

M-11
B.E.S.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

Estudio Experimental del Comportamiento de la
Dolomita sobre las Emulsiones Inversas en la
Perforación, Terminación y Reparación
de Pozos Petroleros.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A
MARIA CRISTINA AVILES ALCANTARA



MEXICO, D. F.

1992

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

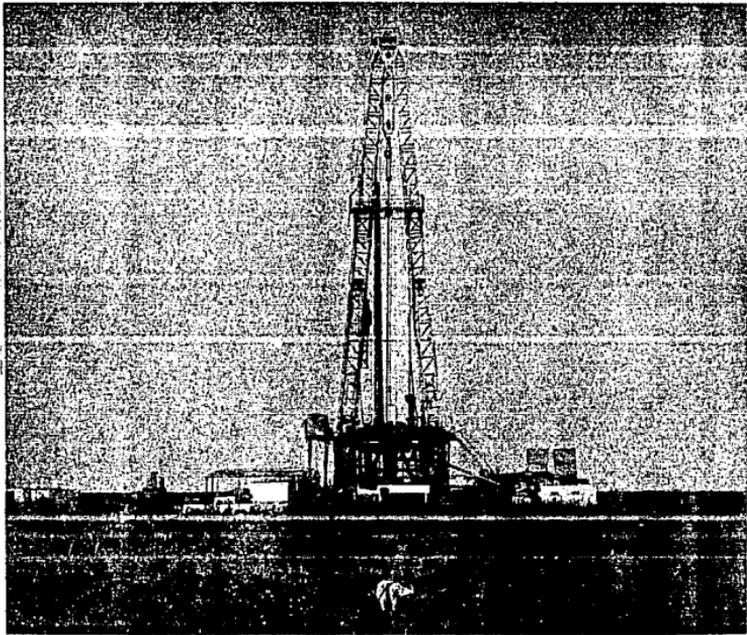
Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO DE LA
DOLOMITA SOBRE LAS EMULSIONES INVERSAS EN LA
PERFORACION, TERMINACION Y REPARACION
DE POZOS PETROLEROS.**

CONTENIDO

- I.- INTRODUCCION.
- II.- GENERALIDADES.
 - II.1 FLUIDOS DE PERFORACION.
 - II.2 DEFINICIONES.
 - II.3 PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LAS EMULSIONES INVERSAS.
 - II.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS EMULSIONES INVERSAS.
 - II.5 INGREDIENTES Y ADITIVOS.
- III.- USO DE LAS EMULSIONES INVERSAS EN LA PERFORACION DE POZOS PETROLEROS.
- IV.- CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA DE LA DOLOMITA.
 - IV.1 COMPOSICION QUIMICA.
 - IV.2 ESTRUCTURA CRISTALINA (PROPIEDADES FISICAS)
- V.- DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE YACIMIENTOS DE DOLOMITA EN LA REPUBLICA MEXICANA.
 - V.1 PRODUCCION
 - V.2 EXPORTACION
 - V.3 IMPORTACION
- VI.- EXPERIMENTACION.
 - VI.1 PROGRAMA DE PRUEBAS.
 - VI.2 PREPARACION DE LAS EMULSIONES.
 - VI.3 PRECAUCIONES SEGUIDAS DURANTE LA EXPERIMENTACION.
 - VI.4 OBTENCION DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.
- VII.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.
- VIII.-CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA
- ANEXO I y II
- GLOSARIO



INDICE.

I.- INTRODUCCION.....	1
II.-GENERALIDADES	
Fluidos de perforación.....	3
Lodos de aceite.....	4
Definiciones	5
Dureza total y parcial.....	7
Propiedades y características de las emulsiones.....	8
Ventajas y desventajas de las emulsiones inversas...	12
Ingredientes y aditivos	14
Emulsificantes	17
III.-USO DE LAS EMULSIONES INVERSAS EN LA PERFORACION DE POZOS PETROLEROS.	
Reología de los fluidos de perforación	19
Importancia de la reología en fluidos de perforación	22
Fluidos NO newtonianos	23
Fluidos de emulsión inversa	27
Aplicaciones de las emulsiones inversas	28
Funciones de las emulsiones inversas	31
Mantenimiento de las emulsiones inversas	32
IV.- CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA DE LA DOLOMITA.	
Composición química	33
Estructura cristalina	34
V.- DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE YACIMIENTOS DE DOLOMITA EN LA REPUBLICA MEXICANA.	
Productores por entidades federativas	36
Producción de dolomita.....	42
Exportación de dolomita	42
Importación de dolomita	44

VI.- EXPERIMENTACION.

Programa de pruebas	46
Preparación y pruebas de las emulsiones inversas.....	47
Determinación del contenido disponible de cal	49
Determinación del gradiente de temperatura	50
Determinación de dureza total	52
Determinación de dureza parcial	53
Determinación de las propiedades reológicas	54
Determinación de contenido de sólidos, agua y aceite..	56
Estabilidad eléctrica	57
Precauciones seguidas durante la experimentación	58
Obtención de los resultados experimentales	60

VII.- ANALISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	62
--	----

VIII.-CONCLUSIONES	64
----------------------------	----

BIBLIOGRAFIA.....	66
-------------------	----

ANEXO I	68
---------------	----

ANEXO II	84
----------------	----

GLOSARIO	98
----------------	----

I.- INTRODUCCION.

El presente trabajo es, principalmente, una guía de referencia para la preparación, control y mantenimiento de los fluidos de perforación (conocidos como emulsiones inversas). Si usted tiene un conocimiento escaso o nulo de la industria de perforación, pueden presentársele dificultades en la comprensión de los conceptos y técnicas que en él se discuten.

Es por ello que se dedica el capítulo II (Generalidades) a dar un tratamiento introductorio, acerca del equipo, técnicas y nomenclatura asociados con los métodos de perforación de pozos.

La información discutida en este capítulo proveerá los fundamentos para el estudio de los fluidos de perforación, presentando en términos generales la descripción de las emulsiones inversas, sus principales usos, características, ventajas y desventajas, asimismo se hace mención de los ingredientes y aditivos empleados en la preparación de dichos fluidos (capítulos II y III).

En cuanto a la parte experimental que se presenta, ésta tiene la finalidad de dar a conocer la influencia de la dolomita en los fluidos de perforación base aceite, al incluirla como un componente más en la formulación de las emulsiones inversas. Mediante el trabajo experimental se tratará de comprobar si el calcio contenido en la dolomita es suficiente para formar el jabón correspondiente que ayude en la emulsificación de los sistemas en cuestión.

Como hipótesis podemos decir que el calcio proveniente de la dolomita al ser combinado con los aditivos agregados en el fluido deberá dar estabilidad a la emulsión.

En el capítulo IV se hace referencia a la caracterización física y química de la dolomita, que incluye tanto su estructura cristalina como su composición química. En cuanto a su distribución geográfica dentro de la República Mexicana, los principales proveedores, su valor, producción, importaciones y exportaciones, se dan los datos más recientes encontrados en los diferentes centros de información estadística en el capítulo V.

El procedimiento experimental seguido en este trabajo, el método y la formulación para la preparación de las muestras estudiadas así como las precauciones seguidas durante la experimentación y la obtención de los resultados se dan en forma detallada en el capítulo VI.

Uno de los objetivos perseguidos en este trabajo es el estudiar si existe la reacción entre los ácidos grasos y el agente alcalinizante en presencia de la cal (que provee la dolomita), lo cual al ocurrir en forma total nos proporcionará una estabilidad en la emulsión.

La teoría sobre emulsiones inversas, la experimentación, el estudio de mercado de la dolomita y el resto del contenido que se presenta, forman en conjunto el marco teórico introductorio al estudio de los fluidos utilizados en la perforación, terminación y reparación de pozos petroleros, que forman en la actualidad las bases de la industria petrolera, la cual ha logrado tal desarrollo que está situada como uno de los negocios más importantes en el mundo, casi incomparable en dimensiones, complejidad y extensión geográfica.

Esta industria se ocupa de encontrar, producir, procesar y vender dos de las materias primas básicas de cualquier economía: el petróleo y el gas natural.

Aún sin contemplar todos los factores que intervienen en la perforación de pozos, ya que por ser un campo tan amplio, resulta muy difícil exponer dichos factores en un solo trabajo; se ha hecho lo posible para que el material y las recomendaciones contenidas en esta tesis reflejen los progresos más recientes en el campo de la perforación.

NOTA: Para un estudio más amplio sobre los temas que se tratarán aquí, se recomienda consultar la bibliografía que aparece al final de este trabajo.

II.-GENERALIDADES

II.1 FLUIDOS DE PERFORACION.

Una vez que se analiza cierto lugar y se conoce la posibilidad de que encontremos petróleo en dicha zona (bajo la superficie), la única forma de verificar la existencia de petróleo y luego extraerlo es perforar en ese sitio un pozo en su búsqueda. Con pocas excepciones, todos los pozos petrolíferos perforados hoy en día se hacen por el método rotatorio.

El método rotatorio de perforación se distingue por dos factores importantes:

- 1.- El trépano rota contra el fondo del pozo, creando el agujero.
- 2.- Se hace circular un fluido hacia abajo por la sarta de perforación a través del trépano y, finalmente, hacia arriba por el espacio anular.

El sistema rotatorio se basa en el hecho de que a un elemento cortante llamado barrena se le aplica un movimiento circular y dándole peso tritura la roca que le opone resistencia. Los recortes producto de la perforación son acarreados al exterior por la circulación de un fluido capaz de mantenerlos en suspensión.

Con base en lo anterior, en el sistema rotatorio existen dos movimientos; uno es el movimiento de la herramienta y tuberías, tanto rotatorio como vertical y el otro es el de la circulación del fluido de perforación. Asimismo existen partes del equipo que son exclusivas para cada una de las operaciones y otras que son útiles para ambas, pero en general las partes principales del equipo se pueden dividir en dos grupos:

- 1.- Equipo de maniobras.
- 2.- Equipo de circulación.

El equipo de circulación tiene como parte fundamental la unidad de bombeo, ésta es la que establece el ciclo de recirculación del fluido con que se perfora. Para establecer la circulación, las bombas hacen succión directamente de las presas de lodo y envían el fluido, por el interior de la flecha a la tubería de perforación, pasando por la barrena donde se inicia el viaje de retorno por el espacio anular, formado por la tubería de perforación y la pared. Posteriormente, por medio de la línea de salida, se envía el fluido a la malla vibratoria, en la cual se separan los recortes acarreados por el fluido, el cual por medio de canales llega a la presa de tratamiento químico, que está comunicado en la parte inferior con la presa de succión, donde se vuelve a iniciar el ciclo de bombeo.

La discusión en este trabajo está centrada en el papel de ese fluido de circulación, que recibe usualmente el nombre de "lodo", además de las funciones que normalmente desempeña; las propiedades que ayudan al cumplimiento y logro de esas funciones, y los posibles factores colaterales indeseables que conviene minimizar.

Lodos de aceite.

Un lodo de aceite se define como aquel cuya fase continua es aceite al igual que su filtrado, el término emulsión inversa se usa para distinguir al tipo de lodo base aceite que contiene más del 5 % de agua en volumen y cuya fase discontinua esta compuesta por agua emulsificada.

Su largo periodo de estabilidad y su no conductividad los hace utilizables en la terminación y reparación de pozos, así como en programas de reducción de corrosión.

Cabe aclarar que ningún sistema de lodo de perforación llenará los requerimientos para todas las perforaciones; con un lodo base aceite, las condiciones de perforación dictarán las propiedades de dicho fluido y las características necesarias, la aplicación apropiada es la clave para una exitosa economía, del uso de este lodo.

III.2 DEFINICIONES.

Emulsión:

Es la dispersión de un líquido en el seno de otro líquido con el cual no es miscible. En esta dispersión, la fase interna o dispersa se encuentra en forma de gotas finamente divididas y distribuidas dentro de la fase externa, que generalmente define alguna de las propiedades de la emulsión tales como: solubilidad, pH, coloración, conductividad, etc.

En la definición anterior es necesario distinguir claramente cada una de las dos fases presentes en la emulsión. La fase que se encuentra en forma de gotas se llama fase dispersa, discontinua o interna; en tanto que la fase en la cual las gotas microscópicas se encuentran envueltas, se denomina fase continua o externa. Así definiremos dos tipos de emulsiones:

Emulsión Directa (Aceite en agua)

Es aquella cuya fase continua es agua o un electrólito y la fase dispersa un aceite o mezcla de aceites, agentes emulsificantes y aditivos especiales para impartir a la emulsión ciertas propiedades deseables, tales como reductores de filtrado, viscosificantes, densificantes, gelantes, etc.; este tipo de emulsiones se caracterizan por comportarse de acuerdo con las características del agua (que es la fase continua), puesto que son iónicas, disuelven sales hidrosolubles, con bajo valor de pH y de bajo valor dieléctrico; es decir se comportan como electrólitos.

Emulsión Inversa (Agua en aceite)

Es aquella formada con aceite como fase continua y agua o salmuera como fase dispersa y un agente tensoactivo, además de algunos aditivos como viscosificantes, reductores de filtrado, gelantes, densificantes, etc., se comportan en función de su fase continua, es decir como aceites, por lo que son fluidos no iónicos de alto valor dieléctrico, disuelven materiales liposolubles como grasas, asfaltos, aceites pesados, etc. pero no disuelven sales hidrosolubles, ni dispersan sólidos hidrodispersables, como las gomas, polímeros, arcillas, etc.

En las emulsiones inversas el aceite empleado como fase continúa se encuentra presente en una concentración que varía del 70 al 90% en volumen de la fase líquida. Nótese que a mayor relación de aceite-agua la emulsión se torna más delgada (grado de fluidez).

En la mayoría de las emulsiones de uso común en la industria, el aceite es la fase dispersa y el agua es la fase continúa, sin embargo, en las emulsiones inversas se tiene el caso contrario.

Lo anterior se logra con la adición de un emulsificante adecuado al tipo de emulsión, el cual tiene como función principal disminuir la tensión interfacial y evitar que las partículas dispersas se aglutinen y formen una sola fase. Esto, debido al envolvimiento de las gotas de la fase dispersa con el emulsificante, formando una película fuerte y vigorosa.

Con el objeto de formar emulsiones estables, las partículas del emulsificante deben ser ligeramente humectadas en aceite y ligeramente humectadas en agua, de tal forma que permanezcan parcialmente miscibles en cada una de las fases. En algunas ocasiones, se forman emulsiones estables sin la presencia de un tensoactivo; esto se logra mediante la adición de sólidos finamente divididos, los cuales son absorbidos en la interfase aceite-agua. Dependiendo del tipo de emulsión se pueden emplear materiales tales como: arcillas, carboximetilcelulosa de sodio (CMC), almidón u otros materiales coloidales, en los cuales las partículas sólidas rodean a las gotas dispersas, formando una película fina la cual previene su choque o coalescencia. Estos sólidos son conocidos como emulsificantes mecánicos porque no reducen la tensión interfacial.

Cal viva:

Se entiende por cal viva el producto de la calcinación de la piedra caliza (CaCO_3), la mayor parte de la cual es óxido de calcio, su color es blanco de intensidad variable dependiendo de la pureza química.

Contenido Disponible de Cal (CDC)

El contenido disponible de cal, es la cantidad de mezcla de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y CaO , expresado en términos de CaO , que contiene una muestra de cal dada.

Dureza Total.

El agua que contiene una gran cantidad de sales de Ca^{++} y Mg^{++} , se denomina "AGUA DURA". La evidencia común de la dureza del agua es la dificultad de producir espuma con un jabón. En muchos campos petroleros, el agua de que se dispone para su uso en fluidos de perforación y otros usos es muy dura. Las arcillas de perforación como lo es la bentonita (en este estudio utilizaremos dolomita) presentan bajos rendimientos cuando son mezcladas con agua dura. Mientras más dura es el agua, se requerirá de mayor cantidad de bentonita para obtener ciertas propiedades de viscosidad. En casos extremos se ha encontrado económico tratar el agua químicamente antes de usarla para preparar o acondicionar el fluido de perforación. Frecuentemente sin embargo, hay posibilidades de seleccionar alguna de 2 ó más fuentes de agua; existiendo la necesidad de efectuar algunas pruebas de análisis químicos para seleccionar el agua que tenga la menor dureza. La mayoría de las personas que están familiarizadas con la perforación de pozos petroleros, saben de los efectos que tienen sobre el lodo las formaciones de anhídrita o yeso en la perforación. El calcio se integra al lodo resultando en altas pérdidas de agua y en la generación de geles progresivos. Por ello es necesario efectuar determinaciones del contenido de sales de Ca^{++} y Mg^{++} que se integran al lodo con la finalidad de explicar el comportamiento del fluido mismo y poder dar el tratamiento químico correspondiente, a fin de minimizar los efectos nocivos sobre el fluido de perforación. Cabe mencionar que las sales de Ca^{++} en ocasiones son adicionadas al fluido de perforación como parte misma de la formulación, tratamiento o para realizar alguna operación especial como la de colocación de un tapón de cemento, ya que favorecen el fraguado de este último. También es común encontrar flujos de agua salada de la formación hacia el pozo conteniendo cantidades apreciables de sales de Ca^{++} y Mg^{++} .

Dureza Parcial

Cuando la determinación de iones calcio y magnesio se efectúa simultáneamente se le denomina **dureza total** y cuando el Ca^{++} se determina por separado se denomina **dureza parcial**, ambas determinaciones se logran utilizando una solución amortiguadora y un indicador específico para cada caso.

II.3 PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS DE LAS EMULSIONES INVERSAS.

Las emulsiones de acuerdo con su aplicación en los diferentes campos de la ingeniería, pueden tener diversas composiciones y propiedades específicas.

En la ingeniería petrolera, especialmente en las operaciones de perforación, reparación y en la terminación de pozos petroleros, la aplicación de las emulsiones juega un papel muy importante para la optimización de tales operaciones.

Debido a la importancia que tiene la emulsión inversa, deben tomarse en cuenta las ventajas y desventajas que guarda con respecto a la emulsión directa; ya que es necesario conocer sus propiedades para su buen manejo, preparación y mantenimiento por la estrecha relación con su costo, limpieza, seguridad e higiene.

Caracterización de las emulsiones inversas.

- a) **Apariencia.**- No es más que la coloración que toma la emulsión, la cual puede ser desde un blanco lechoso hasta un gris translúcido. La apariencia está definida por el tamaño de la partícula de la fase dispersa, la diferencia en el índice de refracción de las dos fases y de la presencia de sólidos.
- b) **Viscosidad.**- Generalmente está determinada por la fase externa, la cual puede ser desde un fluido delgado hasta pastas espesas o gelatinosas y, pueden exhibir tixotropia* o dilatación.

la viscosidad de la emulsión esta influenciada por:

- 1.- La relación de volumen de las fases.
- 2.- Tamaño y distribución de las partículas.
- 3.- Acción del tiempo.

La viscosidad puede ser reducida al incrementar la concentración de la fase externa, en tanto que puede ser incrementada por la adición de materiales o aditivos, siempre y cuando sean compatibles con el agente emulsificante.

* ver página 23 fluidos tixotrópicos

La viscosidad de las emulsiones inversas se incrementa debido a:

- 1.- Adición de espesantes (como gelificantes de aluminio).
- 2.- Aumento de la proporción de la fase interna (mayor de 50% en volumen); presentando amontonamiento de las partículas en la fase dispersa.
- 3.- Reducción del tamaño de las partículas o agrupación de las partículas existentes.
- 4.- Incorporación de partículas finas aereadas como tercera fase.

- c) **Estabilidad.**- Los fabricantes informan sobre la estabilidad de las emulsiones inversas al venderlas. Así una emulsión mantendrá sus características durante un periodo de tiempo razonable tales como: apariencia, tamaño y distribución de las partículas de la fase dispersa, olor, etc.. La estabilidad puede ser determinada por la prueba de aceleración en la centrifuga.

La estabilidad de una emulsión es afectada por la temperatura (ebullición, calentamiento, congelamiento). El enfriamiento de la emulsión hasta que la fase acuosa se congela causa su separación.

El congelamiento lento es más dañino a las emulsiones inversas que el congelamiento brusco, ya que los cristales largos de hielo se forman durante el congelamiento lento. La resistencia al congelamiento puede ser incrementada por el uso de un aditivo soluble en agua que aumente el punto de congelación de la fase acuosa.

- d) **Tamaño y distribución de las partículas.** El tamaño y distribución de las partículas de la fase dispersa generalmente se encuentra en un ámbito de 0.25 a 0.1 micras, siendo una función del método de preparación, tiempo de agitación, diferencia de viscosidades de las fases, tipo y cantidad del tensoactivo empleado entre otras.

A altas concentraciones de emulsificante las emulsiones requieren un esfuerzo mecánico moderado. De ahí que el tiempo y tipo de agitación sea determinante del tamaño de las gotas de la fase dispersa. En una emulsión las partículas grandes tienen mayor tendencia a juntarse o coalescer afectando a la estabilidad.

Sin embargo, la coalescencia puede ser retardada por la adición de un emulsificante adecuado, el cual proporciona una protección de acción coloidal o, por medio de un incremento en la viscosidad de la fase continua y agitación mecánica.

- e) **Tensión superficial.**- Se define como la fuerza que actúa a lo largo de 1 cm^2 de superficie de un líquido simple (de una sola fase). Los fenómenos asociados con tensión superficial tales como capilaridad, se conocen desde hace muchos años.

Además, se sabe que existen fuerzas de atracción (Fuerzas de Van der Waals) entre las moléculas, las cuales son responsables de la no linealidad de la sustancia en forma gaseosa. Estas fuerzas sólo actúan en la fase líquida, ya que el gas verdaderamente ideal no tiene la posibilidad de licuefacción.

En el líquido, las moléculas que lo forman se encuentran tan cercanas que, el efecto de las fuerzas de atracción es considerable. Estas fuerzas de atracción, deben ser muy grandes para mantener unidas en forma de gotas líquidas las moléculas y evitar que se escapen en forma de vapor.

- f) **Tensión interfacial.**- Es la fuerza que actúa a lo largo de la superficie entre dos líquidos inmiscibles al ponerse en contacto o entre la superficie de un líquido y un sólido. En la teoría de las emulsiones esta propiedad de tensión interfacial es de gran importancia y se presenta como una barrera interpuesta entre dos líquidos de espesor muy pequeño.

Cuando dos líquidos inmiscibles se ponen en contacto resulta una interfase. Las fuerzas de atracción que operan sobre las moléculas en la interfase son diferentes a las que actúan sobre una superficie simple (tensión superficial) e indudablemente, en la interfase entre dos líquidos actúan las fuerzas de Van der Waals. Sin embargo, este factor de atracción será diferente en orden y magnitud de acuerdo con la cantidad de moléculas existentes. Si se presentara un desequilibrio de fuerzas entre las moléculas ocurriría una separación de las fases o cualquier otro efecto físico-químico adverso a la estabilidad de la emulsión.

- g) **Balace Hidrofilo-lipofilo (HLB).**- El balance hidrofilo-lipofilo, es una expresión de la atracción relativa simultánea hacia el agua y el aceite de un emulsificante (o hacia las fases del sistema de emulsión considerado).

El HLB se determina por la composición química y grado de ionización de un emulsificante dado. por ejemplo, el monoestearato de propilenglicol puro tiene bajo HLB (altamente lipofilo), un monoestearato de polioxietileno de cadena larga tiene un elevado HLB (hidrófilo) y el estearato de sodio que tiene un elevado valor de HLB (altamente hidrófilo).

El HLB de un emulsificante determina el tipo de emulsión que tiende a ser formada. Sin embargo éste no determina la eficiencia del emulsificante, sino sólo es una indicación de las características de comportamiento. Así, emulsificantes con valores bajos de HLB tienden a formar emulsiones de agua en aceite (emulsiones inversas). En la Tabla 1, se muestran los ámbitos de los valores de HLB de algunos componentes de las emulsiones inversas.

TABLA I.-AMBITO DE LOS VALORES DEL BALANCE HIDROFILO-LIPOFILO (HLB) Y SUS APLICACIONES.

AMBITO	APLICACION
7-9	AGENTES HUMECTANTES.
8-13	EMULSIFICANTES (E.DIRECTAS)
13-15	DETERGENTES.
15-18	SOLUBILIZANTES.

II.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS EMULSIONES INVERSAS.

Principales ventajas de las emulsiones inversas. (7)

- a) Evitan el daño a la formación, debido a que previenen la hidratación de las formaciones arcillosas (lutitas), atravesadas durante la perforación.
- b) Las emulsiones inversas son muy estables a altas temperaturas y no son afectadas por la anhídrita, sal o cemento; sin embargo son afectadas en gran medida por el agua de formación y los gases ácidos, los cuales son sus principales contaminantes.
- c) Por ser fluidos muy estables requieren de poco tratamiento en condiciones normales de uso.
- d) Con las emulsiones inversas pueden atravesarse prácticamente todas las formaciones durante la perforación de un pozo (todas las etapas), es decir, desde el inicio hasta la terminación del pozo.
- e) Disminuyen la pérdida del filtrado, debido a que la fase continua es aceite, el filtrado será prácticamente puro aceite, lo cual evita problemas de estabilidad del agujero.
- f) Proporcionan una muy buena lubricación, lo que genera que al reducir la fricción, dan una indicación verdadera del peso de la sarta de perforación en el fondo.
- g) Hacen que las paredes del pozo sean resbaladizas, con lo que se reduce la posibilidad de una sarta aprisionada.
- h) Aumentan la vida de la barrena y herramientas que forman la sarta de perforación, al reducir la fricción.
- i) Ahorran energía y reducen la torsión por su alto grado de lubricación, ahorran tiempo de funcionamiento del equipo.
- j) Mejoran la uniformidad de calibre del pozo; aumentan la velocidad anular del lodo debido a la menor cantidad de lavados.

- k) Son malas conductoras de la electricidad.
- l) Ayudan a proteger la zona productiva, debido a que el filtrado es propiamente aceite (que no daña la formación), y no permiten que el agua entre en contacto con la formación.
- m) Debido a que el aceite es menos denso que el agua, permiten manejar fluidos de baja densidad.
- n) Permiten trabajar eficientemente a temperaturas y presiones elevadas.

Principales desventajas de las emulsiones inversas:

- a) En la preparación de estas emulsiones se requiere aceite diesel, aceite crudo o una mezcla de ellos, lo que implica riesgo en su manejo por su alta inflamabilidad.
- b) Son lodos costosos por la gran cantidad de productos y aditivos químicos empleados en su preparación y mantenimiento.
- c) Son contaminantes del medio ambiente por lo que se tiene la necesidad de utilizar aceites minerales que reemplacen a los aceites crudos (o diesel), empleados en la fase externa en estos lodos o bien se requiere de un medio apropiado para su transporte y desecho.
- d) Pueden ser diluidas en aceites o en disolventes, lo que ocasionaría un cambio en la relación aceite-agua en la composición de la emulsión.
- e) Debido a la considerable cantidad de diferentes ingredientes (emulsificantes, humectantes, aditivos, etc.) que es necesario agregarles, éstos resultan en un costo relativamente alto en su preparación y mantenimiento durante su uso.
- f) Se requiere de dispositivos especiales para su preparación y mantenimiento, lo que genera altos costos.

II.5 INGREDIENTES Y ADITIVOS.

Son todos aquellos materiales o componentes de la emulsión, los cuales cumplen con una función específica de acuerdo con las necesidades y requerimientos de uso de dicha emulsión. Dentro de éstos se pueden incluir los ingredientes y aditivos tales como emulsificantes, gelantes, viscosificantes, dispersantes, reductores de filtrado, espumantes, densificantes, humectantes, etc., todos ellos considerados dentro de la clasificación de agentes tensoactivos.

Tensoactivos.

Se define como una película que busca una interfase y tiene la habilidad de disminuir la tensión superficial y la tensión interfacial, reduce la cohesión de la fase interna, impidiendo así la coalescencia de la fase dispersa y mejorando la estabilidad o dispersión de la emulsión.

Los tensoactivos tienen la capacidad de disminuir la tensión interfacial entre un líquido en contacto con un gas, entre dos líquidos inmiscibles o entre un líquido y un sólido, además de la capacidad de cambiar los ángulos de contacto. Por la naturaleza iónica del grupo de la molécula soluble en agua, los tensoactivos se clasifican en cuatro grupos principales:

a) Aniónicos.-

Son los formados por moléculas orgánicas cuyo grupo soluble en agua, está cargado negativamente como se muestra en la fig. 1, (donde M^+ representa un ion positivo como Na^+). Como ejemplo de ellos están los sulfatos de la forma $R-OSO_3^-$, fosfatos como $R-OPO_3^-$; donde el radical R representa el grupo soluble en aceite; siendo los más comunes los sulfatos.

b) Catiónicos.-

Son moléculas orgánicas del tipo de las aminas, cuyo grupo soluble en agua es positivo, como se muestra en la fig. 2, (donde X representa el ion negativo como C^- compuesto por aminas).

c) No Iónicos.-

Son los que no se ionizan (fig.3) y contienen grupos solubles en agua como los polímeros de óxido de etileno o de propileno.

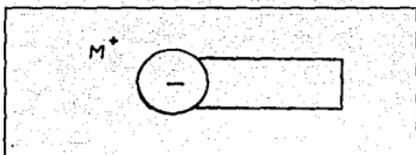
d) Anfóteros.-

Son moléculas cuyo grupo soluble en agua puede estar cargado positivamente, negativamente o sin carga. Estos sólo dependen del pH del sistema como se muestra en la fig. 4.

Agentes Humectantes.

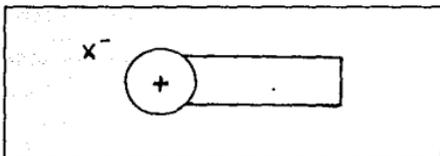
La humectación es el proceso por el cual una fase fluida es desplazada parcial o totalmente de la superficie de un sólido por otra fase fluida. La función principal de los agentes humectantes es reducir la tensión superficial del agua, o la tensión interfacial entre el agua y otra superficie (sólido-líquido, líquido-gas, líquido-líquido) para mantener la estabilidad de la emulsión.

Estos agentes contienen dos grupos, uno polar o hidrófilo y otro no polar o lipófilo. El agente humectante no siempre produce la misma actividad para todas las emulsiones, sino que su actividad varía dependiendo del tipo de éstas es decir, varía de un sistema a otro.



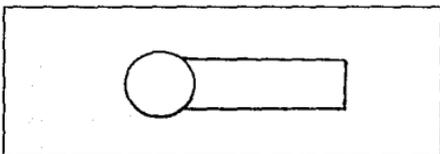
Ej: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COO}-\text{Na}^+$
 Estearato de Sodio

Fig.1 TENSOACTIVO ANIONICO



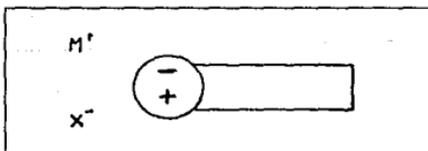
Ej: $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{NH}_3^+\text{Cl}^-$
 Cloruro de laurilamina

Fig.2 TENSOACTIVO CATIONICO



Ej:
 $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{C}_6\text{H}_4(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_8\text{OH}$
 Oxidos de polietileno

Fig. 3 TENSOACTIVO NO IONICO.



$\text{M}^+ = \text{S}_4\text{Ca}_2\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

$\text{X}^- = \text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$

Fig. 4 TENSOACTIVO ANFOTERO.

Otra de las funciones de los agentes humectantes en las emulsiones inversas es evitar que los sólidos sean humectados por el agua. Sin embargo, estos aditivos también actúan como dispersantes ya que son capaces de reducir la viscosidad del sistema; permitiendo con ésto manejar emulsiones de alta viscosidad y con un alto contenido de sólidos, con propiedades reológicas más bajas.

EMULSIFICANTES.

Los agentes emulsificantes, se usan principalmente para formar emulsiones y son también llamados surfactantes o tensioactivos.

Sin embargo, difieren en sus propiedades físico-químicas y son básicamente de tipo iónico y no iónico, basados en el HBL requerido. En sistemas de emulsión más estables, se combinan dos o más emulsificantes teniendo una proporción de tendencia hidrófila y otra lipófila. Sólo en casos relativamente raros, un sólo emulsificante es apropiado con el HLB necesario.

Por lo general, los agentes emulsificantes que intervienen en la preparación de las emulsiones inversas, utilizadas en la perforación de pozos petroleros, son sales cálcicas de ácidos grasos (derivados del ácido oléico) y de los ácidos de alquil aril sulfonato, los cuales en ocasiones se mezclan con otros tensioactivos; perfectamente no iónicos. Esto permite obtener las características deseadas o ajustar los valores del HLB que requiere el aceite de la fase continua de la emulsión. Sin embargo, un determinado emulsificante puede formar una emulsión estable con cierto tipo de aceite, mientras que con aceite de otro tipo puede ser no estable.

En la actualidad, existen en México sistemas de emulsión inversa que en su formulación se mezclan con ácidos grasos, y se transforman en su respectiva sal cálcica por la adición de cal viva, obteniéndose de esta manera jabones cálcicos.

Es necesario cuidar que la reacción entre los ácidos grasos y el agente alcalinizante se realice totalmente ya que en algunas ocasiones es inevitable agregar un excedente de cal. Para lograr este propósito en algunas ocasiones se agrega de 10 a 12 veces la cantidad mínima necesaria, debido a la baja solubilidad de la cal en el aceite y en el agua. La estabilidad de la emulsión así formada será una función de la reacción total de los aditivos.

Algunos agentes emulsificantes ya vienen en forma de sal cálcica (jabón cálcico), como los sistemas a base de dodecilsulfonato de calcio, en los cuales se anula la adición del agente alcalinizante para la formación de jabones cálcicos. Sin embargo, en algunos casos se le agrega una cierta cantidad de agente alcalinizante sobre todo cuando existe presencia de contaminantes como son los ácidos grasos y los gases ácidos (CO_2 y H_2S) para mantener a la emulsión bajo propiedades adecuadas.

III.- USO DE LAS EMULSIONES INVERSAS EN LA PERFORACION DE POZOS PETROLEROS.

Reología de los fluidos de perforación. (2)

Uno de los temas que ha cobrado más importancia en las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos es la reología de los fluidos de perforación, debido al comportamiento que presenta el flujo de dichos fluidos a través de los conductos circulares y los espacios anulares, en los pozos. En este capítulo nos ocuparemos de la reología básica en los fluidos de perforación.

Las características reológicas y de flujo de los fluidos deberán ser perfectamente definidas, a fin de diseñar de manera apropiada los requerimientos de potencia hidráulica necesaria para circularlos. Este diseño estará limitado por las características de la zona a perforar y de los problemas que ésta presente.

En el diseño de sistemas de fluidos de perforación y en el comportamiento de flujo de los mismos a diferentes condiciones, así como el efecto que sobre éstos tienen los contaminantes se necesitará realizar un estudio reológico que nos permita tener una mayor comprensión de las propiedades y comportamiento del fluido, ante diversas condiciones.

Dos conceptos muy importantes en la reología de los fluidos de perforación son:

- a) La tensión de corte
- b) La velocidad de corte.

Estas dos son propiedades físicas abstractas que están relacionadas con la deformación de la materia, por lo que es esencial tener cierta comprensión de estos conceptos, puesto que las propiedades de flujo de un lodo dependen de la relación que existe entre la tensión de corte y la velocidad de corte de ese lodo, la reología es el estudio de esa relación.

Viscosidad.

Es una medida de la resistencia interna que presenta un fluido al flujo. Generalmente se define en la siguiente forma:

$$\mu = \frac{\tau}{v}$$

donde:

μ = viscosidad efectiva, o absoluta.
 τ = esfuerzo de corte.
 v = velocidad de corte.

Velocidad de corte.

Es la velocidad a la cual una partícula de fluido está deslizándose cerca de otra partícula y dividida entre la distancia existente entre ambas partículas. Este es el gradiente de velocidad del fluido, como ejemplo, considérense dos placas planas paralelas y separadas entre sí 1.0 cm llenando el espacio entre las placas con un fluido. Si la placa inferior se fija mientras la placa superior se desliza a una velocidad de 1.0 cm/s, se encuentran las velocidades indicadas en la fig. 5 dentro de la capa de fluido. El fluido que está muy cerca del fondo de la placa, está casi sin movimiento mientras que el fluido que se encuentra cerca de la placa superior está moviéndose casi a 1 cm/s. En la parte media de las dos placas, la velocidad del fluido es el promedio, es decir, 0.5 cm/s.

El gradiente de velocidad es la rapidez de cambio de la velocidad (v) con respecto a la distancia a la pared (h). Para el caso de la figura 5, se divide el cambio en velocidad entre la distancia para obtener la velocidad de corte. Un gradiente de velocidad tendrá unidades de L/tiempo, siendo s^{-1} las unidades de velocidad de corte. Por lo tanto la velocidad de corte obtenida en los viscosímetros de cilindros concéntricos, usados en los fluidos de perforación, es análoga a la velocidad de corte en la tubería o espacio anular en el campo.

Tensión de corte.

Este esfuerzo está relacionado con la fuerza requerida para mantener el flujo de algún fluido en particular. Es la fuerza por unidad de área y puede también ser considerado como un momento de flujo (Flux) a través de un área dada. Supóngase, en el ejemplo de las placas paralelas fig.5, que una fuerza de 1 dina fue aplicada a cada cm^2 . La misma fuerza en sentido contrario se necesitaría en la placa inferior para mantenerla sin movimiento. El mismo esfuerzo de corte de 1 dina/cm^2 se encontraría a cualquier nivel en el fluido, el esfuerzo de corte se expresa matemáticamente como :

$$F = \frac{\tau}{A}$$

donde:

F = fuerza.

A = área de la superficie sujeta a esfuerzo.

El esfuerzo de corte y la velocidad de corte son dos cantidades básicas involucradas en el deslizamiento (cortante) o flujo de un fluido. La velocidad de corte está relacionada con la velocidad de movimiento y el esfuerzo de corte con las fuerzas que están siendo transmitidas sobre el fluido y de una parte a otra del mismo.

Fluidos Newtonianos.

Son aquellos fluidos cuyo comportamiento reológico puede ser descrito de acuerdo con la ley de viscosidad de Newton, según la cual los fluidos exhiben una proporcionalidad directa entre la tensión de corte y la velocidad de corte que presenta cierto fluido.

El modelo propuesto por Newton, representa a los fluidos ideales; y caracteriza a aquellos fluidos cuya relación entre la velocidad y la tensión de corte es lineal, como se ilustra en la figura 6.

Importancia de la reología de los fluidos de perforación.

La reología de los fluidos de perforación es importante para determinar:

- Las pérdidas por fricción en la tubería o espacio anular.
- Los incrementos de presión hidrostática en el fondo del agujero al meter o sacar la tubería de perforación.
- La densidad equivalente de circulación del fluido de perforación.
- Estimar el grado de erosión del agujero.
- Estimar la eficiencia en la limpieza del agujero.
- Estimar la velocidad del fluido en las toberas y las pérdidas por fricción en éstas.

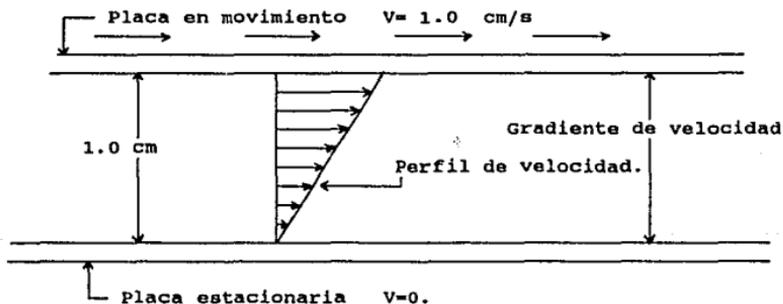


FIG. 5 Placas paralelas (una en movimiento y la otra estacionaria) que muestran la velocidad de corte a la que se encuentra sometido un fluido, dentro del espacio que las separa.

La constante de proporcionalidad, conocida como coeficiente de viscosidad o simplemente viscosidad, es suficiente para describir el comportamiento de flujo de estos fluidos.

Algunos ejemplos de fluidos Newtonianos lo son todos los gases, líquidos de moléculas no elongadas y suspensiones pseudohómegeas de partículas esféricas en gases o líquidos.

Fluidos NO Newtonianos (2).

Son todos aquellos fluidos que no guardan una relación directa entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte. Es decir son aquellos fluidos que no se comportan de acuerdo a la ley de viscosidad de Newton. Estos fluidos se subdividen en dos grupos:

A) Fluidos Independientes del Tiempo.

Son denominados de esta forma debido a que sus propiedades reológicas no cambian con respecto al tiempo. Estos se subdividen a su vez en:

1. Fluidos plásticos de Bingham,
2. Fluidos pseudoplásticos,
3. Fluidos dilatantes,
4. Fluidos dilatantes y pseudoplásticos con punto de cedencia.

Fluidos plásticos de Bingham.

Son aquellos fluidos no newtonianos ideales, los cuales requieren vencer un esfuerzo inicial finito (llamado esfuerzo o punto de cedencia), antes de iniciar un movimiento o deformación. Después de vencer dicho esfuerzo, estos fluidos se comportan de manera similar a los fluidos newtonianos, estos fluidos se representan en la figura 7.

Fluidos pseudoplásticos.

Son aquellos fluidos que para iniciar su movimiento necesitan un esfuerzo infinitesimal. Una vez iniciado el movimiento el ritmo de incremento en el esfuerzo cortante decrece a medida que la velocidad de corte aumenta (ver figura 8).

Fluidos dilatantes.

Son aquellos fluidos que al ser sometidos a la acción de un esfuerzo cortante, manifiestan un apreciable incremento en los valores de dicho esfuerzo conforme se incrementa la velocidad de corte (ver figura 9).

Fluidos pseudoplásticos y dilatantes con punto de cedencia.

Son aquellos fluidos semejantes a los fluidos plásticos de Bingham debido a que, a fin de poder iniciar su movimiento requieren vencer un esfuerzo inicial finito o punto de cedencia y una vez vencido dicho esfuerzo su comportamiento es similar al de los fluidos pseudoplásticos o dilatantes, exhibiendo no linealidad en su comportamiento para la relación entre el esfuerzo y la velocidad de corte (ver figura 10).

B) Fluidos dependientes del tiempo.

Son aquellos fluidos para los cuales sus propiedades reológicas varían con respecto al tiempo o duración del esfuerzo. Estos fluidos se subdividen en dos grupos:

1. Fluidos tixotrópicos,
2. Fluidos reopécticos.

Fluidos tixotrópicos.

Son aquellos fluidos en los cuales los valores de esfuerzo cortante decrecen con la duración de dicho esfuerzo (ver figura 11). Estos fluidos pueden desarrollar estructuras de gel después de permanecer un periodo de tiempo a velocidad de corte de cero o cercano a cero. Si bombeamos o agitamos rompemos el gel y el fluido se adelgaza y se comporta como un fluido pseudoplástico mientras se encuentra en movimiento.

Fluidos reopécticos.

A diferencia de los fluidos tixotrópicos, en éstos el esfuerzo de corte se incrementa con la duración del corte (ver figura 12).

Viscosidad Plástica.

Es la parte de la resistencia al flujo en un lodo causado principalmente por la fricción entre las partículas suspendidas y por la viscosidad de la fase líquida continua. Para propósitos prácticos la viscosidad plástica depende de la concentración de sólidos presentes y del tamaño y forma de las partículas sólidas.

Punto de cedencia.

Es una medida bajo condiciones de flujo de las fuerzas en el lodo las cuales causan que se desarrolle una estructura de gel cuando el lodo está en reposo. Estas fuerzas existen entre las partículas sólidas, y son el resultado de las cargas eléctricas positivas y negativas localizadas en la superficie o cerca de la superficie de cada partícula. Cuando el lodo está en reposo, las partículas sólidas tienden a arreglarse a sí mismas de tal forma que estas fuerzas de atracción y repulsión están satisfechas totalmente. Un cambio en la viscosidad plástica de un lodo de perforación causará pequeños cambios en el punto de cedencia, pero el punto de cedencia puede ser alterado con poco o ningún cambio en la viscosidad plástica.

La viscosidad plástica y el punto de cedencia son propiedades de flujo absolutas y reflejan la conducta coloidal y de superficie activa de los sólidos presentes en los lodos de perforación.

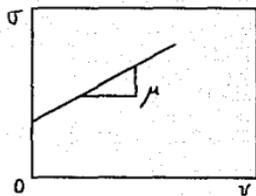


Fig. 6 Fluidos newtonianos

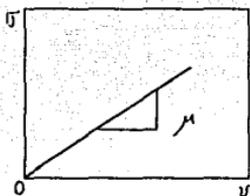


Fig.7 Fluidos plásticos de Bingham.

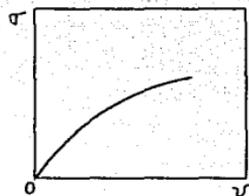


Fig 8 Fluido pseudoplástico

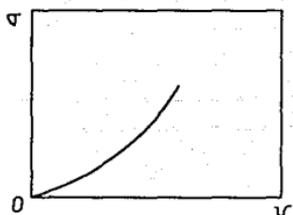


Fig. 9 Fluidos dilatantes

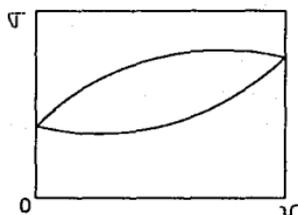


Fig. 10 Fluido pseudoplástico y dilatante con punto de cedencia.

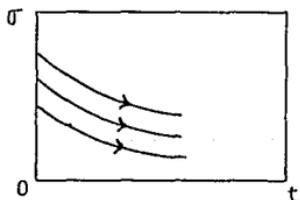


Fig. 11 Fluidos tixotrópicos.

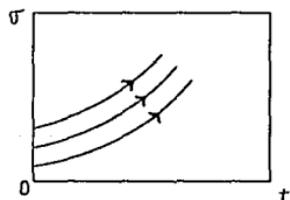


Fig. 12 Fluidos reopécticos

Fluidos de emulsión inversa.

La necesidad de encontrar un fluido capaz de funcionar, a pesar de la existencia de arenas productoras capaces de dañar su productividad por la presencia de agua del filtrado de los lodos convencionales en la perforación, reparación y terminación de pozos petroleros, fue lo que influyó en la creación de los primeros lodos base aceite, teniendo como principales carencias:

- a) Poca flexibilidad en la preparación,
- b) Limitado control de las propiedades reológicas,
- c) Inestabilidad de la emulsión en presencia de contaminantes y altas temperaturas;
- d) Mínimo control del asentamiento del material densificante,
- e) Altos costos iniciales y
- f) Problemas generales en su mezclado y manejo.

El factor determinante de la limitación de su uso fue su alto costo, ya que los aceites utilizados en su preparación fueron caros y los crudos disponibles no eran compatibles con los aditivos del lodo. Otro problema lo fue la preparación de salmueras utilizadas en la fase acuosa del lodo. En cuanto a los costos de mantenimiento, se vieron incrementados por las contaminaciones con agua que causan gelatinización y el mojado de los sólidos, que aún en las mejores circunstancias, requerían de la adición de aceites emulsificantes.

Los problemas de control del fluido, eran ocasionados por el asfalto soplado y los jabones metálicos de alto peso molecular utilizados para obtener el control de la suspensión y del filtrado a bajas temperaturas, pero causaban altas viscosidades y a temperaturas elevadas fallaban en todo su comportamiento. La alta viscosidad estorbaba la remoción de cortes en el vibrador o por asentamiento, originando acumulaciones de sólidos en el lodo con la consiguiente dilución; la velocidad de perforación era baja por el alto contenido de sólidos. Por estas razones se desarrolló el lodo que cambiaría los buenos caracteres del lodo de emulsión inversa con la flexibilidad del control de un lodo convencional.

Inicialmente al trabajar las emulsiones inversas, se tenía la idea de principiar con un aceite de baja viscosidad al que se le daría cuerpo con agua emulsificada, que sería menos sensible a la modificación en sus propiedades con cambios en la temperatura y que daría control de viscosidad y filtrado por lo que éstos dependían del agua emulsificada, se hizo necesario un emulsificante estable y fácil de manejar además de un emulsificante complementario y un estabilizador.

En la actualidad se desarrolla una cantidad considerable de aditivos, emulsificantes, humectantes, etc., que se utilizan conforme a las necesidades, problemas y dificultades presentes en el empleo de las emulsiones inversas en el campo de los hidrocarburos. Los fluidos de emulsión inversa utilizados en la perforación con salinidad controlada, son una de las más versátiles herramientas disponibles para estabilizar el agujero y proteger a la formación. Estos fluidos son caros en su formulación, por lo que no deben programarse en áreas donde la estabilidad o protección del agujero no son problemáticos.

Fluidos de emulsión inversa en México.

En un principio, para iniciar un pozo se preparaba lodo bentonítico y en caso de requerirlo, se aumentaba la densidad con barita; las viscosidades se regulaban con agua y fosfatos o con ácido tánico (quebracho), mezclado y disuelto con sosa cáustica.

Después se integró la Sección Química del Departamento de Perforación con la función de mantener el fluido en condiciones óptimas de operación durante la perforación, se medían las características físico-químicas y se hacían pruebas piloto para determinar los tratamientos en los pozos.

Al inicio de los años 50's, se abrió una nueva era en este ramo, ampliando y difundiendo el uso de reactivos químicos tales como: fosfatos, taninos, sosa cáustica, almidones, obturantes y aceites. También se utilizaron los lodos cálcicos y lodos saturados con NaCl; estos últimos con objeto de perforar lutitas con intercalaciones de sal.

Aplicaciones de los fluidos de emulsión inversa en la perforación, reparación y terminación de pozos petroleros.

Las condiciones de perforación dictan las propiedades del lodo y las características que son necesarias, por esto, ningún sistema de lodos de perforación llenará los requerimientos para todas las perforaciones; la aplicación apropiada es la clave para la exitosa economía del uso de dicho lodo, sus principales aplicaciones son:

a) Protección de arenas productoras:

La protección de zonas productoras es una de las aplicaciones reconocidas de los lodos de emulsión inversa. Algunas formaciones productoras, tienen arcillas que se hinchan al ponerse en contacto con el lodo base agua o con el filtrado del mismo, dando como resultado un bloqueo parcial o total del paso de los fluidos de la perforación, terminación y reparación de pozos que se producen en arenas llamadas "arenas sucias", el aceite filtrado de este lodo no hincha las arcillas y por lo tanto no reduce la permeabilidad.

En otros casos las arenas limpias, serán bloqueadas en virtud de las propiedades de tensión interfacial y superficial del filtrado de los lodos base agua; el lodo base aceite, usado para perforar y terminar estas formaciones, reduce el tiempo de limpieza de las mismas y da una mayor producción inicial.

b) Perforación de lutitas sensibles al agua:

Algunas formaciones de lutitas que se hidratan en contacto con los lodos base agua, se perforan fácilmente con lodos de emulsión inversa, la fase externa de estos lodos es aceite y no permite que el agua entre en contacto con la formación, con lo cual se previene el mojado de las lutitas y sus dispersiones en el lodo o la formación de cavernas en el agujero, el resultado es: un agujero mejor calibrado y una reducción en el costo de perforación, debe recordarse, sin embargo, que la reología y la hidráulica del lodo juegan también un papel importante en la estabilidad del agujero.

La perforación de esta clase de lutitas, está alcanzando gran importancia para la aplicación de los lodos de emulsión inversa.

c) Perforación de agujeros profundos y con alta temperatura:

A medida que se hace más profunda la perforación del pozo, la temperatura a la cual los lodos de perforación deben trabajar, es mayor. En algunos casos se han alcanzado temperaturas mayores de 500°F (260°C). Las desventajas de estos lodos fueron su poco poder de suspensión y el pobre control sobre su filtración, que al ser eliminadas han permitido aprovechar la resistencia natural de estos lodos a su gelatinización a alta temperatura y la ventaja de no tener aumento en la viscosidad.

d) Perforación de formaciones salinas:

La perforación de formaciones tales como domos salinos y yeso presentan varios problemas cuando se usa lodo base agua, tales como, mínimo control de viscosidad, gelatinosidad, filtrado y densidad, existiendo también la formación de cavernas en las formaciones de sal masiva. El lodo de emulsión inversa auxilia en la solución de estos problemas, ya que su fase externa que es aceite no permite la solución de ninguna de las sales comúnmente encontradas. Dos excepciones son el CaCl_2 y el MgCl_2 , las cuales si se disuelven en agua emulsificada, pero no ejercen efecto adverso alguno sobre las propiedades del lodo; generalmente no se consideran como contaminantes en los lodos base aceite.

e) Baches para despegar tubería atrapada por presión diferencial.

Los lodos de emulsión inversa y el aceite se han usado por algún tiempo en intentos de prevenir y resolver todos los tipos de pegadura de tubería debido a que dan buenos resultados en cuanto a la lubricación del agujero.

f) Lodos de emulsión inversa con bajo contenido de sólidos:

El énfasis puesto en los lodos de bajo contenido de sólidos para perforar rápido, no se amplió a los lodos de emulsión inversa, la mayoría creyó que éstos perforaban más lento y que usar aceite como base del fluido, desearía la posibilidad de un lodo de bajos sólidos. Investigaciones recientes demuestran que el aceite (diesel) perfora cerca del 85% tan rápido como el agua y que son los mismos factores los que reducen el grado de perforación sea agua o diesel la base del fluido, esta información combinada con el hecho ya conocido acerca del aceite, demuestra que éste hace un buen lodo de bajo contenido de sólidos.

Funciones de las emulsiones inversas como fluidos de perforación. (7)

La discusión de este tema está centrada en el papel que desempeña el fluido de circulación denominado emulsión inversa, las funciones que debe desempeñar, y las propiedades que ayudan al cumplimiento y logro de dichas funciones.

- 1.- El objetivo principal es auxiliar en la perforación de un pozo en forma segura y económica para finalmente explotar los yacimientos petrolíferos.
- 2.- Limpiar el fondo del pozo y acarrear los recortes a la superficie.
- 3.- Mantener a los recortes y al material densificante en suspensión.
- 4.- Enfriar y lubricar la barrena.
- 5.- Permitir la adquisición de información de la zona perforada (análisis de recortes e interpretación de registros eléctricos).
- 6.- Evitar daños a la formación productora.

Discutiendo someramente lo anterior podemos mencionar que, en cuanto al transporte de recortes y derrumbes, estos son más pesados que la emulsión. Por lo tanto, al mismo tiempo que el flujo de la emulsión en el anular los empuja hacia arriba, están sometidos a la fuerza de gravedad, que tiende a hacerlos caer hacia el fondo del pozo. La velocidad con que estas partículas caen a través del fluido dependen principalmente de la densidad y viscosidad de la emulsión, así como del tamaño, forma y densidad de las partículas. Dado que el fluido en el espacio anular circula hacia arriba, la velocidad a la que las partículas son elevadas es la diferencia entre la velocidad anular y la velocidad de caída de los recortes y derrumbes.

En cuanto al enfriamiento y lubricación del trépano y la sarta, se tiene que, a medida que el trépano "raspa" el fondo del pozo, se genera calor, la emulsión deberá de absorber ese calor y conducirlo hacia el exterior. El fluido de perforación también ejerce un efecto lubricante para el trépano, la sarta y para el revestimiento durante el proceso de la perforación.

Algunas partículas contenidas en la emulsión no puede ser consideradas propiamente como lubricantes; sin embargo, la facilidad con que se deslizan una al lado de la otra y su deposición sobre las paredes del pozo disminuyen la fricción y la abrasión.

Ahora bien, casi cualquier fluido de perforación alterará las características originales de la formación con la cual entra en contacto; este daño puede ser causado por taponamiento físico por sólidos inertes o de una reacción química entre los componentes del lodo y la formación, actualmente se ha comprobado en campo que, todos estos problemas se ven minimizados con el empleo de emulsiones inversas.

Mantenimiento de un lodo de emulsión inversa.

El mantenimiento de este tipo de fluidos, resulta beneficioso, ya que nos permite tener una reducción en los costos de perforación, sin sacrificar el control de las propiedades esenciales del fluido. A continuación se mencionan algunos de los parámetros que se toman en cuenta, para tener un adecuado mantenimiento de las emulsiones inversas:

- 1.- Se deben verificar constantemente las propiedades de este fluido, con el fin de mantener la relación aceite/agua en la proporción requerida, ya que esta relación es el factor básico para la estabilidad de todo el volumen de lodo preparado.
- 2.- Si se requiere reducir la viscosidad; se agregará diesel. Si se requiere aumentar, se agregará agua salada. En ambos casos será necesario adicionar las cantidades correspondientes de emulsificantes con el fin de mantener la relación aceite/agua indispensable y necesaria.
- 3.- Si se requiere disminuir la densidad, calcúlense las cantidades de diesel, agua salada, agentes emulsificantes y agréguese el volumen de fluidos que se tenga preparado.

IV.- CARACTERIZACION FISICA Y QUIMICA DE LA DOLOMITA. (3,4,8)

IV.1 COMPOSICION QUIMICA.

DOLOMITA:

Carbonato doble de calcio y magnesio. Para la dolomita normal, se tiene la siguiente composición: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ o $\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$

En porciento en peso.

Dióxido de carbono	47.90	Carbonato de calcio....	54.35
Cal.....	30.40	Carbonato de magnesio..	45.65
Magnesia.....	21.70		-----
	-----		100.00
	100.00		

Los carbonatos de hierro y manganeso también frecuentemente entran sustituyendo al carbonato de magnesio y degradándose a ankerita; cantidades limitadas de cal pueden sustituir a la magnesia y viceversa; raras veces carbonatos de cobalto y zinc.

Al soplete se comporta como calcita. En solución da pruebas de magnesio y generalmente de hierro, fragmentos arrojados sobre ácido frío, a diferencia de la calcita sólo se ataca lentamente, mientras que en polvo y con ácido caliente el mineral se disuelve fácilmente con efervescencia.

Se conviene generalmente en que la dolomita, como roca, es de origen secundario, habiéndose transformado de caliza ordinaria por la acción de las soluciones que contienen magnesio, este proceso se conoce como dolomitización. Las aguas que contienen magnesio son en su mayoría agua de mar, pero también las aguas subterráneas o las termales de origen profundo pueden haber sido activadas. Las condiciones que favorecen su formación son calor, presión y alto contenido de magnesio y largos periodos de tiempo.

Entre más antigua es una caliza y con mayor profundidad bajo la corteza terrestre, mayor es la probabilidad de que ésta se convierta en dolomita.

La dolomita frecuentemente en cristales, es una veta mineral común, que generalmente se presenta con varias menas metálicas. Para su reconocimiento sobre el carbón : es infusible, se descompone y colorea la llama de rojo anaranjado (presencia de Ca).

IV.2 ESTRUCTURA CRISTALINA.

La dolomita presenta un sistema trigonal romboédrico, red de tipo calcita, con un acomodo de los iones calcio y magnesio alternándose a lo largo del eje ternario. Así se altera la clase de simetría: desapareciendo los ejes binarios, que pasan por el carbono central y los iones oxígeno ligados a él. El aspecto que presenta la dolomita es el de un agregado granulado y poroso (típico romboédro de exfoliación). La dolomita masiva de aspecto finamente granulado está muy extendida como roca sedimentaria (dolomía) junto a tremolita, volastonita, bornita, pirita, rejalgar, etc. Los cristales son frecuentemente acompañados de galena, blenda, pirita, calcita, siderita, baritina, etc.

En cuanto a color : La dolomita puede presentar desde un color blanco hasta coloraciones grisáceas.

En cuanto a brillo : es vitreo.

En cuanto a fractura: concoidea a desigual.

En cuanto a exfoliación: Presenta una exfoliación perfecta con un ángulo de $73^{\circ} 45'$.

A la dolomita con frecuencia se le encuentra acompañada de sales de Fe, a veces con Mn, incluso con Zn, Ni y Co. La variedad de dolomita más obscura que encontramos es la que está mezclada con Fe, presentando las caras del romboedro brillantes y con las dos bases color mate, se llama localmente en España teruelita, esta tiene el aspecto de un agregado granudo, poroso, sacaroideo o espático (algunos de los romboedros que la conforman son aparentemente octaedros). La figura 13, muestra la proyección sobre la base de un cristal de dolomita, donde se muestra la simetría en la distribución de las caras. Aquí las formas son: prismas, a y m ; romboedros, positivo r, negativo e y f ; escalonoedros, positivos v y t.

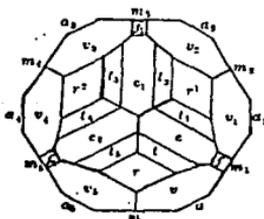


Fig. 13 Dolomita clase romboédrica.

Como se mencionó con anterioridad la dolomita está clasificada dentro de los romboedros de acuerdo con su estructura, en la división trigonal o romboédrica de este sistema, hay tres planos semejantes de simetría los cuales se cortan en ángulos de 60° con el eje vertical. Además las formas que pertenecen a la dolomita, tienen un eje vertical principal de sistema trigonal, y tres ejes horizontales de simetría binaria, coincidiendo con los ejes cristalográficos horizontales. La Fig 14 muestra un cristal romboédrico típico con proyección básica.

En la figura 15, se trata de mostrar la disposición atómica de la dolomita. Los átomos de calcio y de carbono se ubican en las celosías romboédricas compenetradas. La celda unitaria de este mineral es un romboedro, con las dos estructuras idénticas. En la dolomita ha sido posible colocar los átomos de oxígeno en su estructura agrupados en series de tres, alrededor de los átomos de carbono. Pasando a través de la estructura, paralelos al eje cristalográfico vertical los planos que contienen todos los átomos de calcio y magnesio, se alteran con planos que contienen sólo grupos de carbono y oxígeno. La colocación de los átomos en los tres planos superiores de la figura está en proyección horizontal.

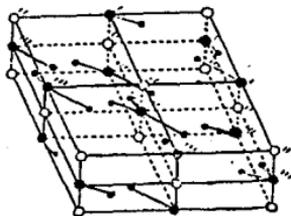
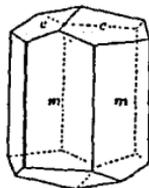
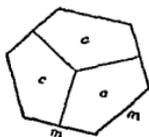


Fig. 14 Cristal romboédrico con su proyección básica

Fig 15 Disposición básica de la dolomita

V.- DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE YACIMIENTOS DE DOLOMITA EN LA REPUBLICA MEXICANA. (1, 6, 9, 10, 11, 12)

En la actualidad es imprescindible la realización del estudio de mercado del producto que se esté manejando, ya que nos da la información necesaria para poder decidir qué tan rentable nos resultaría trabajar con cierto tipo de productos.

En ocasiones se tiene un producto que cubre con todas nuestras necesidades, pero nos es incosteable trabajarlo ya que eleva los costos finales, así como los costos de operación y mantenimiento.

Asimismo nos proporciona datos sobre la cantidad y calidad de producto que podemos adquirir tanto en el mercado nacional como en el extranjero, son estas algunas de las razones, por las que se presenta en este trabajo, un estudio de mercado de la dolomita.

Con el fin de dar a conocer el grado de integración de los productores, se indica si producen material natural o beneficiado, anotando la localización de sus minas para empresas que tienen plantas de beneficio, se menciona su ubicación, el sistema de tratamiento y la capacidad instalada de las mismas. En la Fig. 16 se muestra un mapa de la República Mexicana con la localización de los estados productores de dolomita.

PRODUCTORES POR ENTIDADES FEDERATIVAS

COAHUILA

Amezcuea Gonzalez Rene.
Domicilio conocido Apdo. Postal 395
Monclova Coahuila.
PRODUCE: dolomita (edo. natural).

NORIAS S. A.
Av. Deportivo, No. 400.
Col. Deportivo, 25750 Monclova.
Tel: 31956, 52340.
PRODUCE: dolomita (edo. natural).

REFRACTARIOS BASICOS, S.A.
"Planta El Conejo", planta,
de molienda, clasificación,
y calcinación.
Boulevard Harold R. Pape M.
Apdo. Postal 70, Monclova C.

PRODUCE: cal dolomitaca para hornos de aceración BOF, dolomita (triturada, clasificada y doblemente calcinada).
CAPACIDAD: 250 TON/DIA.

DOLOMITA MONCLOVA, S.A.
Boulevard Harold R. Pape y Morelia.
Apdo. Postal No. 70, 25700, Monclova.
Tel: 32004, 32005 y 33375.
PRODUCE: caliza (triturada) y
dolomita (edo. natural).

TRITURADOS MONCLOVA, S.A.
Bravo y Matamoros, Monclova
Coahuila, Tel: 30852.
PRODUCE: caliza y dolomita
(en estado natural).

FUNDOS DOLOMITA, S.A.
Boulevard Harol R. Pape y Morelia.
Apdo. Postal No. 70, 25700, Monclova.
PRODUCE: dolomita (edo. natural).

DISTRITO FEDERAL.

Cía. Minera Atoyac, S.A.
Av. Tolteca No. 203,
Col San Pedro de los Pinos
México, D.F., C.P. 01180.
Tel: 277-2444.
PRODUCE: arcillas, bentonita,
magnesita, cuarzo, dolomita,
barita, yeso, caolín y caliza.
(todas en edo. natural).

MINERALES NO METALICOS DE
GUERRERO, S.A.
Emerson No. 304-4o. piso.
Col Chapultepec Morales.
México, D.F., C.P. 11570.
Tel: 254-3338 y 531-7579.
PRODUCE: dolomita (tritu-
rada y calcinada).

GUERRERO

MINERALES NO METALICOS DE GUERRERO, S.A.
Planta de trituración, calcinación e hidratación.
Domicilio conocido; Parque Industrial 40000 ,
Iguala Guerrero, Tel: 23288.
PRODUCE: dolomita (triturada y calcinada)
CAPACIDAD: Trituración: 1,000 TON/DIA.
Calcinación: 200 TON/DIA.

JALISCO.

TECNICA MINERAL, S.A.

Planta de molienda y clasificación.

Pérférico Sur No. 2000 Apdo. Postal 9-114

44940 Tlaquepaque, Jalisco, Tel:395 253 al 55.

PRODUCE: barita, bentonita, caolín, cuarzo, yeso,
dolomita, roca fosfórica, inertes y talco.

CAPACIDAD: 100 TON/DIA.

EDO. DE MEXICO.

MINERALES INDUSTRIALES Y MOLIENDAS

Planta de molienda.

Estaño No.5, Fracc. Esfuerzo Nacional

Xalostoc, 55320 Ecatepec de Morelos.

Tel: 569-4059.

PRODUCE: bentonita, caolín, CaCO_3 y
dolomita (pulverizados).

CAPACIDAD: 25 TON/DIA.

CRUZ RODRIGUEZ JOSE.

Calle: Cedro No. 2,

Barrio de Coyotillos

Municipio de Apaxco,

Edo. de México, 55660

PRODUCE: caliza y do-
lomita (en estado
natural).

NUEVO LEON

PLANTA DE CALCINACION E HIDRATACION

Km. 337. Carretera Monterrey-Saltillo,

Garza García Nuevo León.

Teléfono: 47- 15- 44.

PRODUCE: dolomita (calcinada e hidratada).

CAPACIDAD: 80 TON/DIA.

MINERA DEL NORTE, S.A.

UNIDAD SAN PABLO, plan-
ta de trituración.

Dom. conocido, 66350,

Sta. Catarina, N. L.

PRODUCE: dolomita (tri-
turada.

CAPACIDAD: 2000 TON/DIA

MINERA DEL NORTE S.A.
" UNIDAD RINCONADA"
Planta de trituración.
Domicilio conocido,
66350, Sta. Catarina, N.L.
PRODUCE: dolomita (triturada).
CAPACIDAD: 850 TON/DIA.

CIA. MINERA CENTRAL, S.A.
Zaragoza Sur No. 1000,
Condominio Acero Monterrey.
64000 Monterrey, Nvo. León.
Tel: 43-3160.
PRODUCE: caliza y dolomita
(trituradas).

MINERALES Y MATERIALES IND., S.A.
Av. Fco. I. Madero #1925, Poniente,
Planta de molienda y calcinación,
Camino a las Grutas de García, N.L.
PRODUCE: dolomita (triturada, cla-
sificada y calcinada).
CAPACIDAD: 3000 TON/DIA.

REGIO CAL S.A.
P. de Molienda-Calcinación.
Km. 337 Carr. Monterrey -
Saltillo, Apdo. Postal 4430.
Tel: 463-122 y 471-544.
PRODUCE: dolomita (triturada
clasificada y calcinada).
CAPACIDAD: 3000 TON/DIA.

TALCOS LOZANO, S.A.
Planta de Molienda y Clasificación.
Boulevard Díaz Ordaz No. 195. Nuevo. León.
Municipio de la Fama 66100, Sta. Catarina.
Tel: 461-791 y 482-502.
PRODUCE: barita, dolomita, bentonita, caolín,
feldespato, cuarzo, inertes y talco (lavados,
pulverizados y clasificados).
CAPACIDAD: 25 TON/DIA.

PUEBLA

CIA. MINERA ATOYAC, S.A.
Prolong. 47 Nte. Apdo. #232.
72000 Puebla, Pue. Tel: 482-922.
PRODUCE: arcillas, bentonita,
cuarzo, sílice, barita, caliza,
caolín, dolomita y magnesita.
(en estado natural).

MINERALES LA CRUZ DEL SUR S.A.
Planta de Molienda, quebrado y
micronizado. Km. 125.5, Carre-
tera Federal México-Puebla.
Tel: 484-144 y 485-120.
PRODUCE: barita, bentonita, ca-
liza, caolín, dolomita, diatomi-
ta, feldespato, gráfita, marmol
y carbonato de calcio (quebra-
dos molidos y micronizados).
CAPACIDAD: 250 TON/DIA. Molienda
120 TON/DIA quebrado y micron.

TABASCO

DOLOMITAS Y TRITURADOS DE TABASCO, S.A.
Planta de calcinación, Domicilio conocido.
86800 Teapa, Tabasco.
PRODUCE: dolomita (calcinada).
CAPACIDAD: 30 TON/DIA.

NOTA: Tamaulipas y Veracruz son estados productores de dolomita, pero con una producción muy baja en estado natural de ésta.

PRODUCCION DE DOLOMITA EN MEXICO.

(EN TONELADAS).

PRODUCTO	1985	1986	1987	1988	1989
DOLOMITA*	363,575	392,877	330,711	453,861	411,601

VOLUMEN DE EXPORTACION DE DOLOMITA.

(EN TONELADAS).

PRODUCTO	1984	1985	1986	1987	1988	1989
DOLOMITA	811	405	330	695	921	1,121

VALOR DE LA EXPORTACION DE DOLOMITA.

(MILLONES DE PESOS). **

PRODUCTO	1984	1985	1986	1987	1988	1989
DOLOMITA	1.6	1.4	2.7	8.2	20.8	39.7

* En este caso la Dolomita esta considerada dentro del grupo de los Minerales NO Métálicos (volumen en peso bruto).

** Es importante señalar que en los datos aquí contenidos, no se hizo la transformación a pesos constantes, de modo que el poder adquisitivo es distinto en cada año.

VALOR DE LA PRODUCCION DE DOLOMITA.
(MILLONES DE PESOS).

PRODUCTO	1984	1985	1986	1987	1988	1989
DOLOMITA	22.3	22.1	17.1	19.8	19.1	22.0

PRODUCCION DE DOLOMITA.
(TONELADAS)

PRESENTACION	1985	1986	1987	1988	1989
MINERAL	363,575	392,877	330,711	453,861	411,601

EXPORTACION DE DOLOMITA.
(TONELADAS)

PRESENTACION Y PAIS DE DESTINO	1985	1986	1987	1988	1989
DOLOMITA EN BRUTO	110	----	----	----	----
EL SALVADOR	110	----	----	----	----
REINO UNIDO	---	---	----	117	13
REP. DOMINICANA	10	---	----	---	----
URUGUAY	---	15	8	3	42
VENEZUELA	---	106	127	76	340

EXPORTACION DE DOLOMITA CALCINADA *
(TONELADAS)

PAIS DE DESTINO	1985	1986	1987	1988	1989
EL SALVADOR	202	285	270	200	120
ESTADOS UNIDOS	66	398	566	1065	1663
GUATEMALA	312	188	115	116	---
HONDURAS	---	---	20	---	---
PANAMA	---	51	149	100	381

IMPORTACION.
(TONELADAS).

PRESENTACION Y PAIS DE ORIGEN.	1985	1986	1987	1988	1989
SIN CALCINAR	21	41	18	53	10
ESTADOS UNIDOS	21	41	18	53	10
NO ESPECIFICADA	150	49	20	1.44	22
ESTADOS UNIDOS	76	49	20	1.44	22
PANAMA	74	---	---	---	---

FUENTE: INSTITUTO MEXICANO DEL COMERCIO EXTERIOR, INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA, S.P.F., Y DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA SECTORIAL E INFORMATICA, SECOFIN.

* Exportación de Dolomita calcinada o hidratada aun cuando se presenta parcial o totalmente nitrada o con grafito.

Por las propiedades que le da a la dolomita, el ser un carbonato doble de calcio y magnesio, en forma mineral se usa como fundente en la industria siderúrgica, también en la producción de cales ricas en magnesio, en la elaboración de fertilizantes y acondicionadores de suelos, como mármol en revestimientos arquitectónicos, etc.

En México se produce dolomita de excelente calidad tanto en estado natural como calcinada y en cantidades suficientes para cubrir las demandas de las empresas que requieren de este producto donde destacan: Altos Hornos de México, S.A.; Fundidora de Fierro y Acero Monterrey, S.A.; Hojalata y Lámina, S.A.; T.A.M.S.A.; Aceros Tepeyac, S.A. ; Aceros Ecatepec entre otras.

Cabe señalar que en el país actualmente existen pocas compañías que se ocupan de ofrecer la dolomita en forma calcinada a los consumidores, estos proveedores están localizados en los estados de Coahuila y Tabasco.

El impuesto con el que está gravado este producto asciende a \$ 1620 dólares por tonelada producida; en tanto que su importación paga \$126 dólares del producto sin calcinar por Kg y \$ 495 por Kg calcinado.

En cuanto a la producción mundial, en los últimos cinco años ésta ha ido aumentando paulatinamente, pues mientras que en 1985 se explotaron 33.00 millones de toneladas, para 1989 se registro un total de 39.4 millones de toneladas, participando en este renglón: Reino Unido (principal demandante del producto a nivel mundial) con el 25.0 %; Estados Unidos con 15.0 %; Japón con 14.0 %; Francia con 9.0 %; Bélgica con 8.0 %, estos países en conjunto apotaron el 71.00 % del total mundial. Asimismo Brasil, Hungría, México, Australia y otros países conjuntamente contribuyeron con el 29.0 % restante.

Como se puede apreciar en este capítulo durante los años 1985-1989, aún con algunas fluctuaciones la producción de dolomita se ha incrementado en forma sustancial, ya que de 363,500 toneladas explotadas en 1985 se pasó a 412,000 toneladas en 1989 con valores de 1.6 y 39.7 millones de pesos respectivamente.

Estos volúmenes provienen básicamente de las grandes formaciones de rocas calizas que afloran en el noreste del país. En los alrededores de la Ciudad de Monclova, Coahuila; donde se explotan depósitos de dolomita de alta calidad, por las compañías "Dolomita Monclova, S.A." y por "Fundos Dolomita, S.A.". Otros yacimientos importantes de este mineral son explotados en los estados de Tabasco, Hidalgo, Nuevo León y México.

FUENTE: INEGI. "LOS RECURSOS MINERALES DE MEXICO".

VI. EXPERIMENTACION. (5,13,14)

VI.1 PROGRAMA DE PRUEBAS.

1.- Analizar la dolomita por:

- a) Distribución granulométrica.
- b) Analizar calcio total (reportar pureza de CaCO_3).
- c) Analizar dureza total (calcular contenido de Mg^{++}) y reportar contenido de MgCO_3 .

2.- Analizar la dolomita calcinada por:

- a) Gradiente de temperatura ΔT
- b) Contenido disponible de cal.
- c) Distribución granulométrica.
- d) Analizar Ca^{++} (reportar pureza de CaO).
- e) Analizar dureza total (calcular contenido de Mg^{++} , y reportar contenido de MgO).
- f) Analizar % de material insoluble en HCl .

3.- Preparar emulsiones tipo "A" y "C" utilizando la dolomita calcinada y evaluar:

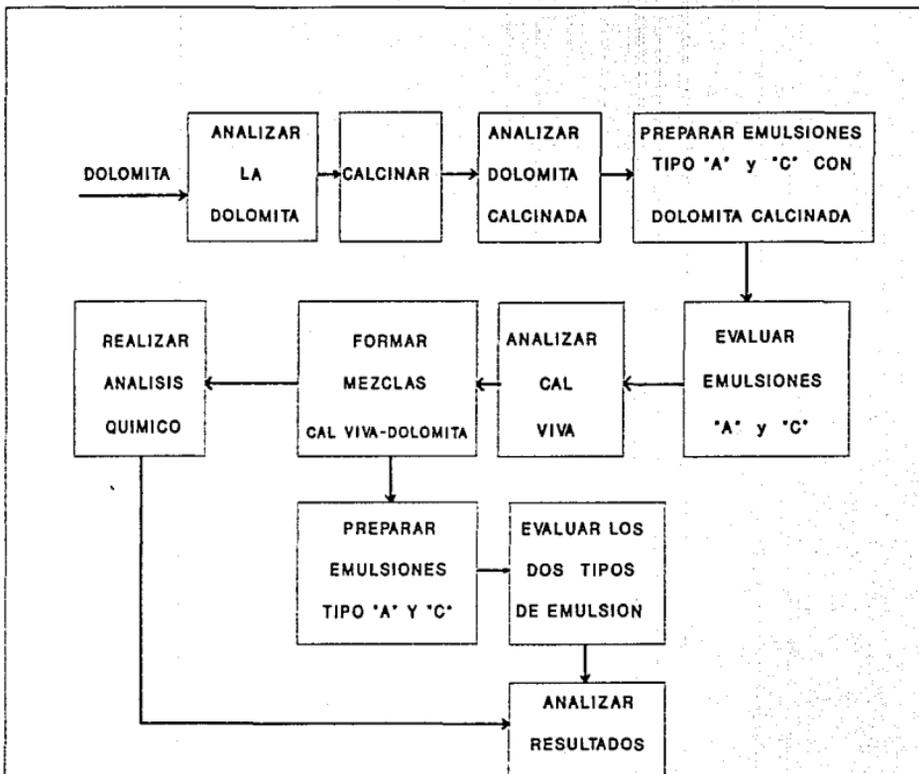
- a) Reología.
- b) Filtrados A.P.A.T.
- c) Estabilidad eléctrica (E.E.).
- d) Separación de fases (visual con 24 horas de reposo y relación aceite/agua del fondo de la probeta). Se emplean probetas de 250 mL
- e) Aceite/agua inicial (calibrar la retorta antes de proceder a evaluar la prueba).

4.- Analizar cal viva (la de más alto contenido disponible de cal y ΔT), por los mismos conceptos del inciso 2.

5.- Formar mezclas de cal viva con dolomita calcinada.

% DOLOMITA	% CAL VIVA
----	100
10.0	90.0
20.0	80.0
30.0	70.0
40.0	60.0
50.0	50.0
60.0	40.0

Analizar los mismos conceptos del inciso 2. Preparar emulsiones con cada mezcla de acuerdo a lo realizado en el inciso 3.



VI.2 PREPARACION Y PRUEBAS DE LAS EMULSIONES.

PREPARACION.

En las Tablas II y III, se muestra la formulación empleada en la preparación de las emulsiones inversas a analizar.

EMULSION TIPO:"A"	RELACION 75/25* $f = 1.6$	TIEMPO DE AGITACION
DIESEL (mL)	679.0	-----
Aditivo 1 (mL)	43.75	5.0 min
Aditivo 2 (g)	17.50	10 min
Salmuera de NaCl** (mL)	128.9	-----
Cal viva (g)	43.75	15 min.
Salmuera de NaCl** (mL)	128.9	60 min.

TABLA II. Formulación de la emulsión inversa tipo : "A".

EMULSION TIPO:"C"	RELACION 75/25* $f = 1.6$	TIEMPO DE AGITACION
DIESEL (mL)	675.1	-----
Cal viva (g)	60.00	45 min.
Aditivo 1 (mL)	7.00	10 min.
Aditivo 2 (g)	3.00	10 min.
Aditivo 3 (g)	60.00	10 min.
Salmuera de NaCl** (mL)	254.0	15 min.

TABLA III. formulación de la emulsión inversa tipo: "C".

- * Relación en peso del contenido de sólidos en la emulsión aceite/agua.
- ** La salmuera de cloruro de sodio a utilizar es saturada.

EMULSION TIPO "A".

NUMERO DE MUESTRA	DOLOMITA CALCINADA (g)	CAL VIVA (g)
1	----	43.75
2	4.375	39.38
3	8.750	35.00
4	13.12	30.63
5	17.50	26.25
6	21.87	21.87
7	26.25	17.50

TABLA IV.-Cantidad de dolomita calcinada a utilizar en cada una de las muestras a analizar.

EMULSION TIPO "C".

NUMERO DE MUESTRA	DOLOMITA CALCINADA (g)	CAL VIVA (g)
1	-----	60.00
2	6.00	54.00
3	12.00	48.00
4	18.00	42.00
5	24.00	36.00
6	30.00	30.00
7	36.00	24.00

TABLA V.- Cantidad de dolomita calcinada a utilizar en cada una de las muestras a analizar.

NOTA: Para la preparación de la emulsión tipo "A", se utilizan 43.5 g en el caso de la emulsión tipo "C", se emplean 60.00g, de cal viva, dolomita o mezcla cal viva-dolomita; las cantidades a utilizar se toman de la formulación reportada en la literatura.

**DETERMINACION DEL CONTENIDO DISPONIBLE DE CAL (CDC)
METODO DE SCAIFFE.**

OBJETIVO:

Asegurar que la cal viva tenga la pureza mínima necesaria, que nos proporcione un óptimo rendimiento de la misma en la preparación de los sistemas de emulsión inversa

MATERIALES:

Balanza analítica.
Matraces volumétricos.
Matraces Erlenmeyer.
Vasos de precipitados.
Parrilla de calentamiento.
Bureta
Mufla.

SUBSTANCIAS:

HCl 1.0 Normal.
HCl 0.1 Normal.
Indicador: fenolftaleína.
Agua destilada exenta de CO₂.

PROCEDIMIENTO:

Se pesan 1.4 g de la muestra de cal y se colocan en un vaso de precipitados de 400 mL, se adicionan 200 mL de agua destilada caliente (cercana a su punto de ebullición), se cubre con un vidrio de reloj y se calienta hasta la ebullición por tres minutos, se deja enfriar a temperatura ambiente, se lava el vidrio con agua destilada y se titula con HCl 1 N, utilizando fenolftaleína como indicador, la titulación termina con la desaparición de la coloración rosa por 2 segundos.

En un matraz aforado de 1 L se vierten 1.4 g de la muestra de cal y 200 mL de agua destilada caliente, se tapa con tapón de hule en el que se ha insertado un tramo de vidrio estirado en punta, se calienta hasta la ebullición por tres minutos.

Se deja enfriar a temperatura ambiente y se adiciona un volumen de la solución de HCl, 1.0 N, 5 mL menor al volumen empleado anteriormente, la adición es lenta y con agitación. Se calienta hasta la ebullición por tres minutos. El volumen del ácido agregado se anota como "A".

Se afora con agua destilada exenta de CO₂, se tapa y agita durante 5 minutos y se deja sedimentar durante 1 hora.

Se toman 200 mL de la solución clara, evitando la dispersión del sedimento, se colocan en un Erlenmeyer, se adiciona fenolftaleína, y se titula con HCl 0.1 N. Este volumen se anota como: "B".

CALCULOS:

$$\% \text{ CDC} = 2A + B$$

Donde:

CDC= Contenido Disponible de Cal, como CaO.

DETERMINACION DEL GRADIENTE DE TEMPERATURA.

OBJETIVO:

Determinar, de una forma indirecta, el contenido de CaO, de la cal viva que se utiliza en la preparación y control de los fluidos de emulsión inversa.

MATERIALES Y EQUIPO:

Parrilla con agitación electromagnética.

Balanza granataria con precisión de 0.1 g.

Termómetro de vidrio de -20 a 110°C.

Probeta graduada de 250 mL.

Matraz Erlenmeyer de 300 mL.

Tapón de hule del No.6 con perforación diagonal de 10°.

PROCEDIMIENTO:

Se miden 200 mL de agua del grifo y se vierten en el matraz Erlenmeyer, se coloca el tapón de hule con el termómetro insertado, como se indica en la Fig. 17; el bulbo debe estar sumergido en su totalidad en el líquido estático, se comienza la agitación electromagnética y se toma la lectura, la cual será T_i . Se pesan 50 g de la muestra y de inmediato se transfieren al matraz, el cual se mantiene con agitación, evitando que ésta quede adherida a las paredes del matraz, se tapa enseguida el matraz, se aumenta la agitación y se toma la lectura máxima T_f .

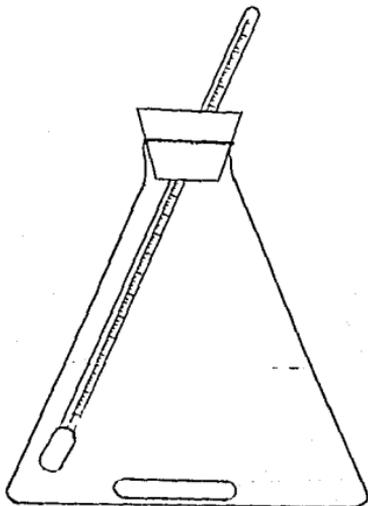


Fig 17. Matraz empleado para la determinación del gradiente de temperatura

* La muestra no debe permanecer expuesta al medio ambiente por un tiempo mayor de 5 minutos, ya que la cal está sujeta a la hidratación y carbonatación, por lo que el exponerla hará que los resultados sean poco confiables.

CALCULOS:

$$T = T_f - T_i$$

Donde:

T = gradiente de temperatura.

T_i = temperatura inicial.

T_f = temperatura final.

NOTA: La diferencia de la T_f - T_i, es el gradiente de temperatura producida por la hidratación de la cal viva.

DETERMINACION DE DUREZA TOTAL:**OBJETIVO:**

Determinar la cantidad de Ca⁺⁺ y de Mg⁺⁺ presente en las muestras a analizar.

EQUIPO Y REACTIVOS:

Agua destilada.

Solución de versenato 0.01 M con título 1mL=1mg CaCO₃

Solución amortiguadora pH = 9.18

Solución indicadora de dureza.

Matraz Erlenmeyer.

Pipetas graduadas.

Probeta graduada.

Varilla de agitación.

PROCEDIMIENTO:

Se colocan 50 mL de agua destilada en el recipiente de titulación, se adicionan 2 mL de solución amortiguadora para dureza total, suficiente cantidad de indicador para dar una coloración intensa (pero no demasiado ya que puede enmascarar y falsear la reacción). Si se desarrolla un color rojo, indica que el agua destilada contiene cierta dureza; entonces se adicionan unas gotas de EDTA para obtener el vire de rojo a azul.*

Se mide 1 mL de la muestra y se adiciona en el matraz, se desarrollará un color rojo-vino si el calcio o el magnesio están presentes. A continuación se titula con la solución de EDTA, hasta obtener el vire de rojo a azul.

CALCULOS:

$$\text{CaCO}_3 \text{ mg/L} = \frac{(\text{Vol de EDTA}) 1000}{\text{Vol. de muestra.}}$$

$$\text{Ca}^{++} \text{ mg/L} = 0.4 (\text{CaCO}_3, \text{ mg/L}).$$

DETERMINACION DE DUREZA PARCIAL

En ocasiones se desea determinar el contenido de iones calcio y magnesio por separado, en este caso el procedimiento es similar al de la dureza total, sólo que la solución que se utiliza es de KOH 8 N o una solución de NaOH 8 N y el indicador puede ser murexida (mezcla molida en mortero, de 0.4 g. de murexida + 100 g de NaCl). El contenido de ion magnesio se determina restando a la dureza total el contenido de ion calcio. El vire obtenido con el indicador de murexida va de un color rosa a un color púrpura.

* No se deberá de incluir este volumen de solución de EDTA, en los cálculos de dureza de la muestra.

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES REOLOGICAS.

Procedimiento de Operación:

Colocar una muestra de la emulsión recién preparada en una copa térmica, sobre la plataforma del viscosímetro y ajustar la superficie de la emulsión a la línea grabada sobre la manga del rotor.

Arrancar el motor colocando el interruptor en la posición de baja velocidad; una vez accionado llevar a alta velocidad y esperar a que la lectura permanezca constante a 600 r.p.m. (el tiempo de espera depende de las propiedades del fluido). Cambiar a la posición de baja velocidad y esperar a que la lectura permanezca constante, anotar los valores obtenidos como L_{600} y L_{300} respectivamente.

Agitar la muestra durante 10 s y levantar la perilla selectora de engranes a la posición media. Parar el motor y esperar 10 s para tomar la lectura, arrancar el motor en baja velocidad y registrar la máxima deflexión alcanzada, antes de que se rompa el gel, anotar este valor como G_1 .

Agitar la mezcla a 600 r.p.m. durante 30 segundos y lentamente levantar la perilla hasta la posición media, parar el motor y en esta ocasión esperar un tiempo de 10 minutos, arrancar el motor y registrar la máxima deflexión alcanzada anotando este valor como G_{10}

CALCULOS:

Viscosidad Aparente, cp : $\frac{\text{Lectura a 600 r.p.m.}}{2}$

Viscosidad Plástica, cp : $\text{Lectura a 600} - \text{Lectura a 300.}$

Punto de Cedencia, lb/100 pie² = $\text{Lectura a 300 r.p.m.} - V.p.$

Donde:

V_p : es la viscosidad plástica.

Gel a 10 segundos, lb/100 pie² = $\text{Máxima lectura a 3 r.p.m.}$
a los 10 seg de reposo.

Gel a 10 minutos, lb/100 pie² = $\text{Máxima lectura a 3 r.p.m.}$
a los 10 min de reposo.

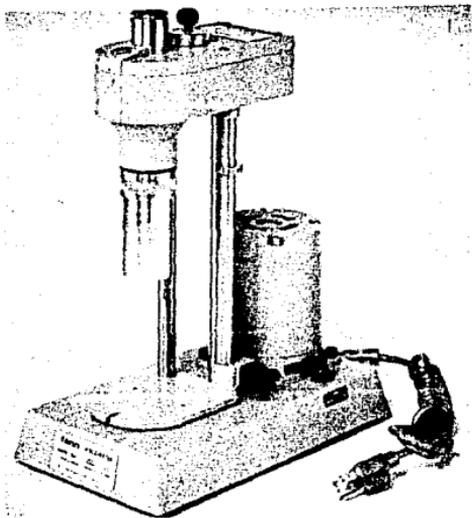


FIG 18 Viscosímetro Rotacional

NOTA: Anotar la temperatura de prueba cuando se midan las propiedades reológicas de un lodo especialmente con las emulsiones inversas. El viscosímetro empleado en estas pruebas es el FANN 35A representado en la Fig. 6. Las unidades en las que se reportan las propiedades reológicas son los centipoises y las lb/100 pie²

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS AGUA Y ACEITE EN UN FLUIDO DE PERFORACION.

El conocimiento del contenido de sólidos y líquidos de un lodo de perforación, es esencial para un buen control de las propiedades del lodo. Tal información a menudo explicará la mala conducta del lodo e indicará si el lodo puede ser acondicionado con la adición de agua, si se requiere dar tratamiento químico con reductores de viscosidad, o si se requiere la eliminación de los contaminantes del lodo. Similarmente, el control adecuado de un lodo de emulsión inversa depende del conocimiento del contenido de aceite. Para lodos que solamente contienen agua y sólidos, la cantidad de cada uno puede ser determinada a través de la densidad del lodo y de la evaporación de agua de cierta cantidad de lodo. El contenido de aceite y agua puede también ser obtenido destilando un volumen dado de lodo, condensando y midiendo la fracción líquida.

Normalmente se utiliza una retorta para determinar la cantidad y tipo de líquido así como la cantidad de sólidos presentes en un lodo. El lodo se coloca en un recipiente de acero y luego se calienta hasta que la porción de líquido ha sido evaporada. El vapor se pasa a través de un condensador donde se enfría y luego se colecta en una probeta graduada. Los resultados se informan como % en volumen. La cantidad de sólidos del lodo se determina por diferencia.

Generalmente las retortas constan de las siguientes partes:

- 1.- Cámara o celda para recibir el fluido con tapa de aforo (con capacidad de 10,20 ó 50 mL).
- 2.- Cámara de expansión.
- 3.- Condensador.
- 4.- Elementos de calentamiento (resistencia de 12 ó 115 v.).
- 5.- Chasis aislado para evitar quemaduras.
- 6.- Probeta graduada de igual capacidad que la celda.

Cabe señalar que el procedimiento de operación variará ligeramente dependiendo de la marca comercial o del aparato a utilizar, a continuación se muestra una figura del equipo para retorta.

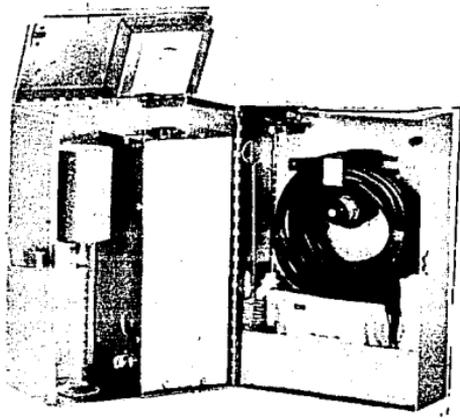


FIG. 19 EQUIPO PARA RETORTA.

ESTABILIDAD ELECTRICA (E.E.).

El equipo utilizado para determinar la estabilidad eléctrica de un fluido de perforación es el probador de emulsiones ("Emulsion Tester"). Este instrumento es un probador de la estabilidad eléctrica, preciso, compacto y portátil el cual mide la resistencia que presentan los fluidos de perforación al paso de la corriente eléctrica. El voltaje de rompimiento dieléctrico es el punto en el que el fluido de perforación se vuelve conductor.

El instrumento consta de tres partes principales: un medidor de voltaje (0-200 Volts), una fuente de alimentación (batería de 8.4 volts, C.D.) y una celda de prueba, montados en una tableta que aloja componentes electrónicos de estado sólido como diodos, transistores, circuitos integrados, etc., el medidor contiene una perilla graduada que permite variar el voltaje enviado a la celda de prueba que tiene un par de electrodos separados 1.59 milímetros. Un diodo emisor de luz (LED), se enciende al instante en que el fluido se vuelve conductor. El operador incrementa el voltaje hasta que la emulsión se vuelve conductora. Un flujo de 61 microamperes a través de los electrodos, hace iluminar el LED, el voltaje suministrado en este momento se define como estabilidad eléctrica o estabilidad de la emulsión.

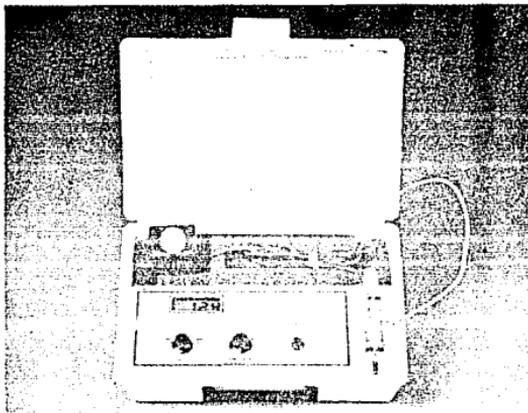


FIG. 20 PROBADOR DE EMULSIONES

VI.3 PRECAUCIONES SEGUIDAS DURANTE LA EXPERIMENTACION.

Durante el trabajo experimental se cuidó que las muestras de las emulsiones inversas estudiadas fueran lo más homogéneas, tanto en su formulación como en su preparación y análisis, para evitar de esta manera variaciones que afecten el comportamiento reológico de la emulsión.

El equipo empleado durante la preparación de las emulsiones sobre todo en la agitación, deberá ser el mismo y mantener las mismas velocidades y tiempos de agitación para cada una de las muestras.

Se deberá controlar que la relación aceite/agua, programada para cada volumen de emulsión se mantenga constante.

En cuanto a la medición de la estabilidad eléctrica se tienen las siguientes recomendaciones:

- 1.- Al efectuar la medición procure que la celda de prueba permanezca fija y no toque las paredes del recipiente que contiene la emulsión inversa.

- 2.- No utilizar disolventes que sean muy volátiles para limpiar la celda de prueba, ya que dañaría el recubrimiento de los electrodos.
- 3.- No utilizar objetos metálicos para limpiar el espacio que separa los electrodos.
- 4.- No efectuar pruebas a temperaturas superiores a los 150°C.

En cuanto a las lecturas de propiedades reológicas; éstas se deberán hacer a una misma temperatura (50°C) y de ser posible con el mismo viscosímetro y el mismo operador, para evitar tomar lecturas erróneas y errores de paralaje.

Antes de determinar el filtrado a alta presión y alta temperatura (filtrado A.P.A.T.), se procederá a precalentar las chaquetas de calentamiento durante 30 minutos hasta alcanzar una temperatura de 300°F.

En cuanto al análisis de contenido de sólidos agua/aceite en las emulsiones inversas se deberán tomar las siguientes precauciones:

- 1.- Al terminar de hacer la prueba, desconectar la retorta de la fuente de alimentación, con esto se estará evitando que el microinterruptor se quede pegado y funda el cuerpo metálico que aloja la resistencia.
- 2.- Limpiar el polvo de la retorta, debido a que al penetrar al interior de la misma causa falsos contactos, cortos circuitos o que el microinterruptor se quede pegado.
- 3.- No permitir que se golpee la retorta, ya que se pueden romper las partes de asbesto donde se monta el sistema de calentamiento. En algunos casos se descalibra el termostato a causa de que se golpea la retorta.
- 4.- Revisar que esté perfectamente limpia la celda y cámara de expansión para evitar que el volumen obtenido de la prueba, sea erróneo.
- 5.- Permitir que la celda se enfríe en forma natural; por ningún motivo emplear agua para ese fin, ya que la humedad puede provocar que el volumen obtenido de la prueba sea erróneo y por otro lado, el cambio térmico que provoca el agua en el cuerpo metálico de la celda hace que la rosca sufra deformaciones creando con esto fuga del lodo.
- 6.- Eliminar la fibra de acero para cada una de las pruebas.

VI.4 OBTENCION DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES.

El procedimiento empleado en la obtención de los resultados experimentales fue el siguiente:

Pruebas físicas:

- a) Se prepararon las muestras de acuerdo con la formulación propuesta anteriormente (ver Tablas IV y V).
- b) Recién preparada la emulsión, se procedió a tomar las propiedades reológicas del fluido (a 50°C).
- c) Se practicó el análisis de retorta de cada una de las emulsiones preparadas, para corroborar que la relación aceite/agua (75/25) se mantuviera constante.
- d) A cada una de las muestras de emulsión inversa se les determinó la estabilidad eléctrica (a 50°C).
- e) Se tomaron 250 mL de cada una de las muestras y se procedió a llevar a cabo la separación de fases (24 horas).
- f) Una vez teniendo los resultados de la separación de fases se tomaron muestras del fondo de cada una de las probetas para llevar a cabo el análisis de retorta, cuidando de mantener la relación programada (75/25).
- g) A cada una de las muestras de emulsión inversa se les sometió a pruebas de filtrado, alta presión y alta temperatura (A.P.A.T.).
- h) A cada una de las mezclas de dolomita calcinada con cal viva se les sometió a pruebas de granulometría (retenido en malla 100 y malla 200).

NOTA: Antes de realizar cualquier prueba con cada una de las emulsiones inversas, éstas se deberán agitar durante 5 minutos a una velocidad de 18,000 r.p.m. con el objeto de romper cualquier estructura de gel y eliminar así la dependencia del tiempo. Y lograr la incorporación total de los componentes de la emulsión, y de esta manera garantizar que se tengan muestras de fluido homogéneas, y por lo tanto, los resultados obtenidos mediante su análisis sean confiables.

ANALISIS QUIMICO.

a) Del lote de dolomita recibido para el presente estudio, se tomaron muestras representativas de 1 kilogramo cada una, para ser sometidas a calcinación a diferentes temperaturas, con el fin de transformar los carbonatos de calcio y magnesio en sus óxidos.

b) Cada una de las muestras de dolomita, fueron calcinadas a diferentes temperaturas y posteriormente sometidas a análisis de gradiente de temperatura (ΔT), para determinar de esta manera cuál de las muestras calcinadas era la que ofrecía un ΔT que cumpliera con las especificaciones que marca la norma de calidad que se empleó en este estudio experimental.

c) Con la muestra elegida se procedió a preparar y homogeneizar cada una de las mezclas de dolomita calcinada y cal viva requeridas para analizar el efecto que ejercen las variaciones de concentración sobre las emulsiones inversas. Estas mezclas se guardaron dentro de una estufa, para evitar así su hidratación.

d) Cada una de las mezclas se analizó con el método de Scaiffe, para obtener el contenido disponible de cal (C.D.C.), en términos de CaO.

e) Se determinó el contenido de $MgCO_3$ y de $CaCO_3$ en términos de MgO y CaO mediante las correspondientes pruebas de dureza total y dureza parcial.

f) Así también se determinó el porcentaje de material insoluble y la dureza total en términos de CaO.

VII.- ANALISIS DE RESULTADOS.

De los resultados obtenidos en este trabajo experimental, se puede observar que, en cuanto al contenido disponible de cal (CDC), y a la determinación del gradiente de temperatura, los valores obtenidos se quedaron por debajo de los que se especifican en la norma de calidad para la cal viva empleada en la elaboración y control de las emulsiones inversas utilizadas en los fluidos de perforación, terminación y reparación de pozos petroleros, motivo por el cual se advierte que este producto contiene una cantidad mínima de CaO, para garantizar un buen rendimiento, tanto en la preparación y control de los sistemas de emulsión inversa como en el control de las contaminaciones con gases ácidos, por lo que no es posible garantizar la estabilidad del fluido a lo largo, de las pruebas.

Al realizar, la determinación de gradiente de temperatura (ΔT), se observó, que la velocidad de incremento de temperatura es menor que el de las cales normales, teniendo como valor máximo de gradiente 34.5°C.

En cuanto a los retenidos en malla, en el caso de la malla 100, la especificación marcada en la norma de calidad es de 0.0% y en los resultados de análisis se obtuvieron valores de hasta 1.022%, en cuanto al retenido en malla 200 la norma establece un máximo de 6.0%, en este caso sí cumple con lo especificado al dar valores máximos de 1.82%.

De los valores obtenidos en ambos sistemas de emulsión se puede decir que el tamaño de partícula que presentan, no causa problemas ni alteraciones en propiedades reológicas, ni en la velocidad de penetración del fluido, ya que en general estas variables se ven afectadas generalmente por la cantidad, el tamaño y la composición de los sólidos en el lodo. Estos sólidos no contribuyen al desgaste de las tuberías y del equipo.

Las muestras estudiadas no exhibieron separación de fases (aceite-salmuera), en el caso de la emulsión inversa tipo "A", después de haber permanecido en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente y presión atmosférica, no así en la emulsión inversa tipo "C", donde aun siendo mínima ésta presentaron una separación de fases del orden de 0.803%.

Lo que nos demuestra que en este aspecto, la emulsión es buena, ya que no presenta tendencia a la separación de fases, por lo cual se puede afirmar que el aceite continúa siendo la fase continua y que en estas emulsiones las gotas de agua no serán capaces de abrirse paso en medio de esta fase continua o de entrar en contacto con las paredes del pozo o con la sarta.

Como se puede apreciar en las tablas X y XI la emulsión tipo "A", presentó filtrados a alta presión y alta temperatura bajos inicialmente, pero conforme aumentaba la concentración de dolomita, los filtrados A.P.A.T. se vieron incrementados y en el caso de la muestra que contiene 40% cal viva- 60% dolomita el filtrado se presentó acompañado de agua.

La emulsión inversa tipo "C", presentó bajos valores de filtrado A.P.A.T. exentos de agua, aunque también muestra una tendencia de aumento en las cantidades de filtrado.

Como se mencionó con anterioridad, la fase acuosa interna no entra nunca en contacto con las paredes del pozo o con la sarta. En el caso de la emulsión "C", se observa que el agua está efectivamente aislada manteniéndose en la fase interna, en consecuencia el filtrado recolectado, proviene de la fase continua (diesel). En el caso de la emulsión tipo "A", en el filtrado a alta temperatura y alta presión hay algo de agua, lo cual indica inestabilidad en la emulsión, esta inestabilidad debe ser corregida mediante las adiciones apropiadas de emulsionantes y/o de cal.

En cuanto a la estabilidad eléctrica ésta se vio afectada con el incremento de dolomita, ya que ésta tiende a disminuir.

De lo anterior, se puede afirmar que, las emulsiones se ven afectadas y tienden a desestabilizarse mostrando, una tendencia a aumentar el valor de las propiedades reológicas, (V_a , V_p , P_c , G_1/G_{10}) volúmenes de filtrado y disminución de la estabilidad eléctrica, con el incremento de dolomita en su composición; aun cuando se incluyó en su composición un electrólito (NaCl) en la fase acuosa, que generalmente ayuda a aumentar la solubilidad del calcio presente.

CONCLUSIONES.

Partiendo del comportamiento presentado por las muestras estudiadas, de las observaciones hechas durante la experimentación y del análisis del contenido de este trabajo, se puede concluir que en cuanto a la parte experimental de esta tesis:

Las emulsiones inversas son estables si se logra mantener constante la concentración de componentes sólidos (relación 75/25 durante la experimentación), ya que evitan el incremento de la fase líquida, quedando demostrado que el agua emulsionada en un lodo base aceite tiende a elevar la viscosidad del fluido. La proporción aceite/agua en un fluido de base aceite (emulsión inversa) debe ser cuidadosamente controlada, pues, la entrada de agua de formación en este tipo de fluidos los hace más viscosos y de ser suficientemente abundante, logra desestabilizarlos.

Otro punto importante que se debe cuidar, es el efecto de la temperatura sobre el comportamiento reológico de la emulsión inversa, ya que como se sabe, la viscosidad de los fluidos tiende a reducirse a medida que la temperatura se incrementa. El agua y el aceite (diesel), principales constituyentes de las emulsiones estudiadas tienden a reducir su viscosidad con el aumento de temperatura, sin embargo, ambos fluidos se comportan en forma diferente cuando están sujetos a un incremento de presión. El agua es poco afectada en su viscosidad, pero la viscosidad del aceite diesel se incrementa rápidamente con la presión.

En este trabajo no se incluyen pruebas con alta presión, ya que no se dispone de equipo para poder realizarlas, es por esto que únicamente se analizó el efecto de la temperatura a 50°C para evitar la ebullición de las muestras y la evaporación de la fase líquida.

Un factor importante en la preparación de la emulsiones inversas, es la velocidad y tiempo de agitación; ya que durante la agitación inicial, el agua es fraccionada en pequeñas gotas y dispersada dentro de la fase continua (diesel); una agitación intensa produce gotas más pequeñas y una emulsión más densa. Las gotas más pequeñas dan por resultado una superficie total mayor de agua y una mayor área de contacto aceite/agua, los emulsionantes se concentran en esa interfase aceite/agua y unen a las fases entre sí. Si se trata de pequeñas gotas, es menos probable que tiendan a unirse entre sí cuando se producen colisiones, por lo que la emulsión se mantendrá estable.

Las gotas de agua actúan como viscosificantes y contribuyen sustancialmente a la resistencia de gel, al control de filtrado y a la suspensión de los sólidos presentes, por lo tanto, gotas emulsionadas más pequeñas dan por resultado una mayor viscosidad, mejor suspensión del densificante (dolomita) y menor pérdida del filtrado (característico en los fluidos de base aceite (emulsiones inversas).

La dolomita utilizada en este estudio actuó como material viscosificante, proporcionando además el calcio necesario para producir jabones que al combinarse con los productos adicionados (emulsificantes) a esta misma emulsión nos da la formación de un jabón cálcico el cual actuará como el verdadero emulsificante del fluido. Cabe hacer mención que no se obtuvo el resultado esperado, ya que al incrementar la cantidad de dolomita en la formulación de las emulsiones, también se incrementa la cantidad de magnesio presente, el cual producirá los correspondientes jabones de magnesio, los cuales no tienen el mismo poder emulsificante. Esta es la razón por la cual se tiene una estabilidad menor que la esperada, resultando en efectos nocivos, como la presencia de agua en los filtrados y las variaciones en las propiedades reológicas.

Las emulsiones inversas que contengan dolomita en su formulación, podrán ser utilizadas para perforar formaciones solubles en agua, lutitas hidratables y en casos de prevención y recuperación de tuberías pegadas, siempre y cuando se empleen las formulaciones denominadas A, A-1, A-2, A-3; C, C-1, C-2 y C-3; ya que estos lodos soportarán elevadas temperaturas, en las cuales los lodos convencionales se solidifican, esto hace de las emulsiones inversas un fluido ideal para perforar pozos profundos con altas temperaturas. Cabe mencionar que estas emulsiones son utilizables en programas de reducción de corrosión, que en parte ayudan a disminuir costos de operación.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- BATEMAN M., ALAN ; "Yacimientos minerales de rendimiento económico"; Editorial Omega; Sexta edición, México, 1982.
- 2.- BECHER, PAUL ; "Emulsion theory and practice", Reinhold Publishing corporation. 2nd. edition; 1987, New York.
- 3.- DANA EDWARD SALISBURY; "Tratado de Mineralogía"; Cía. Editorial Continental S.A. de C.V.; 13a. impresión, México, D.F., Marzo de 1986. Parte V.
- 4.- DIAZ MAURIÑO, CARLOS; "Iniciación practica a la mineralogía", Clase V. Primera edición, México 1976; Editorial Alhambra.
- 5.- GRAY, G.R. y GRIONI, S.; "Invert emulsions muds widely adaptable"; SPE of AIME; European regional meeting; Milan, Italia; Abril 4-6, 1988.
- 6.- GONZALES REMA; "Minería y riqueza minera en México"; Departamento de estudios técnicos y económicos, México D.F., 1987.
- 7.- SIMON CABRERA, JOSE; "Estudio experimental sobre el comportamiento reológico de las emulsiones inversas"; Tesis, E.S.I.A., I.P.N.; 1989.
- 8.- STANLEY J. LEFOND - ROBERT BATES ; "Industrial minerals and rocks", (Nonmetallics other than fuels); Editorial Board, 4th. edition; American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Eng. Inc.; New York, 1985.
- 9.- COMISION DE FOMENTO MINERO; "Minería Mexicana, (La producción minera del siglo XXI); Editado por la Secretaría de Programación y Presupuesto; primera edición, México, D.F., 1984, Capítulo XV.
- 10.- CONSEJO DE RECURSOS MINERALES; "Sumario estadístico de la minería mexicana"; Editado por la Secretaría de Programación y Presupuesto; Consejo de Recursos Minerales; México, 1988.

- 11.- CONSEJO DE RECURSOS MINERALES; "Directorio de la minería mexicana (NO metalicos), editado por la Secretaría de Programación y Presuspuesto; México, D.F., 1986.
- 12.- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA; "La minería en México". Editado por el INEGI y la SPP; México, 1989.
- 13.- INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO. "Norma de calidad para la cal viva empleada en la elaboración y control de emulsiones inversas utilizadas en los fluidos de perforación, terminación y reparación de pozos petroleros", PEMEX - IMP 22/ 90.
- 14.- PERFOIL. Manual de aditivos para fluidos de perforación.

ANEXO I

TABLA VI.- RESULTADOS DE LA DETERMINACION DE GRADIENTE DE TEMPERATURA.

MUESTRA	TEMPERATURA DE CALCINACION (°C)	TEMPERATURA INICIAL (°C)	TEMPERATURA FINAL (°C)	GRADIENTE DE TEMPERATURA
1	0.00	22.50	23.00	0.50
	0.00	22.50	23.00	0.50
2	600.00	23.00	25.00	2.00
	600.00	23.50	25.00	1.50
3	700.00	23.00	24.50	1.50
	700.00	23.00	24.50	1.50
4	800.00	23.00	31.50	8.50
	800.00	23.00	32.00	9.00
5	900.00	23.00	55.00	32.00
	900.00	23.00	54.50	31.50
6	1000.0	23.00	57.00	34.00
	1000.0	23.00	57.50	34.50
7	1100.0	24.00	53.00	29.00
	1100.0	24.00	53.00	29.00
8	1200.0	22.00	48.00	26.00
	1200.0	22.00	47.50	25.50
9	1400.0	22.00	45.00	23.00
	1400.0	22.00	45.50	23.50

TABLAS DE RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICO.

MUESTRA	mL ENT	mL MUREXIDA	C.D.C. (CaO)	DUREZA %CaO	T	% CaO	% MgO
A	7.30	5.10	70.0	94.74	32.0	92.68	2.0760
A-1	7.10	4.70	66.8	92.14	31.0	85.39	6.7480
A-2	6.90	4.20	63.0	89.55	30.0	76.31	13.243
A-3	6.70	3.80	59.8	86.95	30.0	69.05	17.760
A-4	6.60	3.30	56.6	85.65	31.0	59.96	25.690
A-5	6.50	2.80	52.0	84.36	30.0	50.87	33.480
A-6	6.30	2.40	47.2	81.76	29.0	43.60	38.157

TABLA VII.- RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO PARA EMULSIONES TIPO "A".

MUESTRA	mL ENT	mL MUREXIDA	C.D.C. (CaO)	DUREZA %CaO	T	% CaO	% MgO
C	7.60	5.20	66.0	98.63	33.0	94.48	4.153
C-1	7.40	4.80	62.8	96.04	31.0	87.21	8.852
C-2	7.10	4.70	57.6	92.14	31.0	85.39	9.448
C-3	7.00	4.30	53.4	90.85	31.0	78.13	12.79
C-4	6.80	4.00	49.2	88.25	30.0	72.68	15.57
C-5	6.70	3.70	46.2	86.95	30.0	67.22	19.72
C-6	6.60	3.20	43.1	85.58	30.0	58.14	27.51

TABLA VIII.- RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO PARA EMULSIONES TIPO "C".

TABLAS DE RESULTADOS DE ANALISIS FISICOS.

PROPIEDADES	A*	A-1*	A-2*	A-3*	A-4*	A-5*	A-6*
L600**	20	22	23	24	25	29	27
L300**	10	13	13	14	14	18	15
L200**	5	07	7	8	7	11	9
L100**	4	06	6	7	6	10	7
G ₁ /G ₁₀	2/3	3/4	3/4	3/5	3/5	3/5	3/5
E.E.	497	449	439	424	430	449	479
A.P.A.T.	3.40	4.00	4.80	6.20	7.40	10.40	14.80 ^x
RETORTA 1							
AGUA	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.10	2.00
ACEITE	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.10	7.00
SOLIDOS	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00
SEP. FASES	0.803%	0.803%	0.806%	0.813%	0.803%	0.803%	0.803%
RETORTA 2							
AGUA	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ACEITE	7.10	7.20	7.20	7.20	7.20	7.00	7.10
SOLIDOS	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00	0.90
MALLA 100	0.96%	1.022%	1.02%	1.02%	1.12%	1.15%	1.02%
MALLA 200	0.88%	1.00%	1.02%	1.82%	1.22%	1.20%	1.43%

TABLA IX.- RESULTADOS DEL ANALISIS FISICO PARA EMULSIONES TIPO "A".

NOTA: Retorta 1, se refiere al contenido de sólidos antes de la separación de fases y retorta 2 se refiere al contenido de sólidos después de la separación de fases.

* Se refiere a las mezclas formadas con dolomita y cal viva.

** Estas lecturas fueron tomadas a 50°C.

x El filtrado, se presento acompañado con agua.

PROPIEDADES	C*	C-1*	C-2*	C-3*	C-4*	C-5*	C-6*
L600**	67	69	67	60	43	41	37
L300**	45	47	45	40	29	26	24
L200**	29	30	27	23	18	14	12
L100**	27	27	26	21	17	13	11
G ₁ /G ₁₀ **	20/37	21/42	18/36	14/37	10/32	8/27	6/24
E.E.	988	990	985	982	973	894	891
A.P.A.T.	1.60	1.60	1.60	1.90	2.40	2.60	2.80
RETORTA 1							
AGUA	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ACEITE	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.00
SOLIDOS	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00
SEP. FASES	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
RETORTA 2							
AGUA	2.20	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
ACEITE	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.00	7.10
SOLIDOS	0.60	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00	0.90
MALLA 100	0.88%	1.02%	1.02%	1.02%	1.00%	1.05%	1.00%
MALLA 200	0.86%	1.00%	1.02%	1.02%	1.22%	1.33%	1.43%

TABLA X.- RESULTADOS DE ANALISIS FISICOS PARA EMULSIONES TIPO "C".

NOTA: Retorta 1, se refiere al contenido de sólidos antes de la separación de fases y retorta 2 se refiere al contenido de sólidos después de la separación de fases.

* Se refiere a las mezclas formadas con dolomita y cal viva.

** Estas lecturas fueron tomadas a 50°C.

RESULTADOS DE PROPIEDADES REOLOGICAS.

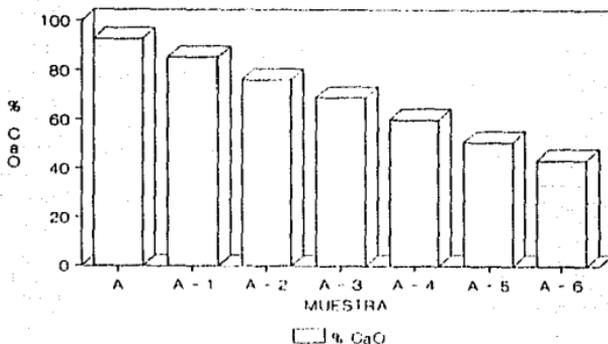
PROPIEDADES	A	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
Va (cp)	10.00	11.00	11.50	12.00	12.50	14.50	13.50
Vp (cp)	10.00	9.00	10.00	10.00	9.00	11.00	12.00
Pc lb/100ft ²	0.00	4.00	3.00	4.00	5.00	7.00	6.00
A.P.A.T.	3.40	4.00	4.80	6.20	7.40	10.40	14.80
G ₁ /G ₁₀ lb/100ft ²	2/3	3/4	3/4	3/5	3/5	3/5	3/5
E.E. (volts)	497	449	439	424	430	449	479

TABLA XI.- RESULTADOS DE PROPIEDADES REOLOGICAS PRESENTADOS POR LAS EMULSIONES TIPO "A".

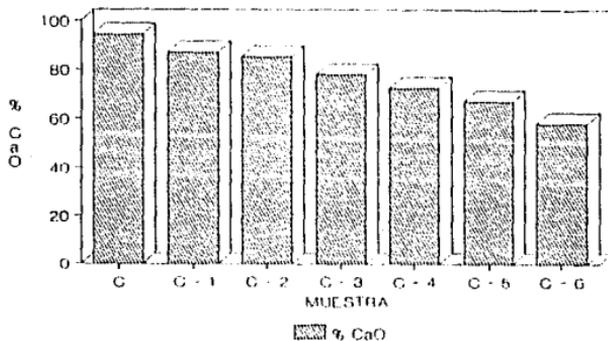
PROPIEDADES	C	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6
Va (cp)	33.50	34.50	33.50	30.00	21.50	20.50	18.50
Vp (cp)	22.00	22.00	22.00	20.00	14.00	15.00	13.00
Pc lb/100ft ²	23.00	24.00	23.00	20.00	15.00	14.00	14.00
A.P.A.T.	1.60	1.60	1.60	1.90	2.40	2.60	2.80
G ₁ /G ₁₀ lb/100ft ²	20/37	21/42	18/36	14/37	10/32	8/27	6/24
E.E. (volts)	988	990	982	973	971	847	891

TABLA XII.- RESULTADOS DE PROPIEDADES REOLOGICAS PRESENTADOS POR LA EMULSION TIPO "C".

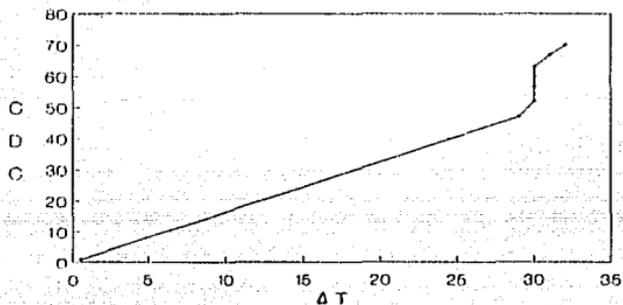
CONTENIDO DE CaO EN LA FORMULACION
DE LAS EMULSIONES INVERSAS TIPO "A"



CONTENIDO DE CaO EN LA FORMULACION
DE LAS EMULSIONES INVERSAS TIPO "C"

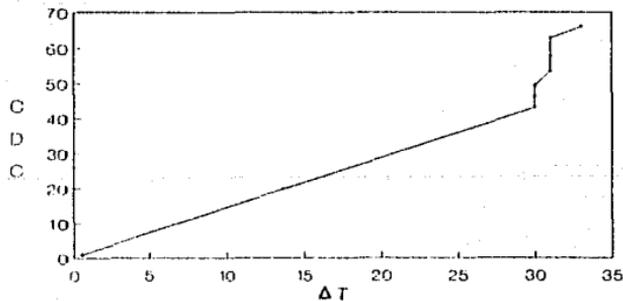


C.D.C. vs GRADIENTE DE TEMPERATURA PARA MUESTRAS TIPO "A"



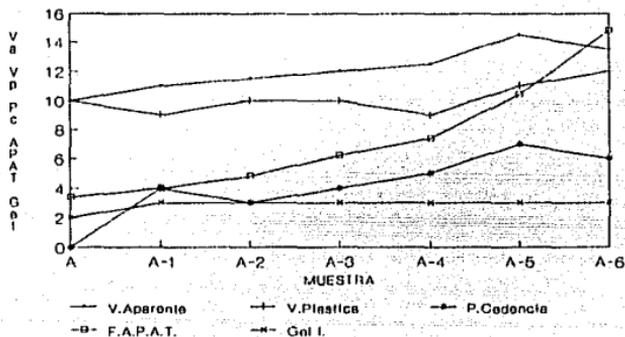
C.D.C. Contenido disponible de cal.

C.D.C. vs GRADIENTE DE TEMPERATURA PARA MUESTRAS TIPO "C"

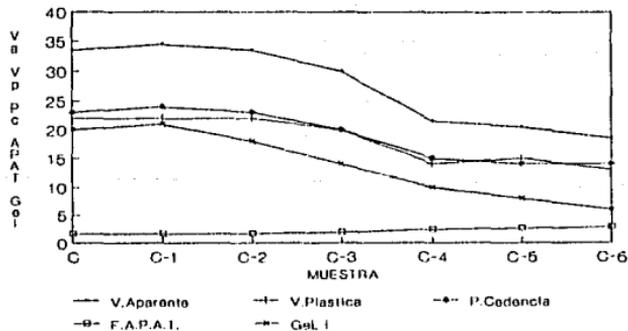


C.D.C. Contenido Disponible de Cal

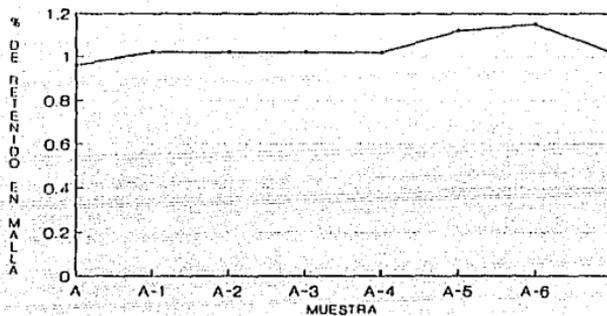
PROPIEDADES REOLOGICAS EN LAS EMULSIONES INVERSAS TIPO "A"



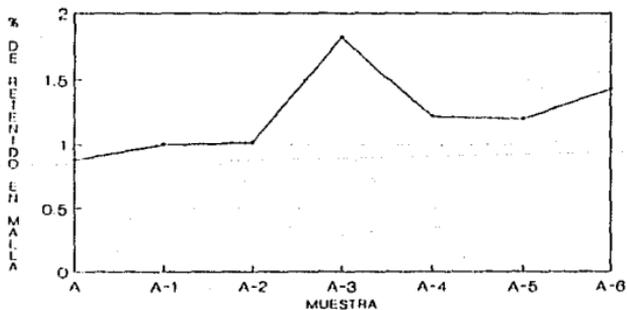
PROPIEDADES REOLOGICAS EN LAS EMULSIONES INVERSAS TIPO "C"



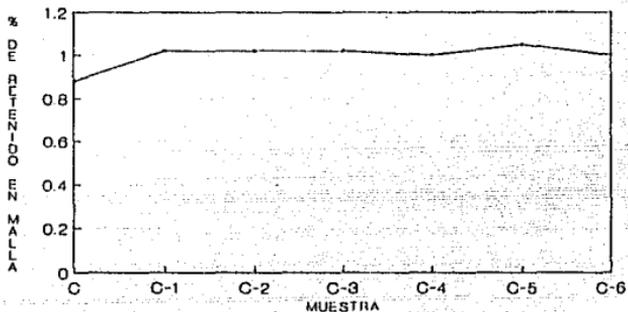
GRANULOMETRIA MALLA 100 PARA EMULSIONES INVERSAS DE TIPO "A"



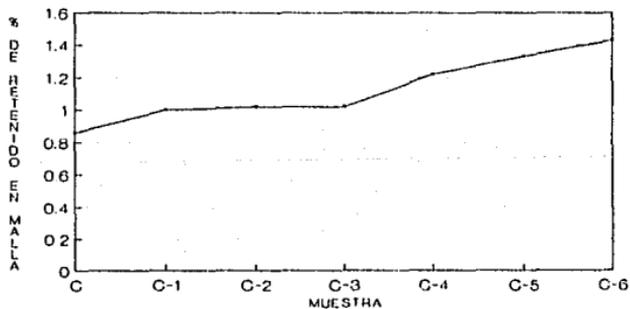
GRANULOMETRIA MALLA 200 PARA EMULSIONES INVERSAS TIPO "A"



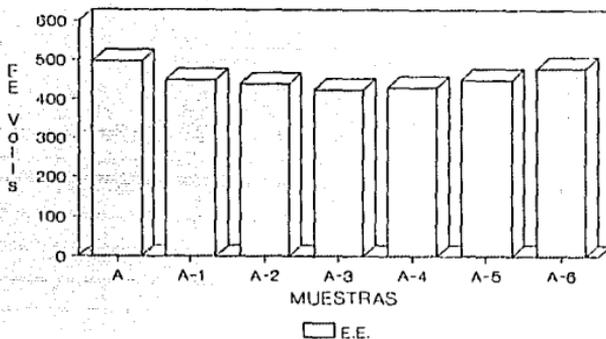
GRANULOMETRIA MALLA 100 PARA EMULSIONES INVERSAS TIPO "C"



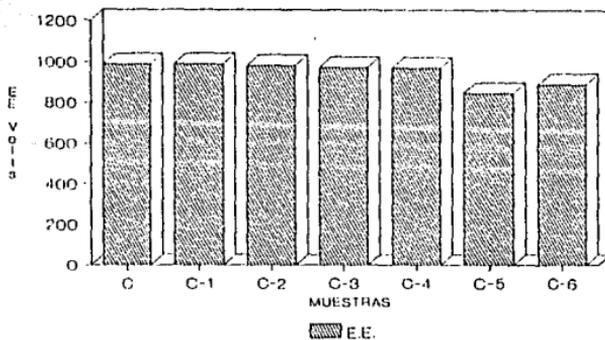
GRANULOMETRIA MALLA 200 PARA EMULSIONES INVERSAS TIPO "C"



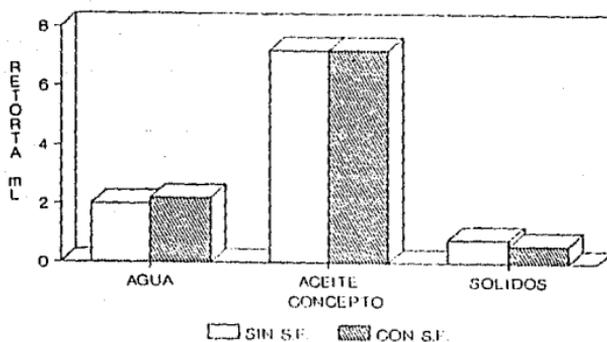
ESTABILIDAD ELECTRICA EN LAS EMULSIONES INVERSAS TIPO "A"



ESTABILIDAD ELECTRICA EN LAS EMULSIONES INVERSAS TIPO "C"

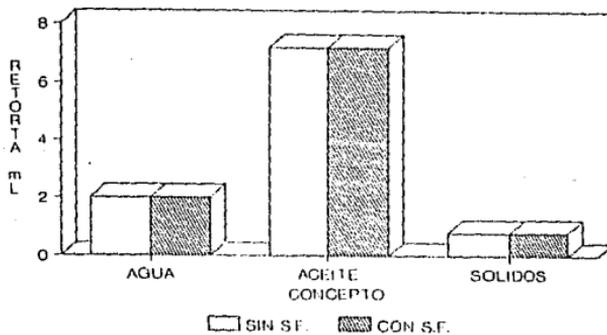


COMPARACION DE RETORTA PARA A CON Y SIN SEPARACION DE FASES



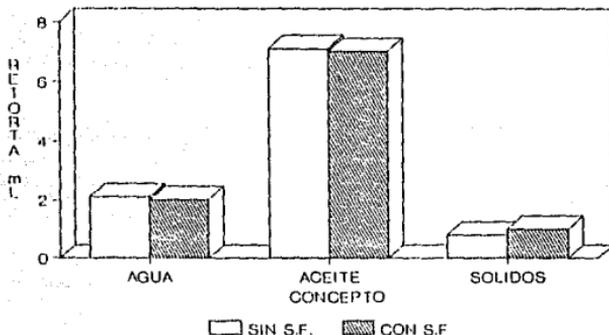
S.F.:Separación de fases.

COMPARACION DE RETORTA PARA A-1, A-2, A-3 y A-4



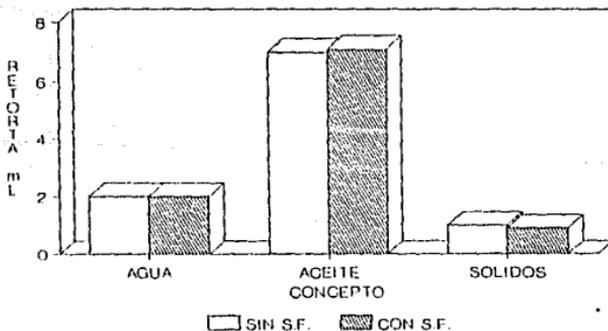
S.F.:Separación de fases.

COMPARACION DE RETORTA PARA A-5 CON Y SIN SEPARACION DE FASES



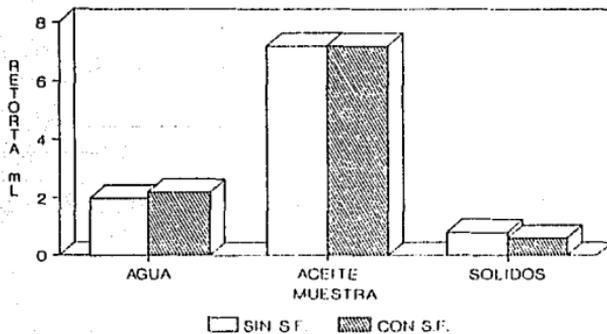
S.F.:Separación de fases

COMPARACION DE RETORTA PARA A-6 CON Y SIN SEPARACION DE FASES.



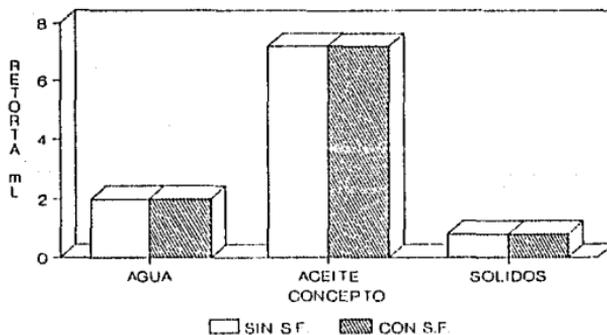
S.F.:separación de fases

COMPARACION DE RETORTA PARA C CON Y SIN SEPARACION DE FASES



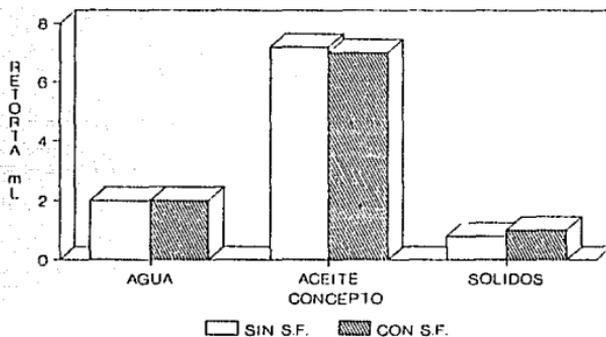
S.F.:Separación de fases

COMPARACION DE RETORTA PARA C-1, C-2, C-3 y C-4



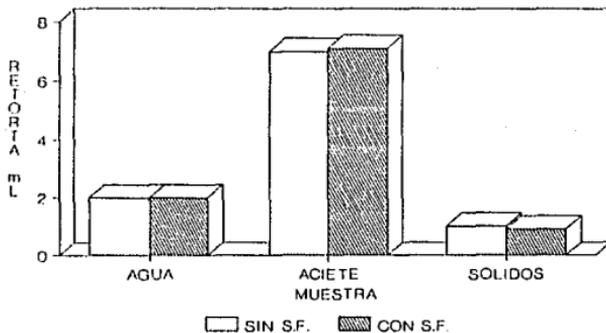
S.F.:Separación de fases

COMPARACION DE RETORTA PARA C-5 CON Y SIN SEPARACION DE FASES



S.F.: Separación de fases

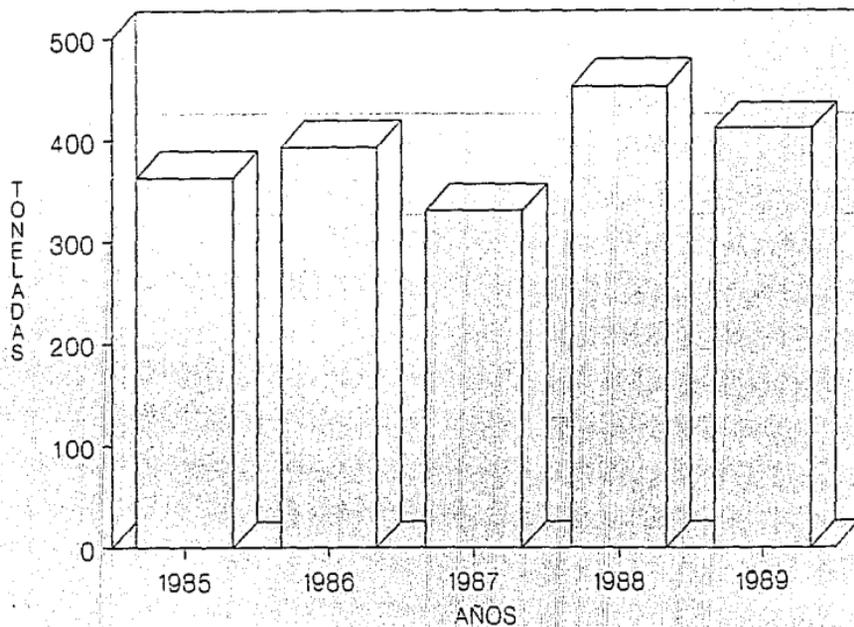
COMPARACION DE RETORTA PARA C-6 CON Y SIN SEPARACION DE FASES



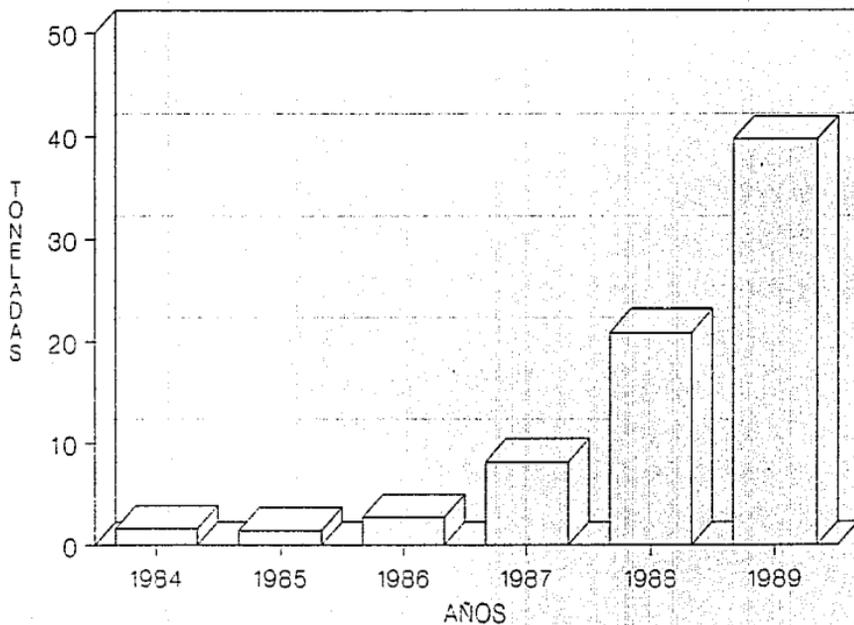
S.F.: Separación de fases

ANEXO II

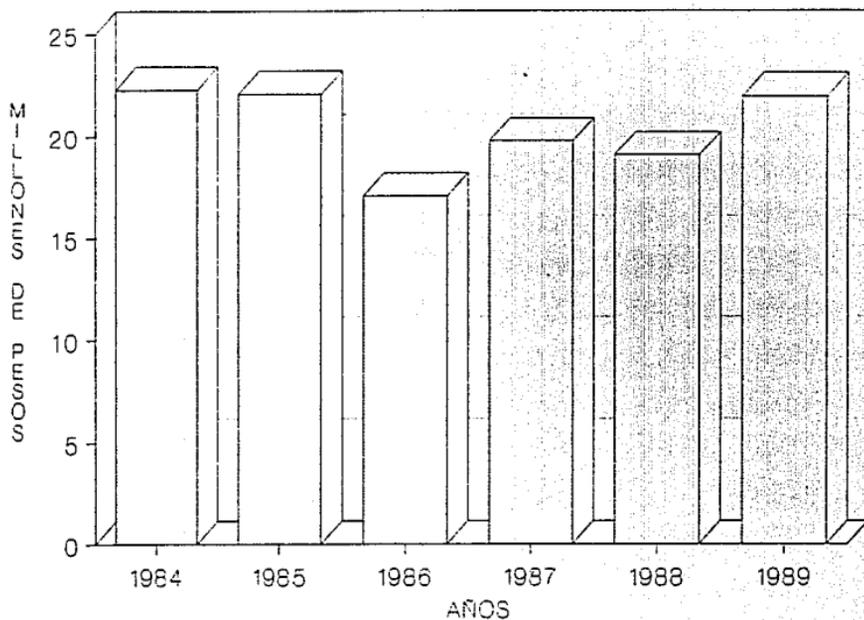
PRODUCCION DE DOLOMITA EN MEXICO EN TONELADAS.



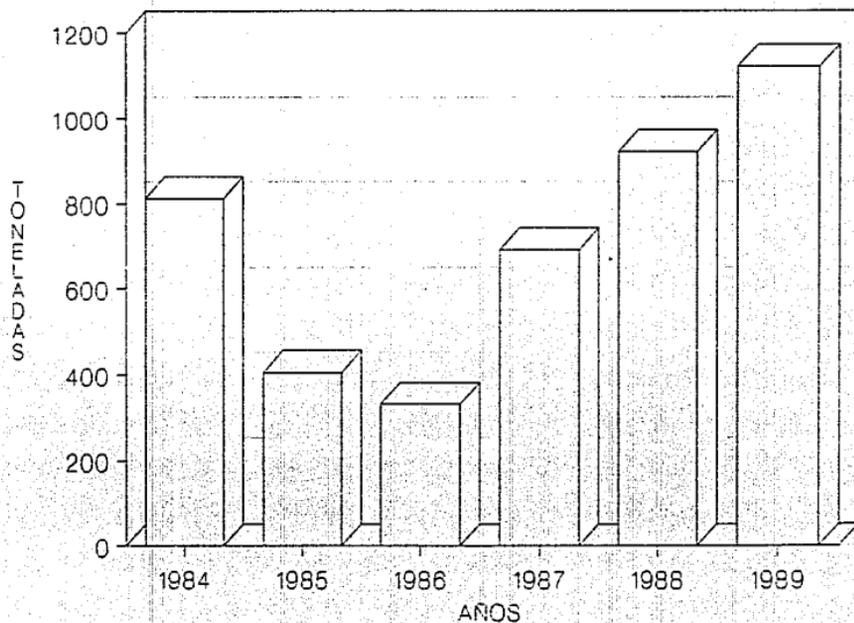
VALOR DE LA EXPORTACION DE DOLOMITA EN MILLONES DE PESOS.



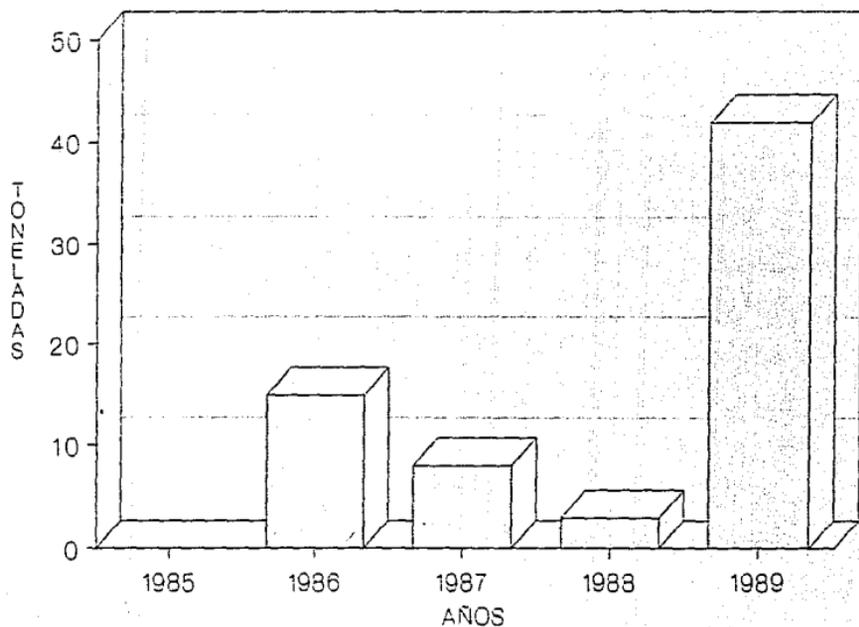
VALOR DE LA PRODUCCION DE DOLOMITA (MILLONES DE PESOS).



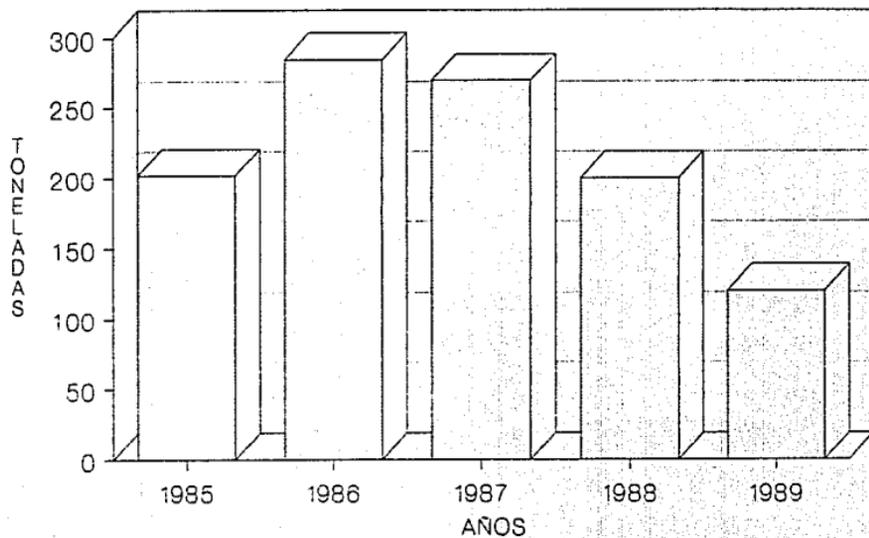
VOLUMEN DE EXPORTACION DE DOLOMITA EN TONELADAS.



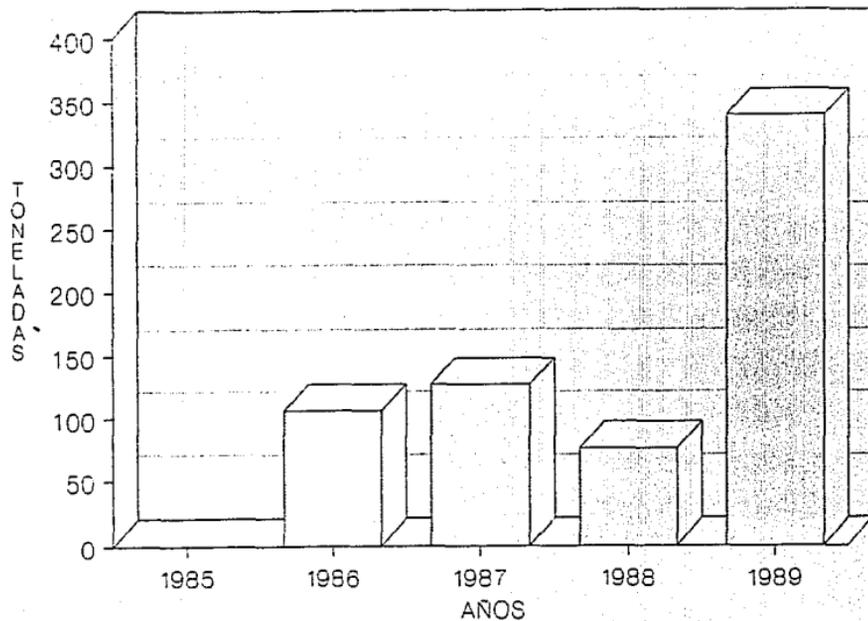
EXPORTACION DE DOLOMITA
PAIS DE DESTINO URUGUAY (TONELADAS).



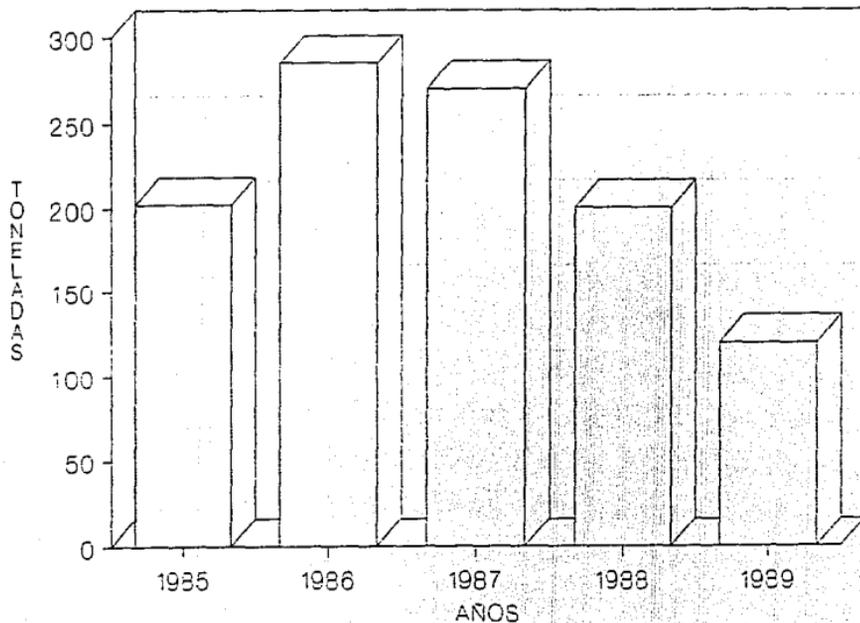
PAIS DE DESTINO EL SALVADOR (TONELADAS).



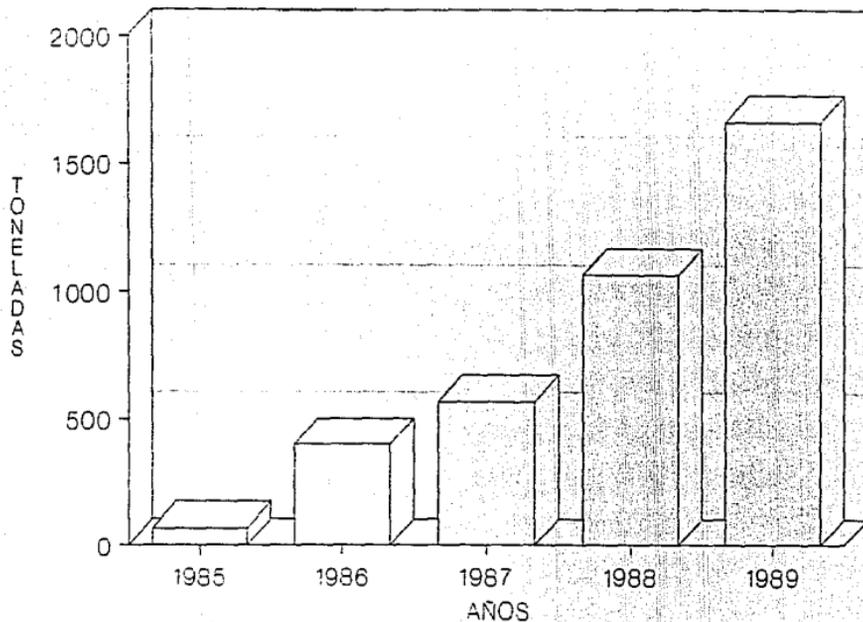
EXPORTACION DE DOLOMITA PAIS DE DESTINO VENEZUELA (TONELADAS).



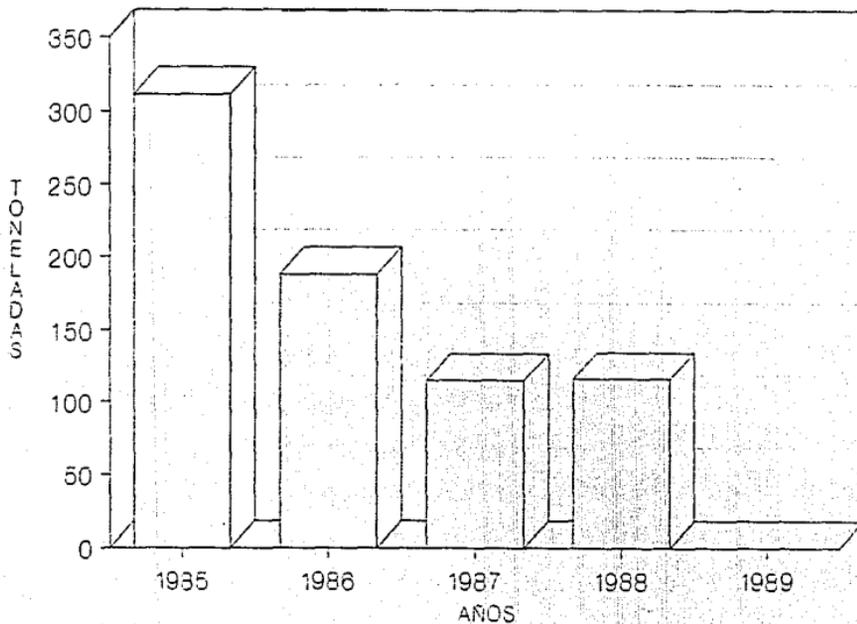
EXPORTACION DE DOLOMITA CALCINADA
PAIS DE DESTINO EL SALVADOR (TONELADAS).



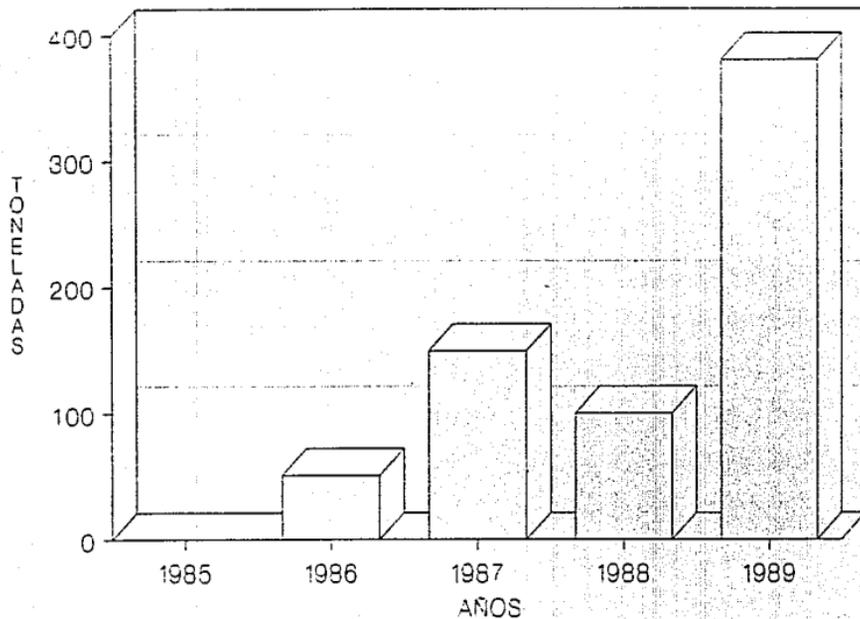
EXPORTACION DE DOLOMITA CALCINADA PAIS DE DESTINO U.S.A. (TONELADAS).



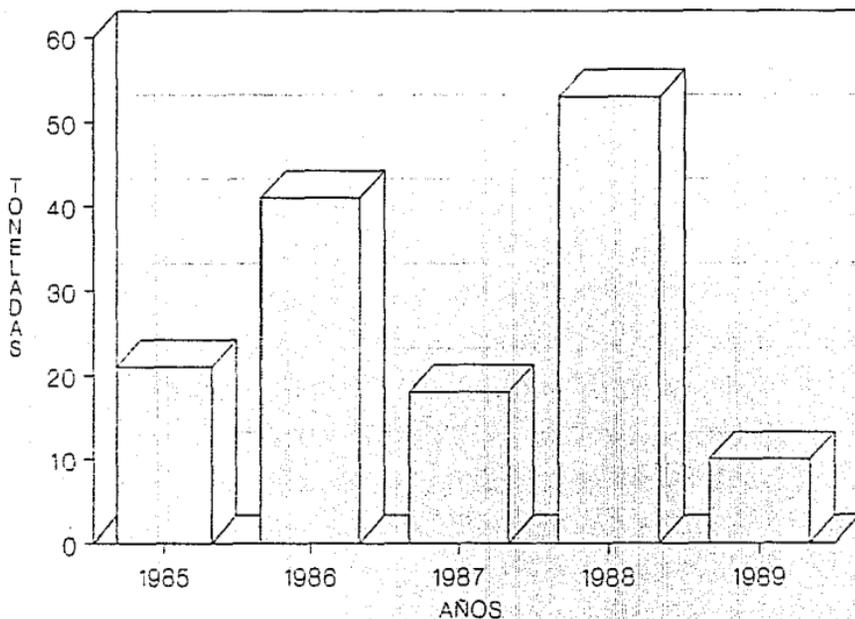
EXPORTACION DE DOLOMITA CALCINADA PAIS DE DESTINO GUATEMALA (TONELADAS).



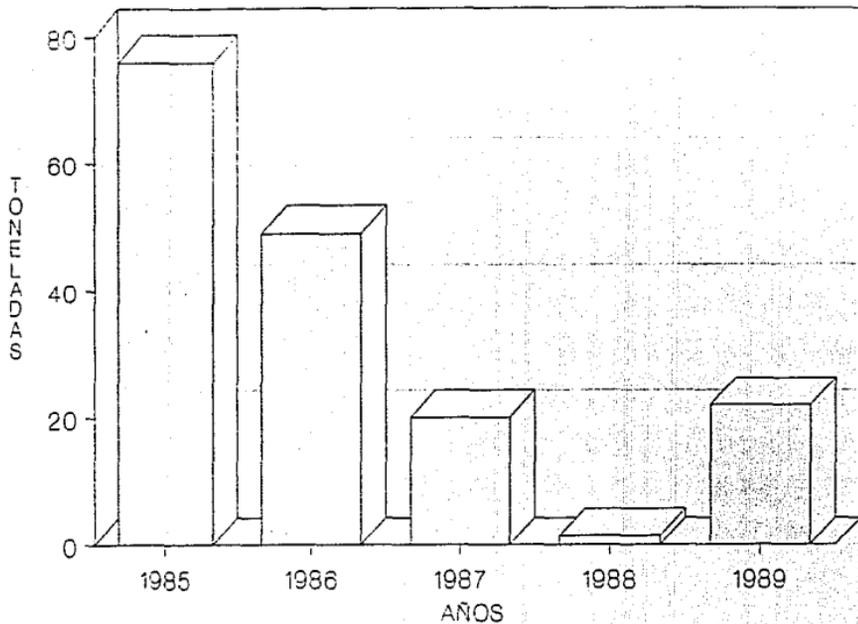
EXPORTACION DE DOLOMITA CALCINADA PAIS DE DESTINO PANAMA (TONELADAS).



**IMPORTACION DE DOLOMITA SIN CALCINAR
PAIS DE ORIGEN U.S.A. (TONELADAS).**



IMPORTACION DE DOLOMITA NO ESPECIFICADA PAIS DE ORIGEN U.S.A. (TONELADAS).



GLOSARIO.

Reología:

La reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia al estar sometida a la acción de una fuerza.

Deformación:

Es el fenómeno físico que sufren los materiales al cambiar su geometría (estado original) bajo la acción de un esfuerzo; la cual puede ser arbitrariamente dividida en dos tipos generales, elasticidad o elongación en los sólidos y flujo en los líquidos y gases.

Elasticidad:

Es la propiedad que exhiben los materiales de deformarse bajo la acción de un esfuerzo y regresar a su estado original, siempre y cuando el esfuerzo aplicado no exceda el límite elástico de dicho material.

Flujo:

Es la deformación que sufren los materiales al ser sometidos a la acción de un esfuerzo, en el flujo la deformación es una función del corte.

Fluido:

Un fluido puede ser definido como una sustancia que se deforme continuamente cuando es sometida a un esfuerzo; por muy pequeño que éste sea, un fluido ideal no puede soportar deformaciones por largos períodos de tiempo, ya que éstos son aliviados por el flujo.

Fluido de Perforación:

El término fluido de incluye a los líquidos y los gases, ahora bien un fluido de perforación, es fundamentalmente líquido y se denomina lodo de perforación o simplemente lodo.

Fluido tixotrópico:

Son aquellos fluidos que pueden desarrollar estructuras de gel después de permanecer un periodo de tiempo a velocidad de corte de cero o cercano a cero. Si bombeamos o agitamos rompemos el gel y el fluido se adelgaza y comporta como un fluido pseudoplástico mientras se encuentra en movimiento.

Lodo:

Un lodo es típicamente, una suspensión de sólidos en un líquido, este líquido será llamado: "fase continua", cabe señalar que esta fase siempre será líquida, en cambio, en la fase discontinua podemos encontrar además de sólidos, líquidos y/o gases.

Emulsión:

Es una mezcla en la que un líquido se encuentra suspendido dentro de otro, en forma de glóbulos muy pequeños, debido a esto se dice que la emulsión esta compuesta por una fase interna y una externa.

Cal viva:

Se entiende por cal viva el producto de la calcinación de la piedra caliza (CaCO_3), la mayor parte de la cual es óxido de calcio.

Contenido Disponible de Cal (CDC)

El contenido disponible de cal, es la cantidad de mezcla de Ca(OH)_2 y CaO , expresado en términos de CaO , que contiene una muestra de cal dada.

Bentonita:

Se entiende por bentonita un conjunto de arcillas, en el cual la mayor proporción de ellas pertenece al tipo de la montmorillonite de sodio (en general esta compuesta por silicatos de aluminio), la proporción restante corresponde a: illitas, feldespatos y cuarzo entre otros.

Emulsificante:

Este material se utiliza para "unir" completamente el aceite al lodo de perforación en oposición a la acción de los agentes mojantes que se agregan en la preparación de la emulsión inversa.

Lutitas:

Las lutitas son rocas sedimentarias compuestas de arcillas o de sedimentos de lodo que se han compactado a medida que ha ocurrido la deposición. A menudo las lutitas están entremezcladas con otros depósitos sedimentarios tales como arenisca, piedra caliza, etc.

Arcillas:

Son materiales plásticos, de grano fino, que ocurren naturalmente en el suelo, las partículas de arcilla son de naturaleza coloidal. En su estructura, en forma de plaquetas, se encuentran comúnmente átomos de silicio, aluminio, magnesio, hidrógeno y de oxígeno.

Propiedades reológicas:

Las propiedades reológicas fundamentales son la viscosidad y la resistencia del gel, su medición es importante ya que de esta forma se puede determinar la capacidad del fluido para elevar los recortes y desprendimientos hasta la superficie.