distribuido con el “Sistema de información y datos del Chicxulub (Conze y otros, 2001) abarcando tres componentes principales:

- (1) Un sistema de información específicamente creado de la perforación de Chicxulub (Chicxulub-SID) usado para el de adquisición de datos en sitio.
- (2) el almacén de datos una base de datos y un archivo que proporcionan el acceso a todos los conjuntos de datos del proyecto a todos los miembros de los equipos de la ciencia en el mundo vía Internet.
- (3) el portal web de la red de información de ICDP teniendo en cuenta la recuperación integrante, el surtido, la visualización y procesamiento

El sistema de los datos y de información de Chicxulub permite la adquisición, la integración y la difusión de todos los datos y asegura una alta continuidad y un control de calidad de los resultados científicos a través de las diversas etapas del proyecto.

Mientras que la perforación y la operación de base “el sistema de los datos y de información de Chicxulub” fueron alimentadas a partir de dos diversos lugares en Mérida:

- (1) la oficina de la supervisión de proporcionó los informes diarios de la perforación,
- (2) el laboratorio de la exploración de la base fue utilizado para el inventario de los núcleos recuperados y de la descripción litológica inicial.

Este laboratorio fue equipado de una pequeña red de área local y de una conexión a internet vía la red del campo. Un servidor Chicxulub-SID, el sistema del color de CoreScan, y un otro cliente fueron instalados para mantener la adquisición de datos.

Las funciones fundamentales eran; el archivar y la documentación de la base así como la descripción litológica inicial. El modelo de datos subyacente había sido desarrollado y probado varios meses antes en otros trabajos de la UNAM

El archivo de la base fue terminado por imágenes de alta resolución de las superficies externas de los núcleos completos de cada uno de los 372 que se recuperaron de la base o de los núcleos de 1103 m producidos con ICDP' El archivo de la base y la descripción litológica inicial de los núcleos proporcionaron un funcionamiento estratigráfico de la columna como sistema de referencia para las 8 medidas subsecuentes tomadas de los núcleos.

De tal modo, permitió directamente la detección temprana por ejemplo de la determinación profundizada de ocurrencia de los errores.

Cada día, una actualización del Web de todos los datos, el informe de la perforación, y las imágenes generadas en el plazo de las 24 horas fueron producidos y enviados al Web site de Chicxulub de la información de ICDP Red vía Internet. Esto permitida para el acceso mundial para los científicos que participan en el proyecto (contraseña restringida) sobre toda la información del progreso de la perforación ya durante la fase activa de la perforación

Durante una semana fue realizado el muestreo en abril- mayo de 2002 en el instituto geofísica en la UNAM ubicado en la Ciudad de México. Los científicos utilizaron el SID para seleccionar muestras deseadas de antemano

Después de que se obtuvo la información de todas las muestras recogidas fue colocada en el Chicxulub-SID y diseminada con el Web site de Chicxulub por consiguiente.no se distribuyó ninguna muestra durante la fase activa de la perforación

A continuación se presenta una breve síntesis de las condiciones del pozo

### **3.15 Síntesis de la perforación del pozo Yaxcopoil-1**

#### *Ubicación del pozo*

El cráter donde se pretende hacer la perforación de pozo yax1 tiene las siguientes coordenadas(22° 30'N) y (90° 30'W) en el extremo límite de la península de Yucatán , aproximadamente a 75 Km. aproximadamente al suroeste del centro del cráter entre los pozos Yucatán -6,y el Ticul-1 los cuales fueron perforados por parte de PEMEX.

#### *Lodos de perforación empleados*

En base a que en el pozo Yucatán -6 se utilizo agua como fluido de perforación sin que este presentara problemas, se programo un lodo bentonitico base agua. La siguiente tabla muestra las diferentes etapas y las características del lodo.

Diámetro(pg)	Intervalo(m)	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	Filtrado(cm <sup>3</sup> )	Viscosidad(seg)
17 1/2"	0.00-10.0	1.02-1.04	5.0-7.0	55-60
12 1/4"	10-400	1.06-1.08	12.0-14.0	45-50
8 1/2"	400-800	1.08-1.10	10.0-12.0	45-50

### *Barrenas*

Para la perforación del pozo se usaron barrenas tricónicas con insertos de carburo de tungsteno para la perforación del agujero de 0 a 400m y agrandamiento del mismo de 400 a 800m la siguiente tabla muestra cada una de barrenas utilizadas

Diámetro ext.(m)	tipo	Tob(m)	Intervalo(m)	Rot(rpm)	Gasto(gpm)	Presión((Kg/cm <sup>2</sup> )
.0245-.4445	5,2,7	0.0158	0-10	50-60	400	10.545
.0508-.3111	3,1,1	0.0119	10-100	60-80	340	14.06
.0508-.3111	3,1,1	0.0119	100-250	60-80	340	24.605
.0508-.3111	3,1,1	0.0119	250-400	60-80	340	28.12
.0762-.2159	5,1,7	0.01111	400-470	70-90	360	45.695
.0762-.2159	5,1,7	0.01111	470-540	70-90	360	56.24
.0762-.2159	5,1,7	0.01111	540-610	70-90	360	63.27
.0762-.2159	5,1,7	0.01111	610-680	70-90	360	63.27
.0762-.2159	5,1,7	0.01111	680-800	70-90	360	63.27

### *Tubería de revestimiento*

Se utilizaron 3 tuberías con las siguientes características.

Conductora: de .33972 m de diámetro, grado k-55 de 81.31 kg/m instalada de 0 a 10 m con el objetivo de aislar los acuíferos de la zona y proporcionar un conducto para la circulación del lodo de perforación desde la superficie hasta la barrena

Superficial.2381 m de diámetro de grado J-55 de 48.04 Kg/m instalada de 0 a 400 m

Intermedia: de 7" de diámetro grado J-55 de 25.365 Kg/m instalad de 0 a 800 m de profundidad con el objetivo de aislar las zonas de alta presión, así como para aislar formaciones salinas, lutitas, cubrir zonas cavernosas y mantener la estabilidad del pozo

*Sartas y programa hidráulico*

Tercera etapa .2159 diámetro

Intervalo de 400- 800 m

sección	Diámetro(m)	Long(m)	clasificación	Peso(kg)	Aire(kg)	flot	acumulada
1	.2159	.35	barrena	38	38.0	30.45	30.45
2	.2159 X .1651	1.10	p/bna.est	155	170	148.34	178.99
3	.1651	9.50	dc	124	234	377.58	556.37
4	.2159 X .1651	1.10	est	155	170.50	148.34	178.79
5	.1651 X .1143	74.40	dc	124	9,225.56	7,924.79	8,103.58
6	.1651 X .1143	.93	comb	60	58.80	51.16	8,174.54
7	.1143	712.52	TP	24.7	21,304.24	18,300.0	26,528.34

Programa hidráulica del pozo por etapa

Equipo/sarta: bombas: tipo duplex

Modelo:MM-300

Marca: IDECO

Espesor: 7 ¼" X 12" X 12"

Potencia: 250 hp c/u

Gasto: camisas 6 ½" máx.248 gpm(65rpm)

camisas 6 ½" min.362 gpm(55rpm)

camisas 7 ¼" máx.536 gpm(65rpm)

camisas 7 ¼" min.454 gpm(55rpm)

Sarta	
Etapa	AG.17 ½" DIAM.(BARRENA 17 ½" IADC 5-2-7) DC.8" DIAM.224 Kg/m,6 5/8" REG.LI
1	TP 4 ½" 24.7 kg/m 4 IF 3.816" ID

2	AG 12 ¼" DIAM.(BARRENA 12 ¼ IADC 3-1-1) DC 8" DIAM 224 kg/m, 6 5/8" REG 2.812" I.D DC 6 ½" DIAM 124 kg/m, 4IF, 2.812" ID TP 4 ½",24.7 kg/m,4 IF 3.816 ID
3	AG 8 ½" DIAM (BARRENA 8 ½" DIAM. IADC 5-2-7 DC. 6 ½" DIAM 124 kg/m,4IF,2.812" ID TP 4 ½" 24.7 kg/m, 4 IF, 3.816ID

Datos del Pozo	Hidráulica recomendada
Profundidad programada	Diámetro de toberas 20-20-20
Diámetro del agujero	T.F.A 0.9204 g <sup>2</sup>
Peso del lodo	Presión de bomba 10.545 Kg/cm <sup>2</sup>
Viscosidad plástica	Gasto máximo 400 gpm
Punto de cedencia	Hp/pg <sup>2</sup> en barrena 0.4984

Como sabemos durante el proceso de la perforación se utilizan TRS en la siguiente figura se observara el asentamiento de cada una de estas

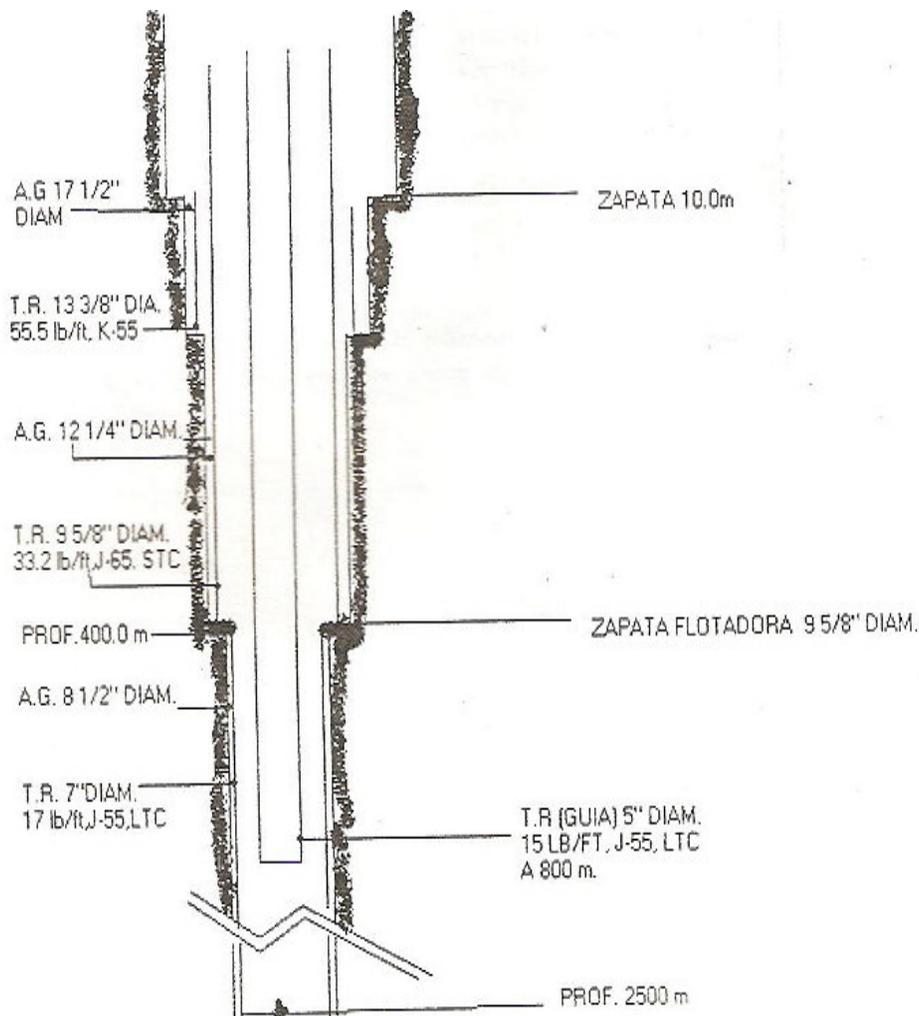


Fig.3.17 Se muestra el diagrama mecánico de pozo Yaxcopoil-1 así como el asentamiento de las diferentes tuberías de revestimiento con su respectiva profundidad y las zapatas que se utilizaron durante todo el proceso de la perforación.

Como se menciona en las páginas anteriores existe un método llamado la recuperación de núcleos para diferentes estudios y análisis en el caso del pozo Yaxcopoil-1 se realizó un proceso de nucleado y el cual se hará referencia a continuación

### *Proceso de recuperación de núcleos*

#### *1-Corte de núcleos*

Como sabemos la barrena ejerce un efecto de corte sobre la roca a medida que esta va avanzando, una vez cortado el núcleo se va introduciendo al barril nucleador cuando el tramo de tubería conectado ha penetrado la profundidad correspondiente, la cual es equivalente a la longitud del barril nucleador se procede a recuperarlo mediante un cable

(con ayuda del malacate DOSECC) y un dispositivo de conexión mecánica que opera por gravedad, conectando al barril por la parte superior

Una vez en la superficie es desconectado y se procede a lanzar un nuevo barril, el cual se deja caer por efecto de gravedad, el peso del barril y el efecto de flotación funcionan como un sistema de amortiguamiento y frenada a medida que va cayendo.

A medida que cae el nuevo barril se procede a conectar un nuevo tramo de tubería de perforación, terminando así un ciclo completo en la recuperación del núcleo

#### *Características de los núcleos*

El diámetro de los núcleos recuperados es de 63mm, para lo cual se utilizó un barril de diámetro exterior de 76mm y una longitud de 3.05 m o 10 ft.

Este diámetro se conservo de los 400 a los 1510.97m, donde se cambio a un diámetro de núcleo de 35mm debido a un atrapamiento de tubería

#### *Manejo de núcleos*

Al recuperar al barril nucleador en la superficie se procede a extraer el núcleo, siguiendo las indicaciones recomendadas para que no se pierda la secuencia de perforación,

Es decir saber dónde está la cima y la base de de cada núcleo

Posteriormente se coloca en la base metálica o cama del núcleo y es marcado con dos líneas de diferente color, diametralmente opuestas para que no se pierda la cima y la base del núcleo, posteriormente se mide su longitud se lava con agua y se seca enseguida se procede a cortar en fragmentos de 60 cm. de largo y se guarda en cajas, en estas se observa la profundidad inicial a la que fue tomada y la profundidad final con la que se termino, y finalmente para distinguir donde empezó y donde se termina una corrida, se separo por medio de un pedazo de madera el cual tiene impreso el numero de corrida de inicio y la profundidad de la misma por un lado y por el otro el numero de la corrida anterior a la profundidad final de la misma

Finalmente estos núcleos fueron depositados en cajas mismas que se observan en la nucleoteca del Programa Universitario de Perforaciones en Océanos y Continentes (Fig.3.18) y donde se hicieron los estudios correspondientes estas cajas presentan las características siguientes:

- nombre del pozo
- numero de caja

- profundidad de inicio del núcleo tanto en la parte superior como en la parte lateral
- numero de caja



Fig. 3.18 La imagen nos muestra el interior de la nucleoteca del Instituto de Geofísica, se observan las cajas donde están contenidos cada uno de los núcleos obtenidos del pozo Yaxcopoil-1

#### *Instalación de preventores*

Para llevar a cabo un cierre del pozo para que se eviten fugas en la superficie se llevo a cabo el empleo de dos preventores uno de tipo esférico y el otro doble, este último es un QRC2002, se utiliza un cabezal de 9 5/8”

#### *Terminación del pozo*

La terminación de este pozo se llevo cabo de acuerdo al programa establecido, sin ninguna terminación especial, quedando de los 400 a los 1500 descubierto, pero en la cabeza del pozo se instalaron las herramientas para que en su caso se lleven a cabo las operaciones de toma de registros geofísicos.

### **3.16 Relaciones con el yacimiento Cantarell**

En la actualidad el principal yacimiento que sostiene la producción de México es el campo Cantarell por lo cual se relacionara este trabajo con dicho yacimiento a través de las variaciones fractales y de lagunaridad de los registros geofísicos de pozo, con el fin de asociarlos con las propiedades estratigráficas y petrofísicas del yacimiento naturalmente fracturado de Cantarell, en el Golfo de México. Los registros considerados son: porosidad neutrón (NPHI), densidad (RHOB, DRHO, PEF), resistividad (LLD, LLS, MSFL), radiactividad natural (GR, CGR, URAN, POTA, THOR) y caliper (CALI).

Los registros de resistividad produjeron valores de lagunaridad notablemente altos, especialmente en las rocas generadoras y almacenadoras, a diferencia de los demás registros, cuya homogeneidad de traza implicó una baja lagunaridad. Los resultados indican que la lagunaridad observada depende de la resolución y profundidad radial de penetración del método geofísico estudiado y aumenta sistemáticamente en el siguiente orden:(RHOB) (CALI)(PEF) (URAN) (GR)(NPHI) (POTA) (CGR) (THOR) (MSFL) (DRHO) (LLS) (LLD)

Las características físicas de la formación, tales como porosidad, la densidad, resistencia, velocidad, y otras, se puede determinar por las herramientas geofísicas usando el registro neutrón, la gamma-gamma, acústico, inducción, resistencia u otras técnicas de registro (Hearst y otros, 2000). Dos mecanismos principales controlan la sedimentación: la subducción termal de la corteza y el nivel del mar que cambia en el tiempo geológico (Turcotte, 1997)

Los cambios del nivel del mar se presentan como suma de variables al azar, dando por resultado las variaciones de la porosidad (Korvin, 1992), según lo encontrado en los registros o bien se pueden considerar convenientemente como fractales estadísticos (Hewett, 1986). Hardy y Beier (1994) encontraron ese ruido gaussiano del fractal y el movimiento browniano del fractal.

El exponente H de Hurst se puede extraer de la variación secuencial de cada registro. Se utiliza para deducir si el proceso de la sedimentación ha sido persistente ( $1/2 < H < 1$ ) o antipersistente ( $0 < H < 1/2$ ). en un proceso persistente no hay cambios repentinos inesperados, mientras que antipersistente puede contener las variaciones imprevisibles rápidas (Feder, 1988).

El objetivo principal de este estudio es realizar la caracterización del fractal y modelado multiscalar de la variabilidad espacial de las características de un depósito fracturado (Cantarell), situadas en el golfo de México, usando datos de registro bien tomados (Fig.3.18).

Los criterios para decidir si las consideraciones del comportamiento, del escalamiento o de la invariación escalar del fractal, son modelos válidos para describir la distribución de las

características del depósito con respecto a profundidad y a tiempo geológico. Los datos usados son registros de un pozo perforado costa afuera por Petróleos Mexicanos (PEMEX), en el golfo de México Correlacionaremos las rugosidades calculadas (Hurst exponentes) y lacunaridad con la geología, para deducir el comportamiento multiscaling de las características petrofísicas de un depósito naturalmente fracturado en el suroeste del Golfo de México El análisis del fractal se realiza por medio de Software de “BENOIT”, que funciona bajo Windows y se ha recomendado como programa de la referencia para el análisis fractal

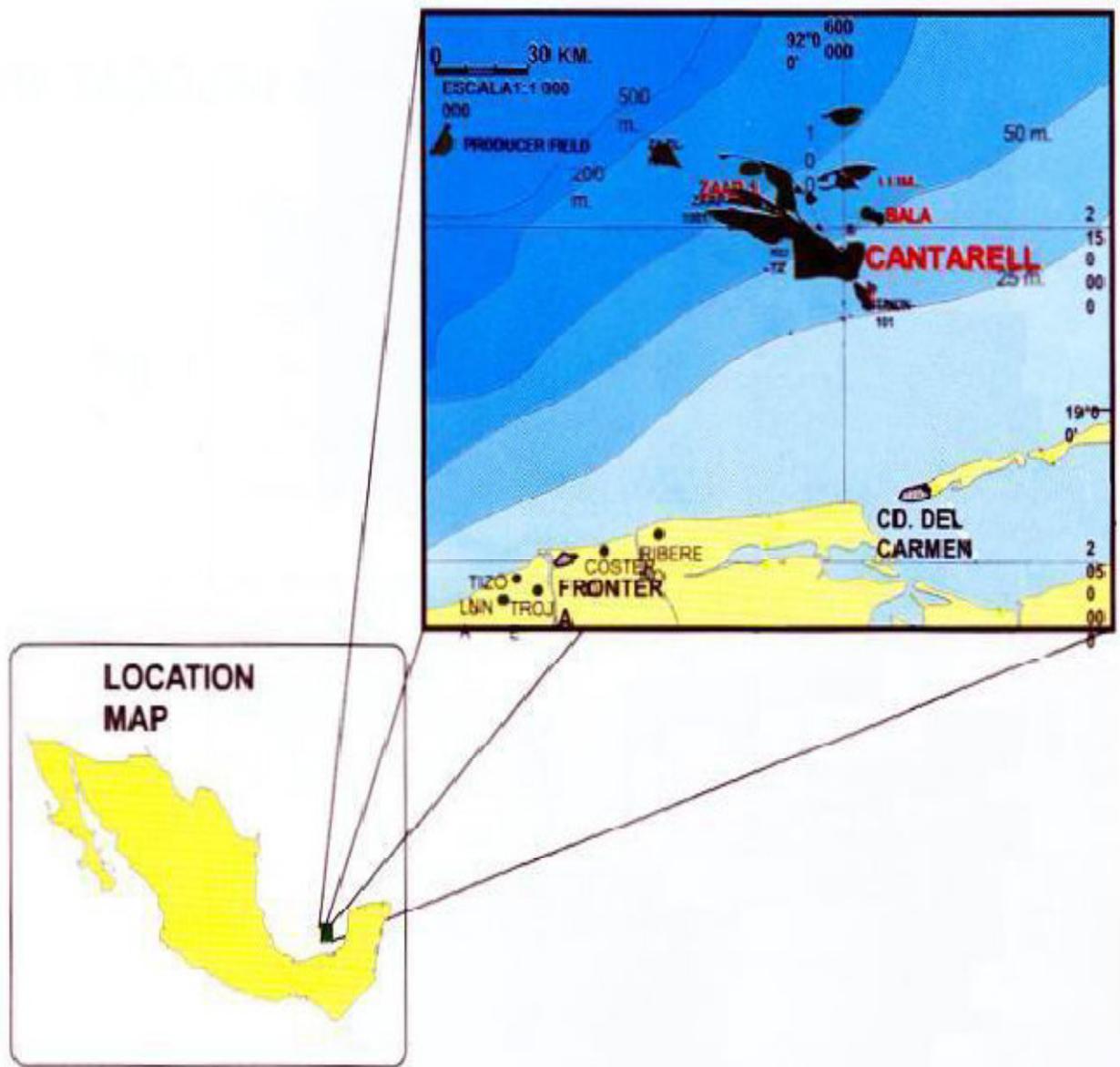


Fig.3.18 Ubicación del yacimiento Cantarell como se observa es bastante grande y se encuentra situado en el golfo de México.

Mandelbrot (1982) propuso el concepto de lacunaridad como medida cuantitativa de la distribución de agujeros o de boquetes en una textura. Describe la manera que los pedazos de un patrón completan el espacio y es un parámetro complementario a la dimensión del fractal, que especifica solamente la cantidad de espacio ocupado por un objeto (Tolle y otros, 2003). Con frecuencia, los patrones con la misma dimensión del fractal tienen texturas absolutamente diversas, y en tales casos sus medidas de lacunaridad pueden ser muy diferentes. Los altos valores de lacunaridad se asocian a la presencia de bloques grandes. El pequeño valor de lacunaridad implica una distribución uniforme de poros de tamaño similar.

Presentamos resultados del análisis de los registros del fractal y de lacunaridad. En un pozo que atravesaba un depósito del carbonatado del golfo de México, diversos registros fueron sometidos a los análisis del fractal y de lacunaridad (NPHI, RHOB, DRHO, PEF, LLD, LLS, MSFL, GR, CGR, URAN, POTA, THOR y CALI). Con la definición matemática de lacunaridad, se ha encontrado que los registros de la resistencia (LLD, LLS, y MSFL) tienen lacunaridad más grande que otros registros. La lacunaridad y la dimensión del fractal extraída de los registros de la resistencia se observan claramente.

Los datos cretáceos (KS, kilómetro, y KI) corresponden a la alta resistencia de lacunaridad y del medio. En cambio, los datos jurásicos (JST, JSK) se asocian a lacunaridad baja y a alta resistencia. Los datos cretáceos corresponden a las rocas del depósito, el jurásico a las rocas de la fuente. Para todos los registros analizados, se ha demostrado que la geología (BTPKS, kilómetro, KI, JST, JSK) decisivo afecta a la dimensión del fractal y lacunaridad de las características estratigráficas de las formaciones.

## Capítulo IV

### Análisis de Núcleos

En el presente capítulo se realizó el análisis de un intervalo que se seleccionó debido a las características que presentaba tales como fracturas y diversas litologías. Este estudio se decidió hacer debido a que como se menciona en los capítulos anteriores el pozo Yaxcopoil-1 es de gran importancia debido a que es el primer pozo de investigación profunda que se ha nucleado por completo en México, el procedimiento consistió en tomar una caja de núcleos que contenía aproximadamente 6 de estos, después se hizo una descripción característica de esta caja y posteriormente se tomó un núcleo y se analizó detalladamente, con la ayuda del ácido clorhídrico el cual facilitó la identificación de cada una de las diferentes litologías.

#### 4.1 Secuencia Cretácica en el Pozo Yaxcopoil-1

##### *Descripción de Intervalos*

En esta sección se comentan las observaciones en los núcleos y se presentan las descripciones correspondientes de los intervalos estudiados.

##### *Intervalo 1466.71-1468.91*

Este intervalo comprende la Caja 442 con los núcleos entre las profundidades 1466.71-1468.91



Fig. 4.1 Muestra representativa del intervalo 1466.17-1468.9<sup>a</sup> los 1466.71 m se encuentra una caliza de color gris claro ya que al verla se aprecian aloquímicos de aproximadamente 1.2 cm de longitud, posteriormente ocurre una caliza mudstone de color gris claro de aproximadamente 12 cm de longitud y al igual que la caliza anterior al agregarle HCL efervescerá rápidamente debido a que son rocas carbonatadas y tienen esa particularidad a continuación se ve un mudstone de color gris oscuro teniendo una longitud de 8 cm en la parte final del núcleo se tienen unos nódulos de calcita de color blanco los cuales al agregarle HCL efervescen demasiado rápido inclusive se observa una pequeña cantidad de fósiles, el cambio de coloración nos indica que hubo una mayor cantidad de deposición.

de materia orgánica ya que en la zona más oscuras podríamos decir que hubo mayor cantidad de materia orgánica con respecto a las de color claro.

#### *Descripción general del intervalo*

A los 14466.48 m se encuentran fallas, de 1466.33 a 1466.71 se observa un cambio de color gris claro, en seguida viene un tramo de 60 cm del mismo color gris en seguida a los 1467.63 se repite el tono negro y tiene una longitud de 10 cm con clastos de 1 cm de color gris y en seguida presentan clasto de tamaño de aproximadamente 1.2 cm se presenta un cambio de 22 cm y presenta hasta 1468.36 y contiene un estrato de 24 cm con coloración negro el cual casi no presenta clastos, en seguida se presenta un estrato de 37 cm que se observa un poco muy gris que los anteriores y en 1469.64 se presenta el color negro con contenido de sílice aunque presenta unas intercalaciones de color gris más largas y mide 8 cm.

#### *Intervalo 1468.91-1471.80*

El siguiente intervalo 1468.91 presenta un estrato de color blanco a los 1469.01 m y presenta una longitud de 4 cm y a los 1469.34 se presenta un intervalo de color negro de aproximadamente 33 cm, posteriormente se observa que ya un cambio ya que se presentan intercalaciones de color un poco más claro y tiene un espesor de 4 cm. Las restantes 1469.91 se presenta este estrato negro, se presenta un estrato de 30 cm de color gris hasta los 1470.20 donde hay un pequeño estrato negro muy pequeño de 3 cm y en seguida la depositación es constante hasta 70 cm 1471.31 cm de donde hay un estrato de 13 cm y hay una pequeña falla a los 1471.41 cm, siguiendo un estrato de 10 cm del mismo segmento blanco los restantes 26 cm se presenta un intervalo de color negro aunque las últimas partes se observa un pequeño intercalamiento de color gris de 5 cm.

### **Intervalo 1471.80-1474.7**



Fig.4.2 Muestra representativa del intervalo 1471.80-1474.7. Este intervalo es constante que al ver su apariencia se ve un mudstone de color gris de aproximadamente 12 cm de longitud, con presencia de un clasto de un tamaño de 1 cm de longitud, se observan fracturas rellenas con calcita blanca esto nos indica que hubo una depositación constante a lo largo de este intervalo

#### *Descripción general del intervalo*

El intervalo es constante de color gris oscuro con unas pocas intercalaciones de color crema, es decir, un poco más claras en la profundidad de 1474.69 m se presenta un estrato de color negro más intenso y tiene una longitud de 10 cm, de los 1474.7 a los 1474.98 se observa un intervalo un poco más oscuro de unos 28 cm.

*Intervalo 1477.44-1480.19*



**Fig.4.3** *Muestra representativa del intervalo 1477.44-1480.19.* A esta profundidad se encuentra al igual que el intervalo anterior una caliza (mudstone) de color gris claro y que efervesce un poco más que el intervalo anterior en este caso no presentan fracturas considerables; solo que presenta una capa de algún material posiblemente polvo de la misma caliza que al enjuagarlo con agua se le quita y se pueden apreciar mas los litocalstos y aloquimicos

#### *Descripción general del intervalo*

A la profundidad de 1477.60 m se encuentra una intercalación que tiene una inclinación de  $45^{\circ}$  la misma se ve a 1477.84 m que presenta una fractura que está cementada y este segmento presenta inclinaciones de los estratos, se observa otras inclinaciones una mayor cantidad de cementante a los 1478.04 m posteriormente viene una depositación constante

de color gris de 54 cm presentando unos clastos en los primeros 14 cm hasta que se acaba hasta los 1478.71 m donde se presentan estratificaciones continuas e inclinadas que van intercaladas y con espesores variables desde muy gruesas a muy delgadas y dura 15 cm se presenta una fractura cementada, posteriormente se repite esa roca de color gris con espesor de 37 cm para continuar con un intervalo estratificado aunque se ven espesores más delgados y se presenta una cementación bastante gruesa a los 1479.42 m de casi 4 mm a los 1479.76 m dando de la 1479.42 a 1479.76 se observa una depositación constante y gris y una fractura cementada a los 1479.80 m, a continuación se encuentran un intervalo estratificado predominando los colores negros y hay 2 estratos blancos de espesor de 8 mm y la estratificación es cruzada hasta los 1480.12 m.

Podemos ver que es un intervalo donde predominan las fracturas y las cuales están rellenas con calcita ya que al agregarle HCL efervece rápidamente

#### *Intervalo 1480.19-1482.47*



Fig.4.4 Muestra representativa del intervalo 1480.19-1482. Este intervalo corresponde con una depositación constante al parecer se trata de un mudstone gris claro como el anterior solo que a los 1481.5 se presenta un cambio de litología en cuanto al color ya que se trata de un mudstone de color gris oscuro y se presenta un estratificación que presenta una inclinación de  $45^{\circ}$  con respecto a la horizontal la cual nos indica que hubo un cambio en la forma de depositación y la cantidad de materia orgánica que se depositó en este intervalo.

#### *Descripción general del intervalo*

De 1480.19 a 1480.39 se presenta un estrato continuo de color gris, hay 60 cm huecos posiblemente se perdieron cuando se corto el núcleo y se tienen 2 intervalos que son de color oscuro y presenta incrustaciones de color gris más oscuro uno a los 1482.16 m y tiene un tamaño de 2 cm y el otro a una profundidad de 1482.23 m y tiene un espesor de 4 cm; se continua con rocas de color gris claro y a los 1482.29 donde se presentan un intervalo de color gris más oscuro; en los últimos 60 cm se presenta un intervalo de color gris con blanco con unos clastos que varían de tamaño estando uno de tamaño de 2cm a los 1482.93 m y también presentan fracturas cementadas de 4.5 cm de longitud.

Al agregarle HCL a estos intervalo se ve que efervescer rápidamente en las zonas de color gris debido a la presencia de carbonatos y como se ve predominan los colores gris en este intervalo

#### *Intervalo 1482.47-1485.23*

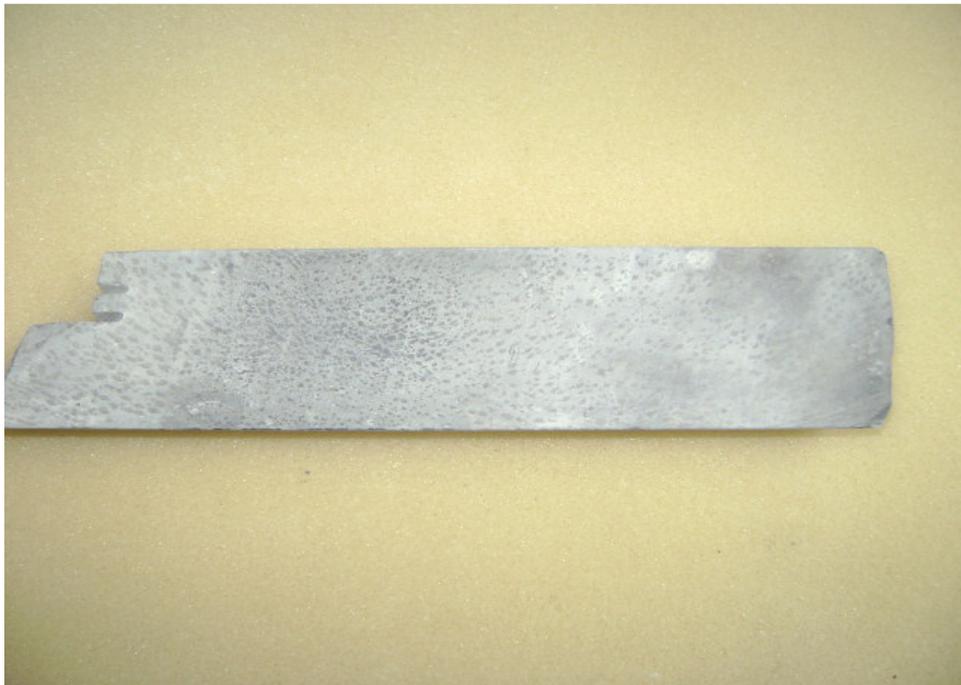


Fig.4.5 Muestra representativa del intervalo 1482.47-1485.23

En este intervalo se vuelve a presentar una deposición constante de los sedimentos presentando una caliza de color gris claro al parecer un mudstone y un cuantos fragmentos de calcita blanco de tamaño muy pequeño al agregarle HCL efervescer de manera muy rápida pero de la misma forma en todo el intervalo

#### *Descripción general del intervalo*

A los 1482.52 m se encuentra un estrato de 3.5 cm el cual presenta intercalaciones de color blanco con negro pasara continuar con una depositación constante hasta los 1482.99 donde cambia al color gris blanquecino y el cual presenta fractura cementadas y se termina hasta los 1483.52 m donde se describe o presenta un estrato de color gris oscuro y tiene un tamaño de 7 cm y la inclinación es más prolongada; posteriormente se presenta un estrato de color gris claro o crema de 33 cm y se presenta un estrato de color gris más oscuro sin presentar imperfecciones un poco más claro hasta los 1484.57 donde se presentan el estrato gris de color negro de 5 cm con fracturas sin cementar después vienen 22 cm del mismo estrato gris y a la profundidad de 1484.31 m donde se presenta el estrato de color gris oscuro con fracturas sin cementar y teniendo un espesor de 15 cm.

Se ve en este intervalo varias coloraciones que van desde el blanco, gris blanquecino, y gris al agregarle HCL a estas tres coloraciones se observa que en las zonas de color blanco efervecen más intensamente a comparación de las otras dos coloraciones debido a que presenta mayor cantidad de carbonatos

#### ***Intervalo 1485.23 a 1488.04***



Fig. 4.6 Muestra representativa del intervalo 1485.23-1488.04. En este intervalo se presenta una caliza de color gris claro o mudstone gris claro por la cantidad de aloquimicos que se presentan que son muy pocos y además se presentan unas fracturas rellenas de calcita y al agregarle HCl efervece un poquito más con respecto a los intervalos anteriores.

#### *Descripción general del intervalo*

Este intervalo presenta fracturas que no estaban cementadas, siendo las causantes de que se rompan los núcleos, formaciones deleznable, siendo la primera a los 1485.38 cm y siendo de un tamaño de 5 cm. Se presentan los estratos intercalados que van desde los oscuros hasta los claros y variando también su tamaño, esta falla provoca un desplazamiento de capas, los siguientes 75 cm son de color gris oscuro y es más deleznable y se ve esta en pedazos, a los 1486.13 se observa una disminución de los estratos siendo muy pequeños a los 1486.36m se observa una textura donde se presentan incrustaciones de diferentes colores, a la profundidad de 1487.03 se presenta unos clastos, todo el intervalo presenta fracturas, se presenta una falla bastante grande de 7.5 cm y los estratos se ves desplazados.

Se puede observar que en este intervalo lo característico es la zona muy fracturada y una falla bastante considerable que ocasiona que las capas se desplacen hay que tomar en consideración esto ya que al estar perforando se pueden presentar capas repetida, también hay que tomar en cuenta a las formaciones que son deleznable ya que esto provocara que la formación sea muy frágil y se rompa con facilidad y esto tiene repercusiones en la recuperación de núcleos ya que se pueden perder con facilidad y durante la perforación esta se va a volver demasiado rápido y se debe tener cuidado con el tipo de barrena que se meta en esta zona ya que es muy delicada cabe mencionar que al agregarle HCL efervece lentamente lo que nos indica que es una zona con poca presencia de carbonatos.

*Intervalo 1488.04-1490.81*



Fig.4.7 Muestra representativa del intervalo 1488.04-1490.81 En la fotografía se ve una caliza ( mudstone)de color gris claro sin fracturas y con un poco de caliza en polvo que al mojarla con agua esta desaparece presenta un fósil oolita de 1481.05

### *Descripción general del intervalo*

A los 1488.15 m se presentan los estratos un poco inclinados y tiene una distancia de 15 cm abundando los colores grises, a los 1489.08 cambia la coloración a blanca clara y presentan clastos que parecen cuarzos y tiene una longitud de 13 cm a los 1481.36 se presenta la intervención del estrato de color gris oscuro y a la profundidad de 1489.84 m se repite el color blanco claro, faltan pocos núcleos, la inclinación disminuye.

A la profundidad de 1489.87 se presentan los estratos oscuros de menor tamaño, viene en seguida un estrato de color gris claro de 16 cm de longitud para continuar con la coloración gris clara y teniendo una longitud de 55 cm presentando fracturas cementadas y una incrustación de clastos a la profundidad de 1491.4 m y otros a 1491.74 m, termina este intervalo con un estrato de color gris claro presentando intercalaciones un poco más oscuras a la profundidad de 1500.77 y 1500.80 y a 1500.94 con un tamaño de 1 cm característico de este intervalo

### *Intervalo 1490.81-1493.43*

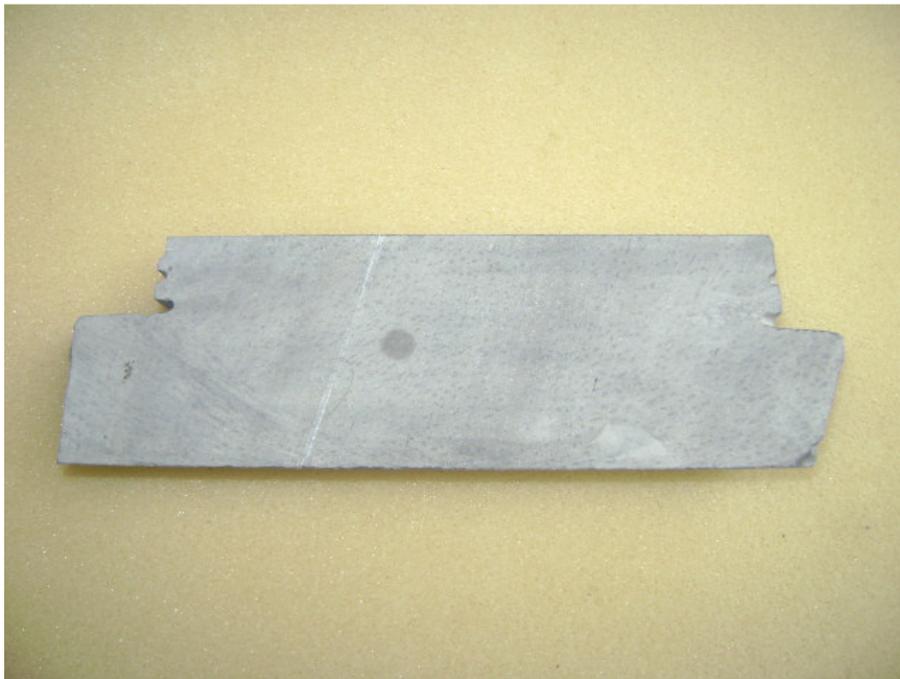


Fig.4.8 Muestra representativa de este intervalo 1490.81-1493.43 Se observa una caliza de color gris claro aparentemente se trata de un mudstone gris claro, al agregarle HCL

efervece demasiado rápido, la depositación en este intervalo se ve que fue constante y presenta una fractura la cual fue rellenada con calcita

#### *Descripción general del Intervalo*

Se presentan las capas de todos los colores mencionados anteriormente, se presentan fallas una 1490.85 m que cambia la posición de los estratos y tiene una longitud de 3 cm y se repite a los 1490.90 m y hay otro 1490.95 m y es más prolongada de aproximadamente 4 cm, lo que se observa 1491.46 es u estrato de color gris que parece un cementante se repiten los estratos de diferentes colores dos de blanco a gris y se presenta otra falla a los 1491.81 m aunque es muy pequeña y presenta un intervalo de color gris claro y tiene una longitud de 13 cm y a la profundidad de 1491.87 m se repite la cementación gris y los siguientes 54 cm se presentan coloración blanquecina hasta los 1493.43

Fotografías del intervalo siguiente a los intervalos analizados.

Profundidad de 1493.43 – 1520m

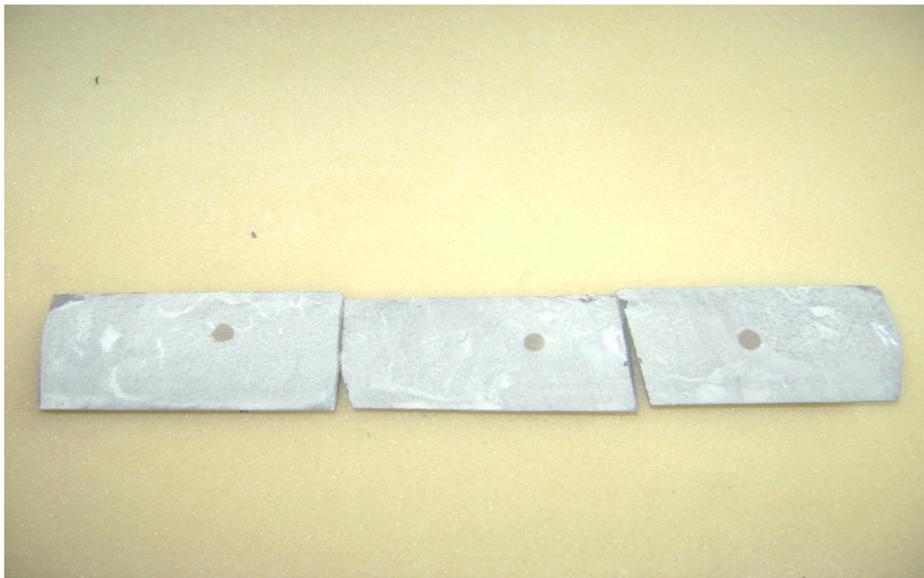


Fig.-4.9 Se presenta una caliza de color gris claro, con algunos clastos de tamaño poco considerable, así como algunas fracturas las cuales están selladas por calcita de color blanco, la formación es muy compacta ,efervece rápidamente al agregarle HCL.



Fig.-4.10 En la fotografía se ve dos calizas una de color gris claro y otra de color gris oscuro, la primera presenta una fractura demasiado grande de 5cm aproximadamente la segunda caliza presenta un mayor contenido de sílice lo cual da la coloración oscura esta presenta una fractura rellena de calcita de aproximadamente 3cm de largo.



Fig.-4.11. Caliza de color gris oscuro, en ella se observa estratificación cruzada con varios estratos alternados de diferentes espesores

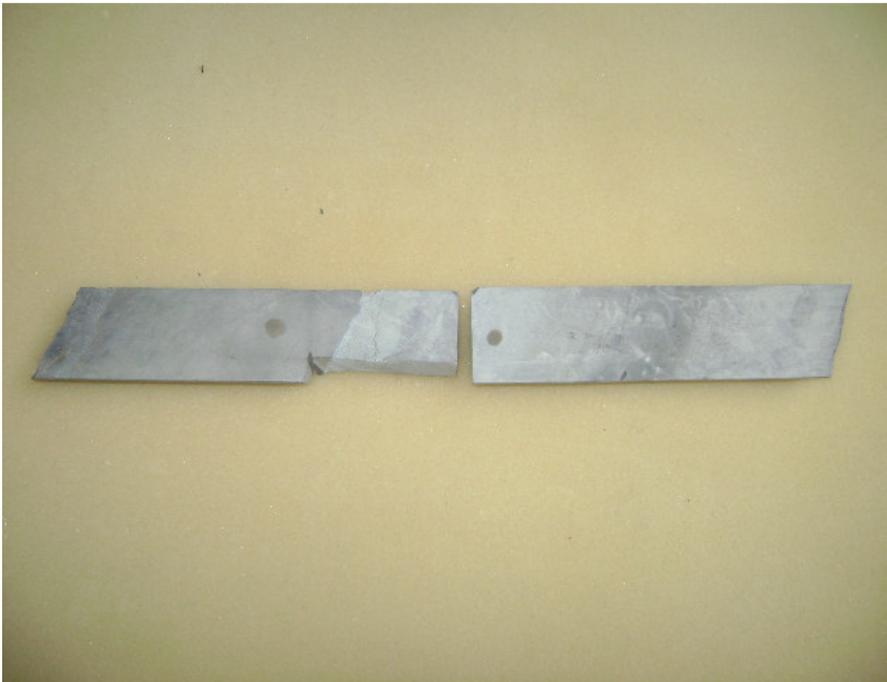


Fig.-4.12. Núcleo que presenta varias calizas, unas de color gris claro, calizas de color gris oscuro, y gris, también se ven claramente los cambios de formación



Fig.-4.13. Caliza de color gris oscuro presenta un estrato muy pequeño de una lutita , así como también unos clastos de un tamaño de 2cm de diámetro, en la parte final del núcleo se ve un cambio litológico ya que se presenta una caliza de color gris oscuro la cual es demasiado dura y fue de esta donde se tomaron unas muestras para analizar



Fig.-4.14. Núcleo que presenta calizas de color gris claro con algunas pequeñas fracturas rellenas por calcita



Fig.-4.15 .Caliza de color gris claro, la cual al agregarle HCL reacciona de manera rápida



Fig.-4.16. En el núcleo se presentan dos calizas una de color gris y gris claro ,con algunos clastos de 2cm de diámetro, los cuales se ven de manera más clara al mojar al núcleo con agua al agregarle HCL efervece rápidamente, no presenta fracturas y está consolidado



Fig.-4.17. Caliza de color gris oscuro, con estratificación cruzada, los estratos tienen tamaños que van desde los 2 hasta 4 cm de ancho, presenta un clasto en la parte final del núcleo

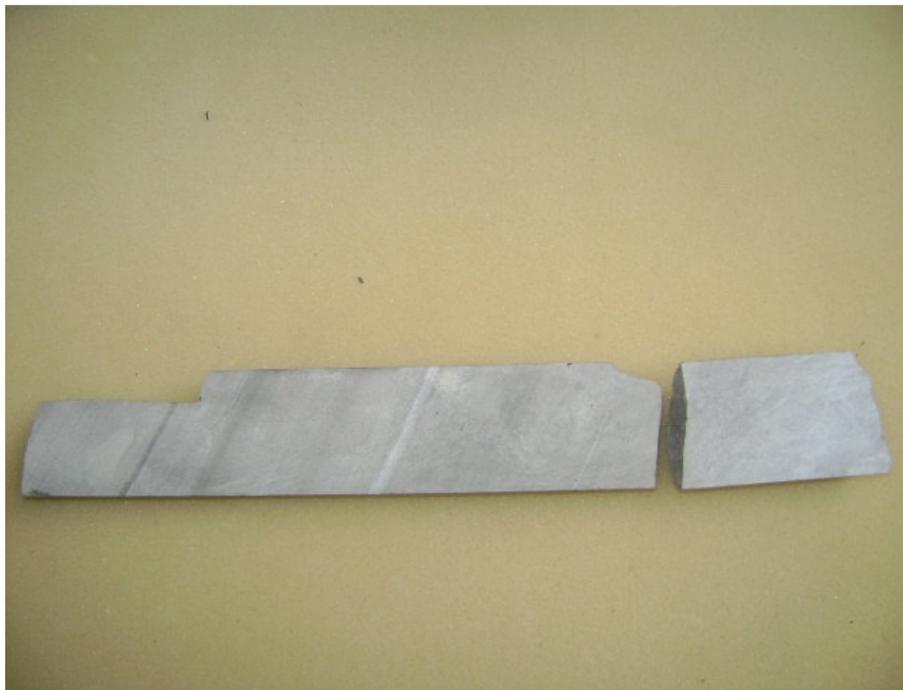


Fig.-4.18. Calizas de color gris claro, presenta intercalaciones con tullitas y calcita así como también calizas de color gris oscuro



Fig.-4.19. Núcleo que presenta calizas de color gris, gris claro y gris oscuro, presenta algunos clastos en la parte final del núcleo, presenta una lutita de color gris oscuro en la parte inicial



Fig.-4.20. Núcleo que presenta en la parte inicial calizas de color gris oscuro y gris, una estratificación cruzada, y en la parte final presenta una caliza de color gris claro, y varios clastos



Fig.-4.21. Núcleo que tiene calizas de color gris claro, la cual al agregarle HCL efervece de manera rápida, y en la parte final del núcleo presenta una lutita de color gris oscuro

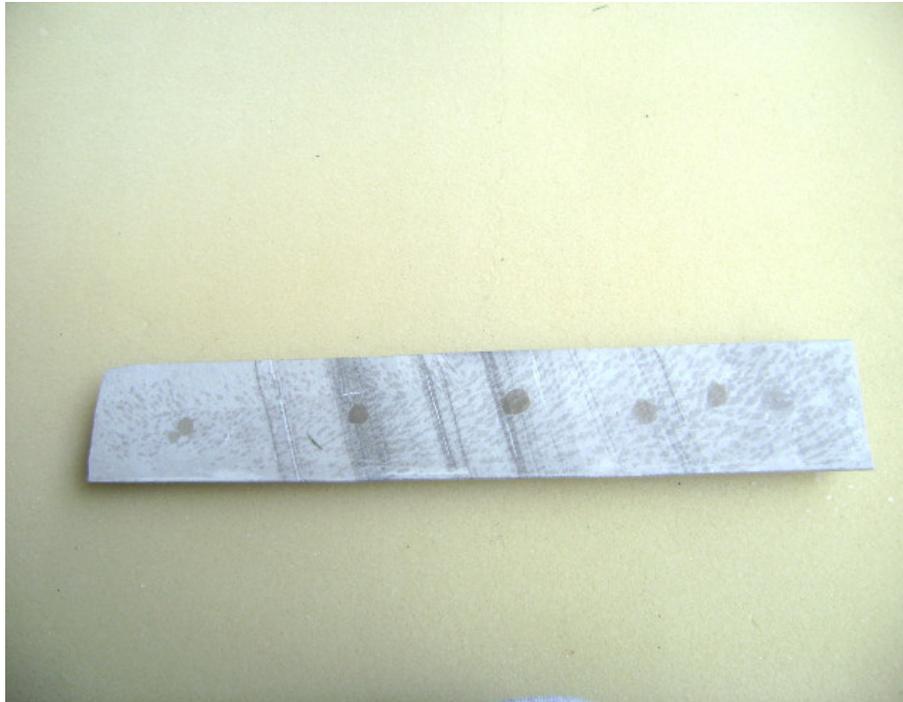


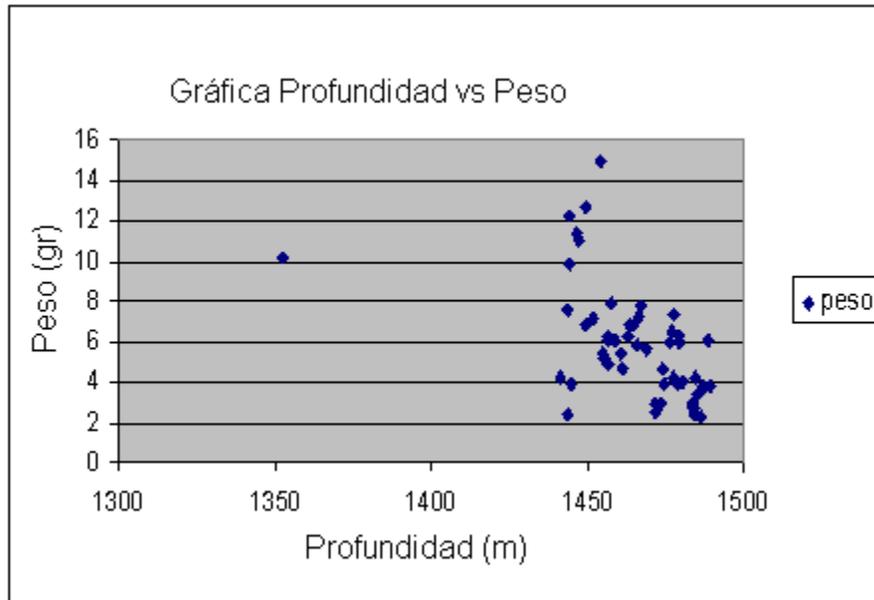
Fig.-4.22. Núcleo que presenta calizas de color gris y gris oscuro, también se ve una estratificación cruzada en la parte media del núcleo.

En las figuras anteriores(4.9-4.22) se observa que al hacer un análisis litológico se encuentran las mismas litologías que en nuestro intervalo de análisis es decir se trata de calizas que van de un color gris claro a gris oscuro así como de lutitas, y así como fracturas selladas por calcita y otras que no lo están

#### 4.2 Estimación de densidades de muestras y ensayos de laboratorio

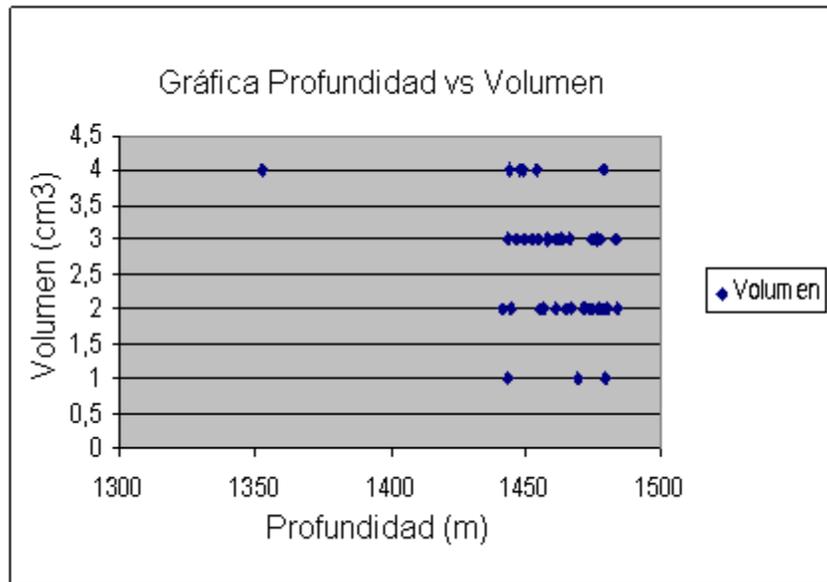
Para ese estudio, se tomaron 60 muestras seleccionadas de los intervalos representativos de acuerdo a las observaciones microscópicas con ayuda de los equipos que existen en el laboratorio como son las cortadoras y con ayuda de la probeta se obtuvieron los volúmenes por el principio de Arquímedes así como también se obtuvo la densidad de cada una de las mismas.

Utilizando una balanza se determinaron los pesos de cada una de muestras y se relacionaron con la profundidad mediante la siguiente grafica



Grafica 4.1 La mayoría de las muestras encuentran en el lado derecho entre pesos de 2 y 8 gramos y se encuentran entre las profundidades de 1455 y 1459 metros. Lo que nos indica que hubo una homogeneidad en los pesos de cada una de nuestras muestras ya que fueron cortadas procurando que tuvieran el mismo tamaño aunque claro que van a variar es su peso porque tienen características diferentes.

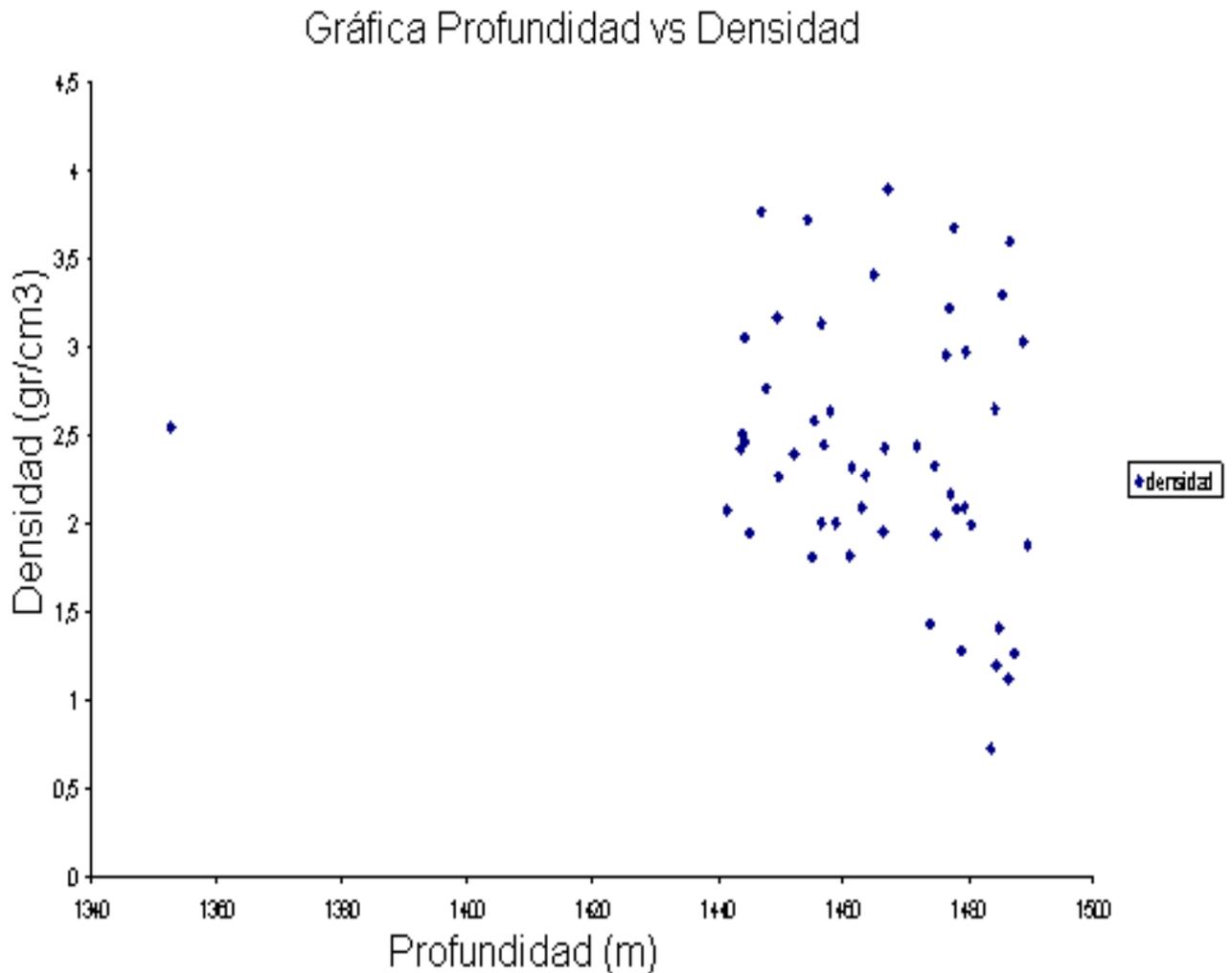
Una vez obtenido el peso se encontró el volumen de cada muestra con el principio de Arquímedes. Y se relaciono con la profundidad en la siguiente grafica:



Grafica 4.2 Indica que a una cierta profundidad podemos encontrar varias muestras con el mismo volumen o con variaciones muy pequeñas

Finalmente con ayuda del volumen y el peso de cada una de las 60 muestras encontramos la densidad con ayuda de la relación

Densidad= masa/volumen y se grafico con respecto a la profundidad de la siguiente manera:



Grafica 4.3 Se observa que la densidad varía desde 0.5 hasta las 4.0, y que en la profundidad de 1440 a 1480 se encuentra un mayor número de muestras con densidad parecida que varía desde 1.5- 2.5 gr/cm<sup>3</sup>.

## Capítulo V

### Discusión

Se puede observar a lo largo de este estudio la necesidad de hacer un estudio más amplio del impacto que tuvo el choque del meteorito en la península de Yucatán debido que podemos interpretar los ambientes de depositación que se presentaron cuando se formaron las brechas del yacimiento Cantarell cabe señalar que existen otros estudios como son el análisis detallado de los registros geofísicos para establecer una relación con los otros pozos como el UNAM-5 así también se ha realizado estudios de susceptibilidad magnética con lo cual se identificaron cinco intervalos caracterizados por diferentes contrastes de susceptibilidad magnética y también nos sirven para estimar la *concentración* de minerales magnéticos; de ese estudio se concluyó que el tipo de magnetismo de roca en las brechas de impacto de Chicxulub es ferromagnético. Otro estudio que se ha realizado es la Magnetización de las rocas y se encontró que el contacto entre los sedimentos carbonatados del Terciario y de la brecha de impacto se observa a los 332 m de profundidad, así este estudio complementa los estudios mencionados para hacer más sólida la investigación sobre el impacto del meteorito en el cráter del Chicxulub.

Por otro lado vemos que es importante conocer y entender algunos conceptos de la perforación de pozos como lo son los lodos de perforación ya que de esta manera podemos ver cómo está compuesto el fluido, cuáles son los efectos que puede ocasionar un lodo que este mal elaborado, también conocer las propiedades que estos tienen para que no dañemos a la formación que se esté perforando o que existan un descontrol de el pozo y con esto se pierda el mismo, también es importante conocer las barrenas ya que con esto se puede saber cuál es la más adecuada en cada formación ya sea dura o suave,

También es necesario que conozca el fin que tiene cortar un núcleo ya que si deseamos conocer las saturaciones de los fluidos es necesario que en un laboratorio se tenga núcleos para hacerles las pruebas correspondientes y obtener esos datos, también es importante saber los tratamientos que se les da a cada uno de los núcleos para que estos no se dañen

Es importante el estudio del impacto del meteorito ya que como lo hemos visto la roca almacenadora del yacimiento Cantarell se asocia a este fenómeno y como sabemos este yacimiento es muy importante para México ya que sostiene la producción de crudo actualmente

Al emplear los simuladores 2D SALEB, 3D SOVA es muy importante ya que se pueden tener obtener las condiciones durante el impacto y saber cómo afectó al continente el impacto del meteorito

Como se ha visto tanto en la columna geológica como en los núcleos la mayoría de las formaciones son rocas carbonatadas por lo cual es importante saber que una manera para identificar si se trata de una calizas es al emplear el ácido clorhídrico, las cuales deben presentar una efervescencia rápida esto se debe a la reacción química entre el ácido clorhídrico y el carbonato de calcio presente en las rocas carbonatadas.

## CONCLUSIONES

Una vez terminado el estudio sobre la perforación del pozo Yaxcopoil-1 podemos concluir lo siguiente:

- Para realizar una perforación exitosa se debe de tener una buena coordinación entre las diferentes disciplinas como son la geofísica y la geología ya que de estas se pueden determinar un contacto geológico, las zonas de productoras y los tipos de litologías que nos vamos a encontrar al estar perforando.
- Debemos vigilar las condiciones del lodo o fluido de perforación ya que si se tiene un buen enjarre se lograra una buena estabilidad en las paredes del agujero y con esto se evitara derrumbes, así como también es importante la densidad ya que de esta dependerá que se tenga un control en la presión hidrostática y poder así contrarrestar la presión de formación y poder evitar brotes
- El tipo de barrena que se va a emplear durante la perforación va estar en función del tipo de formación que se esté cortando ya que existen barrenas para formaciones duras y otras para formaciones suaves y durante la perforación se tiene un especial cuidado cuando se va a perforar en pedernal y cuando empiezan a aparecer trazas del mismo ya que puede llegar a desgastar la barrena.
- Para tener una mayor seguridad de las características petrofísicas que se tienen en la formación es necesario cortar un núcleo ya que con este se puede apreciar de manera casi intacta a la formación que se está perforando, en el caso del Pozo Yaxcopoil-1 si no se hubiera nucleado por completo no se hubiera obtenido la columna geológica.
- Se debe de tener un buen cuidado en el manejo de núcleos ya que algunas formaciones son demasiado frágiles y puede ser que se desmoronen o se pierdan por completo, esto se observo en el manejo y corte de los núcleos en la nucleoteca del Instituto de Geofísica de la UNAM ya que cuando se cortaron las muestras se fracturaban o rompían los núcleos.
- La colocación de las líneas azul y roja en los núcleos es importante ya que estos son dos patrones que nos van a indicar la posición que deben de tener los núcleos al ser tomados y colocarlos después en su lugar ya que se pueden cometer intercalaciones de los mismos.
- Se debe tener un buen cuidado en el manejo de los núcleos ya que estos contienen formaciones que son muy frágiles y pueden llegar a fracturarse o romperse como pasó al estar cortando las muestras con la cortadora en la nucleoteca del Instituto de Geofísica de la UNAM.
- El estudio del impacto del meteorito en la península de Yucatán es importante debido a que este coincide con una de las extinciones de seres vivos más importantes de la historia.
- El estudio de las brechas de impacto que se presentan en la parte somera del pozo tiene gran importancia ya que si se hace un estudio por medio fractales coinciden con las brechas carbonatadas del yacimiento Cantarell y como sabemos este yacimiento es muy importante para México ya que en la actualidad sostiene la producción de petróleo de nuestro país.
- las litologías descritas en nuestro intervalo coinciden con la tablas propuestas por los diferente autores ya que se tratan de calizas de color gris a gris oscuro

- Las densidades que encontramos en nuestras muestras se encuentran en entre los valores de 0.5-4.0 mismas que coinciden con las densidades propuestas en las investigaciones científicas que se realizaron con anterioridad.
- El análisis los núcleos es importante ya que se observan diferentes fallas lo que nos indica que hubo un fenómeno de impacto que provoco que las capas inferiores a los brechas se movieran de su posición original

## BIBLIOGRAFIA

- Arnold J, Clauser C, Pechinig R, Anferova S, Anferov V, Blümmich B (2006) "Porosity and permeability from mobile NMR coresampling. Petrophysics"
- Collins, G.S., J. Morgan, P. Barton, G.L. Christeson, S. Gulick, J. Urrutia Fucugauchi, M. Warner, K. Wünnemann, 2008. Dynamic modeling suggests terrace zone asymmetry in the Chicxulub crater is caused by target heterogeneity. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 270, p. 221-230
- Dunham R (1962) "Classification of carbonate rocks according to depositional texture". Classification of carbonate rocks. Am Assoc Petrol Geol Mem 1:108–121
- Kiessling W. and Claeys P "A geographic database approach to the KT boundary". In Geological and biological effects of impact events, edited by Buffetaut E. and Koeberl C. Berlin: Springer. . 2001. pp. 83–140
- Leroux Salas, Armando. Manual "Curso para Operador Básico de Registro de Hidrocarburos" ROTENCO SA de CV, México DF, Mayo 2008.
- Lopez-Ramos E. "Geological summary of the Yucatán Peninsula". In The ocean basins and margins, vol. 3, edited by Nairn A. and Stehli F. New York: Plenum Press. 1975. pp. 257–282.
- López-Ramos E. "Geología de México", vol. 3.: México City 1979. p. 445.
- Morgan, J., Warner, M., Urrutia-Fucugauchi, J., Gulick, S., Christeson, G.L., Barton, P., Rebolledo, M. & Melosh, J., 2005. Chicxulub crater seismic survey prepares way for future drilling. EOS (Transactions American Geophysical Union), v. 86 (36), p. 325.
- Urrutia Fucugauchi, J. Perez Cruz, L., 2008. Post-impact carbonate deposition in the Chicxulub impact crater region, Yucatan platform, Mexico. *Current Science*, v. 95, p. 241-252.
- Urrutia-Fucugauchi, J., Marin, L. & Trejo, A., 1996. UNAM scientific drilling program of Chicxulub impact structure – Evidence for a 300 kilometer crater diameter. *Geophysical Research Letters*, v. 23, p. 1565-1568.
- Urrutia Fucugauchi, J., Morgan, J., Stoeffler, D., Clays, P., 2004. The Chicxulub scientific drilling project (CSDP). *Meteoritics and Planetary Science*, v. 39, p. 787-790.
- Cornejo-Toledo, A. Hernández-Osuna, 1950,1950.Las anomalías gravimétricas de la cuenca salina del istmo, planicie costera de Tabasco, Campeche y Península de Yucatán: boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 2, 453-460.
- Pope, K.O.,A.C.Ocampo and D.E.Duller, 1993. Superficial geology of the Chicxulub impact crater Yucatán, Mexico: *Earth, Moon and Planets*, 63, 93-104.
- López Ramos, E.1976, Carta Geológica de la Península de Yucatán Campeche, Esc. 1:500,000. Inst.de Geología México.

Petróleos Mexicanos, 1966-1969, Informes Geológicos inéditos.

Viniegra, F., 1971, Age and evolution of Salt basins of Southeastern México. AAPG Bull. Vol. 55, No. 3, p 478-494.

#### Hemerografía

Meteoritics & Planetary Science 39, Nr 6, 787-790 (2004)

Abstract available online at <http://meteoritics.org>

“The Chicxulub Scientific Drilling Project (CSDP)”

Jaime Urrutia-Fucugauchi, Joana Morgan, Dieter Stoffler and Philippe Claeys

Instituto de Geofísica. Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacan 04510, México City. Mexico, Earth Sciences and Engineering, Imperial College London. SW7 2AZ. United Kingdom, Natural History Museum, Humboldt University. D-10D99. Berlin. Germany, Department of Geology. Vrije Universiteit Brussel, Pleinaan 2. B-1050, Brussels, Belgium.

Meteoritics & Planetary Science 39, Nr 6, 879–897 (2004)

Abstract available online at <http://meteoritics.org>

**“Impact lithologies and their emplacement in the Chicxulub impact crater: Initial results from the Chicxulub Scientific Drilling Project, Yaxcopoil, Mexico”**

David A. KRING,<sup>1\*</sup> Friedrich HÖRZ,<sup>2</sup> Lukas ZURCHER,<sup>1</sup> and Jaime URRUTIA FUCUGAUC

<sup>1</sup>Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, 1629 East University Boulevard, Tucson, Arizona 85721, USA

<sup>2</sup>Planetary Sciences Branch, SN2, NASA Johnson Space Center, Houston, Texas 77058, USA

<sup>3</sup>Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México City 04510, México

\*Corresponding author. E-mail: [kring@lpl.arizona.edu](mailto:kring@lpl.arizona.edu)

5 April 2004

Meteoritics & Planetary Science 39, Nr 7, 1035–1067 (2004)

Abstract available online at <http://meteoritics.org>

**“Origin and emplacement of the impact formations at Chicxulub, Mexico, as revealed by the ICDP deep drilling at Yaxcopoil-1 and by numerical modeling”**

Dieter STÖFFLER,<sup>1\*</sup> Natalya A. ARTEMIEVA,<sup>2</sup> Boris A. IVANOV,<sup>2</sup> Lutz HECHT,<sup>1</sup> Thomas KENKMANN,<sup>1</sup> Ralf Thomas SCHMITT,<sup>1</sup> Roald Alberto TAGLE,<sup>1</sup> and Axel WITTMANN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Mineralogie, Museum für Naturkunde, Humboldt-Universität zu Berlin, Invalidenstrasse 43, D-10099 Berlin, Germany

<sup>2</sup>Institute for Dynamics of Geospheres, Leninsky Prospect, 38, Bldg. 1, 119334 Moscow, Russia

\*Corresponding author. E-mail: [dieter.stoeffler@rz.hu-berlin.de](mailto:dieter.stoeffler@rz.hu-berlin.de)  
10 May 2004.

Int J Earth Sci (Geol Rundsch) DOI 10.1007/s00531-007-0227-6

**“Estimation of hydraulic permeability considering the micromorphology of rocks of the borehole YAXCOPOIL-1 (Impact crater Chicxulub, Mexico)”**

S. I. Mayr & H. Burkhardt & Yu. Popov & A. Wittmann  
Department of Applied Geosciences, Technical University Berlin, Sekr. ACK 2,  
Ackerstraße 71-76, 13355 Berlin, Germany-e-mail: [s.mayr@tu-berlin.de](mailto:s.mayr@tu-berlin.de)  
28 June 2007

Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM  
Núm. 43

“Caracterización geomorfológica del talud y la plataforma continentales de Campeche-Yucatán, México”

Manuel ~endoza\*  
Mario Arturo Ortiz Pérez  
18 de mayo de 2000  
pp. 7-31

Mesografía

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/23/dolomitaez.jpg>.