

7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS
EN FLUIDOS Y RECORTES DE PERFORACION
DE POZOS.

T E S I S

Q U E P R E S E N T A :

MARCOS ANTONIO FLOR HERNANDEZ

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO PETROLERO



DIRECTOR DE TESIS : QUIM. MARIA CRISTINA AVILES ALCANTARA

CIUDAD UNIVERSITARIA, D.F.

2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA 14
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-365

SR. MARCOS ANTONIO FLOR HERNANDEZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora Ing. María Cristina Avilés Alcántara y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero:

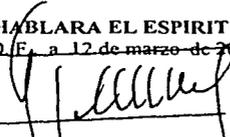
ANALISIS DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN FLUIDOS Y RECORTES DE PERFORACION DE POZOS

- RESUMEN**
- I GENERALIDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACION**
 - II METODOLOGIA DE PRUEBA PARA LA DETERMINACION DE METALES EN AGUA Y SOLIDOS**
 - III EVALUACION DE LOS FLUIDOS BASE AGUA INHIBIDOS**
 - IV ANALISIS CUANTITATIVO DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN FLUIDOS DE PERFORACION DE POZOS Y RECORTES**
 - V ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES**
- BIBLIOGRAFIA**
APENDICES

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

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

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F. a 12 de marzo de 2002
EL DIRECTOR


~~ING. GERARDO FERRANDO BRAVO~~

GFB*RLLR*gtg

PP

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE CIENCIAS DE LA TIERRA.

TESIS:

**"ANALISIS DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN FLUIDOS Y RECORTES
DE PERFORACION DE POZOS".**

PRESENTADA POR:

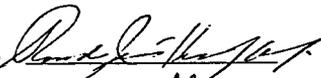
FLOR HERNANDEZ MARCOS ANTONIO

DIRIGIDA POR:

QUIM. MARIA CRISTINA AVILES ALCANTARA

JURADO PARA EXAMEN PROFESIONAL:

PRESIDENTE: QUIM. ROSA DE JESUS HERNANDEZ ALVAREZ



VOCAL: QUIM. MARIA CRISTINA AVILES ALCANTARA



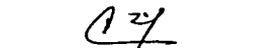
SECRETARIO: M.I. JOSE MARTINEZ PEREZ



1er SUPLENTE: ING. OSWALDO HERNANDEZ MENA



2° SUPLENTE: ING. CARLOS JAVIER LIRA SIL



MEXICO D.F., 2002.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen María.

Por darme salud y alegría, pero sobre todo por haberme dado estos maravillosos padres.

A mi Madre.

Por los múltiples sacrificios, comprensión y cuidados, por guiar mi camino y estar junto a mí en todo momento.

A mi Padre.

No solo por su apoyo incondicional sino también por la confianza que me ha demostrado y el exigirme a dar lo mejor de mí en todo lo que haga.

A AMBOS

Por darme la vida, por velar noche a noche para que nada me faltara, pero sobre todo por sus consejos, regaños y el ejemplo que me han dado todos los días de mi vida, el cual me inspira a tratar de superarme en todo momento.

A mis hermanos Diana y Víctor.

Por el amor que me han demostrado, el cariño, el apoyo, pero sobre todo el sin número de peleas que hemos tenido que solo han servido para unimos más y conocernos mejor. Gracias por ser como son.

A mis abuelitos maternos Josefina y Víctor.

Por todo el amor, el cariño y los consejos que me han dado a lo largo de mi vida, pero sobre todo por que a pesar de las distancias seguimos siendo una familia.

A mis abuelitos paternos María y Aureliano.

Por sus oraciones que han sido escuchadas en el cielo, por su cariño, preocupaciones y amor incondicional.

A mi tíos Pilar, Carmen, Alicia, Juan, Víctor y Demetrio.

Por el cariño que siempre me han demostrado.

A mis tías Chabela y Anita

Por atenderme y cuidarme cada vez que pueden.

A la Mtra Josefina Urquidy Miranda y a la Sra. Margarita Pérez Pineda.

Por cuidarme desde niño.

A mi Novia Xcaret A Ceniceros.

Por su amor, comprensión y apoyo en todo momento, pero sobre todo por permitir que la quiera y quererme como soy.

AGRADECIMIENTOS

A mis amigos Lore, Body y Humberto.

Que han estado conmigo desde niños, les agradezco su amistad y que a pesar del tiempo y la distancia somos más que amigos, hermanos.

A mis amigos Alex, Lalo, Mario, Rodrigo y Tofio, que nombro sin temor de omitir a alguno.

Por haber compartido conmigo aventuras y desventuras en el IM y el CUM, por los momentos felices e infelices que hemos vivido pero sobre todo por su apoyo y consejos durante mi vida estudiantil y fuera de ella.

A Nashelli, Norma, Zelene, Bolívar, Joel, Norman y Rene.

Por su amistad y por haber compartido conmigo las gloriosas aulas de la Facultad de Ingeniería

A los Hermanos Maristas.

Por haberme dado fuertes bases estudiantiles y humanitarias en sus diferentes recintos escolares.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Por darme la mejor educación universitaria que pude haber recibido.

A mis maestros de la secundaria y preparatoria.

Benjamín Rodríguez Díez

Mauricio Cervantes Sánchez

Juan Silva Monge.

José Flores García.

Enrique Alonso

Por sus enseñanzas que nunca olvidaré.

A los Ingenieros Néstor Martínez y Gómez Cabrera.

Por enseñarme lo hermoso de esta carrera.

A la Química Cristina Avilés Alcántara.

Por el tiempo que dedicó a la dirección este trabajo de tesis.

Por último a mi tía Lencha, a mi tío Gilberto y a mi Primo Pedruchi.

Que descansen en Paz, nunca los olvidaré.

INDICE

"Análisis Del Contenido De Metales Pesados En Fluidos Y Recortes De Perforación De Pozos."

RESUMEN

1. Generalidad de los fluidos de perforación.	
1.1 Definiciones.....	1
1.2 Clasificación de los fluidos.....	3
1.3 Tipos de fluidos de perforación.....	7
1.4 Funciones de los fluidos de perforación.....	9
1.5 Materiales y aditivos usados en los fluidos de perforación....	16
1.6 Contaminación por metales pesados	20
2. Metodología de prueba para la determinación de metales en agua y sólidos.	
2.1 Normas API RP 13K.....	24
2.2 Normas EPA.....	27
2.2.1 EPA 3050.....	27
2.2.2 EPA 3051.....	34
2.3 Técnicas analíticas:	44
2.3.1 Absorción atómica	44
2.3.2 Fluorescencia de Rayos - X.....	49
2.4 Selección de la metodología para determinar metales pesados en los fluidos de perforación base agua.....	52
3. Evaluación de los fluidos base agua inhibidos.	
3.1 Modelos reológicos.....	53
3.1.1 Bingham.....	54
3.1.2 Ley de potencias.....	55
3.2 Filtrado.....	58
3.2.1 Químicos.....	58
3.2.2 Físicos.....	61
3.3 Ajuste de modelos reológicos para los fluidos bajo prueba.....	68
4. Análisis cuantitativo del contenido de metales pesados en fluidos de perforación de pozos y en recortes.	
4.1 Análisis del contenido de Pb, Fe, Cd, Ni, Zn, Cu, Cr, Ba en muestras de campo.....	71
5. Análisis de resultados y Conclusiones.....	102

BIBLIOGRAFÍA.

APENDICES

OBJETIVOS

OBJETIVOS:

Conocer el contenido de metales pesados existentes en los fluidos de perforación utilizados en un pozo petrolero.

Comparar la norma mexicana NOM-52, con las normas EPA 3050 y saber cual muestra una mejor eficiencia en la determinación del contenido de metales pesados en los lodos.

Conocer como varía la cantidad de metales pesados con respecto a la adición de aditivos en los lodos de perforación.

RESUMEN

RESUMEN DE LA TESIS.

El objetivo de la tesis es determinar de manera cuantitativa el contenido de metales pesados existente en un fluido de perforación base agua inhibido utilizado en operaciones de campo.

Este trabajo se encuentra dividido de la siguiente manera:

Análisis Bibliográfico. En esta etapa se presentan los resultados de una búsqueda de las metodologías nacionales e internacionales que regulan el contenido de metales.

Elección de la norma. En esta parte se dan a conocer tres normas distintas referentes a técnicas analíticas para determinar el contenido de metales en los lodos de perforación y la razón por la cual se selecciono una de ellas.

Adquisición de muestras procedentes del campo para su evaluación. En esta etapa se presenta la organización de las muestras en base a la profundidad y procedencia de donde fueron tomadas.

Evaluación en el laboratorio aplicando el método seleccionado. Las muestras son llevadas al laboratorio de asfaltos del Instituto Mexicano del Petróleo, donde se les aplica una digestión de ácidos para la separación de los metales y una absorción atómica para la determinación de éstos.

Resultados de los análisis efectuados y conclusiones de la tesis en donde realizamos un análisis del recorrido del lodo para conocer los puntos donde se encontraron las acumulaciones de metales, además se hace una comparación contra la norma que se usa actualmente en los pozos mexicanos, de tal manera que mostramos como la norma utilizada a lo largo de la tesis es más precisa que la que se utiliza en el campo.

CAPITULO 1.**1. Generalidades de los Fluidos de Perforación.**

Los fluidos de perforación son la sangre de las operaciones de perforación modernas. Un pozo de aceite o gas simplemente no puede ser perforado sin una circulación continua de los fluidos de perforación que facilitan la perforación del hoyo y preservan el hoyo hasta que pueda ser protegido por el casing.

La tecnología de los fluidos esta dominado por tres factores, el rendimiento, la economía y el medio ambiente. Estos factores son los elementos de riesgo, una parte integral de cada operación de perforación que se comprometen cuando sean requeridos. Claramente la tarea principal de los fluidos de perforación es para contribuir para contribuir en el proceso de construcción del pozo, con un énfasis particular sobre la evaluación del yacimiento, pozos de producción y por último la recuperación de los hidrocarburos. De todos modos los fluidos de perforación deben también ser económicos y no deben dañar el medio ambiente natural, ni la salud y seguridad de los trabajadores.

Encontrar el balance adecuado entre estos factores es el gran reto para ambos, tanto para la industria de los fluidos de perforación el cual provee de la tecnología, tanto para los perforadores, quienes son los que los usan.

Al realizar una operación de perforación de un pozo se deben de tomar en cuenta diferentes factores, que van desde elegir una barrena adecuada para poder perforar con mayor eficiencia, hasta elegir el tipo y cantidad de tuberías que serán necesarios en la planeación de un pozo.

El realizar un plan eficiente o correcto de los fluidos, es de gran importancia, ya que ha sido demostrado que un plan incompleto o deficiente nos costará muchas horas de tiempo de operación y de equipo, esto puede significar la diferencia entre tener un pozo productor y uno que no produzca.

A continuación se enlistan una serie de definiciones con el objeto de repasar algunas de las definiciones básicas acerca de este tema.

1.1 Definiciones:

Fluido de perforación: Según el API, se puede definir como "Un fluido circulante, usada en la perforación rotatoria, para ejecutar alguna o todas las funciones requeridas." (Operaciones de perforación)

Reología: Es una rama de la ciencia que estudia el flujo y deformación de la materia, particularmente el flujo plástico de los sólidos y el flujo de los líquidos no newtonianos.

Viscosidad: Resistencia interna de un fluido a fluir.

Flujo: Corresponde a la conversión de energía mecánica en calor, por lo que el trabajo empleado en mantener el flujo es disipado como calor y no es mecánicamente recuperable.

Corte: Es un tipo de deformación muy importante en donde el corte es un caso especial de una deformación laminar y puede ser considerado como un proceso en el cual planos paralelos infinitamente delgados se deslizan uno sobre otros, como en un paquete de naipes.

Esfuerzo cortante: Es la fuerza externa que se le aplica a un fluido para que tenga movimiento. Se denomina a este esfuerzo como $\tau = f(\gamma)$

Velocidad de Corte: Es la velocidad que adquiere un fluido a través de las capas adyacentes cuando el flujo es laminar y además con esta velocidad llega a cortarse el fluido. Y se denomina como γ

Punto de cedencia (Yield Point): La relación que existe entre la *velocidad de corte-Esfuerzo cortante*, se representa por una línea recta, cuando el fluido es no newtoniano, esta línea no pasa por el origen e intercepta el eje de los esfuerzos. La implicación física de este comportamiento es que el fluido requiere de un valor finito del esfuerzo de corte para iniciar el flujo del fluido.

La medida del punto de cedencia (resistencia al flujo inicial) depende de la combinación de fuerzas que se atraen y se repelen, las cuales tienden a sostener y orientar las partículas individuales de arcillas en pérdidas, random structures. Cuando una fuerza de afuera es aplicada, las fuerzas sostienen la estructura de la arcilla juntas.

Físicamente se define como la medida de las fuerzas de atracción electroquímicas del lodo en condiciones de flujo, pero también la podemos definir como “una medida de resistencia interna de un fluido al flujo inicial”.

Viscosidad Plástica: . Al principio la viscosidad plástica fue definida como “una medida de resistencia interna resultante del flujo al fluir debido a la interacción de los sólidos presentes en el fluido de perforación”. Esto implica que la viscosidad plástica es una medida de fricción resultante de la frotación de las partículas entre ellas; como sea, el campo eléctrico y el grado de hidratación también influyen en la resistencia del flujo a fluir.

Se define como inclinación o pendiente de la línea que parte del valor del punto de cedencia, la cual es una medida de espesamiento del lodo y depende del contenido de sólidos, su tamaño y su temperatura.

Físicamente se define como la resistencia del flujo a fluir causada por fricción mecánica dentro del fluido. La acción mecánica es debida a la acción recíproca de partículas sólidas y líquidas en el lodo.

La viscosidad plástica es dependiente del grado de ionización e hidratación, tanto como de la fricción de las partículas.

Gelatinosidad (Esfuerzo gel): Es la medida de las fuerzas de atracción entre el fluido de perforación en condiciones estáticas, estas medidas se toman después de 10 segundos y 10 minutos de reposo.

1.2 Clasificación de los fluidos.

Antes de entrar a los tipos de fluidos, es necesario hacer una clasificación de los fluidos. Los fluidos pueden ser clasificados de acuerdo con su comportamiento bajo la acción de un esfuerzo cortante y a la velocidad de corte inducida por dicho esfuerzo; resultante en un flujo laminar y unidireccional a temperatura constante.

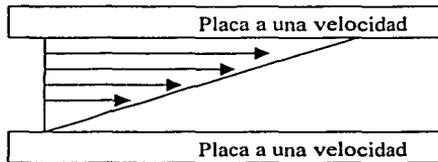


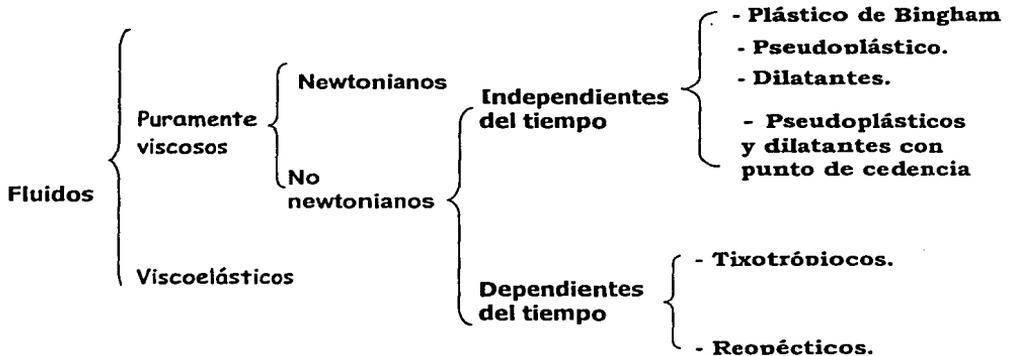
Fig 1.1

Considerando un sistema de dos placas paralelas separados por un fluido, la placa superior se mueve a una velocidad $U_x + dU_x$, la placa inferior a una velocidad U_x . Por

lo tanto el fluido está sujeto a una deformación $\frac{du}{dy}$ lo cual es un gradiente de velocidad γ .

La fuerza cortante F por área unitaria impuesta sobre el fluido y tendiente a causar el movimiento del mismo es denominada esfuerzo cortante (o de corte) y así, para todos los fluidos existe una relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte resultante $\tau = f(\gamma)$. Esta relación funcional entre el esfuerzo y la velocidad de corte es conocida como la ecuación reológica o constitutiva del fluido.

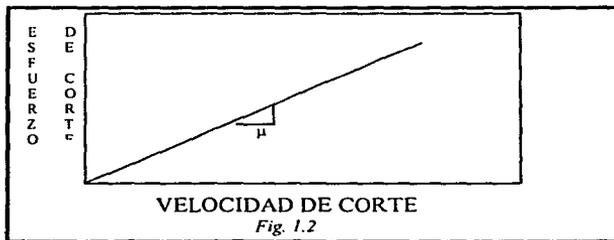
Los fluidos se clasifican de la siguiente forma:



A continuación definiremos cada uno de éstos:

1.2.1 *Fluido Newtoniano.*

Son aquellos cuyo comportamiento reológico puede ser descrito de acuerdo con PRIMERA LEY DE LA VISCOSIDAD DE NEWTON. Dicho de otra forma, es la proporcionalidad directa entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte inducida, como se muestra en la siguiente figura:

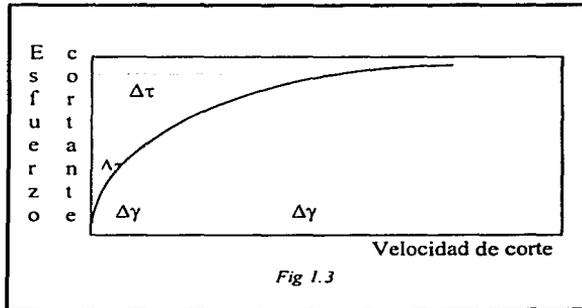


1.2.2 Fluido no-Newtoniano

Son aquellos fluidos que no se comportan de acuerdo con la Ley de la viscosidad de Newton. Por exclusión, en este grupo se incluye a todos los fluidos que no exhiben una relación directa entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte.

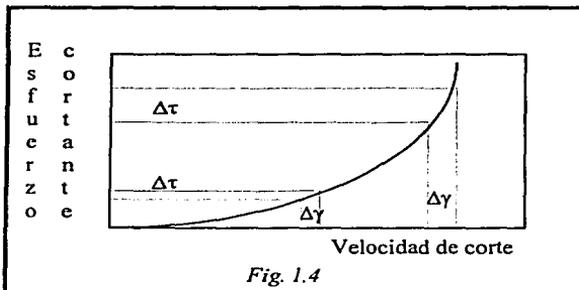
1.2.3 Fluido Pseudoplástico

Son aquellos fluidos para los cuales un esfuerzo cortante infinitesimal iniciará su movimiento y para el cual el ritmo de incremento en el esfuerzo cortante decrece conforme se incrementa la velocidad de corte, según se observa la siguiente figura:



1.2.4 Fluido Dilatante

Estos fluidos presentan un comportamiento similar a los Fluidos Pseudoplásticos, con la diferencia de que en los Fluidos Dilatantes el ritmo del incremento del esfuerzo cortante con la velocidad de corte se incrementa, como se observa en la siguiente figura.

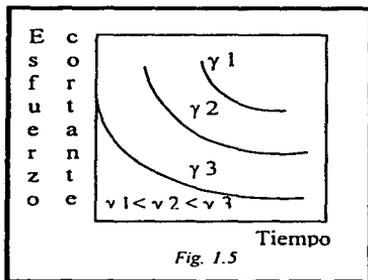


1.2.5 Fluidos dependientes del Tiempo:

Se caracterizan por que sus propiedades reológicas varían con la duración del corte (esfuerzo cortante y velocidad de corte) dentro de ciertos límites.

1.2.6 Fluido Tixotrópico

Son aquellos fluidos en los cuales el esfuerzo cortante decrece con la duración del corte.



1.2.7 Fluido Reopéctico.

A diferencia de los fluidos tixotrópicos, los fluidos reopécticos el esfuerzo cortante se incrementa conforme se incrementa la duración de corte. Ahora bien, ya que se realizó un repaso de las clasificaciones de los fluidos, entonces podemos abordar la clasificación de los tipos de fluidos de perforación.

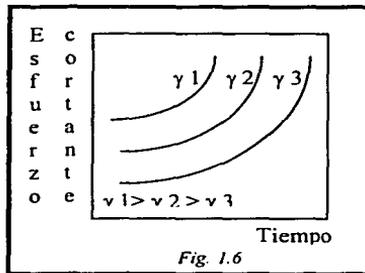


Fig. 1.6

1.3 Tipos de fluidos de perforación

Una gran diversidad de tipos de fluidos ha sido utilizada en la industria. Se pueden clasificar de la siguiente manera:

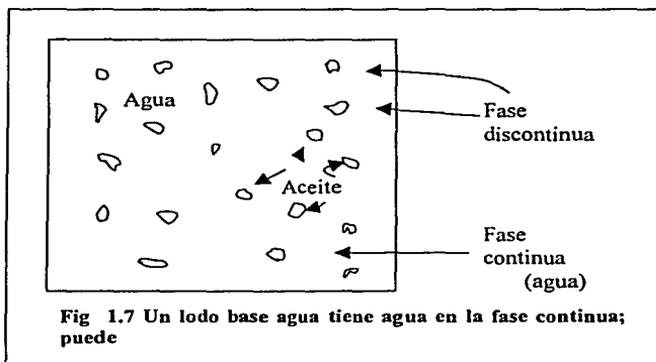
- Neumáticos.
- Fluidos base agua.
- Fluidos base aceite.

Cada una tiene subcategorías basadas en la función, el aditivo o el tipo de arcilla. Debido a que sería muy largo no nos es posible el dar una explicación amplia de cada una de ellas, por tal motivo solo hacemos referencia a los de base agua, puesto que el fluido que se utiliza en la tesis es de este tipo.

Lodo base agua:

En lo referente a los sistemas de lodo, los fluidos base agua son los más utilizados en la industria. Cabe señalar que el agua se encuentra en una fase continua, pero puede contener aceite (lodos de emulsión) o aire (lodos neumáticos) como en una fase discontinua.

El agua fresca y clara es uno de los lodos que han sido usados desde hace mucho tiempo, debido a que generalmente no se usan aditivos especiales, excepto tal vez algún inhibidor de corrosión. Otro aspecto de este tipo de lodos es que se puede llegar a hidratar con las formaciones de arcilla convirtiéndose así mismo en un lodo "nativo". Cuando se llegan a usar aditivos especiales es con el propósito de controlar las propiedades del lodo como la pérdida de flujo, la viscosidad, su gelatinosidad, y el PH.



En los lodos base agua se pueden encontrar una gran variedad de ellos, entre éstos tenemos:

Lodos iniciales:

Los lodos iniciales se usan en la perforación del agujero del tubo conductor. Generalmente se fabrican de una mezcla viscosa de bentonita, dándole una capacidad de acarreo para limpiar los agujeros de gran diámetro. Estos lodos son desechados, debido a que no se cuenta con el equipo de recuperación de fluido en este momento.

Lodo Bentonítico:

Este tipo de lodos, como su nombre lo indica, contiene bentonita y se usan en perforaciones someras y en áreas poco problemáticas. La bentonita tiene la característica de mejorar el acarreo de recortes en el pozo.

Lodos Gel – Químicos:

Un lodo gel-químico consiste de bentonita y pequeñas concentraciones de algún adelgazante (reductor de viscosidad) como el quebrado o un lignosulfonato. Este tipo de lodo puede ser utilizado tanto en pozos someros como profundos siempre y cuando no existan problemas de altas temperaturas.

Lodos Cálccicos:

Los lodos cálcicos son aplicables en la perforación de capas de poco espesor de anhídrita y también en aquellas zonas donde las lutitas deleznable y los flujos de agua salada son comunes. Estos lodos difieren de otros lodos base agua en que la arcilla sódica (bentonita) se convierte en arcillas cálcicas a través de la adición de cal y yeso.

- *Con adición de cal* son preparados mediante la adición de sosa cáustica, adelgazantes orgánicos y cal hidratada, a un lodo bentonítico. Tienden a solidificarse o desarrollar alta gelatinosidad a alta temperatura.
- *Con adición de yeso* se fabrican a partir de lodos naturales mediante la adición de yeso, y lignosulfonatos. Se han usado en la en la perforación de formaciones anhídricas y yeso, especialmente aquellas con intercalaciones de sal y lutita.

Lodos de polímeros de bajo contenido de sólidos no dispersos.

Estos lodos se elaboran mediante la adición de bentonita con polímeros floculantes, para usar menos bentonita, o sea una concentración menor de sólidos en su elaboración. También se prepara utilizando polímeros reductores, poco recubridores y floculantes, para su aplicación en formaciones bentoníticas.

Como ventajas se pueden mencionar que permite obtener altas velocidades de perforación debido a sus propiedades tixotrópicas y filtrantes, además es más estable a la temperatura debido a su bajo contenido de sólidos y puede ser densificante a cualquier valor.

La industria ha creado diversos tipos de lodos de polímeros de bajo contenido de sólidos no dispersos, se han elaborado usando varios polímeros con o sin bentonita y evitando el uso de dispersantes.

1.4 Funciones de los fluidos de perforación.

Las funciones de los fluidos de perforación se basan principalmente en tres aspectos, eficiencia, seguridad y economía, siendo éste último el más importante, ya que el fluido podrá ser muy bueno pero si se encuentra fuera del presupuesto entonces no se va podrá hacer uso de él.

A continuación se muestran las funciones de los lodos en la tabla 1.1, para después hacer una breve explicación de cada uno de ellos.

Funciones de los lodos

1. Enfriar y lubricar la barrena.
 2. Transmisión de potencia hidráulica a la barrena.
 3. Transporte y acarreo de los recortes a la superficie.
 4. Control de las presiones de la formación.
 5. Estabilidad de las paredes del pozo.
 6. Ayuda en toma de registros eléctricos.
 7. Sustentación de la sarta de perforación y de revestimiento.
 8. Suspensión de los recortes.
 9. Limpiar el fondo del pozo.
 10. Minimizar el daño a la formación.
 11. Minimiza la corrosión en la sarta de perforación, tuberías de revestimiento y la tubería de perforación.
 12. Minimiza los problemas de contaminación.
 13. Minimiza el torque, drag and pipe sticking.
 14. Mejora el rango de la perforación.
-

Tabla 1.1

El ingeniero debe procurar seleccionar un sistema de fluidos de perforación que pueda llevar a cabo las siguientes metas:

- Satisfacer los elementos cruciales como lo es el control de la presión.
- Si es posible, satisfacer todos las prioridades menores.
- Evitar sistemas que son plenamente insatisfactorios.

Un ejemplo de sistemas insatisfactorios puede ser el usar lodos base aceite en formaciones que históricamente no llega a producir debido a un bloqueo por emulsión cuando se usan lodos base aceite.

1.4.1 Enfriar y lubricar la barrena.

La barrena genera calor debido al contacto que hay entre ella y la formación, dicho calor puede llegar a dañar severamente la barrena dejándola inservible para proseguir con las operaciones de perforación, es aquí donde los lodos actúan, ya que el lodo ayuda a sacar el calor a la superficie así como de lubricar la barrena al mismo tiempo. El calor producido es transmitido al lodo, donde con la ayuda del sistema circulatorio del pozo lo lleva a la superficie para que al llegar ahí se disipe, al mismo tiempo lubrica la barrena reduciendo la fricción que existe entre la barrena y la formación. Para poderle dar una adecuada lubricación a la barrena se usan aditivos.

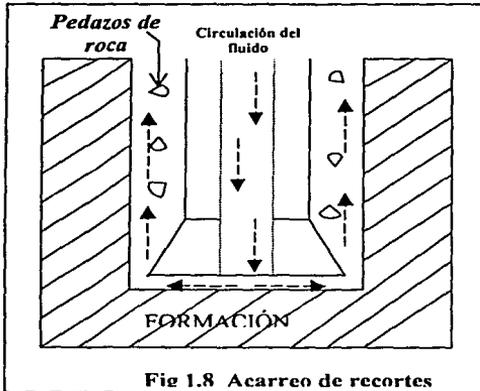


Fig 1.8 Acarreo de recortes

1.4.2 Transmisión de potencia hidráulica a la barrena.

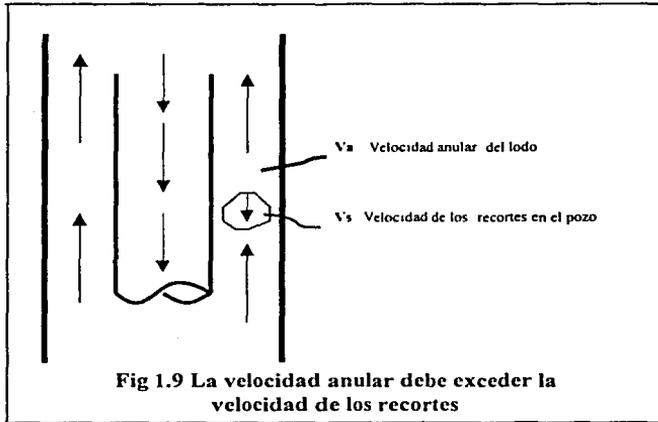
La potencia hidráulica se le proporciona a la barrena por medio de los fluidos de perforación, esto se debe a que el fluido le debe proporcionar a la barrena una mayor o menor pérdida por fricción. Por ejemplo si tenemos una viscosidad baja en el pozo entonces habrá menos pérdida por fricción en las paredes del pozo y como consecuencia se tendrá una mayor facilidad de movimiento, y por lo tanto aumentará el rendimiento de la potencia hidráulica disponible.

1.4.3 Transporte y acarreo de los recortes a la superficie.

Transportar los recortes que son removidos por la barrena es un aspecto importante del sistema de lodos.

La velocidad de penetración depende de la circulación apropiada de los recortes en el pozo, dicha circulación dependerá principalmente del tipo de barrena que se elija, peso, velocidad de rotación y programa hidráulico.

La barrena crea una turbulencia en el pozo para poder levantar los recortes hasta la superficie, la turbulencia se diseña mediante un programa hidráulico eliminando los recortes en el pozo, es por esto que la velocidad de penetración depende de los recortes que existen en el pozo, mientras más recortes, más lento será la velocidad de penetración.



1.4.4 Control de las presiones de la formación.

Se tiene que tener un control de las presiones y los fluidos de la formación que puedan invadir al pozo, para poder controlar adecuadamente el pozo necesitamos tener un buen diseño en la densidad de los fluidos de perforación. Los fluidos no deben tener una densidad alta puesto que de ser así crearemos excesivas presiones diferenciales teniendo como consecuencia la disminución de la velocidad de penetración, la pérdida de circulación y poner en riesgo que la tubería se pegue.

En algunos intervalos de penetración podemos encontrar presiones anormales en la formación, los lodos tienen que ser capaces de igualar o exceder la presión de formación; la presión hidrostática de éstos lodos nos ayuda a alcanzar estas presiones. Cuando no llegamos a alcanzar las presiones requeridas, se pueden presentar un reventón.

1.4.5 Estabilidad de las paredes del pozo.

Al perforar un pozo nos encontramos con problemas de estabilidad resultados de la geología de las formaciones como son las zonas fracturadas, secciones no consolidadas, arcillas hidratables y secciones presionadas. Los fluidos deben de controlar éstos problemas al ir perforando el pozo.

Para poder controlar dichos problemas necesitamos tener cuidado al diseñar el lodo, sobre todo en ciertas propiedades, como lo son la de enjarre, densidad, flujo y actividad química.

1.4.6 Ayuda en toma de registros eléctricos.

Para tomar los registros eléctricos se necesita que los lodos sirvan como un medio adecuado para la conducción de la electricidad, la cual usará como transporte las propiedades eléctricas de los diferentes fluidos de perforación.

La evaluación adecuada de la formación se puede volver extremadamente difícil si la fase líquida del fluido de perforación se ha desplazado al interior de la formación o si el fluido altera las propiedades química y físicas del agujero. La selección de una serie de registros debe coordinarse con los programas de fluidos de perforación para permitir una adecuada evaluación del pozo.

1.4.7 Sustentación de la sarta de perforación y de revestimiento.

El fluido puede sustentar la sarta de perforación y de revestimiento por medio de un empuje ascendente que obra en la tubería al estar sumergida en el fluido de perforación. Este empuje depende de la profundidad a la que se encuentra la tubería y a la densidad del fluido sustentante.

Cuando se usa un fluido sustentante como el aire, no hay gran problema, debido a la baja densidad del aire, pero al usar un fluido líquido, digamos un lodo, entonces se tienen que tomar todas las variables del pozo que dependen del empuje que el lodo puede proporcionar a las sargas.

1.4.8 Suspensión de los recortes.

Cuando se quiere realizar una operación en el pozo que requiera que la circulación del fluido se detenga por cierto tiempo, entonces los recortes del pozo tiene que mantenerse en suspensión, para que éstos no se vayan al fondo del pozo, ya que de regresar al fondo del pozo significa tiempo y costo extra, además de que reducirán al velocidad de perforación y pudiera producir un atascamiento en la barrena.

Para que esto no suceda necesitamos tener especial atención en la gelatinosidad del lodo, la cual provee el asentamiento al reducir el grado de caída de las partículas; sin embargo altas gelatinosidades requieren altas presiones de bombeo para iniciar la circulación.

1.4.9 Limpiar el fondo del pozo.

Remover los recortes que se encuentran debajo de la barrena es una de las funciones más importantes que tiene los fluidos de perforación. Para efectuar adecuadamente la remoción de los recortes se tienen que tomar en cuenta varios factores, como lo son el efecto chip hold-down del lodo, cross flow del fluido, la viscosidad, velocidad y densidad del fluido, la densidad de los recortes, así como el tamaño de éstos.

El fenómeno de chip hold-down se presenta cuando la barrena rompe un pedazo de la formación, este pedazo resistirá a ser removido por la barrena debido a la diferencia entre la presión hidrostática del lodo y de la presión de formación. Para quitar ese pedazo, los fluidos deben penetrar por debajo de la roca. Este fenómeno ha sido llevado a cabo con éxito con lodos que exhiben alta "spurt loss, filtración inicial" ayudados por la igualación de presiones debajo o arriba del pedazo de roca.

1.4.10 Minimizar el daño a la formación.

La protección de la zona productora es importante para los fluidos de perforación. La deposición de un filtro que permite que la perforación continúe y proteja al mismo tiempo la zona productora es usualmente olvidado en el sistema de lodos.

El daño en la formación es generalmente una reducción en la permeabilidad cerca de la barrena acompañado por la reducción de porosidad, éstos problemas pueden ser severos cuando estamos trabajando en yacimientos con baja permeabilidad o con alto contenido de arcillas.

Muchos mecanismos pueden ser dañados durante la perforación (Ver figura 1.10), pérdidas de filtrado del lodo pueden entrar a la zona productora haciendo que las arcillas se hinchen, llevando como consecuencia la reducción de la permeabilidad.

Sólidos coloidales, barita o arcilla pueden ser perdidos dentro de la formación y causar taponamiento.

Lodos base aceite se pueden filtrar ocasionando un bloqueo debido a emulsión, ya que éstos lodos contienen agentes emulsificantes. Este bloqueo se puede resolver de diferentes maneras, podemos usar ácidos, solventes, o trabajos de fracturamiento.

Sin embargo muchos yacimientos no pueden ser solucionados con los métodos anteriores, lo cual enfatiza la importancia de minimizar el daño original.

1.4.11 Minimiza la corrosión en la sarta de perforación, tuberías de revestimiento y la tubería de perforación

Cada vez más se perforan pozos en formaciones que contienen gases tóxicos así como el ácido sulfúrico. Estos gases son dañinos para la salud del personal, sin mencionar que es sumamente peligroso trabajar con ellos, también son peligrosos en los componentes mecánicos ya que el hidrógeno agrieta, ampolla y debilita el metal.

Los lodos de perforación usualmente usan aditivos que los ayudan a remover esos contaminantes, al mismo tiempo minimiza los problemas de corrosión aunque no ayuda a controlar los problemas de salud.

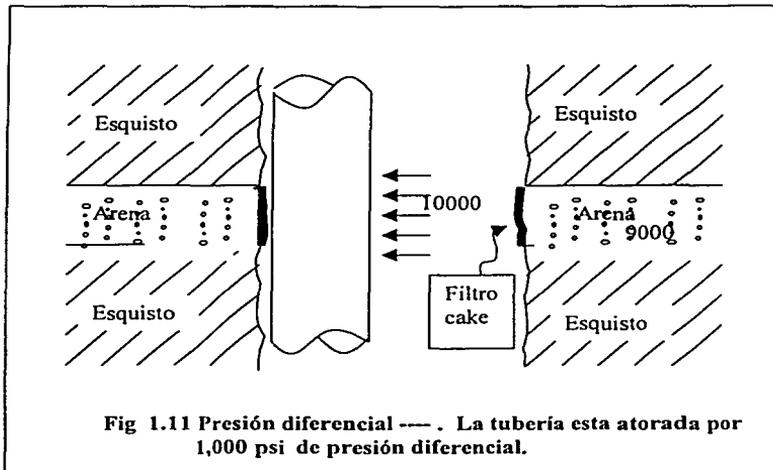


Fig 1.11 Presión diferencial — . La tubería esta atorada por 1,000 psi de presión diferencial.

1.4.12 Minimiza los problemas de contaminación.

Los lodos tienen control en varios tipos de contaminación, incluyendo los gases tóxicos, el contenido de sólidos, gases de hidrocarburos y la contaminación iónica, debido a que la industria se ha preocupado ampliamente en fabricar los lodos lo menos contaminantes posibles.

1.4.13 Minimiza el torque, drag and pipe sticking.

Un exceso de torque y de drag se encuentran comúnmente en las operaciones de perforación, para poder evitarlos se necesita seleccionar un sistema de lodos apropiados así como de aditivos.

El torque es la fuerza que se necesita para hacer girar la sarta de perforación mientras que el Drag es la fuerza que se incrementa por debajo del peso de la sarta para mover la tubería en forma vertical. El exceso de torque puede causar una rotura por torsión (twistoff) mientras que una fuerza drag alta puede causar que la tubería se pegue y se parta.

El sistema de lodos puede reducir los problemas de drag y de torque. Si el problema ocurre por el resultado de formaciones hidratadas o hinchadas (swelling) entonces ciertos químicos así como lodos pueden inhibir la formación. En menor escala los lubricantes pueden ser usados para reducir el coeficiente de fricción a lo largo de las paredes del pozo.

El pegamiento de la tubería es un problema costoso que puede ser evitado en muchos casos por un sistema apropiado de selección y mantenimiento. Algunos pegaduras ocurren cuando la tubería llega a encajarse en los filtros.

La baja pérdida de agua en los lodos pueden reducir la frecuencia y severidad de los problemas antes mencionados, en muchos casos, los lodos base aceite son la eliminación virtual del problema.

1.5 Materiales y aditivos empleados en los fluidos de perforación.

La habilidad de los fluidos de perforación de desarrollar importantes funciones e exhibir las propiedades deseables dependen de la naturaleza coloidal de los materiales que son usados en su formulación. La química de los fluidos de perforación coloidales que son llamados "lodos" se encuentra en constante cambio debido a que los aditivos los coloidales comerciales empleados están siempre variando.

El termino "Coloidal" es derivado de la palabra griega Kollé que significa "pegamento". El coloide incluye una larga variedad de materiales que pueden mantenerse suspendidos en algún otro medio debido a los tamaños extremadamente pequeños de las partículas y las fuerzas en la superficie inusuales.

Una suspensión coloidal es estable si las partículas permanecen suspendidas por largos periodos de tiempo. Con partículas de tamaño extremadamente pequeñas de coloides, se tiene una gran cantidad de área superficial expuesta por una pequeña cantidad de masa. Si la combinación de cargas eléctricas sin balancear y la absorción de agua es mayor que la atracción de partículas en cada una, los coloides tienden a repelerse unos a otros, ayudados por moléculas de liquido impactadas, manteniendo la suspensión. Si las cargas eléctricas sin balancear no producen no tienden a repelerse unos a otros y si la hidratación no esta completa, las partículas pueden tender a adherirse cuando estén en estado coloidal y podrían formar agregados progresivamente y flocularse.

Lodos de Perforación

La forma más simple de los fluidos de perforación consiste en una fase líquida y otra sólida, típicamente agua y arcillas hidratables. La barita en algunas ocasiones se añade para incrementar el peso del fluido. Un ingeniero de perforación esta interesado en dos tipos de arcillas: bentonita, principalmente la arcilla mineral que conforma los fluidos de perforación, y

las otras arcillas hidratables que conforman las lutitas, que se atraviesan durante la perforación, del tipo de las esmectita.

Las bentonitas se convierten en componentes de los lodos de perforación de dos maneras: Aquellos que se añaden en la superficie y aquellos que se obtienen de la formación perforada. Algunas arcillas --- en gran medida la bentonita de Wyoming --- son añadidas a agua fresca para obtener la viscosidad deseada y las propiedades necesarias para controlar las pérdidas de fluido.

1.5.1 Aditivos químicos.

Para poderle dar cierto control a los lodos, hay que tratar que su relación *arcilla / agua sea* estable, esto lo logramos al remover materiales sólidos inertes añadiéndole bentonita, si se requiere, manteniendo así la concentración de sólidos estable. Sin embargo, no solo se debe de hacer un ajuste en la eliminación de sólidos, también es necesario hacer otro tipo de ajuste en los lodos, para esto necesitamos los aditivos químicos, para realizar ciertos ajustes en los lodos de perforación, después de haber usado los métodos convencionales para la eliminación de sólidos.

Los aditivos químicos que encontramos con más frecuencia en la preparación de lodos base agua, en la industria petrolera son:

- Control del pH
- Viscosificantes
- Dispersantes
- Controladores de filtrado
- Inhibidores de Hidratación

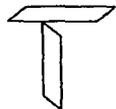
Antes de entrar ampliamente al tema de los aditivos, es necesario que mencionemos ciertos comportamientos que tienen los lodos a lo largo de su recorrido por la sarta de perforación.

1.5.2 Floculación.

Se refiere al grosor de las estructuras borde - borde y borde - cara asociada con las plaquetas de las arcillas, como se muestran en la *figura 1.12*

La floculación es causada por cargas eléctricas no balanceadas sobre la orilla y la superficie de las plaquetas de arcilla. Cuando el lodo permanece estático o se baja una porción muy baja, la carga negativa y positiva comienza a formar una especie de estructura en forma de una "mazo de cartas".

Orilla a cara
(edge to face)



Orilla a orilla
(edge to edge)

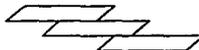


Figura 1.12

La floculación es causada por cargas eléctricas no balanceadas sobre la orilla y la superficie de las plaquetas de arcilla. Cuando el lodo permanece estático o se baja una porción muy baja, la carga negativa y positiva comienza a formar una especie de estructura en forma de una “mazo de cartas”.

De tal forma que cualquier cosa que sobrepase las fuerzas de repulsión entre las plaquetas de arcilla incrementará la tendencia del lodo a flocular. Entre las causas más comunes por las cuales un lodo flocula encontramos las siguientes:

1. Una alta concentración de sólidos activos.
2. Una concentración alta de electrolitos.
3. Una temperatura alta.

La concentración de partículas floculadas en el lodo es detectada primeramente por una anomalía en un alto punto de cedencia y en el esfuerzo de gel. Altos rangos en el esfuerzo de corte, el “mazo de cartas” es destruido. La viscosidad plástica, la cual describe el comportamiento del fluido en esfuerzos de corte altos, usualmente no sufre grandes cambios por floculación.

1.5.3 Defloculación.

Son materiales que reducen la tendencia del lodo a flocularse el comportamiento se muestra en la figura 1.8. La defloculación se piensa que da ineficacia a las cargas positivas localizadas sobre la orilla lateral de las plaquetas de arcilla y, entonces, destruir la habilidad de las plaquetas a mantenerse unidas.

Ninguna de las defloculaciones son totalmente efectivas contra todas las causas de floculación. Ya que muchas defloculaciones son ácidas y solo ligeramente solubles en su forma ácida, deben ser usadas con cáustica (NaOH) al incrementar el pH.

Cualquiera de las defloculaciones pueden ser usadas para bajar el punto de cedencia y la dureza de la gel cuando la floculación es causada por un exceso de sólidos. Los fosfatos son usados para aligerar el peso de los lodos arcilla / agua que no son expuestos a altas concentraciones de sal y altas temperaturas. Los fosfatos además son usados para la floculación causada por iones de Ca^{2+} o Mg^{2+} .

El pirofosfato de ácido sódico (SAPP) es excelente para tratar la floculación causada por contaminación de cemento.

El uso de fosfatos a grandes profundidades debe discontinuarse debido a que se encuentran altas temperaturas (arriba de 80°C), a altas temperaturas los fosfatos funcionan al revés y en lugar de funcionar como defloculantes, realizan la función de flocular. Para lugares donde la temperatura es alta se recomienda usar lignito o lignosulfatos. Por otro lado a altas temperaturas se sigue usando el SAPP para tratar la contaminación de cemento.



Defloculación
Figura 1.8

1.5.4 Aditivos y químicos en los fluidos de perforación base agua:

A continuación se muestra una clasificación de los químicos y aditivos que se usan en la industria petrolera, según el uso de estos en el campo.

Viscosificantes:

Bentonita.
Atapulgita.
Polímeros.

Para darle peso a los materiales:

Barita

Químicos para reducir la viscosidad.

Lignito.
Lignosulfato.

Reductores de pérdida de fluido:

Almidones.
CMC.
Polyanionic cellulose.
Bentonita.
Dispersantes.

Emulsificantes:

Agua en aceite.
Aceite en agua.

Materiales para evitar la pérdida por circulación:

Granular
Fibroso
En hojuelas
Salmueras

Aditivos especiales:

Floculantes.
Control de corrosión.
Espumantes
Control de pH
Lubricante.
Despegadores de tubería
Inhibidores de hidratación de arcillas

1.6 Contaminación por metales pesados.

En este capítulo se dan los antecedentes de los fluidos de perforación de pozos, pero la otra parte de la tesis son los metales pesados, a continuación hacemos mención de lo ¿Qué es un metal pesado?, ¿Dónde se encuentran? y ¿Qué efecto puede causar en el medio ambiente?.

En el suelo existen unos elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones y al evolucionar la vida adaptándose a estas disponibilidades, ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para los organismos. Dentro de este grupo de elementos son muy abundantes los denominados metales pesados.

Se considera metal pesado a aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 gr/cm^3 cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0.01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos asociados; es este el caso del As, B, Ba y Se.

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

Oligoelementos o micronutrientes que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.

Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi.

Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden ser por causas naturales (por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinas, con altos contenidos en elementos como Cr, Ni, Cu y Mn); los metales pesados son muy estables en el suelo y en el proceso natural de transformación de las rocas para originar a los suelos suelen concentrarse, pero, en general, sin rebasar los umbrales de toxicidad y además los metales pesados presentes en las rocas se encuentran bajo formas muy poco asimilables para los organismos.

Las rocas ígneas ultrabásicas (como las peridotitas y las serpentinas) presentan los más altos contenidos en metales pesados, seguidas de las ígneas básicas (como los gabros y basaltos). Las menores concentraciones se encuentran en las rocas ígneas ácidas (como el granito) y en las sedimentarias (como las areniscas y las calizas). Los porcentajes más altos se dan para el Cr, Mn y Ni, mientras que el Co, Cu, Zn y Pb se presentan en menores cantidades, siendo mínimos los contenidos para el As, Cd y Hg.

En los suelos, los más abundantes son el Mn, Cr, Zn, Ni y Pb (1-1.500 mg/kg; el Mn puede llegar a 10.000 mg/kg). En menores concentraciones se encuentran el Co, Cu y As (0,1-250 mg/kg) y con mínimos porcentajes el Cd y Hg (0,01-2 mg/kg), según Bowen 1979.

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénéticos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo esta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas.

Dinámica de los metales pesados en el suelo

Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- Pueden quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación
- Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas
- Pueden pasar a la atmósfera por volatilización
- Pueden movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas

Riesgos y legislación en materia de suelos contaminados por metales pesados

Los riesgos producidos son función, fundamentalmente, de:

- La toxicidad
- El carácter acumulativo de cada elemento, destacando aquellos metales que presenten un índice de bioacumulación superior a 1.

El concepto de bioacumulación se refiere a la acumulación de contaminantes en los organismos y el índice de bioacumulación se expresa por la relación entre la cantidad de un contaminante en el organismo y la concentración de ese contaminante en el suelo.

*Procedencias de los metales pesados en suelos**Origen natural*

Los metales pesados contenidos en el material original, al meteorizarse, se concentran en los suelos. Estas concentraciones naturales de metales pueden llegar a ser tóxicas para el crecimiento de las plantas, así por ejemplo, el níquel puede aparecer en concentraciones tóxicas en suelos derivados de rocas ultrabásicas.

Concentraciones naturales muy altas en los suelos pueden ocasionar acumulación de algún metal en plantas y ocasionar efectos tóxicos para los animales que las consumen.

También hemos de considerar las actividades volcánicas, que emiten metales pesados tales como: As, Hg, Se,

Fuentes antropogénicas.

Las actividades humanas han ejercido un efecto considerable en la concentración y movilidad de los metales en suelos.

- Productos químicos agrícolas y lodos residuales.
- Actividades de minería y fundición. El proceso de minería implica: la extracción de las menas, el procesado preliminar, la evacuación de los residuos y transporte de los productos semi-procesados. Todas estas operaciones pueden producir una contaminación localizada de metales. El polvo originado puede ser depositado en los suelos a muchos kilómetros de

distancia. En áreas mineras, las capas superiores de suelos minerales presentan concentraciones elevadas de cobre, níquel, arsénico, selenio, hierro y cadmio.

- Generación de electricidad y otras actividades industriales. La combustión de carbón es una de las principales fuentes de deposición de metales en suelos. Las centrales térmicas de combustión de petróleo pueden ser fuentes de plomo, níquel y vanadio.
- Las mayores fuentes industriales de metales incluyen fábricas de hierro y acero que emiten metales asociados con las menas de hierro, como el níquel. Las fábricas de baterías, pueden emitir cantidades considerables de plomo. Los metales asociados con áreas altamente industrializadas, incluyen arsénico, cadmio, cromo, hierro, níquel, plomo, zinc y mercurio.
- Residuos domésticos. Aproximadamente el 10% de la basura está compuesta de metales. Uno de los problemas más serios de las sociedades modernas es como deshacerse de este volumen de basuras. Las dos alternativas son enterrar o incinerar. El enterramiento puede contaminar las aguas subterráneas, mientras que la incineración puede contaminar la atmósfera al liberar algunos de los metales volátiles.

Estas son las razones por las cuales es importante tener un lodo que contenga una cantidad baja de metales pesados, ya que de no tenerlo los lodos pueden contaminar al medio ambiente en gran medida, de tal forma que a lo largo de la tesis damos alternativas para detectar los metales pesados en los lodos de perforación intentando que dicho lodo se encuentre con cantidades bajas de este contaminante.

CAPITULO 2.

2. Metodología de prueba para la determinación de metales en agua y sólidos.

Cuando se realiza un proyecto o se encuentra un problema en la industria petrolera, ya sea de perforación, yacimientos o producción no existe solo un camino para poder realizarlo, normalmente se estudian diferentes vías para poder atacar el problema o realizar de una manera más eficiente el proyecto, teniendo como objetivos los de minimizar los costos y aumentar las ganancias que se puedan obtener. De esta manera un grupo de ingenieros trabajando de manera conjunta analizan todas las posibilidades para poder llegar a los objetivos trazados.

De igual forma se intento elegir el método adecuado para poder realizar la investigación de una manera amplia, exacta y tratando que todos las herramientas que se necesiten los tengamos siempre a la mano.

En este capítulo hacemos referencia a los métodos que se podían usar para cubrir de manera amplia la investigación de la tesis, indicando al final como seleccionamos el método que utilizamos a lo largo de la tesis.

2.1 Normas API RP 13K. (Practica recomendada para el análisis químico de la barita.)

Introducción

La barita es usada para incrementar la densidad de los fluidos en la perforación de un pozo. Este es un producto dispuesto que puede contener cantidades significantes de materiales como bario, sulfatos, lo cual es el principal componente.

Composición mineralógica.

Una lista de algunos minerales comúnmente asociados con los minerales de barita se encuentran en la tabla 1 con la fórmulas químicas, nombres mineralógicos y las densidades de los granos de minerales.

Comportamiento de los fluidos de perforación.

El comportamiento de la barita en los fluidos de perforación se observa en la parte del porcentaje y el tipo de minerales que no se distribuyen en los minerales dela barita. Algunos de estos materiales tienen pequeños efectos en las propiedades de los fluidos, aunque otros no. Pero otros pueda degradar estas propiedades e incluso ser dañinos para el personal.

Objetivo.

Este objetivo de esta publicación provee una detallada comprensión de la descripción de los procedimientos de los análisis químicos por cantidades determinadas de minerales y químicos constituidos de barita. Estos procedimientos son elaborados detenidamente y normalmente se llevan a cabo de manera normal en un equipo de perforación de pozos.

Tabla minerales asociados con los minerales de barita.

Mineral	Formula química	Nombre mineralógico	Gravedad específica	Dureza (MOHS)
Sulfato de bario	BaSO ₄	Barita, barytes	4.50	2.5-3.5
Sulfato de stroncio.	SrSO ₄	Celestita	3.97	3.5
Carbonato de bario	BaCO ₃	Witherite	4.3	3.5
Silicato de Bario	BaSi ₂ O ₃	<i>Sanbornite</i>	-----	-----
Carbonato de calcio	CaCO ₃	Calcita	2.72	3
Carbonato de calcio magnesico	CaMg(CO ₃) ₂	Dolomita	2.87	3.5-4
Carbonato de magnesio	MgCO ₃	Magnesite	3	4
Sulfato de calcio	CaSO ₄ -2H ₂ O	Gypsum	2.3	2
Fluoruro de calcio	CaF ₂	Fluorita	5.2	5.5
Oxido ferroso	Fe ₂ O ₃	Hematita	5.2	5.5
Oxido de fierro	Fe ₂ O ₃ -nH ₂ O	Geotita	3.5-4	5.5
Oxido férrico	Fe ₃ O ₄	Magnetita	5.16-5.17	5.5-6.5
Carbonato de hierro	FeCO ₃	Siderita	3.7-3.9	3.5-4.0
Sulfuro de hierro	FeS ₂	Pirita	5	4
Sulfuro de hierro	Fe _{1-x} S	Pirotite	4.6	4
Iron/copper sulfide	CuFeS ₂	Chalcopyrite	4.2	4
Sulfuro de plomo	PbS	Galena	7.5	2.5
Sulfuro de zinc	ZnS	Sphalerite	3.9	3.5-4
Titanio Ferrosos	FeTiO ₃	Ilmenite	4.7	5.5

Dioxido de silicon	SiO ₂	Cuarzo, arena, chert	2.67	7
Aluminosilicatos				
Feldespatos	(Na,K) AlSi ₃ O ₈	Albite, microlinite	2.6	6
Micas	KAl ₂ (OH) ₂ AlSi ₃ O ₁₀	Muscovite	2.85	2.5
Arcillas	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Kaolanite	2.85	2.5
	(Al,Mg)(OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	Montmorillonite	2-3	1-2
	(NaCa) _x 4H ₂ O			

Tabla 2.1

Procedimiento para el calcio, magnesio, zinc, manganeso, cobre, plomo, cromo, sodio y potasio.

- Use una muestra representativa de tierra de barita tal que el 100% de ella pase a través del cedazo.
- Pesar 100 +/- 0.05 g de muestra de barita y transfíerelo a un recipiente Erlen Meyer de 250ml
- Adherir 100 cm³ de agua des-ionizada.
- Colocarlo en un revoledor mecánico durante 30 minutos.
- Filtrar la suspensión usando un filtro celda de baja presión API dentro de un cilindro graduado
- Transferir el filtrado a un recipiente volumétrico, lavar los lados del cilindro graduado, transferir al recipiente lavado y subir el volumen, revolver bien.
- Analizar el filtrado para calcio, magnesio, zinc, manganeso, cobre, plomo y cromo usando en espectroscopia de absorción atómica.
- Analizar el filtrado para sodio y potasio usando un fotómetro de flama o un espectroscopio de absorción atómica en el modo de emisión de flama.

Cálculos

$$\text{Muestra de metal ppm} = \frac{100(AA\text{valor, mg/L})}{\text{peso.muestra.gr}}$$

2.2 Normas EPA 3050 Y 3051.

2.2.1 EPA 3050. Digestión ácida de sedimentos, lodos y tierra.

Alcance y aplicación:

Este método ha sido elaborado para proveer dos procesos de separación por digestión, uno para la preparación de muestras de sedimentos, lodos y tierra, por análisis de absorción atómica espectroscópica por flama (FLAA, siglas en inglés de flame, atomic absorption spectrometry) o la inducción de la unión de la emisión de plasma atómico espectroscópico (ICP-AES, siglas en inglés de inductively coupled plasma atomic emission spectrometry) y una para la preparación de las muestras de sedimentos, lodos y tierra para el análisis de muestra por medio de absorción atómica con horno de grafito (GFAA) o la inducción de la unión de la masa de plasma espectroscópica (ICP-MS).

Las extracciones de estos dos procedimientos no son intercambiables y solo se debe usar con las determinaciones analíticas expuestas en esta sección. Las muestras preparadas por este método pueden ser analizadas por ICP-AES o GFAA para todos los metales listados con tal de que los límites de detección sean los adecuados para terminar el uso de los datos. Técnicas alternativas pueden ser usadas si son científicamente válidas y el criterio QC del método, incluyendo aquellos que tengan que ver con las interferencias, pueden ser alcanzados.

Otros elementos y matrices pueden ser analizados por este método si el rendimiento se demuestra por el análisis de interés, en las matrices de interés, a los niveles de concentración de interés (vea la sección 8). Las técnicas que se recomiendan usar para cada elemento se listan a continuación:

FLAA/ICP-AES		GFAA/ICP-MS
Aluminio	Magnesio	Arsenico
Antimonio	Manganeso	Berilio
Bario	Molibdeno	Cadmio
Berillium	Níquel	Cobalto
Cadmio	Plata	Cromo
Calcio	Plomo	Hierro
Cromo	Potasio	Molibdeno
Cobalto	Sodio	Plomo
Cobre	Talio	Selenio
Cromo	Vanadio	Talio
Hierro	Zinc	

Tabla 2.2

Este método no es una técnica de digestión total para la mayoría de las muestras. Es una digestión ácida muy fuerte que disolverá casi todos los elementos que podrían ser "ambientalmente avalados". Por diseño, los elementos que limitan con estructuras de silicatos no son normalmente disueltos por este procedimiento ya que no son usualmente móviles en el medio ambiente. Si se requiere la digestión total es necesario usar el método 3052.

Resumen del método.

- a) Para la digestión de las muestras, una muestra de 1 a 2 gramos (peso húmedo) o 1 gramo (peso seco) es digerida con adiciones repetidas de ácido nítrico (HNO_3) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2).
- b) Para los análisis de GFAA o ICP-MS, los resultados de las digestiones se reducen en volumen mientras que se calientan y se diluyen a un volumen final de 100 ml.
- c) Para el análisis de ICP-AES o FLAA, ácido clorhídrico (HCl) se añade a la digestión inicial y la muestra se refluje. En un paso opcional se incrementa la solubilidad de algunos metales, esta digestión es filtrada en un filtro de papel y los residuos son enjuagados primero con HCl caliente y después con un agua caliente usado como reactivo. El papel filtro y los residuos son regresados al matraz, refluídos con HCl adicional y filtrados otra vez. La digestión es entonces diluida a un volumen final de 100 ml.
- d) Si se requiere, una alícuota separada de la muestra debe ser secada por un porcentaje total de sólidos determinado.

Interferencias.

Las muestras de lodo pueden contener diversos tipos de matrices, cada uno de los cuales puede presentar su propio desafío analítico.

Aparatos y materiales.

- Vaso de digestión de 250 mL.
- Dispositivo de recuperación de vapor (e.g., Lentes protectores, dispositivo apropiado para el reflujo, apropiado sistema para manejar el solvente)
- Horno de secado – que mantenga $30^\circ \pm 4^\circ \text{C}$., la temperatura.
- Dispositivos que midan la temperatura capaces de medir hasta 125°C con una aceptable precisión y exactitud.
- Papel filtro – Whataman No. 41 o equivalente.
- Centrifuga y tubos centrifugos.
- Balanza analítica – que tenga una exactitud de 0.01g
- Fuente de calor – Capaz de mantener una temperatura de $90\text{-}95^\circ \text{C}$. (e.g., plato caliente, microondas, etc.)

- Embudo o equivalente.
- Cilindro graduado o dispositivo equivalente para la medida del volumen.
- Matraz volumétrico – 100 ml.

Reactivos

- a) Grado de químicos reactivos debe ser usado en todas las pruebas. A menos que se indique lo contrario, con esto se intenta que todos los reactivos puedan conformar las especificaciones de el Comité sobre Reactivos Analíticos de la Sociedad Química Americana, donde tales especificaciones son avaladas. Otros grados pueden ser usados, proveyendo primero que se cerciore que los reactivos sea la pureza lo suficientemente alta que permita que sea usada sin disminuir la precisión en las determinaciones. Si la pureza de un reactivo es cuestionable, analizar el reactivo para determinar el nivel de impureza. El reactivo blanco debe ser menor que el MDL en orden de ser usado.
- b) Reactivo agua. El agua del reactivo será gratuitamente la interferencia. Todas las referencias al agua en el método se refieren al reactivo agua a menos que se especifique lo contrario. Referenciar el capítulo 1 para la definición del reactivo agua.
- c) Ácido nítrico (HNO_3). El ácido debe ser analizado para determinar el nivel de impureza. Si el blanco es $< \text{MDL}$., el ácido puede ser usado.
- d) Ácido clorhídrico (concentrado, HCl). El ácido debe ser analizado para determinar el nivel de impurezas, Si el blanco es $< \text{MDL}$, el ácido puede ser usado.
- e) Peroxido de hidrógeno (30%) H_2O_2 . El oxidante debe ser analizado para determinar los niveles de impurezas. Si el blanco es $< \text{MDL}$, el peroxido puede ser usado.

Preservación de la muestra, colección y manejo.

- Todas las muestras deben ser colectadas usando un plan de muestreo que se indica en las consideraciones del capítulo 9.
- Todos los contenedores de las muestras deben demostrar que se encuentran libres de contaminación o que se reportan bajo los límites.
- Las muestras no acuosas deber ser puestas bajo refrigeración y deben ser analizadas tan pronto sea posible.
- Puede ser difícil obtener una muestra con materiales húmedos o lodosos. Las muestras húmedas deben secarse, romperse y puestas en sub-muestras tanto tiempo como para que el secado no afecte la extracción del análisis de interés de la muestra.

Procedimiento.

1. Mezclar la muestra hasta llegar a la homogeneidad. Todo equipo usado para la homogeneidad debe ser limpiado según las normas de control de calidad de la sección 6.0 para minimizar las posibilidades de contaminación. Para cada proceso de digestión el peso debe acercarse a los 0.01 g y transferir la muestra a los recipientes de digestión 1-2 g de muestra cuando es húmedo o 1 g cuando es seca. Para muestras con alto contenido líquido, una muestra de tamaño grande podría ser usada a lo largo de la digestión hasta que se complete.

Nota: Todos los pasos que requieren el uso de ácidos deben ser efectuados bajo una campana de humo por el personal apropiadamente entrenado usando a el equipo de seguridad del laboratorio.

2. Para las digestiones de las muestras por análisis de GFAA o ICP-MS, adherir 10 ml de HNO_3 1:1, mezclarlo y cubrirlo con un vidrio de reloj o un dispositivo que recobre el vapor. Caliente la muestra a $95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ y reflujar por 10 a 15 minutos sin hervir. Después de que la muestra se enfría, adherir 5 mL de HNO_3 concentrado, quitar la cubierta y refluir por 30 minutos. Si se generan fumarolas color café, esto indican oxidación de la muestra por HNO_3 , repetir este paso (adhiriéndole 5 mL de HNO_3 concentrado) una y otra vez, hasta que ya no aparezcan las fumarolas café, cuando no se presentan nos indican que se ha completado la reacción con HNO_3 . Usando el vidrio de reloj u otro dispositivo de recuperación de vapor, dejar que la solución se evapore por aproximadamente 5 mL sin que hierva o calentar la muestra a $95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ sin que hierva durante 2 horas. Mantener cubierta la solución sobre la parte de arriba del recipiente todo el tiempo.

2.1 Después de que el paso 2) haya sido completado y la muestra se haya enfriado, adherir 2 mL de agua y 3 mL de H_2O_2 al 30%. Cubra el envase con el vidrio de reloj y regrese el envase cubierto a la fuente de calor para calentamiento y que empiece la reacción del peróxido. Se deben de tomar las precauciones para que no ocurran pérdidas debido a la excesiva efervescencia.

2.2 Continué adhiriendo H_2O_2 al 30% en alícuotas de 1 mL calentando el recipiente hasta que la efervescencia sea mínima o hasta que la efervescencia que aparezca no cambie.

2.3 Cubrir la muestra con el vidrio de reloj y continúe calentando la digestión de ácido-peróxido hasta que el volumen se haya reducido a aproximadamente 5 mL o se caliente a $95^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ sin hervir durante 2 horas. Mantener la cubierta de la solución sobre la parte alta del recipiente durante todo el tiempo.

- 2.4 Después de enfriar. Diluirlo a 100 mL con agua. Las partículas en la digestión deben ser removidas por filtración. La muestra esta lista para ser analizada por GFAA o ICP-MS. Para la filtración filtre con papel Whatman No 41 o equivalente.
- 3 Para el análisis de FLAA o ICP-AESm adherir 10 mL de HCl concentrado a la muestra digestiva desde el punto 7.2.3 y cubrirla con un vidrio de reloj. Colocar el recipiente en una fuente de calor y refluir a $95^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos.
 - 4 Filtre la digestión a través del papel filtro No41 o equivalente y colocar la filtración a 100 mL en un embudo volumétrico. Hacer que el embudo se analice por FLAA.
 - 5 Adherir 2.5 ml de HNO_3 y 10 ml de HCl a una muestra de 1-2 g (muestra húmeda) o 1 g (muestra seca) y cubrirla con un vidrio de reloj. Colocar la muestra en la fuente de calor y refluir durante 15 minutos.
 - 5.1 Filtrar la digestión a través de papel filtro Whatman No41 o equivalente y colocar lo filtrado en un matraz de 100 mL. Lavar el papel filtro mientras este todavía en el matraz con no más de 5 mL de HCl caliente ($\sim 95^{\circ}\text{C}$), después con 20 mL de agua caliente usada como reactivo ($\sim 95^{\circ}\text{C}$).

Cálculos

- Las concentraciones determinadas son reportadas en base al peso actual de la muestra. Si se desea un análisis de peso seco, entonces el porcentaje de sólidos de la muestra debe también ser proporcionado.
- Si se desea el porcentaje de sólidos, una determinación separada del porcentaje de sólidos debe ser preparado en una muestra de alícuota homogénea.

Control de Calidad.

- Todas las normas de calidad descritas en el capítulo uno deben ser seguidas.
- Por cada serie de muestras procesadas, un método de blanco debe ser llevado a través de la entera preparación y el proceso analítico de acuerdo a lo descrito en el capítulo uno.
- El duplicado de la muestra debe ser usado para determinar la precisión y el sesgo.
- Limitaciones para el proceso de digestión por FLAA y ICP-AES. El análisis debe ser advertido que el rango sobrepase el límite para la plata, bario, plomo, y antimonio podría ser excedido en algunas muestras. Si hay alguna razón. Si hay alguna

posibilidad razonable para que este rango pueda ser excedido, o si el análisis de la muestra excede la limite permisible, una pequeña muestra debe ser tomada a través del proceso entero y re-analizada para determinar si los limites permisibles han sido excedidos. Los rangos de los límites permisibles para una muestra de 2g se enlistan a continuación:

Ag	2,000 mg/kg
As	1,000,000 mg/kg
Ba	2,500 mg/kg
Be	1,000,000 mg/kg
Cd	1,000,000 mg/kg
Co	1,000,000 mg/kg
Cr	1,000,000 mg/kg
Cu	1,000,000 mg/kg
Mo	1,000,000 mg/kg
Ni	1,000,000 mg/kg
Pb	200,000 mg/kg
Sb	200,000 mg/kg
Se	1,000,000 mg/kg
Tl	1,000,000 mg/kg
V	1,000,000 mg/kg
Zn	1,000,000 mg/kg

Tabla 2.3

Presentación del método

En un laboratorio sencillo, las muestras de 3 matrices presentadas en la tabla 2 fue obtenida usando los procesos de digestión. Analizados anteriormente por análisis de absorción atómica espectroscópica por flama. Las muestras fueron analizadas por duplicado. Las tablas 3-5 representan los resultados de los análisis de NIST (siglas en inglés) referencias estándares de los materiales que fueron obtenidos usando ambos presión atmosférica en la técnica de microondas y procesos de digestión de plato caliente.

2.2.1 EPA 3051. Microondas ayudadas por digestión de ácidos de sedimentos lodo, tierra y aceites.*Campo y aplicación.*

Este método es aplicable a las microondas ayudadas por digestión de ácidos de lodos, sedimentos, tierra y aceites para los siguientes elementos:

Acero	Boro	Cobre	Mercurio	Potasio
Aluminio	Cadmio	Estroncio	Molibdeno	Sodio
Antimonio	Calcio	Hierro	Niquel	Talio
Arsenico	Cloro	Magnesio	Plata	Vanadio
Bario	Cobalto	Manganeso	Plomo	Zinc
Berilio				

Tabla 2.4

Este método se usa como una alternativa al Método 3050. Se intenta proveer una rápida *ácido multi elementos lixiviando una digestión previa al análisis* haciendo que esta decisión pueda ser hecha a niveles de limpieza, la necesidad para una prueba TCLP de un desperdicio y si un proceso BDAT es proveído de manera aceptable. Si una descomposición que incluye ácido clorhídrico es requerida para ciertos elementos, se recomienda que se use el método de 3050A. La digestión producida por el método es aceptable para el análisis por flama de absorción atómica (FLAA), por medio de absorción atómica con horno de grafito (GFAA), la inducción de la unión de la emisión de plasma espectroscópico (ICP-ES) y la inducción de la unión de la masa de plasma espectroscópica (ICP-MS).

Debido al rápido avance en la tecnología de microondas, consulte las recomendaciones en el instructivo del fabricante.

Resumen del método.

Una muestra representativo de mas de 0.5 g es digerida en 10 mL de una concentración de ácido nítrico por 10 minutos usando calor de microondas con una unidad de microondas de laboratorio adecuada. La muestra y el ácido son colocados en un recipiente de fluorocarbono en el microondas. El recipiente se cierra y calienta en la unidad de microondas. Después de enfriarlo, el contenido del recipiente es filtrado, centrifugado, o se coloca en reposo y después es diluido el volumen y analizado por el método apropiado SW - 846.

Interferencias.

Muchos reactivos o materiales volátiles que puedan crear altas presiones cuando el calor pueda causar ventilación en los recipientes con pérdidas potenciales de la muestra y del análisis. La completa descomposición de tanto los carbonatos, o el carbón basado en las muestras, puede causar suficiente presión al ventilar el recipiente si el tamaño de la muestra es mayor que 0.25 g cuando es usado en los recipientes de 120 mL con un dispositivo de alivio de presión, el cual tiene un límite que oscila entre las 7.5 +/- 0.7 atm (110 +/- 10 Psi).

Aparatos y materiales.

- Requerimientos del aparato de microondas.
 - La unidad de microondas provee una fuente de poder programable con un mínimo de 574 W y puede ser programado con un $\pm 10W$ de los que se requiere la fuente de poder.
 - La cavidad de la unidad de microondas es resistente a la corrosión tan bien como la ventilación.
 - Toda la electrónica esta protegida contra la corrosión para una operación segura.
 - El sistema requiere de recipientes de digestión Teflón PFA (Con una capacidad de 120 mL) capaz de mantener la presión entre las 7.5 ± 0.7 atm (110 +/- 10 Psi).
 - El plato giratorio es empleado para asegurar la distribución homogénea de la radiación de las microondas dentro de la unidad. La rapidez del plato debe ser de un mínimo de 3 rpm.
- Polímeros volumétricos se usan en plásticos (Teflon o Polietilenos) de 50 o 100 mL de capacidad.
- Papel de filtro Whatman de N° 41.
- Filtro de polipropano.
- Balance analítico, 300 g de capacidad, y un mínimo de ± 0.001 g.

Se recomienda que se tengan las siguientes precauciones:

Estos laboratorios ahora usan o contemplan el uso de artículos de cocina tipo ollas de microondas para este método debe de tomarse en cuenta significativamente la seguridad. Primero, cuando un ácido como el nítrico es usado para asistir la digestión en la muestra en las unidades de microondas en recipientes abiertos, o recipientes cerrados equipados con ventilación, puede haber la posibilidad de que los gases se liberen corroyendo la seguridad del aparato que provee el magnetrón del microondas apagándolo cuando la puerta se encuentra abierta. Esto puede dar como resultado que el operador sea expuesto a la energía de

microondas. El uso de una unidad con aparatos de seguridad con resistencia a la corrosión previene que esto ocurra.

La segunda medida de seguridad relativo al uso de contenedores sellados sin una válvula de presión de liberación en la unidad. La temperatura es una importante variable que controla la reacción. La presión es necesaria para atender elevadas temperaturas pero debe de ser segura. De todos modos, muchos recipientes de digestión construidos por Teflones pueden romperse, quemarse, o explotar en la unidad debajo de ciertas presiones. Solo los contenedores de PFA Teflón con mecanismo para liberar la presión son considerados como aceptables actualmente.

Por lo tanto a los usuarios no se les recomienda usar artículos de cocinas tipo ollas de microondas o contenedores sellados sin válvulas de alivio de presión para microondas por digestión de ácidos por este método. Usar equipo de microondas con grado de laboratorio se requiere para prevenir la seguridad. Para algún otro detalle consultar la referencia 2.

Reactivos.

- Todo los ácidos debe de ser sub-ebullidos destilados donde sea posible minimizar los niveles de blanco así como la contaminación metálica. En otro grado pueden ser usados, proveyendo que la primera determinación que el reactivo sea lo suficientemente puro que permita que se use sin una menor cantidad de lo determinado. Si la pureza del reactivo es cuestionable, analizar el reactivo para determinar el nivel de impureza. El reactivo blanco debe ser menor que el MDL para ser usado.
- Ácido nítrico concentrado, HNO_3 . El ácido debe ser analizado para
- determinar los niveles de impurezas. Si el método de blanco es menor que el MDL, el ácido puede ser usado
- El agua como re agente. El agua como re agente podría ser un interferente gratis. Todas lo referente al agua indica que se considerará como un re agente a menos que haya otra especificación que diga lo contrario.

Colección de la muestra, preservación y el manejo.

- Todas la muestra deben de ser colectadas usando un simple plan de muestreo que se indica en las consideraciones del capítulo 9.
- Todas los contenedores de las muestras deben de ser pre lavadas con detergentes, ácidos y agua. Tanto los contenedores de plástico y vidrio se pueden usar de igual manera durante los procesos.
- Las muestras deben de ser refrigeradas en recipientes y analizados tan pronto como sea posible.

Procesos.

- Calibración del equipo de microondas.

Las medidas de la fuente de poder por calor es evaluada así como el poder absoluto en watts puede ser transferida desde una unidad de microondas a otra. Para el tipo de cavidad en el equipo de microondas, esto se consigue por la medición de la temperatura que se eleva en un kg de agua expuesta a la radiación del microondas por un periodo determinado de tiempo. El análisis puede relacionar a la fuente de poder en Watts al preparar esta fuente de la unidad. El formato de calibración requiere del laboratorio la unidad de microondas dependiendo del tipo de sistema electrónico usado por la producción al proveer de forma parcial el poder del microondas. Pocas unidades tienen un actualizado y preciso relación lineal entre la preparación del porcentaje de poder y la absorción del poder. Donde circuitos lineales han sido utilizados, la curva de calibración puede ser determinada por un método de calibración de tres-puntos, de lo contrario, el análisis debe usar el método de calibración del punto múltiple.

La calibración de múltiples puntos envuelve la medición de la absorción de poder sobre un rango muy largo en la preparación del poder. Típicamente, para una unidad de 60W, los siguientes niveles de medición son medidos: 100, 99, 98, 97, 95, 90, 80, 70, 50, 60, 50 y 40 . Estos datos son agrupados de la forma tradicional de trabajo de los rangos del poder. La no linealidad ha sido comúnmente encontrada en la parte final de la calibración. Si la electrónica de la unidad se conoce que tiene desviaciones no lineales en cualquier región del control proporcional de poder, será necesario que se haga una preparación de las mediciones que catalogue el poder que es usado. El punto de calibración final debe estar en una posición parcial del poder que sera usado como prueba. Esta sección debe ser revisada periódicamente al evaluar la integridad de la calibración. Si un cambio significativo es detectado ($\pm 10 W$), entonces la entera calibración debe ser reevaluada.

La calibración de tres puntos envuelve la medición de la absorción de poder a tres preparaciones diferentes de poder. La medida del poder a 100% y 50% usando el proceso que se describe en la sección 7.1.4. Desde la línea de 2-puntos calcular la preparación del poder correspondiente al requerido en Watts especificado en el proceso. Medir la absorción de poder en ese punto parcial. Si la medición del poder de absorción no corresponde a el especificado dentro de $\pm 10W$, use la calibración de puntos múltiples en 7.1.2. Este punto debe también ser usado periódicamente para verificar la integridad de la calibración.

Equilibrar un volumen grande de agua a una temperatura de $(23 \pm 2 ^\circ C)$
Un kilogramo de reactivo del agua es pesado $(1,000.0 g \pm 0.1 g)$ dentro de un vaso de precipitados de Teflón o un vaso fabricado de algún otro material que no absorba significativamente la energía de microondas (El vaso absorbe la energía de microondas y no es

recomendado). La temperatura inicial del agua debe de ser de 23 ± 2 °C medidos a ± 0.05 °C. El contenido del vaso es circulado continuamente (en el grupo de muestreo normal) a través del campo de microondas durante dos minutos al nivel de poder deseado con la unidad al máximo (como será en las operaciones normales). El vaso es removido y el agua vigorosamente quitada. Use una barra magnética insertada inmediatamente después de la irradiación de las microondas y grabe la temperatura máxima dentro de los 30 segundos a ± 0.005 °C. Use una nueva muestra para cada medición adicional. Si el agua es re usada tanto el como el vaso deber estar regresando a 23 ± 2 °C. Tres mediciones de cada preparación de poder deben de ser hechas.

La absorción de poder es determinada por la siguiente relación:

Eq. 1

P = la aparente absorción de poder por la muestra en Watts. (W) (W = joule sec)

K = El factor de conversión para termoquímicas calorías seg -1 a Watts (=4.184)

Cp = la capacidad de calor, la capacidad termal o el calor específico. (cal g-1 c-1) de agua. m

= la masa de la muestra de agua en gramos (g)

DT = la temperatura final menos la temperatura inicial (°C)

t = el tiempo en segundos (s)

Usando la condición experimental cada dos minutos y 1 kilogramo de agua destilada (capacidad calorífica a 25°C es 0.9997 cal g-1 °C -1) la ecuación de calibración se simplifica a

$$P = (DT) (34.85)$$

Nota: El voltaje lineal estable es necesario para la precisión y reproducción de calibración y operación. El voltaje lineal debe ser dentro de las especificaciones de manufactura, y durante la manufactura y operación no debe variar más de $\pm 2V$. Una constante de poder puede ser necesaria para el uso del microondas si la fuente de la línea de voltaje es inestable.

Los componentes electrónicos en más unidades de microondas son comparadas a la función de las unidades y las que están fuera. Cuando cualquier parte del circuito de alto voltaje , de la fuente de poder, o de los componentes de control en la unidad han sido puestos en servicio o reemplazados, esto será necesario para re checar la unidades de calibración. Si el poder fuera ha cambiado significativamente ($\pm 10 W$) entonces la calibración total debe ser re evaluada.

- Todos los recipientes de digestión y volumétricos usados deber ser cuidadosamente lavados con ácido y re enjuagados con re agentes de agua. Cuando el cambio entre muestras de altas concentraciones y bajas , todos los recipientes de digestión deben ser limpiados por una lechada de ácido clorhídrico caliente (1:1) por un mínimo de 2 horas

seguidos de ácido nítrico caliente (1:1) por otro mínimo de 2 horas y enjuagar con reagentes de agua y secar en un ambiente limpio. Este proceso de limpieza debe también ser usado antes de que sean usados los recipientes de digestión o cuando se piense que los recipientes se encuentran contaminados. Polimeros volumétricos usados y los contenedores de almacenamiento deber de ser limpiados por una lechada con más ácido diluido apropiado pro los plásticos especificados usados y después enjuagarlos con reagentes de agua y secarlos en un ambiente limpio.

• **Muestra digestiva.**

- El peso del recipiente digestivo de Teflón PFA, la válvula y en ensamble antes de ser usado a 0.001 g.
- El peso de una buena mezcla de la muestra cerca de los 0.001 g dentro del equipo del recipiente de Teflón PFA con una tapa sencilla y una válvula de alivio. Para tierra, sedimentos y lodos se usa no más de 0.500 g. Para aceites use no más de 0.250 g.
- Agregar 10 ± 0.0 mL de ácido nítrico concentrado en una cubierta de gases. Si una reacción vigorosa ocurre, aceptar la reacción al detenerse antes de taparse los recipientes. La tapa del recipiente y el torque de la tapa a 12 ft-lb (16 N-m) de acuerdo a las direcciones de la unidad manufacturera. La muestras de los recipientes pueden estar conectados a un recipiente en sobre flujo usando las conexiones de los tubos de Teflón PFA. El peso de los recipientes se acerca a 0.001 g. Colocar los recipientes en le carusel de microondas. Conectar los recipientes en sobre flujo a el centro de la unidad.

PRECAUCIÓN: Cuando las muestras digestivas contienen materiales volátiles o fácilmente oxidables compuestos orgánicos, inicialmente pesa no más de 0.10 g y observa la reacción antes de tapar el recipiente. Si una reacción vigorosa ocurre, permitir que la reacción cese antes de tapar el recipiente. Si no se aprecia que ocurra una reacción, una muestra de peso por arriba de los 0.25g puede ser usada.

- Colocar el recipiente eventualmente distribuido en la torna mesa del microondas usando grupos de 2 recipientes de muestreo a 6. Cualquier recipiente contiene 10mL de ácido nítrico para analizar los blancos como propósito están contados como recipientes de muestreo. Cuando menos que el número de muestras recomendadas serán digestivas, i.e., 3 muestras mas 1 en blanco, los recipientes faltantes deben de ser llenados con 10 mL de ácido nítrico para alcanzar el llenado completo de los recipientes. Esto proporciona un balance de energía desde el poder de absorción del microondas es proporcional a la masa total en la cavidad.(Ref 4) Irradiando cada grupo de 2 muestras a 334 W por 10 minutos y cada grupo debe incrementar a 175 °C en menos de 5.5 minutos y los faltantes

entre 170-180 °C para el balance del periodo de radiación de 10 minutos. La presión máxima debe ser menor a 6 atm para la muestras de lodo, tierra y sedimentos. La presión excederá esos límites en caso de altas concentraciones de carbonatos o componentes orgánicos. En estos casos la presión será limitada por la presión de alivio del recipiente a 7.5 +/- 0.7 atm (110 +/- 10 psi).

- Los unidades mas nuevas pueden ser capaces de un alto poder (W) que permita la digestión de un número grande de muestras por grupo. Si los deseos del analista de digerir más que dos o seis muestras a la vez, puede usar diferentes valores de poder tan largo como sus resultados en el mismo tiempo y temperatura según las condiciones definidas en 7.3.4. Esto es, cualquier secuencia de poder que traiga la muestra a 175 °C in 5.5 minutos y permita un incremento lento a 175-180°C durante el tiempo restante de 4.5 minutos.
- Capítulos de seguridad, estructura integral (ambas limitaciones de temperatura y presión), pérdida de calor, compatibilidad química, absorción de microondas de los materiales del recipiente, y la energía del transporte serán consideraciones hechas en escoger recipientes alternativos. Si todas las consideraciones están juntas y con el poder al apropiado nivel provee la reproducción la las condiciones de reacción definidas en 7.3.4 entonces estos recipientes alternativos deben ser usados. (Ref 1.2).
- Al final del programa de microondas, permiten los recipientes enfriar por un mínimo de 5 minutos antes de removerlos de la unidad de microondas. Cuando los recipientes están enfriados a la temperatura del cuarto, pesar y anotar el peso de cada recipiente ensamblado. Si el peso del ácido más la muestra ha decrecido por más del 10 por ciento del peso original, descartar la muestra. Determine la razón por la que perdió peso. Esto se le atribuye típicamente a la perdida integral del sello del recipiente, el uso de una digestión con un tiempo mayor a los 10 minutos, demasiado tiempo, o condiciones de calor impropias. Una vez que la fuente de las pérdidas ha sido corregida, preparar una muestra nueva o prepararlas como el inicio de la digestión en 7.3.1.
- Completar la preparación de la muestra cuidadosamente destape y ventile cada recipiente en una capucha de gases. Transfiera las muestra a una botella de polietileno con ácido limpiador. Si la digestión de la muestra contiene particular las cuales puedan obstruir el nebulizador o interfiera con la inyección de la muestra dentro de los instrumentos, la muestra puede ser centrifugada, admitiendo asentarse o filtrarse.

- Centrifugación: centrifugación a 2,000 - 3,000 rpm por 10 minutos es usualmente suficiente para limpiar el supernatant.
- Asentarse : Permitir a la muestra mantenerse hasta que el supernatant este limpio.
- Filtrado: El aparato de filtrado debe mantenerse limpio y pre enjuagarse con ácido nítrico diluido. Filtrar la muestra a través del papel filtro cualitativo dentro de un segundo contenedor con ácido limpiador.
- Diluir la digestión a un volumen conocido asegurándose que las muestras y los estándares concuerden. La digestión se encuentra lista para que los elementos de interés sean analizados usando el apropiado método SW-846.
- Cálculos: Las concentraciones determinadas serán reportadas en base al peso actual de la muestra original.

Control de Calidad.

- Todos los datos del control de calidad debe ser mantenido y avalado por las referencias o inspecciones por un periodo de 3 años. Este método se restringe a ser usado o que se encuentre bajo supervisión de analistas expertos.
- Las muestras por duplicado deben ser procesadas sobre una rutina base. Una muestra por duplicado es una muestra que es traída a través de la preparación total y el proceso analítico. Una muestra por duplicado debe ser procesada con cada grupo analítico o por cada 20 muestras, el cual es el número mas grande. Una muestra por duplicado debe ser preparada por cada tipo de matriz. (i.e. tierra, lodo, etc).

Funciones del método.

Precisión: La precisión en los datos para el método 3051, como la determinación para la examinación estática de los resultados de las pruebas interlaboratorio, están localizadas en la tabla 1 y 2.

Repetibilidad: Si los resultados sucesivos son obtenidos por el mismo análisis con el mismo aparato bajo condiciones constantes de operación sobre pruebas de material idénticas, entonces no habrá diferencia entre estos resultados sucesivos, con 95% de probabilidad, excediendo el valor repetitivo. Por ejemplo, en el caso del plomo, un porcentaje de solo 1 caso en 20 podrían exceder:

$$0.206 x$$

en una corrida larga, donde x es uno de los resultados en $\mu\text{g/g}$.

Reproductibilidad: Si 2 medidas exitosas son hechas de manera independiente por cada 2 diferentes análisis trabajados en diferentes laboratorios sobre pruebas de material idénticas, entonces no habrá diferencia entre los resultados promedio para cada análisis, con 95% de

probabilidad, excediendo el valor de reproductibilidad. Por ejemplo, en el caso del plomo, un porcentaje de solo un caso en 20 posibles excesos.

$$0.303 x$$

en una corrida larga, donde x es el porcentaje de 2 medidas exitosas en $\mu\text{g/g}$.

Como se puede observar en la tabla 1, repetitibilidad y reproductibilidad difieren entre los elementos, y usualmente dependen de la concentración de los elementos. La tabla 2 provee un ejemplo de cómo los usuarios de el método pueden determinar los valores esperados por la repetitibilidad y la reproductibilidad; valores nominales de plomo han sido usados por este modelo.

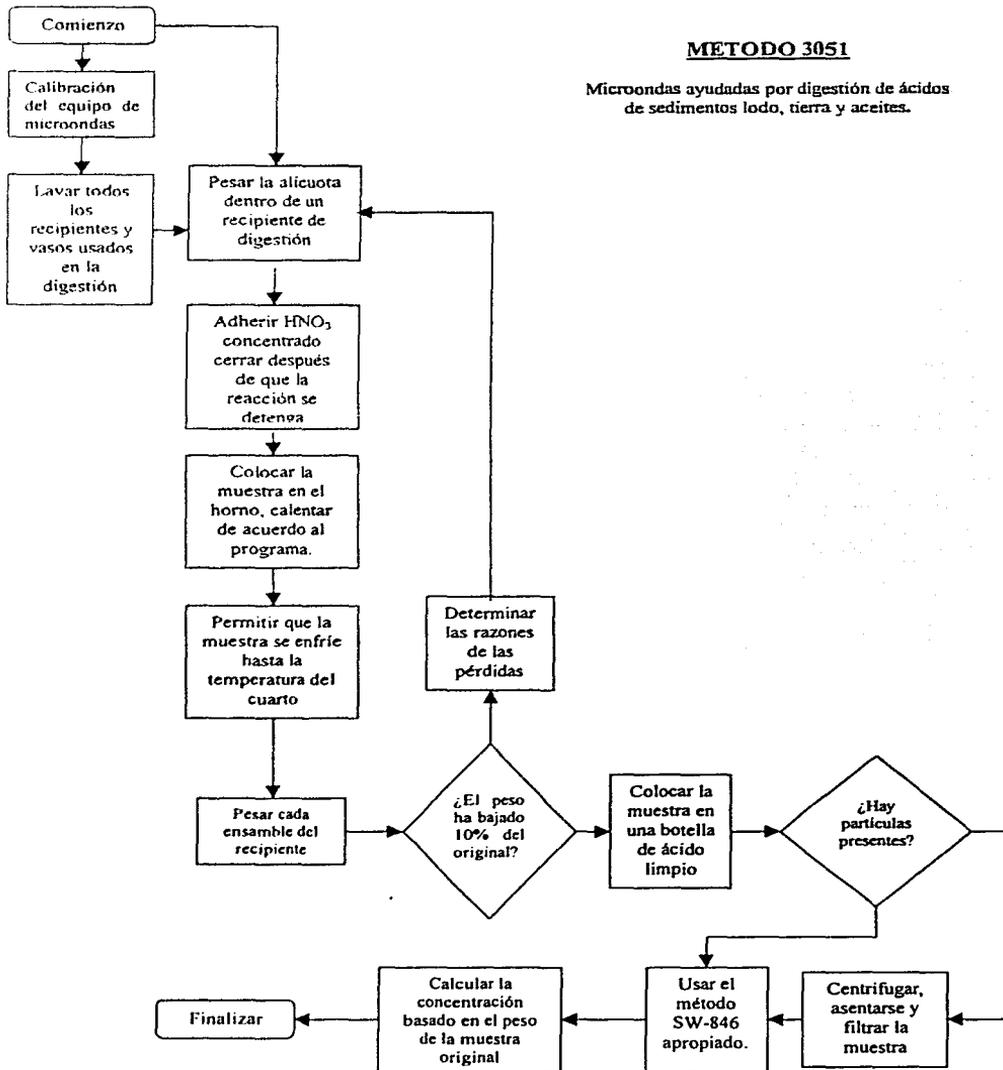
Sesgo: En el caso de SRM 1085 – usando metales en aceite, el sesgo de este método de prueba es diferente en cada elemento. Un estimado del sesgo, como se muestra en la tabla 3, es:

$$\text{Sesgo} = \text{cantidad encontrada} - \text{cantidad esperada.}$$

De todas formas, la estimación del sesgo hereda ambos la incertidumbre en las medidas hechas usando el método 3051 y la incertidumbre sobre lo certificado, entonces si el sesgo es real o solo debido al error en la medida debe ser solo considerada. Las concentraciones encontradas para Al, Cr y Cu usadas en el método 3051 caen dentro de los rangos certificados en SRM 1085, y 95% de las intervalos confidentes para Fe y Ni traslapar con sus respectivos rangos certificados; por lo tanto, los sesgos observados por estos elementos son probablemente debido a la oportunidad y debe ser considerado insignificante. Los sesgos no deben ser estimados como todos por Ag y Pb debido a que estos elementos no son certificados. Por lo tanto, de solo 2 elementos considerados en esta tabla la cual estima el sesgo son significantes Mg y Mo.

METODO 3051

Microondas ayudadas por digestión de ácidos de sedimentos lodo, tierra y aceites.



2.3 Técnicas analíticas.

2.3.1 Absorción atómica.

A continuación se verá la forma en que la interacción de la luz o radiación ultravioleta con átomos gaseosos pueden emplearse en análisis químico. Aquí se presentarán dos métodos analíticos de un vasto número de ellos que se basan en la excitación de los átomos gaseosos. Puesto que en ambos métodos se mide la radiación, ambos son tipos de espectrometría.

Los dos métodos espectrométricos son la espectrometría de emisión de llama y la espectrometría de absorción atómica. La espectrometría de emisión de llama inicialmente recibió el nombre de fotometría de flama y aún se sigue empleando este nombre en mucha de la literatura. El método se basa en la medición de la cantidad de radiación que emiten los átomos en una llama. Se emplea bastante en laboratorios clínicos para la determinación de los iones de sodio y potasio en líquidos corporales.

La espectrometría de absorción atómica es un método más reciente, y también es un método más general para la determinación de iones metálicos que la espectrometría de emisión de llama. No es aplicable a la determinación de los iones de los metales alcalinos tales como el sodio y el potasio. Se basa en la medición de la cantidad de radiación que absorben los átomos gaseosos generalmente, aunque no siempre, en una llama.

Procesos de excitación y emisión en los átomos.

Antes de empezar con el estudio de ambos métodos estudiaremos brevemente los procesos de excitación y emisión en los átomos. Debido a que la determinación de los iones de sodio es importante y es un análisis que se usa comúnmente, a continuación se describirá la excitación y emisión de los átomos de sodio.

Eventos que tienen lugar en una llama

Como la espectrometría de emisión de llama y la absorción atómica suelen involucrar pulverización o atomización de una muestra acuosa en una llama antes del análisis, se describirá la secuencia completa de eventos que tiene lugar en una llama para ambos métodos. Como ejemplo supondremos que una solución de cloruro de sodio se coloca en un atomizador debajo de la flama, teniendo por consiguiente los siguientes eventos:

1. La solución de cloruro de sodio se pulveriza dentro de la llama en forma de gotitas diminutas.
2. El agua se evapora, dejando una suspensión fina de cloruro de sodio sólido.

3. El cloruro de sodio sólido se evapora parcialmente produciendo átomos de sodio gaseosos y átomos de cloro gaseoso.
4. Parte de los átomos de sodio se ionizan y forman sólidos.
5. a. Parte de los átomos de sodio se excitan térmicamente al estado excitado.
b. En la espectrometría de absorción atómica, parte de los átomos de sodio absorben fotones a fin de alcanzar el estado excitado.
6. Los átomos de sodio excitados emiten fotones o calor y vuelven al estado basal.

Espectrometría de emisión de llama.

A continuación se hará referencia a la espectrometría de emisión de llama, que pese a que no es el método que se usa en esta tesis, vale la pena hacer mención de ella, puesto que es un método que va de la mano en todos los libros con absorción atómica.

Conocida anteriormente como fotometría de llama es la medición instrumental de la cantidad de radiación que emiten los átomos excitados en una llama. En la actualidad es uno de los métodos más generales, debido a que se ha observado que las llamas excitan a los átomos, esencialmente de todos los metales, incluso los de las tierras raras. Al mismo tiempo, pueden emplearse con instrumentación muy sencilla para miles de determinaciones rápidas diarias de rutina de sodio y de potasio en los laboratorios clínicos.

El instrumento que se utiliza para medir la cantidad de emisión generalmente se conoce como espectrómetro de emisión atómica de llama. El espectrómetro consta de un nebulizador, un mechero y dos gases, un monocromador, un sistema detector y un dispositivo de lectura. La muestra se atomiza mediante el nebulizador dentro del mechero, llega a la llama, se atomiza y se excita. La emisión de los átomos excitados pasa hacia el monocromador donde se selecciona la longitud de onda adecuada para la medición. La intensidad de esta longitud de onda emitida se mide mediante el sistema de detección y las unidades de intensidad aparecen en el medidor de lectura.

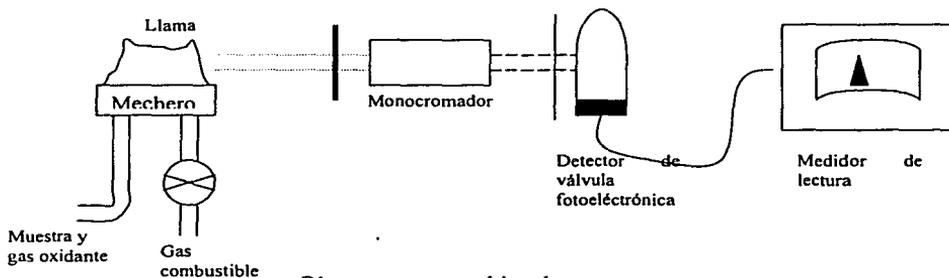


Diagrama esquemático de un espectrómetro de emisión de llama

Espectrometría de absorción atómica

La espectrometría de absorción atómica es la medición instrumental de la cantidad de radiación que absorben los átomos no excitados en estado gaseoso. Al igual que la espectrometría de emisión de llama, la absorción atómica es uno de los métodos generales de análisis debido a que los átomos de todos los metales, y de algunos no metales, absorben radiación en estado gaseoso. También puede emplearse con un manipuleo especial de la muestra para la determinación de trazas de mercurio en pescado y otros alimentos.

El instrumento que se emplea para medir la cantidad de absorción se conoce con el nombre de espectrómetro de absorción atómica. Existen dos tipos muy distintos de espectrómetros con llama y sin llama. Por el momento se estudiará el espectrómetro con llama, más adelante haremos mención de cómo funciona el de sin llama.

El espectrómetro de absorción atómica de llama consta de un sistema quemador de premezclado, una fuente de radiación, un monocrómador, un sistema detector y un dispositivo de lectura. La mezcla se atomiza en gotas finas mediante el nebulizador en el mechero y barrido al interior de la llama donde absorben parte de la radiación de la fuente. La radiación restante de la fuente pasa al monocrómador donde se selecciona la longitud de onda adecuada para la medición. El poder radiante de la radiación transmitida se mide mediante el sistema detector y la cantidad de radiación absorbida es indicada en unidades de absorbencia en el medidor de lectura. A continuación se estudia con más detalle cada componente.

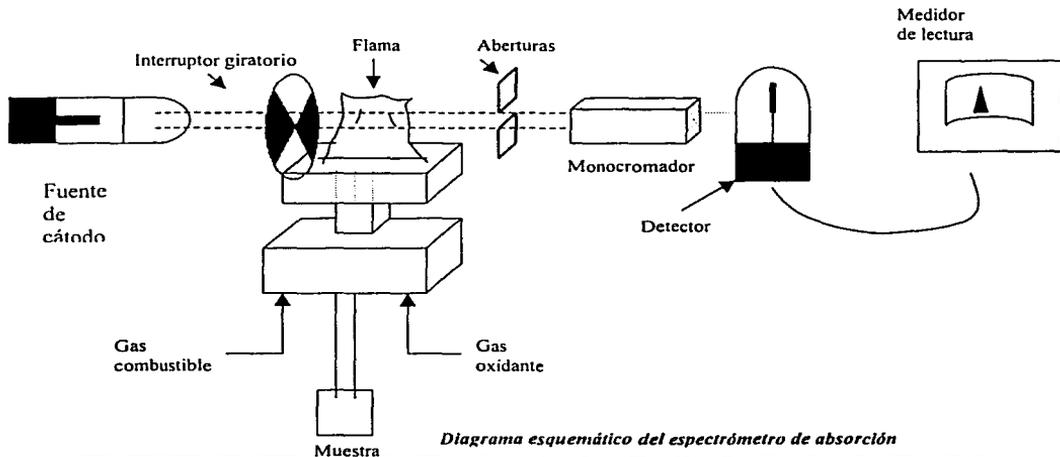


Diagrama esquemático del espectrómetro de absorción

*Instrumentación**Fuente de cátodo perforado:*

La fuente de luz que se requiere para realizar el análisis es la lámpara de cátodo perforado, la razón por la cual usamos esta lámpara se debe a que los átomos de los metales que van a ser probados se encuentran dentro de la lámpara, y cuando la lámpara esta encendida, estos átomos se les proporciona energía la cual causa que ellos eleven su estado al de excitación. Las longitudes de onda que emite la lámpara para excitar los átomos analizados son con la energía exacta para poderlos llevar a estado requerido (de excitación) . Por dicha razón todos los laboratorios cuentan con diferentes lámparas para poder analizar los distintos metales, aunque existen lámparas multi-elementos, las cuales pueden analizar diferentes metales con la misma lámpara.

El mecanismo del proceso de excitación en la lámpara es de nuestro interés, así que empezaremos con un diagrama de la típica lámpara que se usa en el análisis.

La lámpara es un vidrio sellado el cual se encuentra lleno de gas argón (o neón). Cuando la lámpara esta encendida, los átomos de argón se ionizan, con los electrones del ánodo (carga positiva +) mientras que los iones de argón Ar^+ , bombardean la superficie del cátodo (carga negativa -). Los átomos de los metales, M, en el cátodo llegan al estado de excitación y son expulsados de la superficie como resultado del bombardeo. Cuando los átomos regresan a su estado original, una línea característica del espectro se emite. Esta es la luz que va directamente a la flama, donde los átomos que no se encuentra excitados del mismo elemento absorben la radiación y entonces ellos mismos van a llegar al estado de excitación.

Flama.

Todas las flamas requieren tanto un combustible como un oxidante. Algunas compañías utilizan gas natural como combustible y aire como oxidante, la máxima temperatura para esta combinación es de 1800 K. Para lograr una atomización y una excitación mayor de los iones de metal y alcanzar una sensibilización mayor para el análisis cuantitativo, una flama más caliente es necesaria. Por tal motivo más flamas para la absorción atómica han optado por la combinación de aire-acetileno en la flama, acetileno es el combustible mientras que el aire sigue siendo el oxidante. La máxima temperatura en esta ocasión es de 2300 K. Idealmente la pura combinación entre el aire y el acetileno alcanzan una temperatura de 3100 K pero la flama se quema a una velocidad alta, lo cual decrece la integridad de la atomización y por consiguiente baja la sensibilidad. El óxido nitroso (N_2O) usado como oxidante, produce una flama con temperatura alta (2900 K) mientras se quema poco a poco (bajo rango). Sin embargo el N_2O – acetileno es poco popular. La elección de cual es la flama que se debe usar para cierto metal se toma al consultar la literatura

correspondiente, ya que se ha analizado cada metal detalladamente analizando con cual flama se detecta mejor, por lo cual los libros correspondientes al tema deben de contar con las especificaciones correspondientes.

Quemadores.

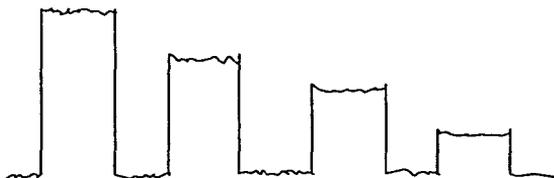
Existen dos diseños de quemadores para la flama del atomizador que son de uso común. Éstos diseños se llaman "total consumption burner" (quemador de consumo total) y el "burner premix". En el primero el combustible, oxidante y la muestra se encuentran en la base de la flama. El combustible (usualmente acetileno) y el oxidante (usualmente aire) son forzados, bajo presión, dentro de la flama, considerando que la muestra es arrastrada en la flama por la aspiración. La prisa del combustible y el oxidante a través de la cabeza del quemador crea una vacuna en la línea de la muestra y arrastra la muestra desde el contenedor dentro de la flama a un nebulizador o un efecto de mezcla.

El quemador premix es usado típicamente en absorción atómica. La muestra es nebulizada y mezclada con el combustible y el oxidante se introduce dentro de la flama, con el uso de una serie de baffles.

Componente de lectura externa:

Como con espectrometría molecular, los lectores de absorbancia y los transmisores de datos pueden consistir en un metro o un registrador o en ambos. El metro puede calibrarse en % transmisión o de absorbancia, o posiblemente ambos. Si el %T o el % de absorbancia se visualiza, entonces deben de convertirse a absorbancia antes de ser dibujado.

Si un registrador es usado, no es el espectro atómico el que es registrado, pero si se muestra la longitud de onda, y la absorbancia es registrada vs el tiempo como varias soluciones. Supongamos que una serie de estándares se registran podrían tener la apariencia mostrada en la figura siguiente



Seguridad:

Hay consideraciones de seguridad importantes con respecto al uso de equipo de Absorción atómica. Primero que todo, el combustible que es usado debe ser usualmente

acetileno. La flamabilidad del acetileno posee un problema de seguridad, como son la presencia de los productos de combustión en el laboratorio. Por esta razón,

2.3.2 Fluorescencia de Rayos - X

El espectro de emisión de rayos - X de una muestra se puede excitar por impacto electrónico o por irradiación con rayos - X. El primer método, que se aplicó en química analítica hace bastante tiempo (1939), se ha utilizado pocas veces, principalmente debido a los inconvenientes que resultan de utilizar la muestra como un anticátodo (bombeo, etc.). La irradiación de la muestra con rayos - X no presenta las dificultades asociadas a los tubos desmontables y la técnica es bastante sencilla. La radiación de fluorescencia se estudia con un espectrómetro de rayos-X (1940-45), cuyo monocromador sea un cristal plano o curvado (fig. 111). El principal problema en el diseño de obtener una resolución adecuada sin una gran disminución de la intensidad del haz difractado. Birks, Brooks y Friedman (1940) estudian varios sistemas en los que se alcanza este fin con éxito variable. Se dispone de accesorios para adaptar los espectrómetros comerciales al método de fluorescencia de rayos-X (General Electric, North American Philips. Co.)

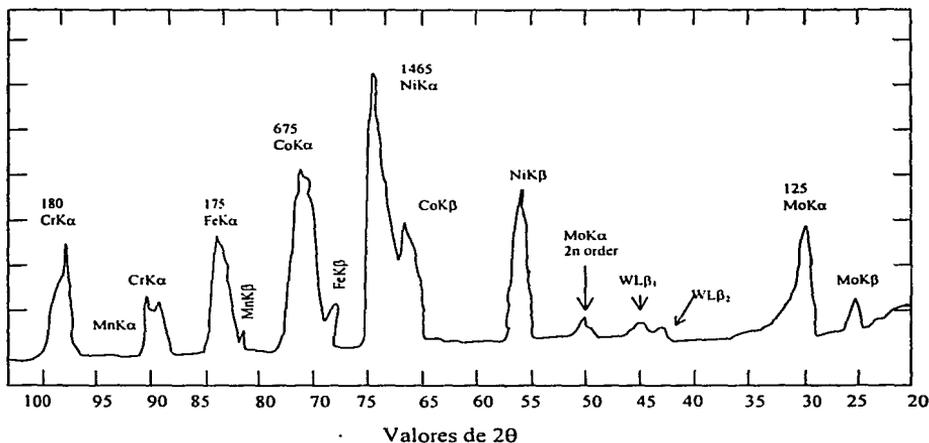


Fig. Espectrograma de fluorescencia para rayos-X de una aleación a alta temperatura.

Los elementos se identifican por el ángulo 2θ de sus líneas de fluorescencia, esto es, por las correspondientes longitudes de onda, y la cantidad de cada elemento se determina a partir de las intensidades de línea. Es esencial un calibrado con patrones que tengan una composición similar a la de la mezcla que se analiza. El porcentaje de un elemento en la muestra se calcula entonces fácilmente a partir de la relación del número de cuentas registradas por el detector en un tiempo dado para el problema y para el patrón. Se debe hacer una corrección para la radiación de fondo (ver figura 2). Se observa frecuentemente una desviación de la proporcionalidad entre la respuesta obtenida y la composición, pero se han desarrollado algunos métodos (1946-48) para superar esta dificultad. El resultado se puede obtener (1949) automáticamente, como sucede en el cuantómetro para espectrometría de emisión.

APLICACIONES.

Los métodos por rayos-X son, después de los métodos espectroscópicos, probablemente los más importantes del análisis instrumental. Tienen la característica insustituible de suministrar una información que no se puede obtener frecuentemente por otros métodos. Se pueden identificar por difracción de rayos-X los compuestos inter metálicos de una aleación, mientras que por otros métodos analíticos sólo se puede obtener el porcentaje de cada elemento; las cantidades de ciertos elementos de una muestra se pueden determinar sin la destrucción de la muestras, etc. La difracción de rayos-X encuentra más aplicaciones que los métodos de absorción o fluorescencia, pero el último método está empezando a competir con la espectroscopia de emisión de algunos análisis metalúrgicos. El coste de una instalación de difracción o fluorescencia de rayos-X es comparable al de un buen espectrógrafo de emisión y sus accesorios o al de un espectrómetro infrarrojo de registro. Sin embargo, el ahorro de manipulación, especialmente en los laboratorios industriales, compensa ampliamente el coste del equipo en los laboratorios industriales, compensa ampliamente el coste del equipo aun para un corto periodo de tiempo.

Los fotómetros de rayos-X son algo más baratos que los aparatos de difracción.

a) Métodos de absorción.

Los métodos de absorción son muy útiles en algunos casos determinados y en los ensayos no destructivos de materiales. Sin embargo, hay una tendencia a sustituir las fuentes de rayos-y por tubos de rayos-x en esta aplicación. El método de absorción da resultados exactos, y los errores pueden ser del orden de un 1 por 100, o aún menos, en trabajos cuidadosos. La absorción con radiación policromática no es selectiva, pero si lo es el método de absorción límite. La sensibilidad varía mucho con la composición de la muestra. Un elemento con un coeficiente de absorción másica grande se puede determinar en presencia de un gran exceso de

sustancias poco absorbentes. Un ejemplo limite es la determinación de calcio y fósforo en cantidades de orden de 10^{-16} gramos en los tejidos biológicos (1950). Debido a la rapidez y sencillez de las medidas, el método es ideal para trabajos de rutina y análisis continuos. Aplicaciones típicas son la determinación de plomo tetraetilo en gasolinas, azufre en petróleos, uranio en soluciones acuosas, etc.

b) Método de difracción

Los métodos de difracción se utilizan en primer lugar como métodos analíticos cualitativos, aunque también se pueden hacer determinaciones cuantitativas. Una característica muy útil de estos métodos es la posibilidad de obtener información sobre los compuestos presentes en una muestra. Hace unos años las aplicaciones consistían primordialmente en la identificación y estudio estructural de sustancias inorgánicas, pero recientemente se han investigado numerosos derivados orgánicos, altos polímeros y materiales biológicos. Se pueden estudiar frecuentemente sustancias gaseosas o líquidas a temperatura ambiente cuando se enfrían a las temperaturas del aire líquido y de esta forma se aumenta el número posible de aplicaciones.

La difracción de rayos-X es un método elegante para la determinación del tamaño de partículas pequeñas que tengan diámetros inferiores a 500 Å. Las líneas de la figura de difracción se reaparecen más anchas y más difusas cuando disminuyen el tamaño de la partícula y esto posibilita la determinación de tamaños de partículas. La interpretación de este efecto fue estudiada primeramente por Scherrer y desde entonces se han publicado muchos trabajos sobre este tema. El método del ángulo pequeño de dispersión, introducido por Guinier, resulta especialmente útil en estos estudios.

La selectividad y sensibilidad de los métodos de difracción depende mucho de la composición de la mezcla. La superposición de figuras de difracción puede limitar la aplicación a la determinación de constituyentes en pequeñas cantidades. La exactitud de más bien pequeña (5 a 10 por 100 de error) en el trabajo cuantitativo, aunque probablemente podría mejorar aplicando un método de patrón interno.

c) Métodos de fluorescencia.

El método de fluorescencia de rayos-X es un particular conveniente en los análisis de rutina de muestras cuya composición varíe dentro de estrechos límites. La aplicación está limitada a los elementos con números atómicos mayores que 20, porque las longitudes de onda en los espectros de emisión de elementos más ligeros son demasiados grandes para realizar el análisis con los espectrómetros de cristal generalmente disponibles.

El método es selectivo y bastante sensible. Se pueden determinar fácilmente elementos cuya proporción en peso supera a 1 por 100 y el método se puede aplicar a análisis de trazas en condiciones favorables (unas pocas partes por millón). La corrección de la radiación de fondo es crítica en el análisis de trazas. Los errores son pequeños (1 a 2 por 100, o aún menores) y la exactitud se puede mejorar con el uso de un patrón interno.

2.4 Selección de la metodología para determinar metales pesados en los fluidos de perforación base agua.

La norma *API RP 13K* nos habla de los metales pesados en la barita en sí, siendo este el objetivo de la norma, el de analizar los componentes de dicho material, por esta razón no nos satisface completamente, puesto que no solo necesitamos saber la cantidad de metales en la barita, sino en cualquier otro aditivo que se le añade a los fluidos del pozo, lo que es lo mismo, a los lodos de perforación, en base a esto descartamos el uso de esta norma.

En lo que se refiere a las normas EPA, 3050 y la 3051, ambas proveen un proceso de separación por medio de una digestión de ácidos, la diferencia consiste en que la primera usa para la digestión un pequeño horno que encontramos en cualquier laboratorio, mientras que la segunda usa un microondas.

La norma EPA 3051 se utiliza como un medio alternativo de la 3050, como ya mencionamos, la diferencia radica en el uso del microondas, el cual es determinante para el proceso de separación, ya que a pesar de que el resultado tiende a ser el mismo, el proceso se hace de diferente manera, debido a que el microondas hace que se omitan algunos pasos y se agreguen otros en comparación con el utilizado en la 3050.

Seleccionamos la norma 3050 debido a que en cualquier laboratorio de fluidos podemos contar con un horno, en cambio un microondas no es tan fácil de conseguir, es por esto que hacemos mención de la norma 3051, por que queremos indicar que ya hay otros métodos más fáciles, rápidos y con mayor precisión gracias al uso de la tecnología, en este caso el del microondas. Sin embargo no siempre se puede contar con estos aparatos en todo momento, por tal razón seleccionamos la norma 3050 para el desarrollo de este trabajo de tesis.

CAPITULO 3.**Introducción.**

La ciencia de la reología esta interesada en la deformación de todas las formas de la materia, pero que han tenido un gran desarrollo en el estudio del comportamiento de los fluidos, de las suspensiones en los tubos y en otros conductos. El reologista esta interesado primeramente en la relación entre la presión del fluido y de la velocidad de éste y por lo tanto en la influencia de las características de los fluidos. Existen 2 fundamentos diferentes relacionados:

En este capitulo hacemos referencia acerca de las propiedades reológicas del lodo, las cuales no influyen directamente en la detección de metales en los fluidos de perforación, pero es importante mostrar que se llevo a acabo un análisis reológico del lodo que se presenta en esta tesis.

De tal forma que en este capitulo no se analizan las propiedades reológicas, solo se presentan los resultados obtenidos de estos, puesto que lo importante en la tesis no son estas propiedades sino el contenido de metales que existen en el lodo.

3. Evaluación de los fluidos base agua inhibidos.

El análisis de datos que a continuación mostraremos, se realizó en 2 etapas diferentes, debido a que el pozo que nos proporcionaba los lodos de perforación para su análisis se encontró con problemas en la perforación del pozo, así pues, tenemos que nos mandan los primeros lodos que se perforaron desde la profundidad de 0 m hasta las 800 m de profundidad con un intervalo de 50 en 50 m., dichos lodos fueron sacados de la entrada, salida y del tornado del pozo.

La segunda etapa nos llego un mes después también con lodos a la entrada, salida y tornado del pozo, ahora se nos enviaron los lodos desde las profundidades de 850 m hasta 1650 m tratando de mantener el mismo intervalo de 50m.

3.1 Modelos reológicos.

Primero mencionaremos una pequeña introducción acerca de los modelos reológicos que usamos en la fabricación de esta tesis, para ser más específico lo referente a el modelo de Bingham y el de Ley de Potencias.

3.1.1 Modelo de Bingham.

Este tipo de fluidos es el más simple de todos los fluidos no-newtonianos, debido a que la relación entre el esfuerzo y la velocidad de corte exhibe una proporcionalidad directa, una vez que un esfuerzo inicial finito, necesario para iniciar el movimiento, ha sido excedido. A este esfuerzo inicial se le denomina punto de cedencia (τ_y), la cual forma una pendiente de la porción lineal del reograma que es conocida como coeficiente de rigidez o simplemente viscosidad plástica (η_p). Así pues el modelo de Bingham esta representado como:

$$\tau = \left(\frac{\eta_p}{g_c} \right) \gamma + \tau_y$$

donde:

$$\gamma = 0 \text{ si } \tau \leq \tau_y$$

$$\gamma \neq 0 \text{ si } \tau > \tau_y$$

Aunque este modelo es un caso idealizado, las suspensiones de arcillas (20 a 60% de arcillas cálcicas en agua) y el flujo de fluidos de perforación en espacios anulares, asemejan su comportamiento del flujo a este modelo.

Por simplicidad, este modelo ha sido empleado extensivamente en la ingeniería petrolera, aun cuando el comportamiento real del lodo de perforación no presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la velocidad de corte.

La determinación de la viscosidad plástica y el punto de cedencia se basa en las lecturas a 600 y 300 rpm. Evaluando el modelo de Bingham en estas lecturas:

$$\tau_{600} = \frac{\eta_p}{g_c} \gamma_{600} + \tau_y$$

$$\tau_{300} = \frac{\eta_p}{g_c} \gamma_{300} + \tau_y$$

y resolviendo las dos ecuaciones anteriores para la viscosidad plástica, se tiene:

$$\eta_p = g_c \left[\frac{\tau_{600} - \tau_{300}}{\gamma_{600} - \gamma_{300}} \right] \dots\dots\dots (i)$$

$$\eta_p = \frac{(32.17)(1.067)(\theta_{600} - \theta_{300})}{(100)(1.703)(300)}$$

$$\eta_p = 0.000672(\theta_{600} - \theta_{300}) \left\{ \frac{lb_m}{pie - seg} \right\}$$

cambiando a unidades prácticas tenemos:

$$\eta_p = \theta_{600} - \theta_{300} \{cp\} \dots\dots\dots (ii)$$

El punto de cedencia se obtiene del modelo de Bingham evaluando a 300 rpm, sustituyendo η_p de la expresión (i) y resolviendo para τ_y , así :

$$\tau_y = \tau_{300} - \frac{g_c}{g_c} \left[\frac{\tau_{600} - \tau_{300}}{\gamma_{600} - \gamma_{300}} \right] \gamma_{300}$$

$$\tau_y = \tau_{300} - (\tau_{600} - \tau_{300})$$

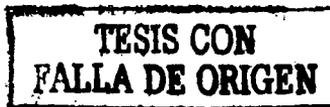
pero por la ecuación (ii) finalmente resulta:

$$\tau_y = \theta_{300} - \eta_p \left\{ \frac{lb_m}{pie - seg} \right\} \dots\dots\dots (iii)$$

3.1.2 Modelo de ley de potencias.

El modelo de Ostwald de Waele, comúnmente conocido como el modelo de Ley de Potencias, es uno de los más usados en el campo de la ingeniería y una de las primeras relaciones propuestas entre el esfuerzo y la velocidad de corte. Esta relación está caracterizada por dos constantes y expresada como:

$$\tau = k \gamma^n$$



en donde el índice de consistencia K , es un término semejante a la viscosidad e indicativo de la consistencia del fluido.

Es decir, si el valor de K es alto, el fluido es más "viscosos" y viceversa. En tanto que el índice de comportamiento de flujo n , es una medida de la no-Newtonianidad del fluido. Entre más alejado de la unidad sea el valor de n , más no Newtonianidad es el carácter del fluido.

Si el valor de n es mayor que cero y menor que la unidad el modelo representa a los fluidos pseudoplásticos, en tanto que si n es mayor que la unidad, el modelo representa a los fluidos dilatantes.

Nótese que este modelo se reduce a la Ley de la Viscosidad de Newton (ecuación 2), si n es igual a la unidad, con $K = \frac{\mu}{gc}$.

No obstante que el modelo de ley de potencias es eminentemente empírico, ha sido ampliamente utilizado, debido a que a gradiente de velocidad intermedios reproduce adecuadamente el comportamiento de flujo de muchos fluidos pseudoplásticos y dilatantes.

Otra ventaja en el uso de este modelo, la constituye el hecho de que es simple y posee sólo dos constantes reológicas (n y k), además de que cuando ha sido empleado en problemas de flujo en tuberías ha dado excelentes resultados.

A partir de la ecuación constitutiva del modelo evaluada a 600 y 300 rpm. Resultan:

$$\tau_{600} = K\gamma_{600}^n \dots\dots\dots (I)$$

$$\tau_{300} = K\gamma_{300}^n \dots\dots\dots (II)$$

las cuales pueden ser resueltas simultáneamente de la siguiente manera:

I y II se le aplican logaritmos simultáneamente con el objetivo de despejar la K

$$\log(\tau_{600}) = \log(K\gamma_{600}^n) \dots\dots\dots (III)$$

$$\log(\tau_{300}) = \log(K\gamma_{300}^n) \dots\dots\dots (IV)$$

Por propiedades de logaritmos III y IV quedan de la siguiente forma:

$$\log(\tau_{600}) = \log(K) + \log(\gamma_{600}^n)$$

$$\log(\tau_{300}) = \log(K) + \log(\gamma_{300}^n)$$

$$\log(\tau_{600}) = \log(K) + n \log(\gamma_{600}) \dots \dots \dots (V)$$

$$\log(\tau_{300}) = \log(K) + n \log(\gamma_{300}) \dots \dots \dots (VI)$$

Como $\log(K)$ se encuentra tanto en V como en VI podemos despejar $\log(K)$ en ambas ecuaciones, y por igualdad de ecuaciones obtenemos solo una ecuación:

Despejo $\log(K)$

$$\log(K) = \log(\tau_{600}) - n \log(\gamma_{600}) \dots \dots \dots (VII)$$

$$\log(K) = \log(\tau_{300}) - n \log(\gamma_{300}) \dots \dots \dots (VIII)$$

Igualando ambas ecuaciones obtenemos:

$$\log(\tau_{600}) - n \log(\gamma_{600}) = \log(\tau_{300}) - n \log(\gamma_{300}) \dots \dots \dots (IX)$$

Despejamos n:

$$\log(\tau_{600}) - \log(\tau_{300}) = n \log(\gamma_{600}) - n \log(\gamma_{300})$$

$$\log(\tau_{600}) - \log(\tau_{300}) = n[\log(\gamma_{600}) - \log(\gamma_{300})]$$

$$\frac{\log(\tau_{600}) - \log(\tau_{300})}{\log(\gamma_{600}) - \log(\gamma_{300})} = n$$

Aplicamos nuevamente propiedad de los logaritmos y obtenemos el índice de comportamiento de flujo:

$$n = \frac{\log\left(\frac{\tau_{600}}{\tau_{300}}\right)}{\log\left(\frac{\gamma_{600}}{\gamma_{300}}\right)}$$

y en base a las lecturas Fann y revoluciones por minuto:

$$n = \frac{\log\left(\frac{\theta_{600}}{\theta_{300}}\right)}{\log(2)}$$

$$n = 3.32 \log\left[\frac{\theta_{600}}{\theta_{300}}\right] \quad (\text{adim})$$

Ahora, despejando k del modelo:

$$k = \frac{\tau}{\gamma^n} \quad \text{y suponiendo que } \tau = \theta:$$

$$k = \frac{\theta_{600}}{1022^n} = \frac{\theta_{300}}{511^n} \quad \left\{ \frac{\text{lb}_f - \text{seg}^n}{100 \text{ pies}^2} \right\}$$

3.2 Filtrado.

Las pruebas de filtrado que se llevaron a cabo a lo largo de la realización de la tesis las vamos a dividir en dos partes, uno las pruebas físicas, en las cuales se suelen incluir pruebas como de viscosidad, densidad, retorta, etc., y las pruebas químicas, donde se incluyen pruebas como la dureza, los cloruros y el PH.

3.2.1 Químicas

En lo que respecta a los químicos usados durante el proyecto mostramos a continuación los que fueron usados a lo largo de éste.

- Alcalinidad.
- Volumen de agua (Fw).
- Contenido de cal.
- Contenido de cloruros.
- Dureza total.

Para la alcalinidad:

OH- ppm	CO3= ppm	HCO3- ppm
0	0	1098
0	0	976
0	60	840
0	240	1200
0	0	1342
0	60	1260
9248	8160	0
10608	5520	0
9622	5400	0
10710	5040	0
8194	9840	0
11900	11400	0
0	0	732
0	60	1260
0	120	1380
0	0	1403
0	60	1200
10676	5520	0
10608	5880	0
14348	7440	0

Volumen de Agua:

Ubicación	Profundidad (m)	% Volumen de agua	Fw
Entrada	150	88	0.88
Entrada	250	88	0.88
Entrada	300	86	0.86
Entrada	500	88	0.88
Entrada	650	86	0.86
Entrada	850	84	0.84
Entrada	950	84	0.84
Entrada	1200		0
Entrada	1300	76	0.76
Entrada	1500	72	0.72
Entrada	1850	74	0.74
Salida	150	90	0.9
Salida	550	88	0.88
Salida	650	86	0.86
Salida	800		0
Salida	950	82	0.82
Salida	1500	72	0.72
Salida	1900	72	0.72

Contenido de Cal.

Ubicación	Profundidad (m)	Pm	Fw	Pf	Cal estimada (Kg/m3)
Entrada	150	0.55	0.88	0	0.4081
Entrada	250	0.65	0.88	0	0.4823
Entrada	300	0.55	0.86	0.05	0.3762
Entrada	500	1.1	0.88	0.2	0.6856
Entrada	650	0.8	0.86	0	0.5936
Entrada	850	62	0.84	34	24.8125
Entrada	950	49.8	0.84	35.8	14.6382
Entrada	1200	38.3	0	32.8	28.4186
Entrada	1300	29.3	0.76	35.7	1.6087
Entrada	1500	59	0.72	32.3	26.5220
Entrada	1850	58.8	0.74	44.5	19.1955
Salida	150	0.55	0.9	0	0.4081
Salida	550	1.2	0.88	0.1	0.8251
Salida	650	0.85	0.88	0	0.6307
Salida	800	0.75	0	0.05	0.5565
Salida	950	29.2	0.82	36	-0.2374
Salida	1500	33.8	0.72	36.1	5.7935
Salida	1900	38.2	0.72	48.4	2.4872

Contenido de Cloruros:

Ubicación	Profundidad (m)	ml muestra	ml AgNO3 0.0282 N	Cloruros mg/L
Entrada	150	1	3.3	3300
Entrada	250	1	4.2	4200
Entrada	300	1	5	5000
Entrada	500	1	4.8	4800
Entrada	650	1	4.5	4500
Entrada	800	1	3.3	3300
Entrada	850	1	4.2	4200
Entrada	950	1	13.4	13400
Entrada	1200	1	12.9	12900
Entrada	1300	1	11.5	11500
Entrada	1500	1	11.1	11100
Entrada	1850	1	4.4	4400
Salida	150	1	4.5	4500
Salida	500	1	2.9	2900
Salida	550	1	3.2	3200
Salida	650	1	3.6	3600
Salida	800	1	5.2	5200
Salida	950	1	6.6	6600
Salida	1500	1	7.8	7800
Salida	1900	1	21.5	21500

Dureza total.

Ubicación	Profundidad (m)	ml muestra	ml EDTA 0.01 M	Dureza Total mg/L
Entrada	150	1	2	795
Entrada	250	1	2.3	915
Entrada	300	1	2.1	835
Entrada	500	1	1.6	635
Entrada	650	1	1.4	555
Entrada	800	1	1.1	440
Entrada	850	1	0	0
Entrada	950	1	0	0
Entrada	1200	1	0	0
Entrada	1300	1	0	0
Entrada	1500	1	0	0
Entrada	1850	1	0	0

Ubicación	Profundidad (m)	ml muestra	ml EDTA 0.01 M	Dureza Total mg/L
Salida	150	1	2.05	815
Salida	500	1	1	395
Salida	550	1	1.1	435
Salida	650	1	1.2	475
Salida	800	1	1.2	475
Salida	950	1	0	0
Salida	1500	1	0	0
Salida	1900	1	0	0
Agua	0	50	0.625	5

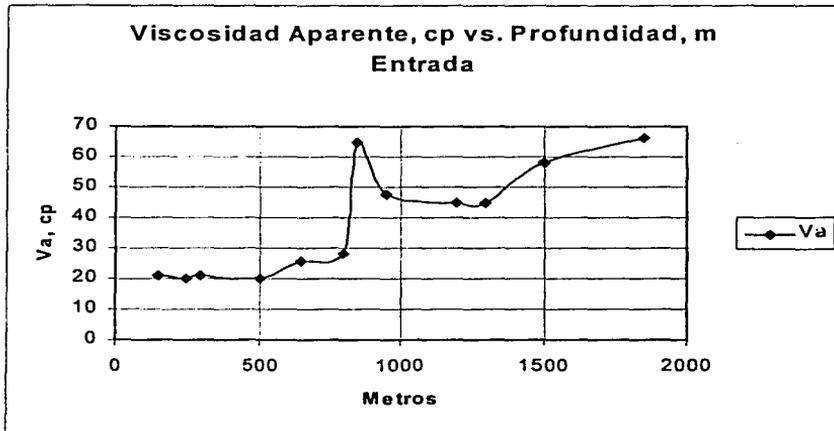
3.2.2 Físicas

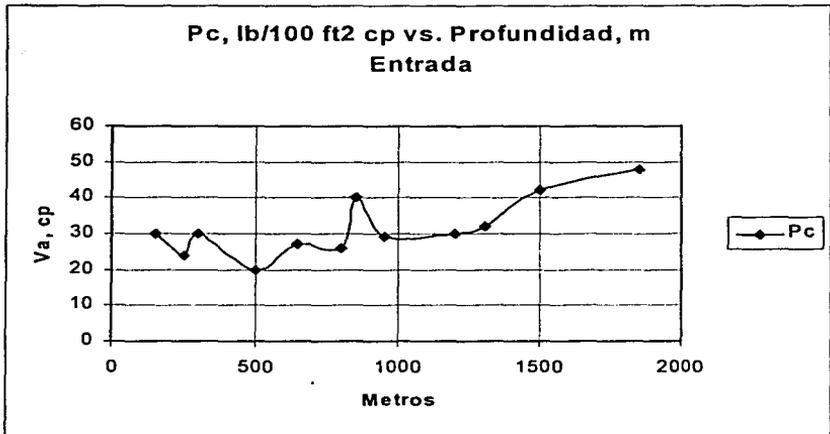
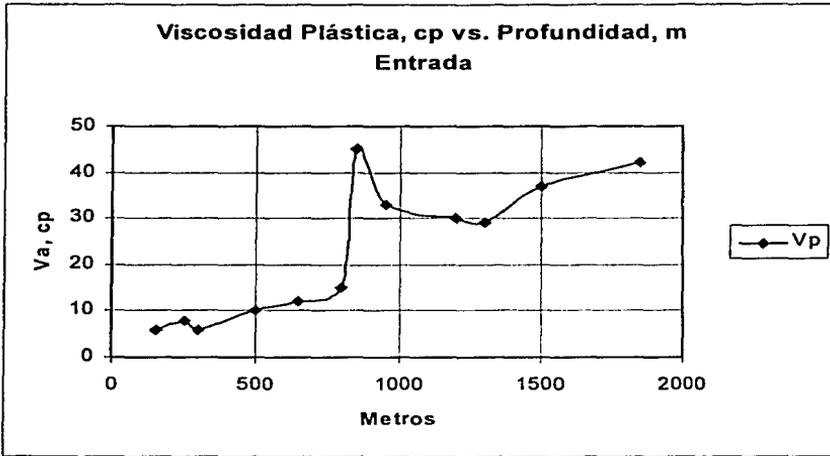
A continuación mostraremos el comportamiento de los lodos a la entrada y salida del pozo con respecto a los siguientes comportamientos:

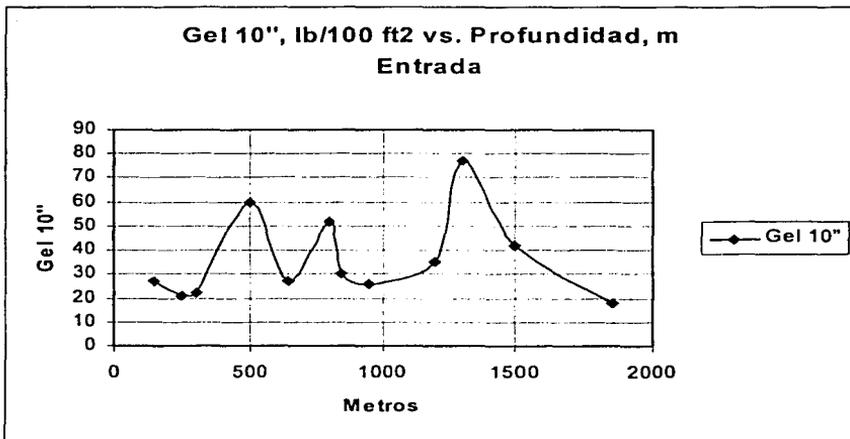
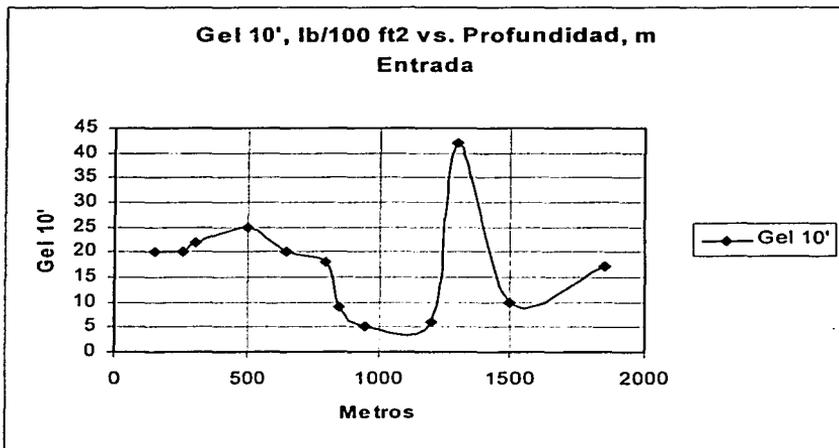
- Viscosidad aparente (V_a)
- Viscosidad plástica (V_p)
- Punto de cedencia (P_c)
- Gel 10'
- Gel 10"

ENTRADA DEL POZO.**Entrada**

Metros	Va	Vp	Pc	Gel 10'	Gel 10"
150	21	6	30	20	27
250	20	8	24	20	21
300	21	6	30	22	22
500	20	10	20	25	60
650	25.5	12	27	20	27
800	28	15	26	18	52
850	65	45	40	9	30
950	47.5	33	29	5	26
1200	45	30	30	6	35
1300	45	29	32	42	77
1500	58	37	42	10	42
1850	66	42	48	17	18

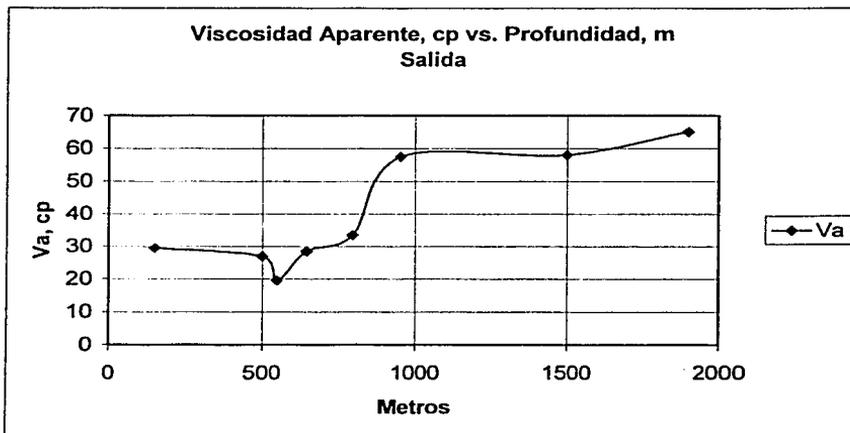


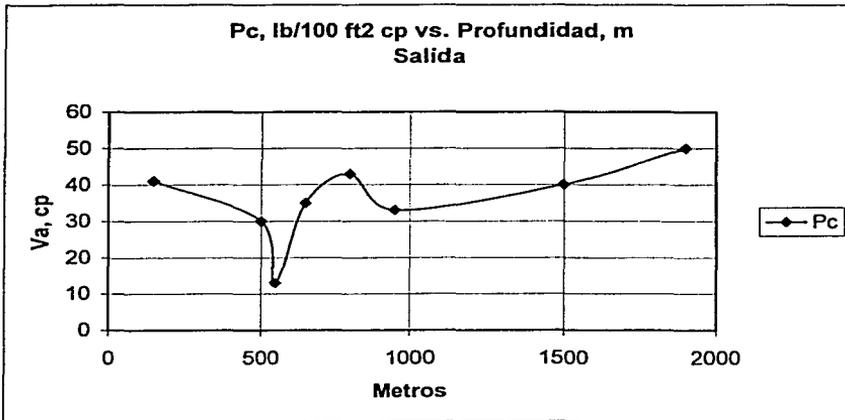
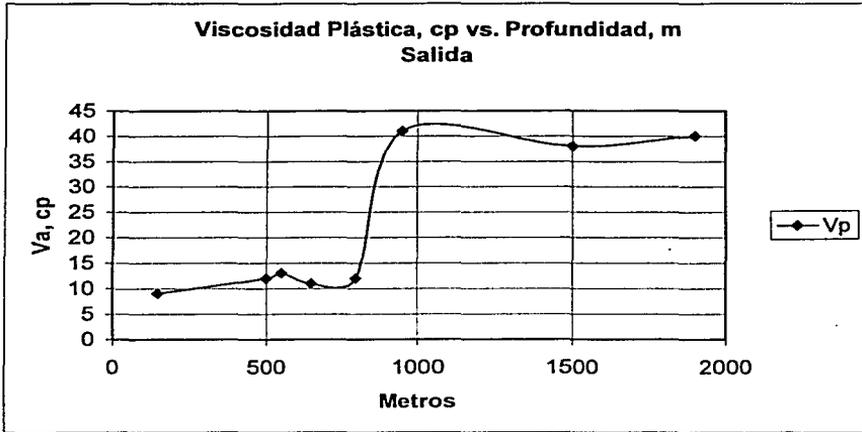


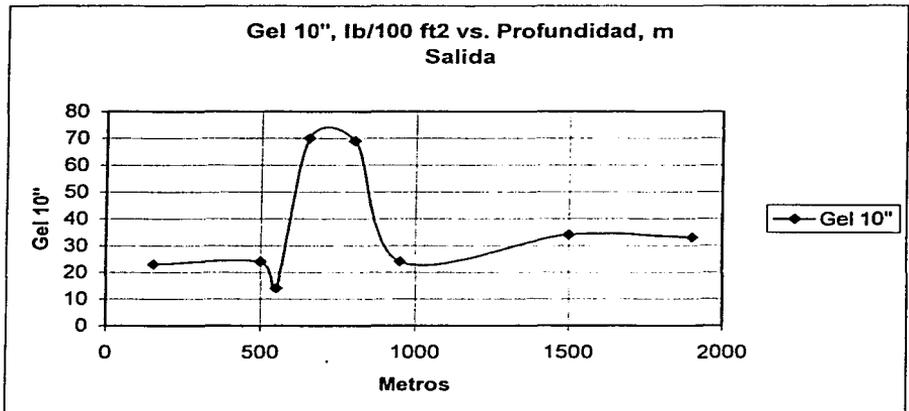
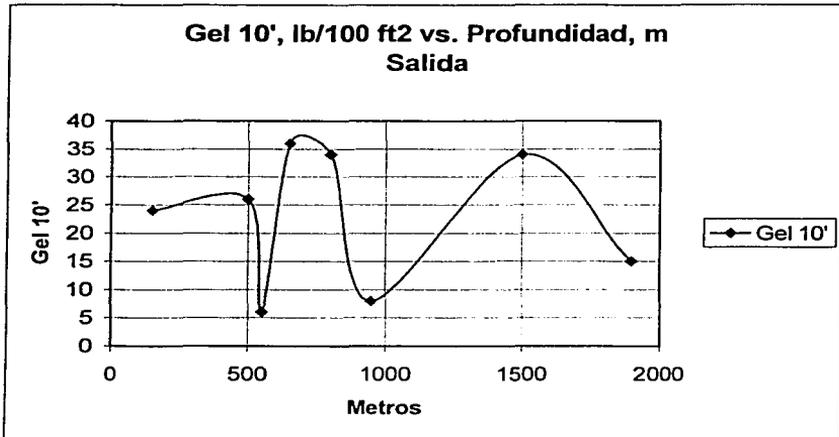


SALIDA DEL POZO.

Metros	Va	Vp	Pc	Gel 10'	Gel 10"
150	29.5	9	41	24	23
500	27	12	30	26	24
550	19.5	13	13	6	14
650	28.5	11	35	36	70
800	33.5	12	43	34	69
950	57.5	41	33	8	24
1500	58	38	40	34	34
1900	65	40	50	15	33







3.3 Ajuste de modelos reológicos para los fluidos bajo prueba.

Para el ajuste de los modelo reológicos nos basamos en la siguiente tabla:

Velocidad de corte en rpm	Esfuerzo de corte en grados de lectura de dial					
	150	250	300	500	650	800
<i>Prof en metros</i>						
3	25	21	26	20	20	20
6	27	21	26	20	20	20
100	31	27	31	24	29	30
200	33	30	34	27	34	37
300	36	32	36	30	39	41
600	42	40	42	40	51	56

Tabla 3.3.1

Velocidad de corte en rpm	Esfuerzo de corte en grados de lectura de dial					
	850	950	1200	1300	1500	1850
<i>Prof en metros</i>						
3	22	9	20	43	20	24
6	22	9	19	40	20	26
100	46	35	35	41	49	55
200	67	51	49	53	64	75
300	85	62	60	61	79	90
600	130	95	90	90	116	132

Tabla 3.3.2

A continuación se busca la viscosidad plástica y el punto de cedencia a las diferentes profundidades a las que fue sometida, aplicando la reología correspondiente a cada lodo.

Entrada al pozo con el modelo de Bingham

Profundidades	150	250	300	500	650	800
Vp [lb/pie-seg]	0.00403	0.00538	0.00403	0.00672	0.00806	0.01008
Vp [cp]	6	8	6	10	12	15
Va	21	20	21	20	25.5	28
Pc	30	24	30	20	27	26

Tabla 3.3.3

Profundidades	850	950	1200	1300	1500	1850
Vp [lb/pie-seg]	0.03024	0.022176	0.02016	0.019488	0.024864	0.028224
Vp [cp]	45	33	30	29	37	42
Va	65	47.5	45	45	58	66
Pc	40	29	30	32	42	48

Tabla 3.3.4

Entrada al pozo con el modelo de Ley de Potencias.

Profundidades	150	250	300	500	650	800
n	0.2223	0.3218	0.2223	0.4149	0.3869	0.4497
k	8.9982	4.3004	8.9982	2.2562	3.4928	2.4826
Vp [cp]	600	800	600	1000	1200	1500
Pc	3000	2400	3000	2000	2700	2600

Tabla 3.3.5

Profundidades	850	950	1200	1300	1500	1850
n	0.6128	0.6155	0.5848	0.5610	0.5540	0.5524
k	1.8610	1.3349	1.5643	1.8453	2.4951	2.8721
Vp [cp]	4500	3300	3000	2900	3700	4200
Pc	4000	2900	3000	3200	4200	4800

Tabla 3.3.6

SALIDA DEL POZO.

De forma similar, tomamos los datos de la tabla tal para el análisis de resultados.

Velocidad de corte en rpm	Esfuerzo de corte en grados de lectura de dial							
	Prof en metros	150	500	550	650	800	950	1500
3	30	27	9	31	43	18	43	16
6	35	27	8	31	45	15	39	16
100	45	36	15	40	50	48	48	54
200	47	39	20	42	50	58	65	74
300	50	42	26	46	55	74	78	90
600	59	54	39	57	67	115	116	130

Tabla 3.3.7

.Salida del pozo con el modelo de Bingham.

Profundidades	150	500	550	650	800	950	1500	1900
Vp [lb/pie-seg]	0.00604	0.00806	0.00873	0.00739	0.00806	0.02755	0.02553	0.0268
Vp	9	12	13	11	12	41	38	40
Va	29.5	27	19.5	28.5	33.5	57.5	58	65
Pc	41	30	13	35	43	33	40	50

Tabla 3.3.8

Salida del pozo con el modelo de Ley de Potencias.

Profundidades	150	500	550	650	800	950	1500	1900
n	0.2387	0.3625	0.5848	0.3092	0.2846	0.6359	0.5724	0.5304
k	9.5621	3.4074	0.4519	5.3965	7.6511	0.9029	1.4772	2.2810
Vp	762.7	933.3	866.7	887.7	985.1	2638.3	2555.2	2769.2
Pc	3474.6	2333.3	866.7	2824.6	3529.9	2123.5	2689.7	3461.5

Tabla 3.3.9

CAPITULO 4.

A lo largo de la planeación de cualquier pozo es necesario contar con la información suficiente para poder realizar la perforación de manera adecuada, mientras contemos con una serie basta de información tendremos una planeación adecuada de cualquier pozo.

Esta información debe mostrarse de manera ordenada para hacer uso de ella lo más rápido y entendible posible, por tal motivo es necesario que dicha información se presente en un mismo formato y de ser posible tratar de que se encuentre en el mismo software.

A continuación mostraremos la información que se requirió para poder llevar a cabo esta tesis, mostrándola de manera ordenada y en un mismo formato para su mejor uso y entendimiento.

4.1 Análisis del contenido de Pb, Fe, Cd, Ni, Zn, Cu, Cr en muestras de campo.

Lo primero que mostraremos será la serie de datos que obtuvimos del desarrollo del método 3050B, el cual se representa en la columna de lectura de absorción atómica ("Lect. AA"); para después pasarlo a partes por millón (ppm) por medio de la siguiente fórmula:

$$ppm = \left[\frac{\text{lect. AA} - \text{Blco}}{\text{Peso}} \right] * 100 \quad \text{donde}$$

ppm = Partes por millón

lect. AA = Lectura del aparato de absorción atómica

Blco = Blanco, el cual es la mezcla de los diferentes pasos del método 3050B

Peso = Peso de la muestra que fue sometida al proceso de absorción atómica

Como ya habíamos dicho antes, la elaboración de esta tesis se realizo en dos etapas, a continuación mostramos la etapa N°1.

Cuantificación de metales por Absorción Atómica de Fluidos de Perforación, Etapa 1 de los metales de cadmio (Cd), cobre (cu) y cromo (cr).

Prof. <i>m</i>	Ubicación	Peso (g)	Cd		Cu		Cr	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
	<i>Blanco</i>	0	0.006		0.017		0.003	
60	<i>L.P. Entrada</i>	1.2274	0.021	1.2221	0.175	12.8727	0.127	10.1027
100	<i>L.P. Entrada</i>	1.0596	0.022	1.5100	0.316	28.2182	0.051	4.5300
150	<i>L.P. Entrada</i>	1.0889	0.019	1.1939	0.290	25.0712	0.089	7.8979
200	<i>L.P. Entrada</i>	1.0976	0.016	0.9111	0.253	21.5015	0.082	7.1975
250	<i>L.P. Entrada</i>	1.0284	0.021	1.4586	0.233	21.0035	0.079	7.3901
300	<i>L.P. Entrada</i>	1.0411	0.021	1.4408	0.254	22.7644	0.097	9.0289
350	<i>L.P. Entrada</i>	1.0703	0.026	1.8686	0.205	17.5652	0.104	9.4366
400	<i>L.P. Entrada</i>	1.0753	0.023	1.5810	0.199	16.9255	0.096	8.6487
450	<i>L.P. Entrada</i>	1.0686	0.021	1.4037	0.252	21.9914	0.106	9.6388
500	<i>L.P. Entrada</i>	1.0290	0.030	2.3324	0.200	17.7843	0.116	10.9815
550	<i>L.P. Entrada</i>	1.0725	0.031	2.3310	0.223	19.2075	0.129	11.7483
600	<i>L.P. Entrada</i>	1.0181	0.025	1.8662	0.588	56.0849	0.115	11.0009
650	<i>L.P. Entrada</i>	1.0267	0.025	1.8506	0.240	21.7201	0.127	12.0775
700	<i>L.P. Entrada</i>	1.0441	0.024	1.7240	0.146	12.3551	0.114	10.6312
750	<i>L.P. Entrada</i>	1.0694	0.025	1.7767	0.206	17.6735	0.138	12.6239
800	<i>L.P. Entrada</i>	1.0477	0.016	0.9545	0.092	7.1585	0.065	5.9177
100	<i>L.P. Salida</i>	1.0197	0.023	1.6672	0.256	23.4383	0.041	3.7266
150	<i>L.P. Salida</i>	1.0302	0.028	2.1355	0.169	14.7544	0.067	6.2124
200	<i>L.P. Salida</i>	1.0452	0.028	2.1049	0.186	16.1692	0.072	6.6016
250	<i>L.P. Salida</i>	1.0625	0.017	1.0353	0.168	14.2118	0.117	10.7294
300	<i>L.P. Salida</i>	1.0964	0.026	1.8242	0.238	20.1569	0.163	14.5932
400	<i>L.P. Salida</i>	1.0551	0.027	1.9903	0.170	14.5010	0.205	19.1451
450	<i>L.P. Salida</i>	1.0641	0.026	1.8795	0.158	13.2506	0.109	9.9615
500	<i>L.P. Salida</i>	1.0053	0.018	1.1937	0.154	13.6278	0.152	14.8214
550	<i>L.P. Salida</i>	1.0720	0.024	1.6791	0.261	22.7612	0.114	10.3545
600	<i>L.P. Salida</i>	1.0536	0.032	2.4677	0.163	13.8573	0.138	12.8132
650	<i>L.P. Salida</i>	1.0438	0.031	2.3951	0.197	17.2447	0.118	11.0174

Prof <i>m</i>	Ubicación	Peso (g)	Cd		Cu		Cr	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
700	<i>L.P. Salida</i>	1.0331	0.031	2.4199	0.167	14.5194	0.115	10.8412
750	<i>L.P. Salida</i>	1.0739	0.027	1.9555	0.248	21.5104	0.114	10.3362
800	<i>L.P. Salida</i>	1.0202	0.028	2.1564	0.294	27.1515	0.117	11.1743
100	<i>Tornado E.</i>	1.0120	0.033	2.6680	0.224	20.4545	0.362	35.4743
150	<i>Tornado E.</i>	1.0182	0.032	2.5535	0.223	20.2318	0.112	10.7052
200	<i>Tornado E.</i>	1.0432	0.032	2.4923	0.184	16.0084	0.269	25.4985
250	<i>Tornado E.</i>	1.0767	0.034	2.6005	0.222	19.0397	0.249	22.8476
300	<i>Tornado E.</i>	1.0624	0.027	1.9767	0.275	24.2846	0.413	38.5919
350	<i>Tornado E.</i>	1.0518	0.034	2.6621	0.171	14.6416	0.337	31.7551
400	<i>Tornado E.</i>	1.0624	0.026	1.8825	0.170	14.4014	0.204	18.9194
450	<i>Tornado E.</i>	1.0703	0.027	1.9621	0.172	14.4819	0.398	36.9055
500	<i>Tornado E.</i>	1.0279	0.022	1.5566	0.154	13.3281	0.301	28.9911
550	<i>Tornado E.</i>	1.0852	0.042	3.3174	0.136	10.9657	0.320	29.2112
600	<i>Tornado E.</i>	1.0448	0.039	3.1585	0.107	8.6141	0.313	29.6708
700	<i>Tornado E.</i>	1.0437	0.046	3.8325	0.132	11.0185	0.242	22.8993
750	<i>Tornado E.</i>	1.0082	0.042	3.5707	0.137	11.9024	0.285	27.9706
800	<i>Tornado E.</i>	1.0163	0.036	2.9519	0.157	13.7755	0.295	28.7317
100	<i>Tornado S.</i>	1.0185	0.033	2.6510	0.301	27.8841	0.187	18.0658
200	<i>Tornado S.</i>	1.0702	0.043	3.4573	0.142	11.6801	0.18	16.5390
450	<i>Tornado S.</i>	1.0488	0.037	2.9558	0.131	10.8696	0.22	20.6903
500	<i>Tornado S.</i>	1.0110	0.043	3.6597	0.14	12.1662	0.323	31.6518
550	<i>Tornado S.</i>	1.0665	0.039	3.0942	0.118	9.4702	0.271	25.1289
600	<i>Tornado S.</i>	1.0991	0.040	3.0934	0.152	12.2828	0.23	20.6533
650	<i>Tornado S.</i>	1.0323	0.040	3.2936	0.141	12.0120	0.276	26.4458
700	<i>Tornado S.</i>	1.0219	0.039	3.2293	0.113	9.3943	0.213	20.5500
750	<i>Tornado S.</i>	1.0388	0.045	3.7543	0.213	18.8679	0.28	26.6654
800	<i>Tornado S.</i>	1.0918	0.044	3.4805	0.175	14.4715	0.301	27.2944

	Ubicación	Peso (g)	Cd		Cu		Cr	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
60	Recorte	1.0775	0.041	3.2483	0.07	4.9188	0.18	16.4269
100	Recorte	1.0659	0.047	3.8465	0.109	8.6312	0.32	29.7401
150	Recorte	1.0158	0.039	3.2487	0.141	12.2071	0.479	46.8596
200	Recorte	1.0962	0.052	4.1963	0.086	6.2945	0.304	27.4585
250	Recorte	1.0331	0.044	3.6782	0.256	23.1343	0.276	26.4253
300	Recorte	1.0201	0.037	3.0389	0.166	14.6064	0.414	40.2902
350	Recorte	1.0413	0.044	3.6493	0.152	12.9646	0.274	26.0252
400	Recorte	1.0219	0.037	3.0336	0.148	12.8193	0.262	25.3449
450	Recorte	1.0956	0.035	2.6470	0.168	13.7824	0.269	24.2789
500	Recorte	1.0876	0.040	3.1261	0.17	14.0677	0.275	25.0092
550	Recorte	1.0364	0.052	4.4384	0.202	17.8503	0.284	27.1131
600	Recorte	1.0146	0.037	3.0554	0.168	14.8827	0.255	24.8374
650	Recorte	1.0475	0.037	2.9594	0.159	13.5561	0.211	19.8568
700	Recorte	1.0714	0.032	2.4267	0.178	15.0271	0.187	17.1738
750	Recorte	1.0821	0.034	2.5876	0.145	11.8289	0.143	12.9378

Cuantificación de metales por Absorción Atómica de Fluidos de Perforación, Etapa 1 de los metales del níquel (Ni), Plomo (Pb) y el Zinc (Zn).

Prof. (m)	Ubicación	Peso (g)	Ni		Pb		Zn	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
	Blanco	0	0.041		0.039		0.089	
60	L.P. Entrada	1.2274	0.279	19.3906	0.402	29.5747	0.668	47.1729
100	L.P. Entrada	1.0596	0.216	16.516	0.183	13.5900	0.273	17.3650
150	L.P. Entrada	1.0889	0.213	15.7958	0.208	15.5202	0.306	19.9284
200	L.P. Entrada	1.0976	0.202	14.6684	0.182	13.0284	0.304	19.5882
250	L.P. Entrada	1.0284	0.233	18.6698	0.206	16.2388	0.221	12.8355

Prof. (m)	Ubicación	Peso (g)	Ni		Pb		Zn	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
300	L.P. Entrada	1.0411	0.288	23.7249	0.185	14.0236	0.350	25.0696
350	L.P. Entrada	1.0703	0.314	25.5069	0.230	17.8455	0.388	27.9361
400	L.P. Entrada	1.0753	0.322	26.1322	0.202	15.1586	0.634	50.6835
450	L.P. Entrada	1.0686	0.362	30.0393	0.197	14.7857	0.427	31.6302
500	L.P. Entrada	1.0290	0.338	28.8630	0.437	38.6783	0.210	11.7590
550	L.P. Entrada	1.0725	0.379	31.5152	0.494	42.4242	0.766	63.1235
600	L.P. Entrada	1.0181	0.340	29.3684	0.490	44.2982	0.940	83.5871
650	L.P. Entrada	1.0267	0.365	31.5574	0.468	41.7844	0.846	73.7314
700	L.P. Entrada	1.0441	0.324	27.1047	0.452	39.5556	0.796	67.7138
750	L.P. Entrada	1.0694	0.318	25.9024	0.598	52.2723	1.027	87.7127
800	L.P. Entrada	1.0477	0.182	13.4581	0.356	30.2568	0.672	55.6457
100	L.P. Salida	1.0197	0.227	18.2407	0.199	15.6909	0.307	21.3788
150	L.P. Salida	1.0302	0.202	15.6280	0.204	16.0163	0.339	24.2671
200	L.P. Salida	1.0452	0.213	16.4562	0.219	17.2216	0.982	85.4382
250	L.P. Salida	1.0625	0.240	18.7294	0.161	11.4824	0.201	10.5412
300	L.P. Salida	1.0964	0.558	47.1543	0.219	16.4174	0.355	24.2612
400	L.P. Salida	1.0551	0.444	38.1954	0.228	17.9130	0.362	25.8743
450	L.P. Salida	1.0641	0.369	30.8242	0.225	17.4796	0.357	25.1856
500	L.P. Salida	1.0053	0.308	26.5592	0.274	23.3761	0.466	37.5012
550	L.P. Salida	1.0720	0.070	2.7052	0.437	37.1269	0.793	65.6716
550	L.P. Salida	1.0720	0.070	2.7052	0.437	37.1269	0.793	65.6716
600	L.P. Salida	1.0536	0.327	27.1450	0.472	41.0972	1.063	92.4450
650	L.P. Salida	1.0438	0.346	29.2202	0.471	41.3872	1.634	148.0169
700	L.P. Salida	1.0331	0.343	29.2324	0.442	39.0088	1.127	100.4743
750	L.P. Salida	1.0739	0.316	25.6076	0.615	53.6363	1.172	100.8474
800	L.P. Salida	1.0202	0.321	27.4456	0.554	50.4803	1.158	104.7834
100	Tornado E.	1.0120	0.708	65.9091	0.291	24.9012	0.692	59.5850
150	Tornado E.	1.0182	0.321	27.4995	0.239	19.6425	0.631	53.2312
200	Tornado E.	1.0432	0.762	69.1143	0.265	21.6641	0.574	46.4916
250	Tornado E.	1.0767	0.577	49.7817	0.213	16.1605	0.558	43.5590

Prof. (m)	Ubicación	Peso (g)	Ni		Pb		Zn	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
300	Tornado E.	1.0624	0.726	64.4767	0.248	19.6724	0.596	47.7221
350	Tornado E.	1.0518	0.758	68.1689	0.270	21.9624	0.558	44.5902
400	Tornado E.	1.0624	0.463	39.7214	0.113	6.9654	0.907	76.9955
450	Tornado E.	1.0703	0.903	80.5382	0.154	10.7447	0.958	81.1922
500	Tornado E.	1.0279	0.737	67.7109	0.128	8.6584	0.788	68.0027
550	Tornado E.	1.0852	0.750	65.3336	0.338	27.5525	0.978	81.9204
600	Tornado E.	1.0448	0.767	69.4870	0.252	20.3867	0.829	70.8270
700	Tornado E.	1.0437	0.752	68.1230	0.392	33.8220	1.181	104.6278
750	Tornado E.	1.0082	0.820	77.2664	0.388	34.6161	1.163	106.5265
800	Tornado E.	1.0163	0.849	79.5041	0.335	29.1253	1.577	146.4135
100	Tornado S.	1.0185	0.408	36.0334	0.178	13.6475	0.459	36.3279
200	Tornado S.	1.0702	0.518	44.5711	0.254	20.0897	0.528	41.0204
450	Tornado S.	1.0488	0.546	48.1503	0.221	17.3532	0.575	46.3387
500	Tornado S.	1.0110	0.783	73.3927	0.291	24.9258	0.686	59.0504
550	Tornado S.	1.0665	0.622	54.4773	0.317	26.0666	0.754	62.3535
600	Tornado S.	1.0991	0.628	53.4073	0.369	30.0246	0.987	81.7032
650	Tornado S.	1.0323	0.557	49.9855	0.435	38.3609	0.956	83.9872
700	Tornado S.	1.0219	0.673	61.8456	0.35	30.4335	0.84	73.4906
750	Tornado S.	1.0388	0.808	73.8352	0.482	42.6454	1.056	93.0882
800	Tornado S.	1.0918	0.727	62.8320	0.559	47.6278	1.283	109.3607
60	Recorte	1.0775	0.49	41.6705	0.293	23.5731	0.482	36.4733
100	Recorte	1.0659	0.772	68.5805	0.3173	26.1094	0.59	47.0025
150	Recorte	1.0158	0.943	88.7970	0.28	23.7251	0.532	43.6109
200	Recorte	1.0962	0.772	66.6849	0.318	25.4516	0.514	38.7703
250	Recorte	1.0331	0.842	77.5336	0.302	25.4574	0.47	36.8793
300	Recorte	1.0201	0.893	83.5212	0.276	23.2330	0.582	48.3286
350	Recorte	1.0413	1.104	102.0839	0.351	29.9625	0.646	53.4908
400	Recorte	1.0219	0.769	71.2398	0.288	24.3664	0.716	61.3563
450	Recorte	1.0956	0.994	86.9843	0.29	22.9098	0.713	56.9551
500	Recorte	1.0876	1.018	89.8308	0.314	25.2850	0.674	53.7882
550	Recorte	1.0364	0.917	84.5234	0.332	28.2709	0.764	65.1293

Prof. (m)	Ubicación	Peso (g)	Ni		Pb		Zn	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
600	Recorte	1.0146	0.98	92.5488	0.332	28.8784	0.72	62.1920
650	Recorte	1.0475	0.982	89.8329	0.322	27.0167	0.747	62.8162
700	Recorte	1.0714	0.966	86.3356	0.357	29.6808	0.74	60.7616
750	Recorte	1.0821	0.727	63.3952	0.32	25.9680	0.684	54.9857

Cuantificación de metales por Absorción Atómica de Fluidos de Perforación, Etapa I de los metales del níquel (Ni), Plomo (Pb) y el Zinc (Zn).

Prof. (m)	Ubicación	Peso (g)	Ba		Fe	
			Lect.A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
	Blanco	0	0.140		0.000	
60	L.P. Entrada	1.2274	34.300	2783.1188	45.900	3739.6122
100	L.P. Entrada	1.0596	52.720	4962.250	38.100	3595.6965
150	L.P. Entrada	1.0889	44.380	4062.8157	28.100	2580.5859
200	L.P. Entrada	1.0976	23.910	2165.6341	31.700	2888.1195
250	L.P. Entrada	1.0284	54.400	5276.1571	35.700	3471.4119
300	L.P. Entrada	1.0411	39.780	3807.5113	41.600	3995.7737
350	L.P. Entrada	1.0703	53.250	4962.1601	57.600	5381.6687
400	L.P. Entrada	1.0753	51.780	4802.3807	59.700	5551.9390
450	L.P. Entrada	1.0686	47.220	4405.7646	63.400	5932.9964
500	L.P. Entrada	1.0290	60.000	5817.2983	46.200	4489.7959
550	L.P. Entrada	1.0725	56.630	5267.1329	51.900	4839.1608
600	L.P. Entrada	1.0181	35.750	3497.6918	50.300	4940.5756
650	L.P. Entrada	1.0267	40.670	3947.5991	53.900	5249.8296
700	L.P. Entrada	1.0441	46.660	4455.5119	50.000	4788.8133
750	L.P. Entrada	1.0694	51.120	4767.1592	54.100	5058.9115
800	L.P. Entrada	1.0477	36.910	3509.5924	33.000	3149.7566
100	L.P. Salida	1.0197	52.950	5178.9742	38.100	3736.3931

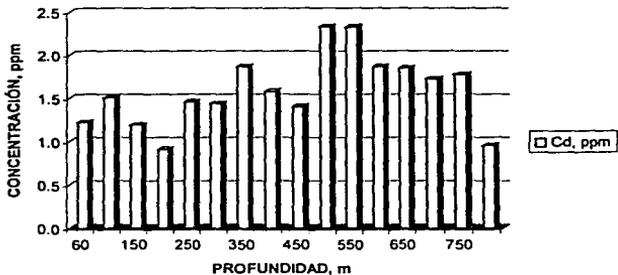
Prof. (m)	Ubicación	Peso (g)	Ba		Fe	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
100	L.P. Salida	1.0197	52.950	5178.9742	38.100	3736.3931
150	L.P. Salida	1.0302	62.330	6036.6919	26.000	2523.7818
200	L.P. Salida	1.0452	62.470	5963.4520	28.100	2688.4807
250	L.P. Salida	1.0625	32.780	3072.0000	41.400	3896.4706
300	L.P. Salida	1.0964	51.740	4706.3116	61.600	5618.3874
400	L.P. Salida	1.0551	53.520	5059.2361	55.500	5260.1649
450	L.P. Salida	1.0641	47.280	4430.0348	64.000	6014.4723
500	L.P. Salida	1.0053	38.550	3820.7500	49.900	4963.6924
550	L.P. Salida	1.0720	41.880	3893.6567	46.600	4347.0149
600	L.P. Salida	1.0536	61.790	5851.3667	47.900	4546.3174
650	L.P. Salida	1.0438	46.420	4433.7996	51.200	4905.1542
700	L.P. Salida	1.0331	49.530	4780.7569	47.600	4607.4920
750	L.P. Salida	1.0739	41.610	3861.6258	51.700	4814.2285
800	L.P. Salida	1.0202	34.340	3352.2839	53.300	5224.4658
100	Tornado E.	1.0120	54.190	5340.9091	125.500	12401.1858
150	Tornado E.	1.0182	42.440	4154.3901	66.900	6570.4184
200	Tornado E.	1.0432	53.090	5075.7285	75.600	7246.9325
250	Tornado E.	1.0767	41.840	3872.9451	113.500	10541.4693
300	Tornado E.	1.0624	35.850	3361.2575	112.500	10589.2319
350	Tornado E.	1.0518	36.590	3465.4877	91.500	8699.3725
400	Tornado E.	1.0624	35.420	3320.7831	79.500	7483.0572
450	Tornado E.	1.0703	28.430	2643.1842	165.800	15490.9838
500	Tornado E.	1.0279	3.900	365.7943	124.200	12082.8874
550	Tornado E.	1.0852	40.830	3749.5393	129.600	11942.4991
600	Tornado E.	1.0448	30.490	2904.8622	122.800	11753.4456
700	Tornado E.	1.0437	41.860	3997.3172	124.200	11899.9713
750	Tornado E.	1.0082	37.470	3702.6384	132.500	13142.2337
800	Tornado E.	1.0163	22.320	2182.4264	141.900	13962.4127
100	Tornado S.	1.0185	54.86	5372.6068	71.3	7000.4909
200	Tornado S.	1.0702	51.38	4787.8901	81.9	7652.7752

Prof. (m)	Ubicación	Peso (g)	Ba		Fe	
			Lect.A.A	ppm	Lect. A.A	Ppm
550	Tornado S.	1.0665	51.61	4826.0666	107.3	10060.9470
600	Tornado S.	1.0991	40.78	3697.5707	113	10281.1391
650	Tornado S.	1.0323	18.05	1734.9608	97.7	9464.3030
700	Tornado S.	1.0219	46.27	4514.1403	99.6	9746.5505
750	Tornado S.	1.0388	47.85	4592.7994	134.8	12976.5114
800	Tornado S.	1.0918	33.44	3050.0092	131.4	12035.1713
60	Recorte	1.0775	14.78	1358.7007	80.5	7470.9977
100	Recorte	1.0659	49.21	4603.6214	123.4	11577.0710
150	Recorte	1.0158	44.68	4384.7214	135.5	13339.2400
200	Recorte	1.0962	23.96	2172.9611	100.2	9140.6678
250	Recorte	1.0331	31.02	2989.0620	99.8	9660.2459
300	Recorte	1.0201	20.37	1983.1389	176.6	17312.0282
350	Recorte	1.0413	17.4	1657.5435	142.3	13665.6103
400	Recorte	1.0219	10.78	1041.1978	190.6	18651.5315
450	Recorte	1.0956	14.5	1310.6973	189.3	17278.2037
500	Recorte	1.0876	14.23	1295.5131	175.1	16099.6690
550	Recorte	1.0364	13.72	1310.3049	190.7	18400.2316
600	Recorte	1.0146	13.72	1338.4585	186.3	18361.9160
650	Recorte	1.0475	11.4	1074.9403	190.7	18205.2506
700	Recorte	1.0714	13.35	1232.9662	154	14373.7166
750	Recorte	1.0821	8.93	812.3094	130.1	12022.9184

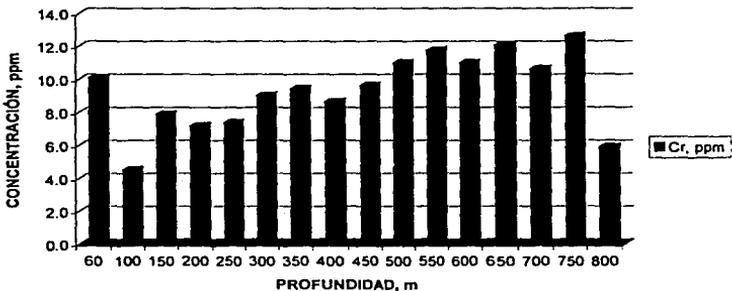
Para tener una idea más clara del contenido de metales que hay en los lodos de perforación a continuación mostraremos una serie de gráficas que nos ayudarán a encontrar que tanto contenido de metales existe en las diferentes etapas del pozo.

Distribución del contenido de metales en la entrada del pozo.

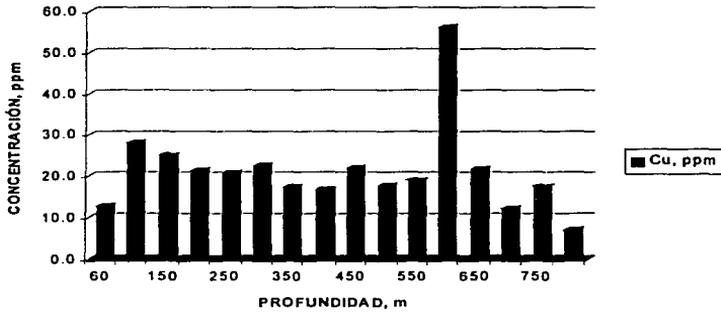
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 1) "LODO DE ENTRADA"



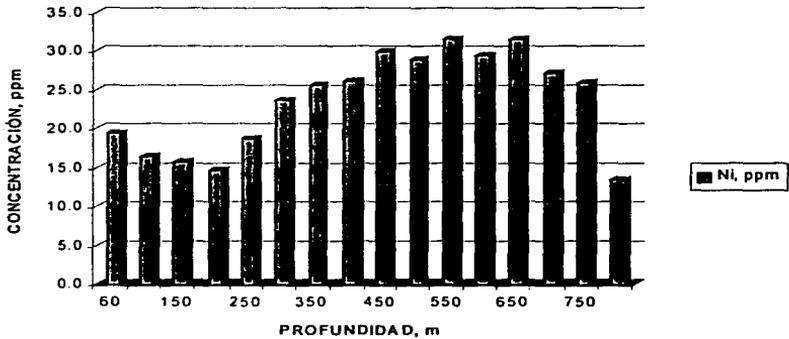
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 1) "LODO DE ENTRADA"



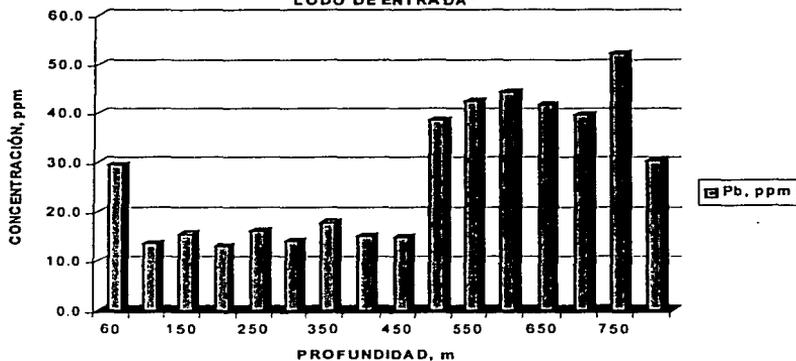
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 1)
"LODO DE ENTRADA"



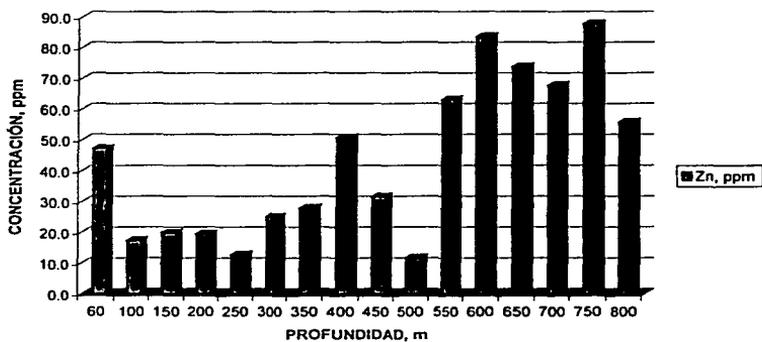
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 1)
"LODO DE ENTRADA"



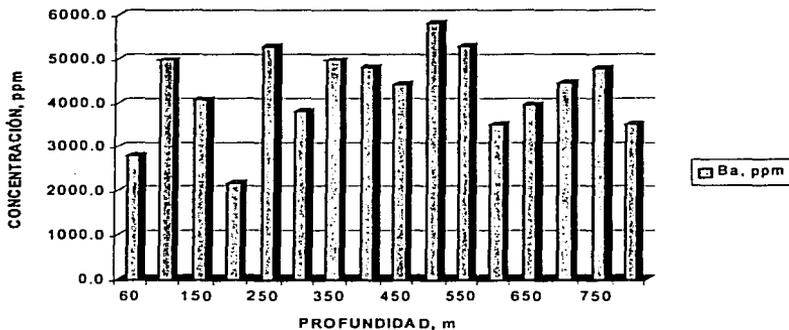
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 1)
"LODO DE ENTRADA"



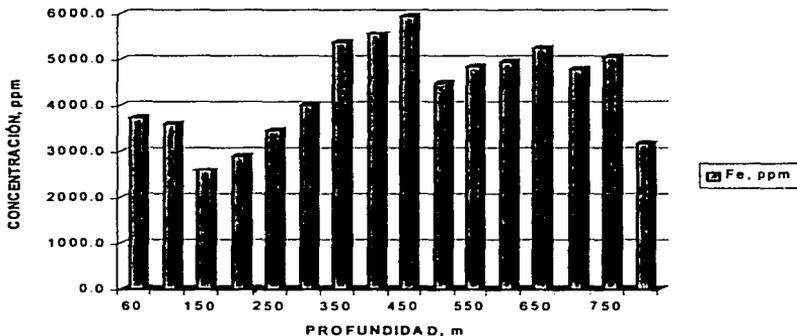
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 1)
"LODO DE ENTRADA"



DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 1)
"LODO DE ENTRADA"

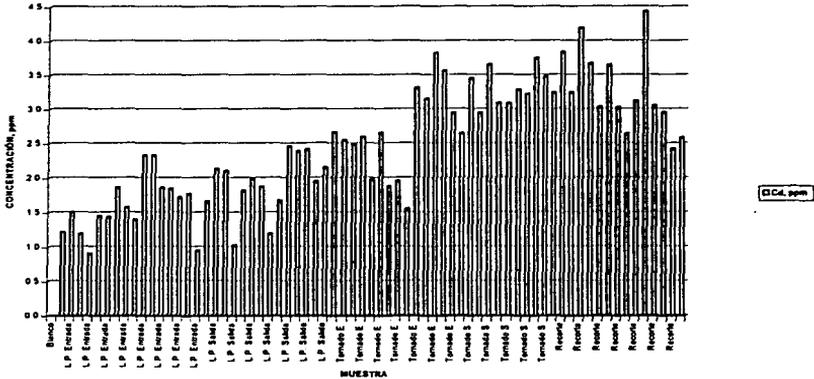


DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 1)
"LODO DE ENTRADA"

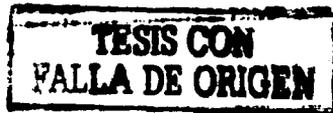
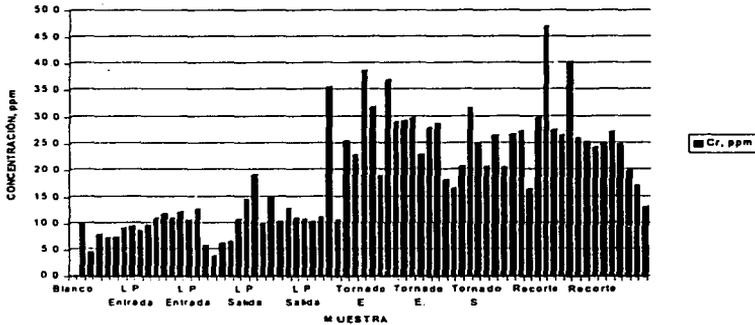


A continuación mostramos las tablas cada metal, mostrándolo durante todo su recorrido para poder analizar fácilmente en donde se encuentra la mayor cantidad de metales.

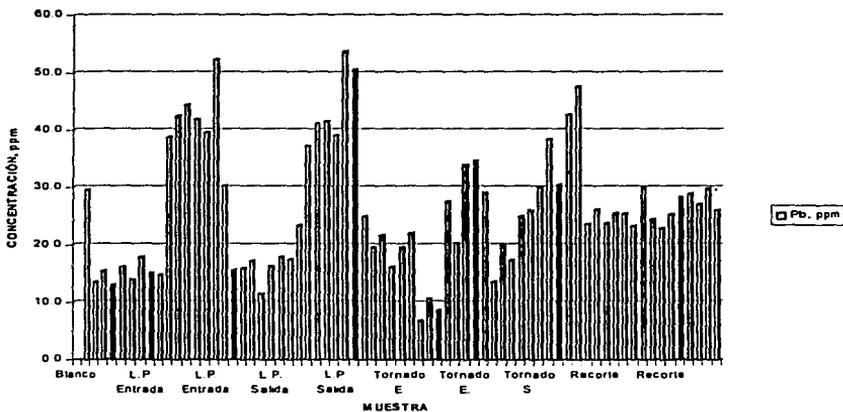
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.



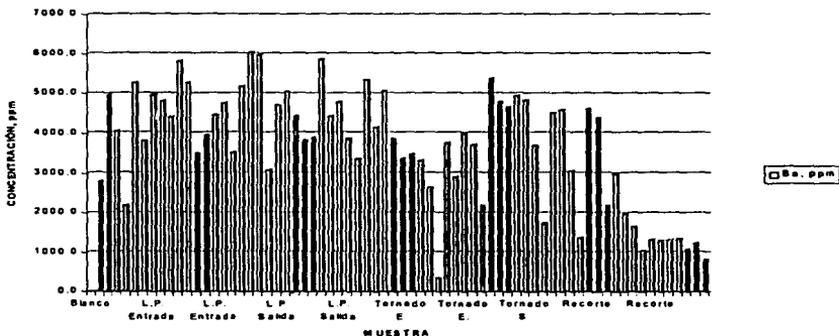
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, POZO LUNA-16 (ETAPA 1)



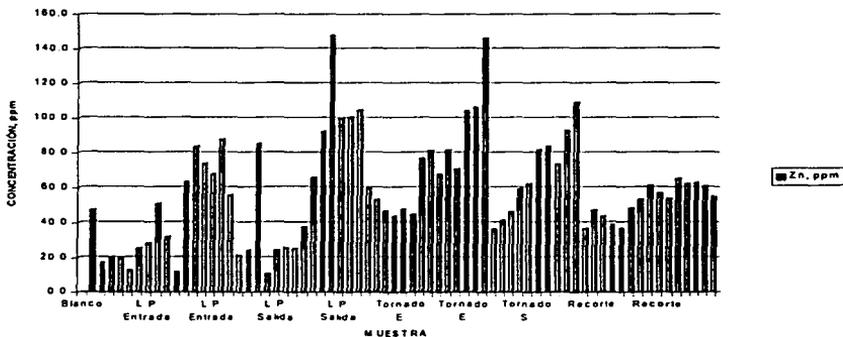
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.



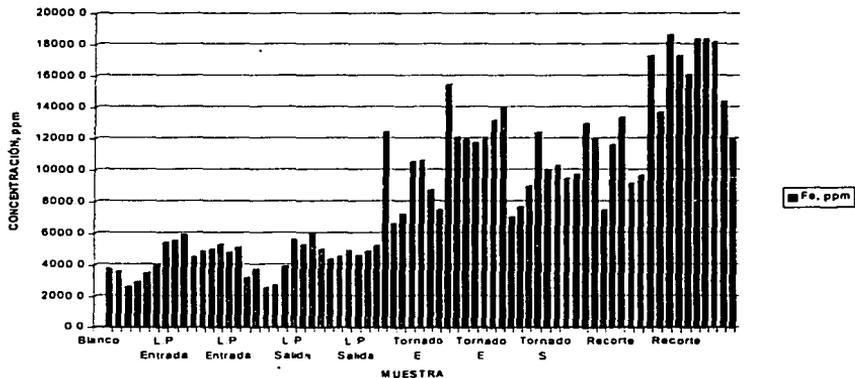
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.



DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, POZO LUNA-18 (ETAPA 1)



DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA,



Además de los lodos de perforación también los aditivos que se les aplicaron a dichos lodos se les aplico el método 3050B, para conocer el contenido de metales que éstos tenían y así saber si estos aditivos contaminan a los lodos de metales.

Cuantificación de metales por Absorción Atómica de los componentes y aditivos del Fluido de Perforación

Muestra	Peso (g)	Cd		Cu		Cr		Ni	
		Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
Blanco	0	0.000		0.021		0		0.036	
1	1.0181	0.022	2.1609	0.027	0.5893	0.014	1.3751	0.110	7.2684
2	1.0501	0.029	2.7616	0.071	4.7615	0.01	0.9523	0.283	23.5216
3	1.0074	0.018	1.7868	0.055	3.3750	0.004	0.3971	0.127	9.0332
4	1.0421	0.024	2.3030	0.036	1.4394	0.039	3.7424	0.162	12.0910
5	1.0700	0.027	2.5234	0.047	2.4299	0.017	1.5888	0.141	9.8131
6	1.0964	0.051	4.6516	0.052	2.8274	0.038	3.4659	0.311	25.0821
7	1.0996	0.027	2.4554	0.036	1.3641	0.024	2.1826	0.138	9.2761
8	1.0376	0.013	1.2529	0.027	0.5783	0	0.0000	0.082	4.4333
9	1.0243	0.052	5.0766	0.837	79.6642	0.026	2.5383	0.107	6.9316
10	1.0498	0.094	8.9541	0.367	32.9587	0.123	11.7165	0.174	13.1454
11	1.0608	0.041	3.8650	0.101	7.5415	0.126	11.8778	0.14	9.8039

Muestra	Peso (g)	Pb		Zn		Ba		Fe	
		Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect.A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
Blanco	0	0.043		0.04		0.365		0.331	
1	1.0181	0.1710	12.5724	0.1100	6.8756	0.7840	41.1551	0.3420	1.0804
2	1.0501	0.1870	13.7130	0.1010	5.8090	1.6710	124.3691	13.4900	1253.1188
3	1.0074	0.1050	6.1545	0.0610	2.0846	0.3970	3.1765	0.4050	7.3456
4	1.0421	0.1200	7.3889	0.0580	1.7273	2.0350	160.2533	0.4430	10.7475
5	1.0700	0.1750	12.3364	0.0830	4.0187	0.3660	0.0935	0.6750	32.1495
6	1.0964	0.2050	14.7756	0.1100	6.3845	1.1320	69.9562	0.5680	21.6162
7	1.0996	0.1440	9.1852	0.0870	4.2743	4.9680	418.6068	2.1160	162.3318
8	1.0376	0.0970	5.2043	0.0670	2.6022	2.3090	187.3554	0.3330	0.1928
9	1.0243	1.5180	144.0008	4.2700	412.9650	40.1500	3884.1160	23.2100	2233.6230
10	1.0498	2.709	253.9531	10.87	1031.6251	46.580	4402.2671	48.62	4599.8285
11	1.0608	0.1850	13.3861	0.2580	20.5505	3.6800	312.5000	16.8600	1558.1637

Donde las muestras enumeradas corresponden a los siguientes componentes:

- 1.-PAC UL
- 2.-SOLTEX
- 3.-STAR PAK IP
- 4.-BAR IV
- 5.-QNK
- 6.-SOSA CAUSTICA
- 7.-QM 11
- 8.-Q LUBE 100
- 9.-BARITA SILO 2
- 10.-BARITA SILO 4
- 11.-BENTONITA

Por último mostraremos los resultados en la prueba de absorción atómica en la segunda etapa de los lodos de perforación:

Prof.	Ubicación	Peso (g)	Cd		Cu		Cr		Ni	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
			0.033		0.063		0		0.082	
			0.025		0.021		0		0.074	
	Blanco	0	0.029		0.042		0.000		0.078	
850	L.P Entrada	1.062	0.041	1.1299	0.196	14.5009	0.048	4.5198	0.216	12.9944
900	L.P Entrada	1.0334	0.041	1.1612	0.161	11.5154	0.041	3.9675	0.255	17.128
950	L.P Entrada	1.0280	0.043	1.3619	0.184	13.8132	0.060	5.8366	0.243	16.0506
1000	L.P Entrada	1.0568	0.043	1.3248	0.152	10.4088	0.032	3.0280	0.236	14.9508
1050	L.P Entrada	1.0806	0.045	1.4807	0.166	11.4751	0.041	3.7942	0.271	17.8604
1100	L.P Entrada	1.0082	0.046	1.6862	0.161	11.8032	0.037	3.6699	0.256	17.6552
1150	L.P Entrada	1.0286	0.048	1.8472	0.159	11.3747	0.046	4.4721	0.288	20.4161
1200	L.P Entrada	1.0954	0.048	1.7345	0.175	12.1417	0.037	3.3778	0.298	20.0840
1250	L.P Entrada	1.0163	0.050	2.0663	0.154	11.0204	0.038	3.7391	0.275	19.3840
1300	L.P Entrada	1.0801	0.049	1.8517	0.194	14.0728	0.055	5.0921	0.305	21.0166
1350	L.P Entrada	1.0444	0.051	2.1065	0.236	18.5753	0.041	3.9257	0.296	20.8732
1400	L.P Entrada	1.0414	0.051	2.1125	0.207	15.8441	0.050	4.8012	0.343	25.4465
1500	L.P Entrada	1.0362	0.048	1.8336	0.194	14.6690	0.056	5.4044	0.321	23.4511
1550	L.P Entrada	1.0648	0.051	2.0661	0.186	13.5237	0.110	10.3306	0.345	25.0751
1600	L.P Entrada	1.0359	0.050	2.0272	0.164	11.7772	0.062	5.9851	0.329	24.2301
1650	L.P Entrada	1.0045	0.048	1.8915	0.194	15.1319	0.048	4.7785	0.334	25.4853
1700	L.P Entrada	1.099	0.045	1.4559	0.184	12.9208	0.032	2.9117	0.313	21.3831
1750	L.P Entrada	1.0159	0.046	1.6734	0.162	11.8122	0.033	3.2484	0.315	23.3291
1800	L.P Entrada	1.0711	0.052	2.1473	0.185	13.3508	0.028	2.6141	0.344	24.8343
1850	L.P Entrada	1.0144	0.042	1.2815	0.152	10.8438	0.000	0.0000	0.232	15.1814
1900	L.P Entrada	1.0665	0.048	1.7815	0.216	16.3150	0.014	1.3127	0.266	17.6278
1950	L.P Entrada	1.0242	0.045	1.5622	0.242	19.5274	0.016	1.5622	0.275	19.2345
2000	L.P Entrada	1.0502	0.037	0.7618	0.224	17.3300	0.062	5.9036	0.297	20.8532
2050	L.P Entrada	1.0452	0.033	0.3827	0.182	13.3946	0.025	2.3919	0.260	17.4129
2250	L.P Entrada	1.0143	0.035	0.5915	0.176	13.2111	0.043	4.2394	0.303	22.1828
850	L.P Salida	1.0322	0.036	0.6782	0.167	12.1101	0.040	3.8752	0.234	15.1134
900	L.P Salida	1.0229	0.034	0.4888	0.169	12.4157	0.034	3.3239	0.237	15.5440
950	L.P Salida	1.0732	0.037	0.7454	0.154	10.4361	0.049	4.5658	0.419	31.7741
1000	L.P Salida	1.0095	0.036	0.6934	0.143	10.0050	0.027	2.6746	0.249	16.9391
1150	L.P Salida	1.0104	0.040	1.0887	0.184	14.0538	0.037	3.6619	0.257	17.7158
1200	L.P Salida	1.0448	0.040	1.0528	0.163	11.5812	0.055	5.2642	0.280	19.3338
1250	L.P Salida	1.0829	0.041	1.1081	0.142	9.2345	0.128	11.8201	0.309	21.3316
1300	L.P Salida	1.0857	0.040	1.0132	0.172	11.9738	0.319	29.3820	0.314	21.7371
1350	L.P Salida	1.0919	0.043	1.2822	0.198	14.2870	0.499	45.7002	0.356	25.4602
1400	L.P Salida	1.0205	0.047	1.7638	0.174	12.9348	1.195	117.0995	0.394	30.9652
1500	L.P Salida	1.0535	0.041	1.1391	0.163	11.4855	0.240	22.7812	0.320	22.9710
1550	L.P Salida	1.0341	0.045	1.5472	0.154	10.8307	0.175	16.9229	0.329	24.2723
1600	L.P Salida	1.0347	0.046	1.6430	0.169	12.2741	0.102	9.8579	0.341	25.4180
1650	L.P Salida	1.0505	0.042	1.2375	0.177	12.8510	0.129	12.2799	0.338	24.7501

Prof.	Ubicación	Peso (g)	Cd		Cu		Cr		Ni	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
			0.033		0.063		0		0.082	
			0.025		0.021		0		0.074	
	Blanco	0	0.029		0.042		0.000		0.078	
1700	L.P Salida	1.0309	0.031	0.1940	0.158	11.2523	0.050	4.8501	0.215	13.2894
1750	L.P Salida	1.0254	0.033	0.3901	0.139	9.4597	0.039	3.8034	0.188	10.7275
1800	L.P Salida	1.0068	0.033	0.3973	0.305	26.1224	0.074	7.3500	0.201	12.2169
1850	L.P Salida	1.0032	0.034	0.4984	0.129	8.6722	0.034	3.3892	0.217	13.8557
1900	L.P Salida	1.0544	0.037	0.7587	0.147	9.9583	0.038	3.6039	0.186	10.2428
1950	L.P Salida	1.0186	0.033	0.3927	0.192	14.7261	0.037	3.6324	0.195	11.4864
2000	L.P Salida	1.0491	0.046	1.6204	0.181	13.2495	0.034	3.2409	0.221	13.6307
2050	L.P Salida	1.0645	0.039	0.9394	0.173	12.3062	0.039	3.6637	0.196	11.0850
900	Tornado E.	1.0584	0.050	1.9841	0.269	21.4475	0.204	19.2744	0.758	64.2479
950	Tornado E.	1.0158	0.044	1.4767	0.261	21.5594	0.422	41.5436	0.740	65.1703
1150	Tornado E.	1.0831	0.048	1.7542	0.253	19.4811	0.230	21.2353	0.615	49.5799
1200	Tornado E.	1.0593	0.045	1.5104	0.241	18.7860	0.304	28.6982	0.339	24.6389
1250	Tornado E.	1.0608	0.049	1.8854	0.185	13.4804	0.269	25.3582	0.742	62.5943
1300	Tornado E.	1.0641	0.046	1.5976	0.186	13.5326	0.142	13.3446	0.417	31.8579
1350	Tornado E.	1.0184	0.048	1.8657	0.267	22.0935	0.269	26.4140	0.793	70.2082
1550	Tornado E.	1.0582	0.050	1.9845	0.197	14.6475	0.314	29.6730	0.615	50.7456
1600	Tornado E.	1.0223	0.046	1.6629	0.152	10.7601	0.096	9.3906	0.543	45.4857
1650	Tornado E.	1.0082	0.048	1.8845	0.154	11.1089	0.097	9.6211	0.519	43.7413
1850	Tornado E.	1.0415	0.052	2.2084	0.194	14.5943	0.180	17.2828	0.764	65.8665
1900	Tornado E.	1.0606	0.055	2.4514	0.185	13.4829	0.147	13.8601	0.706	59.2118
1950	Tornado E.	1.0568	0.056	2.5549	0.228	17.6003	0.202	19.1143	1.005	87.7176
2000	Tornado E.	1.0139	0.059	2.9589	0.222	17.7532	0.238	23.4737	1.249	115.4946
900	Tornado S.	1.099	0.056	2.4568	0.208	15.1046	0.119	10.8280	0.610	48.4076
950	Tornado S.	1.0149	0.056	2.6604	0.204	15.9622	0.077	7.5870	0.360	27.7860
1150	Tornado S.	1.0524	0.055	2.4705	0.221	17.0087	0.316	30.0266	0.615	51.0262
1200	Tornado S.	1.027	0.053	2.3369	0.186	14.0214	0.294	28.6271	0.560	46.9328
1250	Tornado S.	1.0394	0.055	2.5014	0.226	17.7025	0.604	58.1104	0.630	53.1076
1300	Tornado S.	1.0992	0.054	2.2744	0.255	19.3777	1.083	98.5262	1.140	96.6157
1350	Tornado S.	1.0669	0.056	2.5307	0.227	17.3400	0.305	28.5875	0.766	64.4859
1400	Tornado S.	1.0497	0.053	2.2864	0.231	18.0051	0.286	27.2459	0.746	63.6372
1500	Tornado S.	1.0297	0.054	2.4279	0.227	17.9664	0.226	21.9481	0.560	46.8098
1550	Tornado S.	1.0743	0.051	2.0478	0.208	15.4519	0.302	28.1113	0.685	56.5019
1650	Tornado S.	1.0975	0.034	2.5513	0.298	25.6036	0.268	24.1458	0.798	68.9749
1700	Tornado S.	1.0120	0.029	2.2727	0.262	24.2095	0.213	20.7510	0.615	56.7194
1750	Tornado S.	1.0712	0.023	1.5870	0.205	17.5504	0.137	12.5093	0.429	36.2211
1800	Tornado S.	1.0288	0.032	2.5272	0.202	17.9821	0.194	18.5653	0.66	60.1672
1850	Tornado S.	1.0308	0.034	2.7163	0.236	21.2456	0.213	20.3725	0.786	72.2740
1900	Tornado S.	1.0770	0.038	2.9712	0.248	21.4485	0.923	85.4225	0.729	63.8812
1950	Tornado S.	1.0174	0.028	2.1624	0.265	24.37586	0.349	34.008	0.728	67.52506
2050	Tornado S.	1.0463	0.039	3.1540	0.27	24.18045	0.67	63.7841	0.911	83.15015

Prof.	Ubicación	Peso (g)	Cd		Cu		Cr		Ni	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
850	Recorte	1.0669	0.046	3.7492	0.263	23.05746	0.244	22.5888087	0.719	63.5486
900	Recorte	1.0105	0.044	3.7605	0.258	23.84958	0.294	28.79762494	0.775	72.63731
950	Recorte	1.0248	0.049	4.1959	0.28	25.66354	0.25	24.10226386	0.767	70.84309
1000	Recorte	1.0827	0.045	3.6021	0.283	24.56821	0.314	28.72448508	0.837	73.5199
1050	Recorte	1.0974	0.041	3.1894	0.194	16.12903	0.491	44.4687443	0.645	55.03918
1150	Recorte	1.0835	0.043	3.4149	0.258	22.24273	0.248	22.61190586	0.966	85.37148
1250	Recorte	1.0663	0.037	2.9072	0.275	24.19582	0.215	19.88183438	0.808	71.93098
1300	Recorte	1.0132	0.038	3.1583	0.235	21.51599	0.301	29.41176471	1.335	127.7142
1350	Recorte	1.0929	0.043	3.3855	0.207	17.38494	0.347	31.47588983	0.663	56.9128
1400	Recorte	1.0726	0.041	3.2631	0.201	17.15458	0.295	27.2235685	0.986	88.10367
1500	Recorte	1.0712	0.048	3.9208	0.2	17.08364	0.459	42.5690814	0.739	65.16057
1550	Recorte	1.0907	0.045	3.5757	0.181	15.03622	0.392	35.66516916	0.585	49.87623
1600	Recorte	1.0501	0.042	3.4282	0.132	10.95134	0.217	20.37901152	0.35	29.42577
1650	Recorte	1.0905	0.041	3.2095	0.192	16.04768	0.31	28.15222375	0.461	38.51444
1700	Recorte	1.0632	0.042	3.3860	0.134	11.00451	0.189	17.49435666	0.328	26.99398
1750	Recorte	1.0342	0.042	3.4810	0.122	10.15278	0.127	11.98994392	0.294	24.46335
1800	Recorte	1.0232	0.040	3.3229	0.162	14.17123	0.159	15.24628616	0.395	34.59734
1850	Recorte	1.0847	0.045	3.9955	0.251	21.57279	0.332	30.33096709	1.759	158.3848
1950	Recorte	1.0777	0.050	4.0828	0.219	18.74362	0.191	17.44455785	0.587	50.66345
2000	Recorte	1.0623	0.063	5.3657	0.194	16.66196	0.25	23.25143556	0.621	54.59851
2050	Recorte	1.0394	0.046	3.8484	0.17	14.72003	0.126	11.83375024	0.353	30.01732

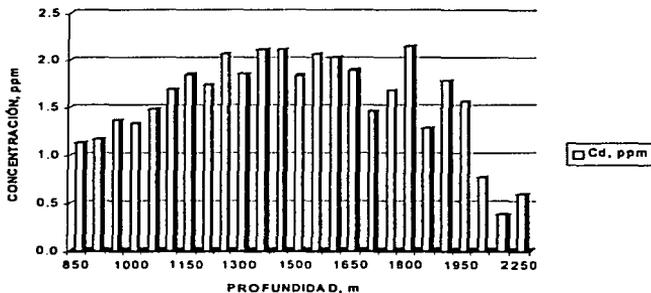
Muestra	Prof.	Ubicación	Pb		Zn		Ba		Fe	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
Blanco1			0.149		0.103		0		0.4	
Blanco2			0.118		0.054		0.11		0.1	
Bco. Prom		Blanco	0.134		0.079		0.055		0.250	
70	850	L.P Entrada	0.529	37.2411	1.217	107.2034	58.68	5520.2448	31.9	2980.2260
71	900	L.P Entrada	0.467	32.2721	0.951	84.4300	54.84	5301.4322	33.1	3178.8272
72	950	L.P Entrada	0.474	33.1226	0.869	76.8969	60.89	5917.8016	34.2	3302.5292
73	1000	L.P Entrada	0.429	27.9618	0.824	70.5431	51.44	4862.3202	40.9	3846.5178
74	1050	L.P Entrada	0.442	28.5490	0.892	75.2823	56.13	5189.2467	41.6	3826.5778
75	1100	L.P Entrada	0.467	33.0788	0.949	86.3420	61.45	6089.5656	40.2	3962.5074
76	1150	L.P Entrada	0.651	50.3111	1.412	129.6422	59.07	5737.4101	45	4350.5736
77	1200	L.P Entrada	0.692	50.9859	2.015	176.7847	50.30	4586.9089	45.9	4167.4274
78	1250	L.P Entrada	0.646	50.4280	1.327	122.8476	56.54	5557.9061	43.8	4285.1520
79	1300	L.P Entrada	0.732	55.4115	1.557	136.8855	65.65	6073.0488	51.2	4717.1558
80	1350	L.P Entrada	0.718	55.9651	1.583	144.0540	54.37	5200.5936	48.6	4629.4523
81	1400	L.P Entrada	0.726	56.8946	1.572	143.4127	56.55	5424.9088	48	4585.1738
82	1500	L.P Entrada	0.632	48.1085	1.305	118.3652	48.38	4663.6750	48.6	4666.0876
83	1550	L.P Entrada	0.657	49.1642	1.290	113.7772	47.93	4496.1495	57.9	5414.1623
84	1600	L.P Entrada	0.598	44.8402	1.185	106.8153	48.09	4637.0306	49.2	4725.3596

Muestra	Prof.	Ubicación	Pb		Zn		Ba		Fe	
			Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm	Lect. A.A	ppm
Blanco1			0.149		0.103		0		0.4	
Blanco2			0.118		0.054		0.11		0.1	
Bco. Prom.		Blanco	0.134		0.079		0.055		0.250	
85	1650	L.P Entrada	0.577	44.1513	1.117	103.3848	56.90	5659.0343	47.1	4664.0119
86	1700	L.P Entrada	0.592	41.7197	1.141	96.6788	38.49	3497.2702	45.9	4153.7762
87	1750	L.P Entrada	0.559	41.8840	1.066	97.2044	41.17	4047.1503	41.6	4070.2825
88	1800	L.P Entrada	0.612	44.6737	1.127	97.8900	0.00	0.0000	42.8	3972.5516
89	1850	L.P Entrada	0.478	33.9610	0.865	77.5335	44.58	4389.2942	30.3	2962.3423
90	1900	L.P Entrada	0.589	42.7098	1.118	97.4684	46.53	4357.7121	43.1	4017.8153
91	1950	L.P Entrada	0.543	39.9824	0.966	86.6530	46.66	4550.3808	39.6	3842.0230
92	2000	L.P Entrada	0.546	39.2782	1.015	89.1735	56.21	5347.0767	41.2	3899.2573
93	2050	L.P Entrada	0.474	32.5775	0.865	75.2488	41.76	3990.1454	37.4	3554.3437
94	2250	L.P Entrada	0.419	28.1475	0.717	62.9498	41.62	4097.9000	31.7	3100.6606
95	850	L.P Salida	0.512	36.6693	0.874	77.0684	52.88	5117.7097	27.6	2649.6803
96	900	L.P Salida	0.471	32.9944	0.831	73.5654	42.23	4123.0814	30.5	2957.2783
97	950	L.P Salida	0.450	29.4912	0.756	63.1290	49.44	4601.6586	28.6	2641.6325
98	1000	L.P Salida	0.425	28.8757	0.714	62.9520	45.58	4509.6582	32.2	3164.9331
99	1150	L.P Salida	0.605	46.6647	1.286	119.5071	42.22	4173.0998	42.4	4171.6152
100	1200	L.P Salida	0.603	44.9368	1.145	102.0770	48.26	4613.8017	40.2	3823.6983
101	1250	L.P Salida	0.650	47.6960	1.263	109.3822	45.19	4167.9749	47.8	4390.9872
102	1300	L.P Salida	0.720	54.0204	1.382	120.0608	37.61	3459.0587	55.3	5070.4615
103	1350	L.P Salida	0.767	58.0181	1.597	139.0695	43.85	4010.8984	59.9	5462.9545
104	1400	L.P Salida	0.716	57.0799	1.461	135.4728	40.63	3975.9922	62.2	6070.5537
105	1500	L.P Salida	0.644	48.4575	1.295	115.4722	26.26	2487.4229	55.4	5234.9312
106	1550	L.P Salida	0.663	51.2039	1.243	112.6100	38.78	3744.8022	51.2	4926.9897
107	1600	L.P Salida	0.655	50.4011	1.183	106.7459	38.38	3703.9722	61	5871.2670
108	1650	L.P Salida	0.623	46.5969	1.177	104.5693	31.49	2992.3846	52.4	4964.3027
109	1700	L.P Salida	0.495	35.0664	1.077	96.8571	43.58	4222.0390	46.7	4505.7717
110	1750	L.P Salida	0.520	37.6926	1.034	93.1831	45.30	4412.4244	45.3	4393.4075
111	1800	L.P Salida	0.490	35.4092	1.137	105.1351	45.81	4544.5967	44.6	4405.0457
112	1850	L.P Salida	0.531	39.6232	0.970	88.8656	47.84	4763.2576	42.8	4241.4274
113	1900	L.P Salida	0.534	37.9837	1.046	91.7583	57.18	5417.7731	43.0	4054.4385
114	1950	L.P Salida	0.476	33.6246	0.925	83.1043	37.24	3650.5989	40.7	3971.1369
115	2000	L.P Salida	0.547	39.4147	1.032	90.8874	64.82	6173.3867	42.2	3998.6655
116	2050	L.P Salida	0.467	31.3293	0.884	75.6693	43.47	4078.4406	42.1	3931.4232
117	900	Tornado E.	0.431	28.1085	0.927	80.1682	37.19	3508.5979	155.7	14687.2638
118	950	Tornado E.	0.388	25.0541	0.891	79.9862	36.40	3577.9681	141.1	13865.9185
119	1150	Tornado E.	0.550	38.4544	1.279	110.8393	47.02	4336.1647	123.2	11351.6757
120	1200	Tornado E.	0.560	40.2624	1.693	152.4120	44.13	4160.7665	75.4	7094.3076
121	1250	Tornado E.	0.507	35.2093	1.208	106.4762	43.95	4137.9148	160.6	15115.9502
122	1300	Tornado E.	0.585	42.4302	1.245	109.6232	10.33	965.6047	89.4	8377.9720
123	1350	Tornado E.	0.443	30.3908	0.993	89.7977	33.77	3310.5852	158.8	15568.5389
124	1550	Tornado E.	0.546	38.9813	1.179	103.9974	43.74	4128.2366	114.4	10787.1858
125	1600	Tornado E.	0.482	34.0898	0.964	86.6184	30.18	2946.7867	97.4	9503.0813

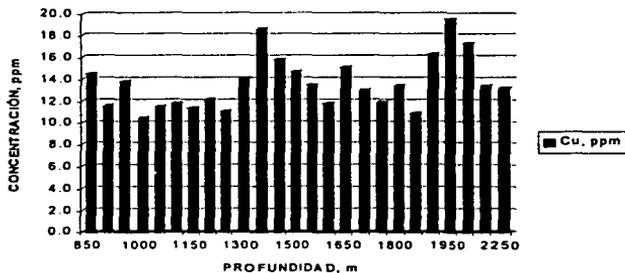
Muestra	Prof.	Ubicación	Pb		Zn		Ba		Fe	
			Lect. AA	ppm	Lect. AA	ppm	Lect. AA	ppm	Lect. AA	ppm
126	1650	Tomado E.	0.468	33.1779	1.003	91.6981	35.63	3528.5658	92.9	9189.6449
127	1850	Tomado E.	0.457	31.0610	1.054	93.6630	33.26	3188.1901	152.6	14627.9405
128	1900	Tomado E.	0.530	37.3845	1.119	98.1048	39.30	3700.2640	114.6	10781.6330
129	1950	Tomado E.	0.450	29.9489	0.966	83.9799	34.07	3218.6790	144.7	13668.6223
130	2000	Tomado E.	0.471	33.2873	0.850	76.0923	40.60	3998.9151	178.9	17620.0809
131	900	Tomado S.	0.438	27.7070	0.860	71.1101	37.39	3397.1793	119.6	10859.8726
132	950	Tomado S.	0.404	26.6529	1.135	104.0989	45.84	4511.2819	70.5	6921.8642
133	1150	Tomado S.	0.527	37.3907	1.464	131.6515	49.49	4697.3584	123.9	11749.3349
134	1200	Tomado S.	0.463	32.0837	1.189	108.1305	54.09	5261.4411	101.6	9868.5492
135	1250	Tomado S.	0.498	35.0683	1.156	103.6656	45.32	4354.9163	121.9	11703.8676
136	1300	Tomado S.	0.573	39.9836	6.540	587.8366	40.10	3643.1041	105.0	9529.6579
137	1350	Tomado S.	0.555	39.5070	1.310	115.4279	44.56	4171.4312	149.4	13979.7544
138	1400	Tomado S.	0.534	38.1538	2.522	232.7808	34.22	3254.7394	144.1	13703.9154
139	1500	Tomado S.	0.526	38.1179	1.330	121.5403	41.21	3996.7952	95.8	9279.4018
140	1550	Tomado S.	0.431	27.6925	1.309	114.5397	27.46	2550.9634	121.3	11267.8023
141	1650	Tomado S.	0.377	30.7973	0.993	82.3690	19.82	1793.1663	151.8	13831.4351
142	1700	Tomado S.	0.428	38.4387	0.99	89.0316	17.71	1736.1660	115.4	11403.1621
143	1750	Tomado S.	0.481	41.2621	1.165	100.4481	23.42	2173.2636	88.1	8224.4212
144	1800	Tomado S.	0.478	42.6711	1.062	94.5762	22.89	2211.3142	125.1	12159.7978
145	1850	Tomado S.	0.469	41.7152	1.088	96.9150	21.11	2034.3423	155.1	15046.5658
146	1900	Tomado S.	0.546	47.0752	1.187	101.9499	24.21	2234.9118	136.9	12711.2349
147	1950	Tomado S.	0.428	38.23472	0.891	78.8284	15.14	1474.3464	112.9	11096.914
148	2050	Tomado S.	0.453	39.568	0.982	85.3484	52.51	5005.2566	97.7	9337.6661
149	850	Recorte	0.457	39.17893	0.826	69.0786	39.65	3703.2524	151.6	14209.392
150	900	Recorte	0.418	37.50619	0.791	69.4706	37.71	3717.9614	151.0	14943.097
151	950	Recorte	0.434	38.54411	0.751	64.598	40.54	3942.2326	141.9	13846.604
152	1000	Recorte	0.362	29.83283	0.838	69.1789	38.37	3530.9873	154.5	14269.881
153	1050	Recorte	0.289	22.78112	0.68	53.8546	37.08	3366.1381	174.6	15910.334
154	1150	Recorte	0.439	36.9174	0.939	78.4495	44.90	4131.0568	165.3	15256.114
155	1250	Recorte	0.448	38.35694	0.981	83.6538	28.76	2684.0476	160.3	15033.293
156	1300	Recorte	0.562	51.61863	1.005	90.4066	36.77	3615.2783	97.8	9652.5859
157	1350	Recorte	0.575	49.04383	1.276	108.61	35.30	3217.1287	135.7	12416.507
158	1400	Recorte	0.453	38.5978	1.062	90.7142	35.92	3335.8195	158.1	14739.884
159	1500	Recorte	0.44	37.43465	0.982	83.3645	43.68	4064.6004	140.7	13134.802
160	1550	Recorte	0.498	42.08307	1.053	88.3836	39.24	3584.8538	106.1	9727.6978
161	1600	Recorte	0.501	43.99581	1.063	92.7531	58.25	5533.7587	59.1	5628.0354
162	1650	Recorte	0.507	42.91609	1.066	89.5919	41.54	3796.4237	83.3	7638.6978
163	1700	Recorte	0.418	35.6471	0.895	75.8089	53.64	5031.9789	57.0	5361.1738
164	1750	Recorte	0.437	38.48385	0.932	81.5123	49.79	4800.8122	54.9	5308.451
165	1800	Recorte	0.442	39.38624	0.95	84.1478	39.18	3815.4808	69.4	6782.6427
166	1850	Recorte	0.394	32.72794	0.859	70.9874	14.99	1369.0421	159.4	14695.307
167	1950	Recorte	0.539	46.3951	1.221	105.039	43.16	3991.8345	112.3	10420.34
168	2000	Recorte	0.445	38.21896	0.852	71.8253	48.17	4521.3217	85.9	8086.228
169	2050	Recorte	0.439	38.48374	0.829	71.1949	54.27	5207.8122	55.5	5339.619

Gráficas de la segunda etapa de los lodos de perforación:

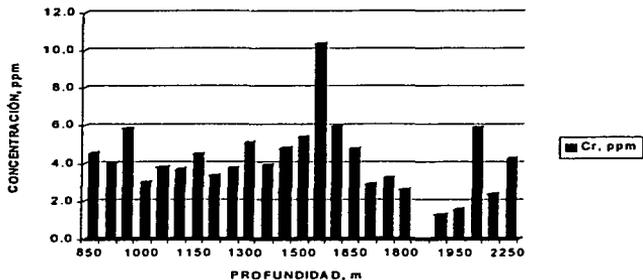
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 2) "LODO DE ENTRADA"



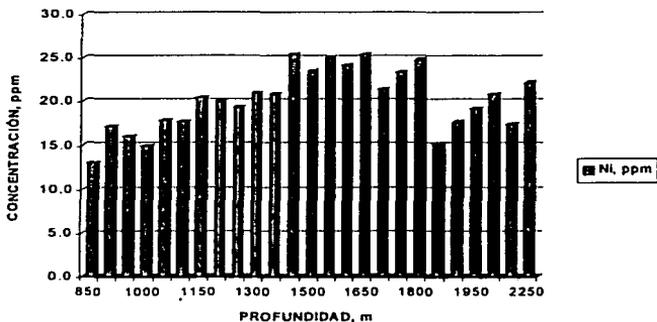
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 2) "LODO DE ENTRADA"



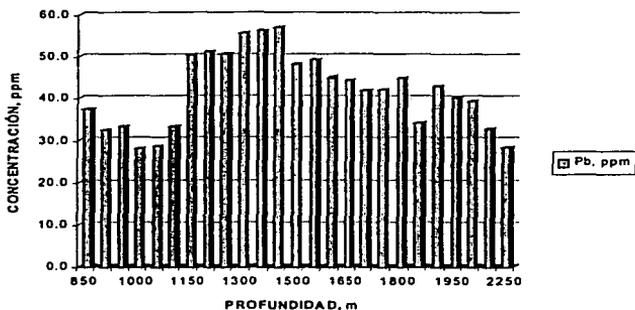
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 2) "LODO DE ENTRADA"



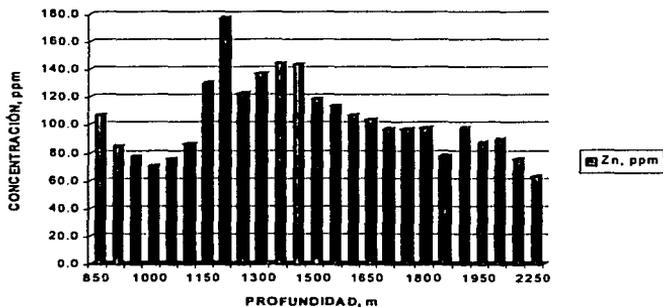
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 2) "LODO DE ENTRADA"



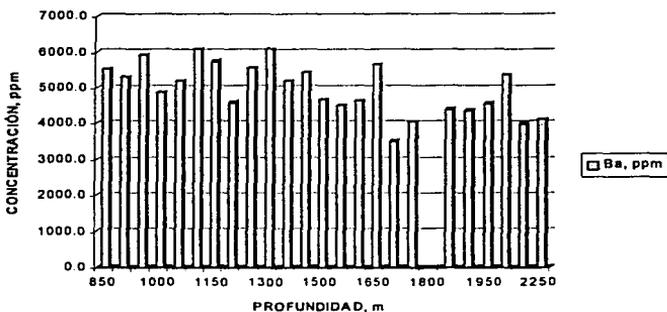
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 2) "LODO DE ENTRADA"



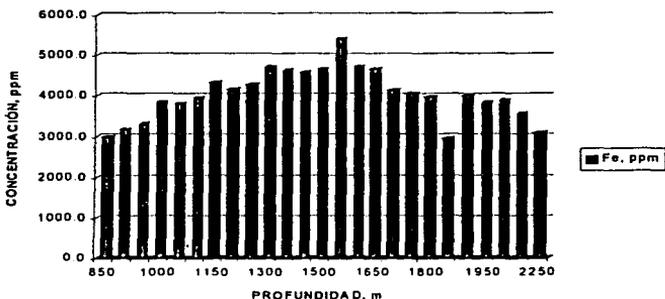
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 2) "LODO DE ENTRADA"



DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 2)
"LODO DE ENTRADA"

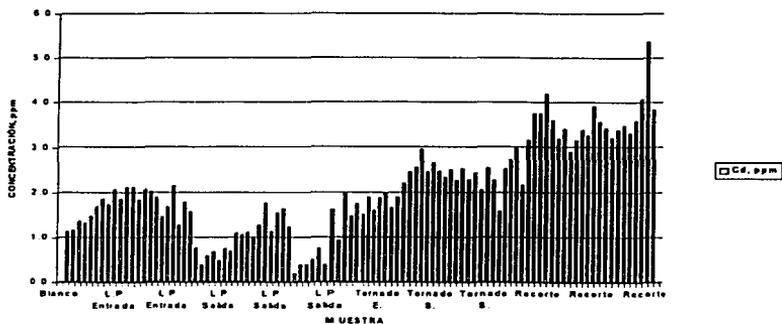


DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, (ETAPA 2)
"LODO DE ENTRADA"

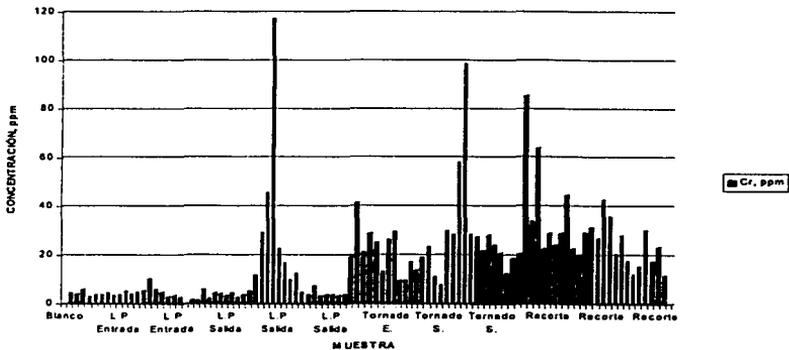


Ahora mostraremos la distribución del contenido de metales en la prueba de absorción atómica para la etapa 2:

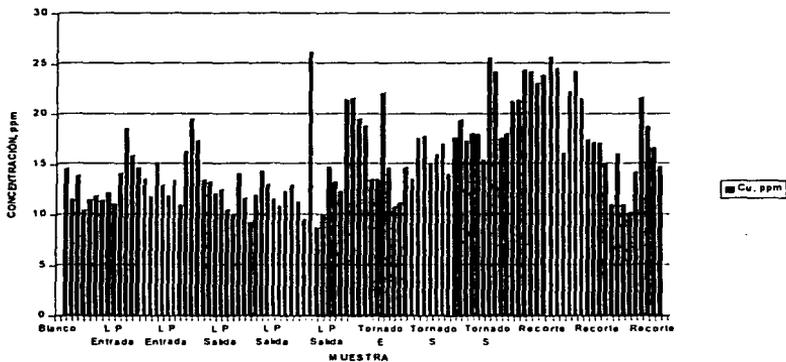
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (ETAPA 2)



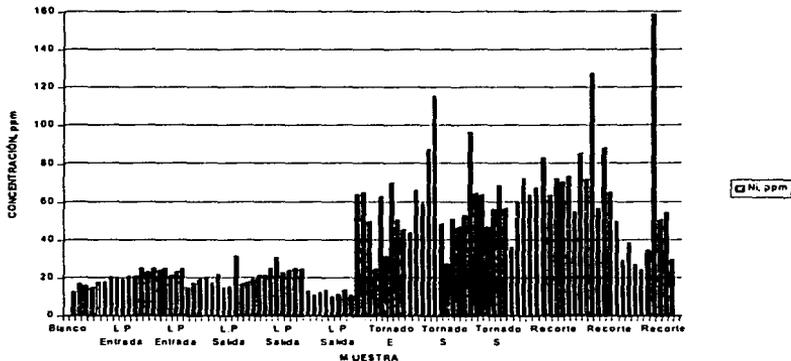
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POZO LUNA-18 (ETAPA 3)



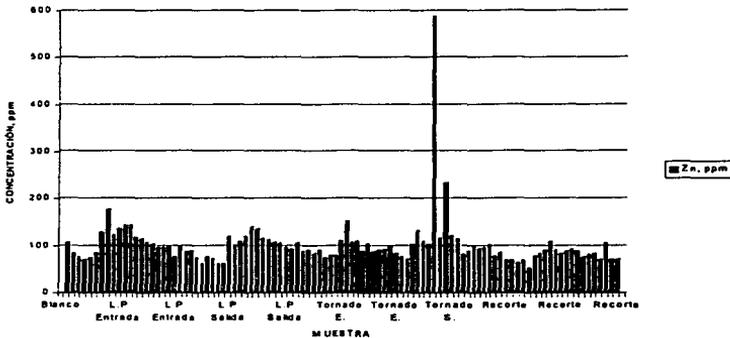
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (ETAPA 2)



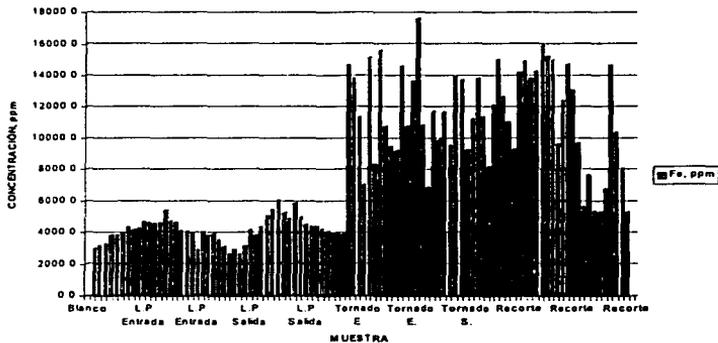
DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (ETAPA 2)



DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (ETAPA 2)



DISTRIBUCIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN LA PRUEBA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (ETAPA 2)



Con esto se concluye la última parte del análisis cuantitativo del contenido de metales pesados en fluidos de perforación y en recortes.

CAPITULO 5**Análisis de resultados para la selección de un fluido.**

A continuación se presenta el análisis de resultados experimentales del trabajo que se ha realizado a lo largo de la tesis, puesto que este proyecto de fluidos de perforación tiene que basarse en los resultados obtenidos en el laboratorio para conocer las concentraciones de metales en el fluido de perforación a lo largo del pozo.

Recordemos que el sistema de los fluidos de perforación se consideran como el aparato circulatorio del ser humano, por tal motivo si no hay una circulación óptima del fluido a lo largo del pozo entonces se encontrarán un gran número de problemas en la perforación, el análisis de resultados nos ayuda a tener una comprensión de los fenómenos involucrados y así obtener un conocimiento que nos permitirá optimizar las operaciones en campo o planearlas con mayor eficiencia.

Debido a que se tiene una cantidad de muestras amplia, el análisis de resultado se hace complejo, por tal motivo se realizó la selección de un fluido en la primera y segunda etapa de muestreo para poder tener un análisis más claro sobre la cantidad de metales que existen en los lodos de perforación.

Para hacer una selección adecuada de un fluido que represente a un conjunto en específico de valores tenemos que hacer uso de la estadística, para ser más preciso usaremos el coeficiente de correlación (r), dicho coeficiente nos ayuda a conocer la linealidad de un conjunto "X" de valores siendo lineal siempre y cuando el valor se acerque más a uno. Con la ayuda de esta herramienta de las matemáticas se seleccionó el fluido cuyo comportamiento tendió a ser más lineal que las otras.

Al encontrar dichos valores analizamos las profundidades que muestreamos a lo largo del pozo, basándonos en las tablas de absorción atómica y de los modelos reológicos, para así hacer una comparación entre ellos y definir a que profundidades se encuentra el comportamiento que estamos buscando.

En base a esto usamos una comparación de los dos modelos reológicos, tanto con el modelo de ley de potencias como con el de Bingham, dicha comparación se muestra en el capítulo 3 de esta tesis.

En lo que respecta a las tablas de absorción atómica no se le realizó un cálculo de r , puesto que los valores de absorción atómica no son lineales, ya que dependen de diferentes factores como lo son el peso de la muestra, la cantidad, la profundidad en el pozo, el lugar donde fue muestreada (entrada, salida del pozo, tornado). Así que en lugar de calcular el coeficiente de correlación, solo mostraremos los límites inferiores y superiores, así como el cálculo del valor promedio, con el objetivo de darnos cuenta cuales son las cantidades de metales en los lodos.

Absorción atómica. Ppm a Entrada del Pozo.

Prof	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
60	1.22	12.87	10.10	19.39	29.57	47.17	2783.12	3739.61
100	1.51	28.22	4.53	16.52	13.59	17.37	4962.25	3595.70
150	1.19	25.07	7.90	15.80	15.52	19.93	4062.82	2580.59
200	0.91	21.50	7.20	14.67	13.03	19.59	2165.63	2888.12
250	1.46	21.00	7.39	18.67	16.24	12.84	5276.16	3471.41
300	1.44	22.76	9.03	23.72	14.02	25.07	3807.51	3995.77
350	1.87	17.57	9.44	25.51	17.85	27.94	4962.16	5381.67
400	1.58	16.93	8.65	26.13	15.16	50.68	4802.38	5551.94
450	1.40	21.99	9.64	30.04	14.79	31.63	4405.76	5933.00
500	2.33	17.78	10.98	28.86	38.68	11.76	5817.30	4489.80
550	2.33	19.21	11.75	31.52	42.42	63.12	5267.13	4839.16
600	1.87	56.08	11.00	29.37	44.30	83.59	3497.69	4940.58
650	1.85	21.72	12.08	31.56	41.78	73.73	3947.60	5249.83
700	1.72	12.36	10.63	27.10	39.56	67.71	4455.51	4788.81
750	1.78	17.67	12.62	25.90	52.27	87.71	4767.16	5058.91
800	0.95	7.16	5.92	13.46	30.26	55.65	3509.59	3149.76
850	1.13	14.50	4.52	12.99	37.24	107.20	5520.24	2980.23
900	1.16	11.52	3.97	17.13	32.27	84.43	5301.43	3178.83
950	1.36	13.81	5.84	16.05	33.12	76.90	5917.80	3302.53
1000	1.32	10.41	3.03	14.95	27.96	70.54	4862.32	3846.52
1050	1.48	11.48	3.79	17.86	28.55	75.28	5189.25	3826.58
1100	1.69	11.80	3.67	17.66	33.08	86.34	6089.57	3962.51
1150	1.85	11.37	4.47	20.42	50.31	129.64	5737.41	4350.57
1200	1.73	12.14	3.38	20.08	50.99	176.78	4586.91	4167.43
1250	2.07	11.02	3.74	19.38	50.43	122.85	5557.91	4285.15
1300	1.85	14.07	5.09	21.02	55.41	136.89	6073.05	4717.16
1350	2.11	18.58	3.93	20.87	55.97	144.05	5200.59	4629.45
1400	2.11	15.84	4.80	25.45	56.89	143.41	5424.91	4585.17
1500	1.83	14.67	5.40	23.45	48.11	118.37	4663.68	4666.09
1550	2.07	13.52	10.33	25.08	49.16	113.78	4496.15	5414.16
1600	2.03	11.78	5.99	24.23	44.84	106.82	4637.03	4725.36
1650	1.89	15.13	4.78	25.49	44.15	103.38	5659.03	4664.01
1700	1.46	12.92	2.91	21.38	41.72	96.68	3497.27	4153.78
1750	1.67	11.81	3.25	23.33	41.88	97.20	4047.15	4070.28
1800	2.15	13.35	2.61	24.83	44.67	97.89	0.00	3972.55
1850	1.28	10.84	0.00	15.18	33.96	77.53	4389.29	2962.34
1900	1.78	16.32	1.31	17.63	42.71	97.47	4357.71	4017.82
1950	1.56	19.53	1.56	19.23	39.98	86.65	4550.38	3842.02
2000	0.76	17.33	5.90	20.85	39.28	89.17	5347.08	3899.26
2050	0.38	13.39	2.39	17.41	32.58	75.25	3990.15	3554.34
2250	0.59	13.21	4.24	22.18	28.15	62.95	4097.90	3100.66

Absorción Atómica. Ppm a la Salida del Pozo.

Prof.	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
100	1.67	23.44	3.73	18.24	15.69	21.38	5178.97	3736.39
150	2.14	14.75	6.21	15.63	16.02	24.27	6036.69	2523.78
200	2.10	16.17	6.60	16.46	17.22	85.44	5963.45	2688.48
250	1.04	14.21	10.73	18.73	11.48	10.54	3072.00	3896.47
300	1.82	20.16	14.59	47.15	16.42	24.26	4706.31	5618.39
400	1.99	14.50	19.15	38.20	17.91	25.87	5059.24	5260.16
450	1.88	13.25	9.96	30.82	17.48	25.19	4430.03	6014.47
500	1.19	13.63	14.82	26.56	23.38	37.50	3820.75	4963.69
550	1.68	22.76	10.35	2.71	37.13	65.67	3893.66	4347.01
600	2.47	13.86	12.81	27.15	41.10	92.45	5851.37	4546.32
650	2.40	17.24	11.02	29.22	41.39	148.02	4433.80	4905.15
700	2.42	14.52	10.84	29.23	39.01	100.47	4780.76	4607.49
750	1.96	21.51	10.34	25.61	53.64	100.85	3861.63	4814.23
800	2.16	27.15	11.17	27.45	50.48	104.78	3352.28	5224.47
850	0.68	12.11	3.88	15.11	36.67	77.07	5117.71	2649.68
900	0.49	12.42	3.32	15.54	32.99	73.57	4123.08	2957.28
950	0.75	10.44	4.57	31.77	29.49	63.13	4601.66	2641.63
1000	0.69	10.01	2.67	16.94	28.88	62.95	4509.66	3164.93
1150	1.09	14.05	3.66	17.72	46.66	119.51	4173.10	4171.62
1200	1.05	11.58	5.26	19.33	44.94	102.08	4613.80	3823.70
1250	1.11	9.23	11.82	21.33	47.70	109.38	4167.97	4390.99
1300	1.01	11.97	29.38	21.74	54.02	120.06	3459.06	5070.46
1350	1.28	14.29	45.70	25.46	58.02	139.07	4010.90	5462.95
1400	1.76	12.93	117.10	30.97	57.08	135.47	3975.99	6070.55
1500	1.14	11.49	22.78	22.97	48.46	115.47	2487.42	5234.93
1550	1.55	10.83	16.92	24.27	51.20	112.61	3744.80	4926.99
1600	1.64	12.27	9.86	25.42	50.40	106.75	3703.97	5871.27
1650	1.24	12.85	12.28	24.75	46.60	104.57	2992.38	4964.30
1700	0.19	11.25	4.85	13.29	35.07	96.86	4222.04	4505.77
1750	0.39	9.46	3.80	10.73	37.69	93.18	4412.42	4393.41
1800	0.40	26.12	7.35	12.22	35.41	105.14	4544.60	4405.05
1850	0.50	8.67	3.39	13.86	39.62	88.87	4763.26	4241.43
1900	0.76	9.96	3.60	10.24	37.98	91.76	5417.77	4054.44
1950	0.39	14.73	3.63	11.49	33.62	83.10	3650.60	3971.14
2000	1.62	13.25	3.24	13.63	39.41	90.89	6173.39	3998.67
2050	0.94	12.31	3.66	11.09	31.33	75.67	4078.44	3931.42

Calculo de los límites superior e inferior y promedio a la Entrada y Salida del Pozo:

Entrada del Pozo

	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
Limite Inferior	0.38	7.16	1.31	12.99	13.03	11.76	2165.63	2580.59
Limite Superior	2.33	56.08	12.62	31.56	56.89	176.78	6089.57	5933.00
Promedio	1.58	16.59	6.24	21.52	36.16	79.83	4692.10	4159.25

Tabla 5.3

Salida del Pozo.

	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
Limite Inferior	0.19	8.67	2.67	2.71	11.48	10.54	2487.42	2523.78
Limite Superior	2.47	27.15	117.10	47.15	58.02	148.02	6173.39	6070.55
Promedio	1.32	14.43	13.20	21.19	36.71	84.27	4371.80	4390.25

Tabla 5.4

Estos datos estadísticos nos ayudan a poner límites en base a la cantidad de de metales que hay en los lodos, dichos límites nos sirvieron al haber hecho la comparación con los lodos fabricados en el laboratorio y los lixiviados (de los cuales se hablara con más detalle más adelante) y así conocer si la cantidad de metales de estos últimos entra en el rango que se muestra en las tablas 1 y 2.

Debido a que tenemos una cantidad considerable de datos, necesitamos escoger un número X de éstos, para así no tener que hacer la explicación de cada uno de ellos por separado, por tal motivo realizamos el cálculo del coeficiente de correlación en las curvas de consistencia, las cuales como ya vimos en un capítulo anterior, se les aplico la reología correspondiente.

Calculo del coefiiente de correlación(r) para las curvas de consistencia a la entrada del pozo.

Velocidad de corte en rpm	Esfuerzo de corte en lectura de dial.					
	150 m	250 m	300 m	500 m	650 m	800 m
3	25	21	26	20	20	20
6	27	21	26	20	20	20
100	31	27	31	24	29	30
200	33	30	34	27	34	37
300	36	32	36	30	39	41
600	42	40	42	40	51	56
Calculo de r	0.977363	0.9809101	0.9762954	0.9990805	0.9844003	0.9850072

Tabla 5.5

Velocidad de corte en rpm	Esfuerzo de corte en lectura de dial					
	850	950	1200	1300	1500	1850
3	22	9	20	43	20	24
6	22	9	19	40	20	26
100	46	35	35	41	49	55
200	67	51	49	53	64	75
300	85	62	60	61	79	90
600	130	95	90	90	116	132
Calculo de r	0.9933379	0.9793067	0.993669	0.9823772	0.9825135	0.9841436

Tabla 5.6

Calculo de r para las curvas de consistencia a la salida del pozo.

Velocidad de corte en rpm	Esfuerzo de corte en grados de lectura dial							
	150	500	550	650	800	950	1500	1900
3	30	27	9	31	43	18	43	16
6	35	27	8	31	45	15	39	16
100	45	36	15	40	50	48	48	54
200	47	39	20	42	50	58	65	74
300	50	42	26	46	55	74	78	90
600	59	54	39	57	67	115	116	130
Calculo de r	0.9285826	0.9814065	0.9955614	0.980349	0.9872769	0.9839985	0.996599	0.9711001

Tabla 5.7

Basándose en las gráficas anteriores, marcamos con negritas las profundidades que tienen el valor de correlación más cercano a uno, seleccionando las profundidades en donde la reología del lodo es más lineal.

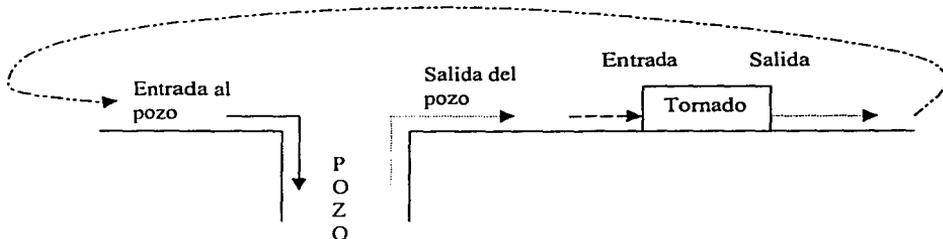
Para elegir la profundidad no solo tomamos en cuenta el coeficiente de correlación, también existe una limitante, la cual no nos va a permitir elegir el valor del coeficiente que se indico en la tabla anterior; como ya hemos visto a lo largo de la tesis, el muestreo se realizo en diferentes puntos del sistema circulatorio del pozo, entrada y salida tanto del pozo como del tornado, así como los recortes, pero no se tomo de manera uniforme, de tal manera tenemos por ejemplo que a la profundidad de 200 m existe una muestra en todos los puntos que hemos mencionado, mientras que a 350 m no existe la muestra tanto a la salida del pozo como a la salida del tornado. Dicho esto tenemos que la profundidad que escojamos debe de existir en todos los puntos de muestreo a lo largo del sistema circulatorio del pozo, de no ser así no nos sirve.

La tabla 5.5, 5.6 y 5.7 nos indican que las profundidades en donde el valor del coeficiente de correlación es el más alto son las de **550 y 1550 metros**, además de ser las más altas, existen el muestreo en todos los puntos del pozo, solo a 500 m en la entrada del pozo es

superior a estas dos, pero su valor a la salida no es tan alto, por tal motivo escogemos estas dos para analizar el contenido de metales en el pozo.

Análisis del contenido de metales pesados en el fluido de control.

A continuación haremos el análisis del contenido de metales a lo largo del pozo, en las profundidades elegidas, para así saber donde se produce el contenido de metales y cuales son las causas que lo originan.



El diagrama anterior nos muestra el recorrido del lodo a lo largo del pozo, indicando así que es un sistema circulatorio. En base a esto se haremos un pequeño planteamiento que nos dice lo siguiente:

$$Me < Ms \equiv Met < Mst$$

Me = Fluido Entrada del pozo.
 Ms = Fluido Salida del pozo.
 Met = Fluido Entrada del tornado.
 Mst = Fluido Salida del tornado.

Analicemos la hipótesis etapa por etapa no sin antes hacer mención que es válida sobre todo para el Hierro (Fe), debido a lo siguiente:

$Me < Ms \Rightarrow$	En esta etapa el fluido que entra al pozo es menor debido a el desgaste de la barrena mientras se encuentra perforando así como la recolección de los recortes que también pueden tener algún metal que ya exista en la formación en su forma natural.
$Ms \equiv Met \Rightarrow$	Es casi igual pues debe pasar íntegro el lodo de perforación del pozo al tornado.
$Met < Mst \Rightarrow$	Aquí se presenta la parte más complicada de la planteamiento, al entrar el fluido al tornado se produce una oxidación dentro de él debido a la naturaleza del lodo (el lodo tiene sal, inhibidores de hidratación tales como NO_3 , nitrato y silicato) y la presencia de aire, haciendo así que se incremente el Hierro y el Bario.

Ahora veamos que tanto se parece el planteamiento a la realidad, mostrando las pruebas de absorción atómica de los metales a la entrada y salida tanto del pozo como las del tornado en las profundidades que ya hemos escogido con anterioridad.

Análisis a 550 metros.

El análisis tiene que ser de todos los metales, de tal forma que vamos a presentarlos en forma de tabla, para así poder ver que tanto se incrementan o decrecen a lo del sistema circulatorio del pozo.

Entrada del pozo:

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1.0725	0.031	2.331	0.223	19.2075	0.129	11.7483	1.0725

Salida del pozo:

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1.072	0.024	1.6791	0.261	22.7612	0.114	10.3545	1.072

Entrada al tornado:

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1.0852	0.042	3.3174	0.136	10.9657	0.32	29.2112	1.0852

Salida del tornado:

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1.0665	0.039	3.0942	0.118	9.4702	0.271	25.1289	1.0665

Análisis a 1550 metros.

Entrada del pozo:

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
2.0661	13.5237	10.3306	25.0751	49.1642	113.7772	4,496.15	5,414.16

Salida del pozo:

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1.5472	10.8307	16.9229	24.2723	51.2039	112.61	3,744.80	4,926.99

Entrada al tornado:

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1.9845	14.6475	29.673	50.7466	38.9813	103.9974	4,128.24	10,787.19

Salida del tornado:

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
2.0478	15.4519	28.1113	56.5019	27.6925	114.5397	2,550.96	11,267.80

De las tablas anteriores tenemos las siguientes conclusiones empezando por el Fe:

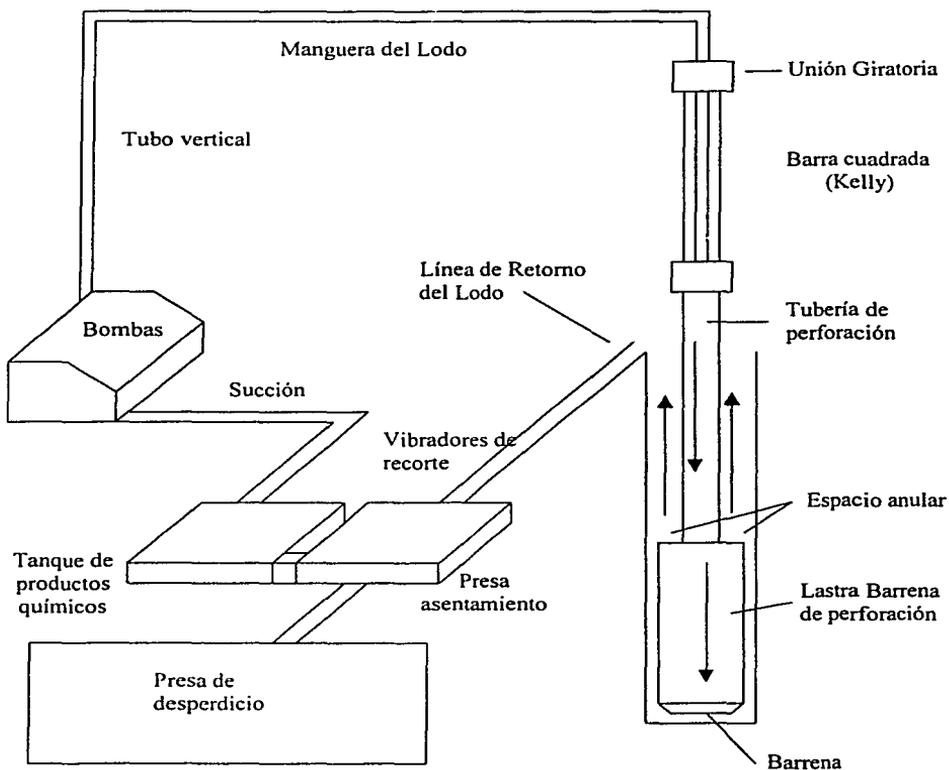
- De la *entrada a la salida del pozo* su contenido es prácticamente el mismo, debido a que el lodo no acarrea Hierro del pozo quedando el contenido de metales casi igual, como sucede a 550m. Mientras que a 1550 m. acontece un decremento, debido a que el hierro se queda en los recortes, y no en el lodo de perforación, que es el que estamos muestreando.
- De la *salida del pozo a la entrada del tornado* se presenta un incremento del hierro, según nuestro planteamiento el incremento o decremento no debe ser significativo, sin embargo se presenta un cambio bastante grande debido al arreglo del pozo, ya que los lodos no entran directamente del pozo al tornado, pasan antes por las temblorinas presentándose una oxidación al estar en contacto el fluido con el hierro de las temblorinas aumentando así el contenido de metales.
- De la *entrada a la salida del tornado*. El tornado separa el exceso de sólidos de los lodos, basándose en el principio de la fuerza centrífuga, cuando el lodo se encuentra dentro del tornado se lleva a cabo una oxidación dentro de él, debido a la naturaleza del lodo (sal, inhibidores de hidratación tales como NO₃, nitrato y silicato), aumentando el contenido de metales en el lodo, pero al ser separada la parte sólida la parte líquida no cuenta con la misma cantidad que al entrar, puesto que fue separado en dos, haciendo que la cantidad de metales se concentre en una cantidad menor. Esto tiene varias consecuencias, existe un aumento de metales debido a la oxidación dentro del tornado, pero también una reducción puesto que una cantidad de metales que contenía el lodo se va en la parte sólida.
A 550m ocurre un decremento y a 1550 m una incremento; el decremento se debe a que solo es muestreada la parte líquida de los lodos y el incremento debido a la oxidación que ocurre en el tornado. Pero en ambos casos la diferencia no es significativa.

El análisis del hierro se realizó por separado debido a la oxidación que existe en el tornado. A continuación realizamos el análisis del Bario, puesto que este metal está ligado con la barita, la cual como ya hemos analizado a lo largo de la tesis es un material que es muy importante para mantener el peso del fluido y por consiguiente mantener la densidad del fluido estable.

- De la *entrada a la salida del pozo*, tenemos un pequeño decremento, la baja de metales no es muy grande pero tampoco es despreciable, esta baja ocurre por que el lodo deja barita en las paredes del pozo para mantenerlas estables, este fenómeno se le llama depositación de jarre.
- De la *salida del pozo a la entrada del tornado* vemos un incremento notable de que?, aquí nuevamente vuelven a aparecer las temblorinas, estos aparatos se encargan de separar los excesos de sólidos de los lodos, pero estos recortes no acarrearán la barita, esta se queda siempre en los lodos, por tal razón la muestra que entra a las temblorinas sale en menor cantidad ¿, de tal forma que tenemos la misma cantidad de bario pero diluido en una porción menor de fluido.

- De la entrada a la salida del pozo con lo que respecta al bario la oxidación que ocurre dentro del tornado no lo afecta directamente, pero sí la disolución que hay al separar las partes sólidas del lodo, habiendo así una cantidad "x" de bario en una muestra más pequeña, por tal motivo podríamos tener la misma cantidad de bario a la entrada y salida.

Otra cosa que podemos observar de estas dos tablas es como la cantidad de metales se va incrementando durante la perforación. Para poder analizarlo mejor, a continuación realizaremos una breve descripción del sistema circulatorio del lodo a lo largo del pozo. Comenzando con una descripción gráfica:



Sistema de circulación del lodo. En las operaciones usuales de perforación rotatoria, se utiliza más potencia en la circulación del lodo de perforación que en cualquier otra operación. En la circulación normal, el lodo se bombea hacia adentro por la tubería de perforación, descarga por la barrena y regresa a la superficie por el espacio anular afuera de la tubería de perforación y dentro del agujero perforado y de la tubería de revestimiento colocada en el pozo.

En la superficie se requieren *presas y tanques* para almacenar el exceso de lodo. El volumen así conservado en el sistema de circulación oscila entre 300 a 700 barriles. Las presas pueden ser hechas de acero pueden ser transportadas por los caminos públicos en camiones, o presas excavadas en la tierra con un tractor de cuchilla, las primeras tienen la ventaja de que hay menos oportunidad de que el lodo se contamine con arena o con otros materiales. Las presas de acero se colocan a nivel del suelo a modo de que puedan proporcionar cierta presión en la succión de la bomba. Los recortes de perforación y derrumbes y cualquier cantidad de lodo que se retire del sistema generalmente se descarga o se lanza en chorros en la presa de reserva.

Las bombas de lodo. Las bombas son de pistones y bombean lodo por los dos lados del pistón. En un lado del pistón la capacidad por embolada se calcula por el diámetro del cilindro y la carrera del émbolo, mientras que del otro lado el volumen del vástago del pistón que corre de adentro a afuera por el prensaestopas, debe descontarse para calcular la capacidad por embolada. Los cilindros de las bombas de lodo están hechos con camisas intercambiables, porque el lodo contiene arena abrasiva y las superficies cilíndricas ser rayan tarde o temprano, a tal grado, que se tiene que cambiar.

Las bombas movidas por motor son aquellas en las cuales los pistones se mueven desde un cigüeñal. pueden fabricarse con cualquier número de cilindros y pueden ser de acción sencilla o doble. Las bombas de acción sencilla son las que bombean lodo sólo por un lado del pistón mientras que las de doble acción lo hacen por ambos lados.

Las líneas de succión de lodo de las presas o tanques a la bomba, deberán ser por lo menos una vez y media, en diámetro, mayores que los cilindros de la bomba para que se puedan llenar completamente en cada embolada. Se acostumbra tener una cámara de amortiguación, con un poco de aire comprimido en la parte superior, cerca de la descarga de la bomba. El aire comprimido sirve de colchón para suavizar parcialmente las variaciones de presión en la descarga de la bomba.

La manguera giratoria conduce el lodo del extremo superior del tubo regulador vertical que se extiende hasta la mitad de la altura de la torre, hasta la unión giratoria que soporta la parte superior de la columna de perforación. Las características de flexibilidad permite elevar y bajar la tubería de perforación, durante las operaciones de perforación mientras que el lodo se está bombeando a través y hacia abajo de la tubería.

La unión giratoria desempeña dos funciones. Permite que gire la tubería y conduce el lodo hacia ella. La unión giratoria está soportada por la polea viajera en la torre, y a su vez la unión giratoria sostiene el vástago Kelly que es girado por la mesa rotatoria.

Después de que el lodo sea dirigido por el Kelly hacia las tuberías de perforación, sigue su circulación por las lastra-barreras hasta llegar a la barrena.

El lodo de perforación se descarga en el fondo del agujero a través de ductos o boquillas en la barrena. Para ayudar a la perforación, las boquillas tienen una sección transversal relativamente pequeña para que el lodo se descargue a alta velocidad. La energía cinética de la corriente de lodo que fluye fuera de las boquillas se disipa en fricción del fluido en el fondo del agujero y se convierte en calor, además de la pérdida de energía cinética, también hay una pérdida de entrada al fluir el fluido en el área restringida. La magnitud de esta pérdida puede controlarse hasta cierto punto con el diseño de la entrada a las boquillas.

Los diámetros interiores de la tubería de perforación, las uniones para tubería y lastra-barreras y las secciones transversales de las boquillas de descarga en las barreras, determinan la mayor parte de las pérdidas de presión en el flujo de los fluidos de perforación, las que a su vez fijan la presión que debe suministrar la bomba del lodo.

El flujo de fluido de perforación regresa a la superficie por el espacio anular fuera de la tubería. El diámetro mayor en el espacio anular en la sección baja del agujero, generalmente lo fija el tamaño de la barrena y en la sección superior por el diámetro más pequeño de la tubería de revestimiento que se haya colocado y cementado en el pozo. El flujo ascendente del lodo pasa por el preventor de reventones y luego por la línea de flujo casi horizontal que se está debajo del piso de la torre que lleva el lodo otra vez a las presas de lodo.

La cibra vibratoria, que por lo general se está colocada encima de la primer presa de lodo, recibe el lodo que regresa de la línea de circulación. La cibra vibratoria es esencialmente un tamiz que se usa para separar el detritus de la perforación y los derrumbes del lodo. La cibra vibratoria es el lugar favorita para agregar agua al lodo, porque ahí el lodo que regresa del pozo es más fluido se si compara con el lodo que se mueve lentamente en las presas. Una pequeña corriente de agua distribuida por un tubo con perforaciones se usa para lavar el lodo adherido a los recortes antes de que éstos lo hagan por el extremo del tamiz.

Esta descripción del recorrido del lodo a lo largo del pozo nos permite darnos una mejor idea de todos los puntos donde el lodo puede acarrear materiales pesados, sobre todo hierro y el bario, el primero debido a la gran cantidad de partes metálicas que se gastan en la perforación, que va desde el desgaste de las bombas, hasta el desgaste de la barrena, acarreado así todas esas partes metálicas; mientras que la cantidad de bario se debe a que constantemente se le esta añadiendo barita para la mejor consistencia del lodo.

Eventos por las cuales se presenta un incremento de metales pesados en los lodos de perforación:

1. La bombas son la fuente de poder para que el flujo pueda fluir al pozo, presentando un desgaste continuo en las camisas de los cilindros incrementando así la cantidad de hierro en los lodos de perforación, dicho desgaste sucede cada vez que el lodo pase a través de las bombas.
2. Al salir por las boquillas de las barrenas, el desgaste de la barrena también hace que los lodos acarrean más hierro.
3. El pasar por el espacio anular parte del lodo se queda pegado en las paredes (enjarre) para poder mantener la estabilidad del pozo, quedándose así parte de los sólidos del lodo.
4. En los sistemas de separación ocurre la oxidación, debido al contacto con el aire y las partes metálicas de los mismos sistemas. Habiendo así otro incremento de metales en los lodos.

Debido a estos factores ocurre un incremento constante de metales en los lodos, nótese como incrementan todos los metales mientras más se perfora, debido a la naturaleza del sistema circulatorio, se quitan los recortes de los lodos, pero a pesar que se quedan algunas partes metálicas en ellos no es suficiente para reducir la cantidad de metales pesados en los lodos, así que cada vez que el lodo se vuelve a introducir al pozo, va con una cantidad mayor de metales que la anterior, debido al aumento de metales va desde el desgaste de la barrena, hasta la oxidación existente en el ECS tornado, el aumento de metales lo podemos observar en las pruebas de absorción atómica.

Entrada del pozo a 550 m.

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1.0725	0.031	2.331	0.223	19.2075	0.129	11.7483	1.0725
↓ +	↓ +	↓ +	↓ +	↓ +	↓ +	↓ +	↓ +

Entrada del pozo a 1550 m

Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
2.0661	13.5237	10.3306	25.0751	49.1642	113.7772	4,496.15	5,414.16

Comparación con los límites permisibles.

La técnica de absorción atómica por medio de la digestión usando el ácido nítrico es completa haciendo que la muestra quede totalmente solubilizada manifestando así la cantidad de metales que contiene por completo y no solo una parte de ella.

Otro método de preparación es la de la norma ecológica NOM-052, esta técnica es parecida a la digestión que se realizó en la absorción atómica, pero es una digestión ligera.

Las muestras que fueron sometidas a esta técnica las llamaremos lixiviados, dichos lixiviados tienen como única diferencia con respecto a la técnica EPA 3050 que en lugar de ácido nítrico se usa ácido acético. Este es un ácido débil, hace que a la muestra se le extraiga una cantidad menor de los metales que la que realmente contiene. Esta norma cuenta con una serie de tablas que nos indican la cantidad de metales que deben de contener los lodos, por tal motivo a continuación mostraremos los resultados de las pruebas de lixiviados que se llevaron a cabo.

Los lixiviados tienen que ser menores que los límites máximos permisibles que nos indican la norma mexicana ecológica NOM-052.

La siguiente tabla nos muestra los lixiviados comparados con los límites máximos permisibles:

Muestra	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
	Lect. A.A	Lect.A.A	Lect. A.A					
Lodo Entrada	0.042	0.067	0.061	0.462	0.311	0.275	0.412	0.708
Lodo Salida	0.041	0.064	0.058	0.445	0.295	0.329	0.453	0.81
Tornado Entrada	0.048	0.051	0.059	0.716	0.256	0.203	0.495	1.016
Tornado Salida	0.019	0.037	0.048	0.246	0.167	0.346	0.797	4.268
Recortes	0.040	0.044	0.062	0.735	0.296	0.172	0.492	1.118
Límites máximos*	1.000	N/A	5.000	5.000	5.000	5.000	100.000	N/A

Tabla 5.8

* Los valores que se indican en la tabla todos están en ppm.

Es evidente que todos y cada uno de los metales cumple con los valores permisibles, debido a que la cantidad de metales que se extrae es mucho menor, hagamos esta comparación con los valores de la EPA 3050 en la cual se usó ácido nítrico en lugar del acético que se usa en los lixiviados.

Muestra	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
	Lect. A.A	Lect.A.A	Lect. A.A					
Lodo Entrada	2.3	19.20	11.74	31.51	42.42	63.1235	5267.13	4839.16
Lodo Salida	1.67	22.76	10.35	2.70	17.12	65.6716	3893.65	4347.01
Tornado Entrada	3.31	10.96	29.21	65.33	27.55	81.9204	3749.53	11942.49
Tornado Salida	3.09	9.47	25.12	54.47	0.317	62.3535	4826.06	10060.94
Recortes	4.43	17.85	27.11	84.52	28.27	65.1293	1310.30	18400.23
Límites máximos*	1.000	N/A	5.000	5.000	5.000	5.000	100.000	N/A

Tabla 5.9

En este caso también es evidente que la cantidad de metales es mucho mayor que los límites permisibles, debido a que la digestión es mucho más agresiva e indica una la cantidad más exacta de metales que contiene la muestra.

Por medio de esta comparación se observa que la técnica de absorción atómica con el epa 3052 para determinar metales permite una extracción mas completa de los metales que la norma mexicana NOM-CRP-001-ECOL/93, debido a que esta última usa ácido acético y el EPA 3052 usa el ácido nítrico.

Recomendamos que para hacer un análisis más exacto de la cantidad de metales en los lodos de perforación se use la norma EPA 3050, ya que es una norma que nos muestra una cantidad más clara del contenido de metales en los lodos que la NOM, que es la que se usa en la industria para el análisis de metales en los pozos.

REOLOGÍA DEL POZO VS CONTENIDO DE METALES.

Se realiza un análisis de la reología del pozo con el contenido de metales, en estas observaciones haremos énfasis de cómo se comporta el contenido de metales en los lodos cuando las viscosidades aumentan o disminuyen, así como su gel, punto de cedencia, etc..., en síntesis cuando la reología cambia.

El análisis se basan en las tablas *del capítulo 3 y 4* las primeras nos indican la reología que se hizo a lo largo del pozo mientras que las segundas el contenido de metales en los lodos según la norma EPA 3050. Estas tablas solo muestran la entrada y salida del pozo, de tal forma que el análisis se basará explícitamente alrededor de estos dos puntos de muestreo.

Entrada del pozo.

El desarrollo del tema a la entrada del pozo se basa las siguientes tablas extraídas de los capítulos 3 y 4.

Reología del pozo.					
Metros	Va	Vp	Pc	Gel 10'	Gel 10"
150	21	6	30	20	27
250	20	8	24	20	21
300	21	6	30	22	22
500	20	10	20	25	60
650	25.5	12	27	20	27
800	28	15	26	18	52
850	65	45	40	9	30
950	47.5	33	29	5	26
1200	45	30	30	6	35
1300	45	29	32	42	77
1500	58	37	42	10	42
1850	66	42	48	7	18

Absorción atómica del pozo.								
Prof	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
150	1.19	25.07	7.90	15.80	15.52	19.93	4063	2581
250	1.46	21.00	7.39	18.67	16.24	12.84	5276	3471
300	1.44	22.76	9.03	23.72	14.02	25.07	3808	3996
500	2.33	17.78	10.98	28.86	38.68	11.76	5817	4490
650	1.85	21.72	12.08	31.56	41.78	73.73	3948	5250
800	0.95	7.16	5.92	13.46	30.26	55.65	3510	3150
850	1.13	14.50	4.52	12.99	37.24	107.20	5520	2980
950	1.36	13.81	5.84	16.05	33.12	76.90	5918	3303
1200	1.73	12.14	3.38	20.08	50.99	176.78	4587	4167
1300	1.85	14.07	5.09	21.02	55.41	136.89	6073	4717
1500	1.83	14.67	5.40	23.45	48.11	118.37	4664	4666
1850	1.28	10.84	0.00	15.18	33.96	77.53	4389	2962

Comportamiento de metales cuando la reología cambia.

Metros	Va	Vp	Pc	Gel 10'	Gel 10''	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
150	21	6	30	20	27	1.19	25.07	7.9	15.8	15.52	19.93	4063	2581
250	20	8	24	20	21	1.46	21	7.39	18.67	16.24	12.84	5276	3471
300	21	6	30	22	22	1.44	22.76	9.03	23.72	14.02	25.07	3808	3996
500	20	10	20	25	60	2.33	17.78	10.98	28.86	38.68	11.76	5817	4490
650	25.5	12	27	20	27	1.85	21.72	12.08	31.56	41.78	73.73	3948	5250
800	28	15	26	18	52	0.95	7.16	5.92	13.46	30.26	55.65	3510	3150
850	65	45	40	9	30	1.13	14.5	4.52	12.99	37.24	107.2	5520	2980
950	47.5	33	29	5	26	1.36	13.81	5.84	16.05	33.12	76.9	5918	3303
1200	45	30	30	6	35	1.73	12.14	3.38	20.08	50.99	176.78	4587	4167
1300	45	29	32	42	77	1.85	14.07	5.09	21.02	55.41	136.89	6073	4717
1500	58	37	42	10	42	1.83	14.67	5.4	23.45	48.11	118.37	4664	4666
1850	66	42	48	7	18	1.28	10.84	5.3	15.18	33.96	77.53	4389	2962

Tabla 5.10

Observaciones:

Un aumento de viscosidades y el punto de cedencia significativo se presentan a la profundidad de 850 m observamos como el Cd, Cu, Pb, Zn y Ba se incrementan en su contenido.

Metros	Va	Vp	Pc	Cd	Cu	Pb	Zn	Ba
800	28	15	26	0.95	7.16	30.26	55.65	3510
850	65	45	40	1.13	14.5	37.24	107.2	5520

A 650 m aumentan significativamente las viscosidades y Pc con respecto a 150 m, en este caso el Cd, Cr, Ni, Pb, Zn y Fe. Aunado a la adición de aditivos para mantener estables las propiedades reológicas, existe oxidación generando un incremento en el contenido de metales, el lodo presentando una oxidación en ciertos puntos, dicha oxidación se refleja en los viscosidades, puesto que aumenta o disminuye según sea el caso. Examinemos otro aumento en las viscosidades y el PC.

Metros	Va	Vp	Pc	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Fe
150	21	6	30	1.19	7.9	15.8	15.52	19.9	2581
650	26	12	27	1.85	12.1	31.56	41.78	73.7	5250

En 1850 existe otro aumento significativo, en este caso tenemos que todos los metales decrecen a esta profundidad. Observamos así como un aumento considerable es el que nos indica cuando se presenta la oxidación y no cualquier incremento en las viscosidades y los Pc, en este caso se presenta un decremento considerable en las Geles, llegando a la conclusión que el lodo es diluido de 1500 a 1850 m, presentando una cantidad menor de todos sus metales.

Metros	Va	Vp	Pc	Gel 10'	Gel 10''	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1500	58	37	42	10	42	1.83	14.67	5.4	23.5	48.11	118.37	4664	4666
1850	66	42	48	7	18	1.28	10.84	5.3	15.2	33.96	77.53	4389	2962

Un decremento similar se presenta a los 800 m, cuando las Geles decrecen se observa que todos los metales decrecen con respecto a los que teníamos en 500 m.

Metros	Va	Vp	Pc	Gel 10'	Gel 10''	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
500	20	10	20	25	60	2.33	17.78	11	28.9	38.68	11.76	5817	4490
800	28	15	26	18	52	0.95	7.16	5.92	13.5	30.26	55.65	3510	3150

Ahora observemos que cuando se presentan aumentos en las Geles no todos los metales aumentan, pero si la gran mayoría de ellos, por lo menos la barita y el hierro presentan un aumento considerable, en los dos puntos donde la Gel aumenta considerablemente.

Metros	Va	Vp	Pc	Gel 10'	Gel 10''	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
300	21	6	30	22	22	1.44	22.76	9.03	23.7	14.02	25.07	3808	3996
500	20	10	20	25	60	2.33	17.78	11	28.9	38.68	11.76	5817	4490

Metros	Va	Vp	Pc	Gel 10'	Gel 10''	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
1200	45	30	30	6	35	1.73	12.14	3.38	20.1	50.99	176.78	4587	4167
1300	45	29	32	42	77	1.85	14.07	5.09	21	55.41	136.89	6073	4717

Observaciones:

- Un aumento de viscosidades por la adición de aditivos entre los que se encuentran inhibidores de hidratación del tipo nitratos y silicatos, hacen así que haya un aumento en los metales, debido a la mayor oxidación.
- En el caso que se presentó una dilución se disminuyó el contenido de metales con lo que se observó en las pruebas reológicas.

Ahora hagamos una comparación del comportamiento de los metales pero a la salida del pozo.

Quantificación de metales por Absorción Atómica de los componentes y aditivos del Fluido de Perforación.

La siguiente tabla se encuentra en el capítulo 4, de donde tenemos que:

Muestra	Peso (g)	Cd ppm	Cu ppm	Cr ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ba ppm	Fe ppm
Blanco	0								
1	1.0181	2.2	0.6	1.4	7.3	12.6	6.9	41.2	1.1
2	1.0501	2.8	4.8	1.0	23.5	13.7	5.8	124.4	1253.1
3	1.0074	1.8	3.4	0.4	9.0	6.2	2.1	3.2	7.3
4	1.0421	2.3	1.4	3.7	12.1	7.4	1.7	160.3	10.7
5	1.0700	2.5	2.4	1.6	9.8	12.3	4.0	0.1	32.1
6	1.0964	4.7	2.8	3.5	25.1	14.8	6.4	70.0	21.6
7	1.0996	2.5	1.4	2.2	9.3	9.2	4.3	418.6	162.3
8	1.0376	1.3	0.6	0.0	4.4	5.2	2.6	187.4	0.2
9	1.0243	5.1	79.7	2.5	6.9	144.0	413.0	3884.1	2233.6
10	1.0498	9.0	33.0	11.7	13.1	254.0	1031.6	4402.3	4599.8
11	1.0608	3.9	7.5	11.9	9.8	13.4	20.6	312.5	1558.2

Donde las muestras enumeradas corresponden a los siguientes componentes:

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1.-PAC UL | 6.-SOSA CAUSTICA |
| 2.-SOLTEX | 7.-QM 11 |
| 3.-STAR PAK IP | 8.-Q LUBE 100 |
| 4.-BAR IV | 9.-BARITA SILO 2 |
| 5.-QNK | 10.-BARITA SILO 4 |
| | 11.-BENTONITA |

Comparemos las tablas anteriores con los límites máximos permisibles para poder visualizar si los aditivos tenían también una concentración alta de metales pesados.

Límites Máximos Permisibles.								
	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Ba	Fe
Límites máximos	1.000	----	5.000	5.000	5.000	----	100.000	930.0

Observaciones:

- ♦ Se observa que tanto la Barita como la Bentonita rebasan todos los límites máximos permisibles.
- ♦ Todos los aditivos utilizados en la preparación de los blancos rebasan el límite máximo permitido de Cadmio. Sin embargo, en cuanto a la cantidad de Cromo están por debajo de del límite establecido
- ♦ En cuanto a la cantidad de Níquel, los únicos que no rebasan el límite máximo es el Q lube 100.
- ♦ En lo que se refiere al Plomo, todos rebasan los límites máximos, con excepción del Q Lube 100 que se encuentra en el límite.
- ♦ En lo que respecta al Bario, el Bar IV, Q lube 100, QM-11 y Soltex rebasan el límite máximo.
- ♦ El Soltex es el único que rebasan el límite máximo de Fierro permitido.
- ♦ De acuerdo a los altos contenidos de **Plomo, Bario y Fierro** presentes en la **barita**, se puede concluir que esta siendo beneficiada en peso con esos metales.

Comparación del Lodo usado en el pozo Vs Lodos inhibidos base agua.

Se preparo una serie de lodos en el laboratorio para poder realizar una comparación de éstos con el lodo que se uso en el pozo y poder corroborar que las diferencias sean significativas, puesto que el lodo preparado en el laboratorio no ha sido expuesto a un pozo.

Cabe señalar que este lodo fue preparado con los mismos componentes y aditivos que se usaron en el fluido de perforación que estamos analizando.

Se analizaron 6 lodos en partida doble, con el objetivo de tener más datos y verificar que se llevaron a cabo de manera correcta.

Muestra	Pesos de los lodos (g)	Cd ppm	Cu ppm	Cr ppm	Ni ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ba ppm	Fe ppm
Bco		0.022	0.129	0.155	0.073	0.111	0.927	0.12	2.315
1A	1.0352	0.0193	0.0116	0.1736	0.0039	0.0155	0.7187	25.46	0.9235
1B	1.0435	0.0038	0.0182	0.1723	0.0038	0.0029	0.0268	27.21	1.1279
2A	1.0593	0.0028	0.0057	0.1695	0.0000	0.0028	0.1388	28.32	1.5642
2B	1.0931	0.0046	0.0320	0.1642	0.0046	0.0348	0.2324	32.70	1.6933
3A	1.0301	0.0019	0.0107	0.1746	0.0000	0.0282	0.1990	38.37	1.8901
3B	1.0439	0.0316	0.1035	0.1721	0.0019	0.0307	0.1791	25.03	1.8287
4A	1.0245	0.0059	0.0420	0.1015	0.0644	0.0420	0.0381	27.12	2.3777
4B	1.0499	0.0076	0.0438	0.1706	0.0343	0.0676	0.1372	31.02	1.8830
5A	1.0481	0.0000	0.1307	0.0343	0.1689	0.0506	0.1994	22.46	2.5208
5B	1.0607	0.0085	0.1273	0.0688	0.0311	0.0999	0.2395	28.91	2.8689
6A	1.0912	0.0082	0.0037	0.0687	0.0339	0.0669	0.1329	27.48	
6B	1.0123	0.0069	0.0405	0.0553	0.0573	0.0820	0.0375	32.30	

Tabla 5.11

Con respecto a la reología de los lodos tenemos que:

Lodos	1A	2A	3A	4A	5A	6A
V 300	9	13	12	9	7	9
V 600	17	24	24	18	15	19
Den lodo	1.1	1.21	1.16	0.97	1.11	1.24

Tabla 5.12

Modelo de Bingham.

Lodos	1A	2A	3A	4A	5A	6A
Vp [lb/pie-seg]	0.005376	0.007392	0.0081	0.006	0.005376	0.00672
Vp [cp]	8	11	12	9	8	10
Va	8.5	12	12	9	7.5	9.5
Pc	1	2	0	0	-1	-1

Tabla 5.13

Modelo de Ley de Potencias.

Lodos	1A	2A	3A	4A	5A	6A
n	0.917	0.884	0.9997	0.9997	1.099	1.078
k	0.030	0.052	0.024	0.018	0.007	0.011
Vp [cp]	800	1100	1200	900	800	1000
Pc	100	200	0	0	-100	-100

Tabla 5.14

Observaciones

- ♦ La diferencia en viscosidad aparente entre el fluido de campo y los preparados en el laboratorio es del 86 %, teniendo valores de 58 cp para el lodo de campo y de 8 cp para los fluidos de laboratorio, en cuanto a Viscosidad Plástica, se tienen diferencia del 45% con respecto al fluido #1, del 89% para el fluido #2 y del 78% para el fluido #1 sin barita, esto debido a la baja viscosidad generada en los fluidos preparados en el laboratorio.
- ♦ En cuanto a las propiedades tixotrópicas, la gel a 10 segundos y a 10 minutos tienen una diferencia del 98% con respecto a los fluidos muestreados en campo.

- ◆ Asimismo, es importante hacer notar que aun cuando se tuvo sumo cuidado en la preparación de los sistemas, dándoles una velocidad y tiempos de agitación adecuados para la integración de cada uno de los materiales y aditivos que conforman el fluido bajo estudio, los fluidos resultantes mostraban separación de fases, con asentamiento total de barita en el caso de los fluidos densificados y con material disperso en la fase acuosa.
- ◆ Con la finalidad de integrar el sistema se realizaron más de diez ensayos variando las condiciones de preparación, en tiempo y velocidad de agitación, así como el orden de adición de los aditivos, sin lograr mejorar la mezcla de los fluidos.

RECOMENDACIONES

- ◆ Se recomienda realizar pruebas mecánicas al material sintético, así como de pérdida de peso ocasionadas por cada uno de los aditivos del fluido de control del pozo. Lo anterior para definir que aditivo propicia la alteración del material sintético y establecer parámetros de selección de este tipo de juntas.
- ◆ Se debe realizar control de calidad en cuanto al contenido de metales pesados en la barita utilizada en los fluidos de control.
- ◆ Se debe promover el desarrollo de una norma mexicana basados en la EPA 3050 y Toxicidad para definir los límites máximos de metales pesados en fluidos y aditivos utilizados en perforación, terminación y reparación de pozos.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA:

James L. Lummus, J. J. Azar. DRILLING FLUIDS OPTIMIZATION A PRACTICAL FIELD APPROACH. Penn Well Books publishing company. USA.1986. 1a impresion. Pp19-27 , 109-151

Adam T. Bougoyne Jr. APPLIED DRILLING ENGINEERING. SPE. 1984

Adams. Neal J. DRILLING ENGINEERING a complete well planning aproach. Penn Well Books publishing company. Tulsa Oklahoma.1985.

Claire M. Schenk. QUÍMICA ANALÍTICA CUANTITATIVA. Editorial Continental S. A. de C.V. Primera Publicación. México D.F. 1984.

Arthur W. Mc. Ray. TECNICA DE LA PERFORACIÓN DE LOS POZOS PETROLEROS. Editorial Continental.

Gary D. Chirstian. ANALITICAL CHEMISTRY. Joan Wiley and Son. Inc. Séptima Edición. Canada. 1986.

Hobart H. Willard, Lynne L. Merrit Jr., John A. Dean, Frank A. Settle Jr. INSTRUMENTAL METHODS OF ANALYSIS. Editorial Wadsworth Publishing Company. United States of America. 1988. Páginas consultadas 895.

Paul Delahay. Traductor F. Burriel Marti y J.A. Burriel Lluna. ANÁLISIS INSTRUMENTAL (Métodos fisicoquímicos del análisis). Editorial Paraninto. Segunda edición. Madrid España. 1967. Pag 466.

John Kendel. ANALYTICAL CHEMISTRY FOR TECHNICIANS. Editorial Lewis Publishers, Inc. Primera edición. United States of America. 1988. Pag. 461

BIBLIOGRAFIA

Normas consultadas:

- Norma Mexicana NOM-52 (NOM-CRP-001-ECOL/93).
- Normas EPA 3050 – 3051
- Norma API RP 13K

APÉNDICE

En este apéndice mostraremos algunas tablas que enlistamos a lo largo de la Tesis que no son de gran relevancia en el proyecto en sí, pero sí podrían servir para despejar cualquier duda de los métodos que fueron utilizados.

CAPÍTULO 2.

Metodología de prueba para la determinación de metales en agua y sólidos.

EPA 3050. Digestión ácida de sedimentos, lodos y tierra.

Las tablas que enlistamos a continuación son poder comparar los resultados de las muestras de la absorción atómica al ser terminada, sirviéndonos de referencia para saber si nuestros resultados son los correctos o para saber si el método se llevo a cabo de manera deficiente.

**TABLA I
COMPARACIÓN DE LA RECUPERACIÓN ESTANDAR PARA
LOS MÉTODOS 3050 A Y 3050B^a**

Analizar	Método 3050 A ^a	Método 3050B w/option ^a
Ag	9.5	98
As	86	102
Ba	97	103
Be	96	102
Cd	101	99
Co	99	105
Cr	98	94
Cu	87	94
Mo	97	96
Ni	98	92
Pb	97	95
Sb	87	88
Se	94	91
Tl	96	96
V	93	103
Zn	99	95

TABLA 2
COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE RECUPERACIÓN PARA
LOS METODOS 3050 A Y 3050B

Análisis	Muestra 4435		Muestra 4766		Muestra HJ		Porcentaje	
	3050A	3050B	3050A	3050B	3050A	3050B	3050A	3050B
Ag	9.8	103	15	89	56	93	27	95
As	70	102	80	95	83	102	77	100
Ba	85	94	78	95	b	b	81	94
Be	94	102	108	98	99	94	99	97
Cd	92	88	91	95	95	97	93	94
Co	90	94	87	95	89	93	89	94
Cr	90	95	89	94	72	101	83	97
Cu	81	88	85	87	70	106	77	94
Mo	79	92	83	98	87	103	83	98
Ni	88	93	93	100	87	101	92	98
Pb	82	92	80	91	77	91	81	91
Sb	28	84	23	77	46	76	32	79
Se	84	89	81	96	99	96	85	94
Tl	88	87	69	95	66	67	74	83
V	84	97	86	96	90	88	87	93
Zn	96	106	78	75	b	b	87	99

TABLA 3
Resultados del análisis de referencia standard Nist material 2704
"Sedimentos de río" usando el método 3050B ($\mu\text{g/g} \pm \text{SD}$)

Elemento	Presión Atm. Método asistido por microondas con control De poder	Presión Atm. Método asistido por microondas con control de temperatura (gas-bulb)	Presión Atm. Método asistido por microondas con control de temperatura (IR-sensor)	Plato caliente	Valores NIST certificados para la digestión total. ($\mu\text{g/g} \pm 95\% \text{ CI}$)
Cu	101 \pm 7	89 \pm 1	98 \pm 1.4	100 \pm 2	98.6 \pm 5.0
Pb	160 \pm 2	145 \pm 6	145 \pm 7	146 \pm 1	161 \pm 17
Zn	427 \pm 2	411 \pm 3	405 \pm 14	427 \pm 5	438 \pm 12
Cd	NA	3.5 \pm 0.66	3.7 \pm 0.9	NA	3.45 \pm 0.22
Cr	82 \pm 3	79 \pm 2	85 \pm 4	89 \pm 1	135 \pm 5
Ni	42 \pm 1	36 \pm 1	38 \pm 4	44 \pm 2	44.1 \pm 3.0

TABLA 4
Resultados del análisis de referencia standard Nist material 2710
“Lodos Montana (Elementos con concentraciones altamente elevadas)” usando el método
3050B ($\mu\text{g/g} \pm \text{SD}$)

Elemento	Presión Atm. Método asistido por microondas con control De poder	Presión Atm. Método asistido por microondas Con control de temperatura (gas-bulb)	Presión Atm. Método asistido por microondas Con control de temperatura (IR-sensor)	Plato caliente	Concentración de lechada NIST usando el método 3050	Valores NIST certificados Para la digestión total. ($\mu\text{g/g} \pm 95\% \text{ CI}$)
Cu	2640 \pm 60	2790 \pm 41	2480 \pm 33	2910 \pm 59	2700	2950 \pm 130
Pb	5640 \pm 117	5430 \pm 72	5170 \pm 34	5720 \pm 280	5100	5532 \pm 80
Zn	6410 \pm 74	5810 \pm 34	6130 \pm 27	6230 \pm 115	5900	6952 \pm 91
Cd	NA	20.3 \pm 1.4	20.2 \pm 0.4	NA	20	21.8 \pm 0.2
Cr	20 \pm 1.6	19 \pm 2	18 \pm 2.4	23 \pm 0.5	19	39*
Ni	7.8 \pm 0.29	10 \pm 1	9.1 \pm 1.1	7 \pm 0.44	10.1	14.3 \pm 1.0

TABLA 5
Resultados del análisis de referencia standard Nist material 2711
“Lodos Montana (Elementos con concentraciones moderadamente elevadas)” usando el
método 3050B
($\mu\text{g/g} \pm \text{SD}$)

Elemento	Presión Atm. Método asistido por microondas con control De poder	Presión Atm. Método asistido por microondas Con control de temperatura (gas-bulb)	Presión Atm. Método asistido por microondas Con control de temperatura (IR-sensor)	Plato caliente	Concentración de lechada NIST usando el método 3050	Valores NIST certificados Para la digestión total. ($\mu\text{g/g} \pm 95\% \text{ CI}$)
Cu	107 \pm 4.6	98 \pm 5	98 \pm 3.8	111 \pm 6.4	100	114 \pm 2
Pb	1240 \pm 68	1130 \pm 20	1120 \pm 29	1240 \pm 38	1100	1162 \pm 31
Zn	330 \pm 17	312 \pm 2	307 \pm 12	340 \pm 13	310	350.4 \pm 4.8
Cd	NA	39.6 \pm 3.9	40.9 \pm 1.9	NA	40	41.7 \pm 0.25
Cr	22 \pm 0.35	21 \pm 1	15 \pm 1.1	23 \pm 0.9	20	47*
Ni	15 \pm 0.2	17 \pm 2	15 \pm 1.6	16 \pm 0.4	16	20.6 \pm 1.1

CAPÍTULO 2.

Metodología de prueba para la determinación de metales en agua y sólidos.

EPA 3051. Microondas ayudadas por digestión de ácidos de sedimentos lodo, tierra y aceites.

Tabla 1

Ecuaciones relacionadas con la repetibilidad y reproductibilidad para conocer la concentración de la determinación por duplicado con 95% de confiabilidad.

Elemento	Repetibilidad	Reproductibilidad
Ag	0.195X ^a	.314X
Al	0.232X	.444X
B	2.9 ^b	2.6 ^b
Ba	0.238X	.421X
Be	0.082	0.082
Ca	0.356X	1.27X
Cd	0.385X	0.571X
Co	0.291X	0.529X
Cr	0.187X	0.195X
Cu	0.212X	0.322X
Fe	0.257X	0.348X
Mg	0.238X	0.399X
Mn	1.96X ^{1/2}	4.02X ^{1/2}
Mo	0.701X	0.857X
Ni	0.212X	0.390X
Pb	0.206X	0.303X
Sr	0.283X	0.368X
V	1.03X ^{1/2}	2.23X ^{1/2}
Zn	3.82X ^{1/2}	7.69X ^{1/2}

^aLog variable transformada basado sobre el análisis de un solo camino de varianza.

^bRepetibilidad y reproductibilidad eran independientes de la concentración.

^cRaíz cuadrada transformando variable basado sobre el análisis de un camino de la varianza.

Tabla 2.
Repetibilidad y reproductibilidad para el plomo
Por el método 3051

Average Value	Repeatability	Reproducibility
50	10.3	15.2
100	20.6	30.3
200	41.2	60.6
300	61.8	90.9
400	82.4	121
500	103	152

Todos los resultados se encuentran expresados en mg/Kg

TABLA 3.
Recuperación y datos de sesgo para SRM 1085 - usando metales en
aceite.

Elemento	Cantidad esperada (rango certificado)	Cantidad encontrada* (95% intervalo confiable)	Sesgo absoluto	Sesgo relativo	Significancia (debido a más de una oportunidad)
Ag	(291)**	234±16	--	--	--
Al	296±4	295±12	-1	0	No
Cr	298±5	293±10	-5	-2	No
Cu	295±10	289±9	-6	-2	No
Fe	300±4	311±14	+11	+4	No
Mg	297±3	270±11	-27	-9	Yes
Mo	292±11	238±11	-54	-18	Yes
Mi	303±7	293±9	-10	-3	No
Pb	(305)**	279±8	--	--	--

Todos los valores expresados en mg/Kg