

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	1/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Manual de prácticas del laboratorio de Fluidos de perforación de pozos.

Elaborado por: ¹	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Quím. Rosa de Jesús Hernández Álvarez.	Quím. Rosa de Jesús Hernández Álvarez.	Dra. Ana Paulina Gómora Figueroa	11 de agosto de 2023
Ing. Israel Castro Herrera.	Ing. Israel Castro Herrera.		
M.A. Rubén Miranda Arias.	M.A. Rubén Miranda Arias.		
Ing. Juan Antonio Hernández Martínez	Ing. Juan Antonio Hernández Martínez		
Ing. Erick Jair Gordillo Guillén	Ing. Erick Jair Gordillo Guillén		

¹ Se agradece la participación en la investigación, edición y reedición a:
Tesisista Hugo Cesar Mondragón Basurto, ahora ingeniero, en la práctica 7 y 8.
Servicio social Carlos Alberto Cancino Lagunas, en la práctica 1

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	2/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Índice

Prólogo

Introducción

Objetivo

Antecedentes

Práctica 1. Identificación cualitativa y cuantitativa de las fases que integran los fluidos de perforación base agua de naturaleza arcillosa, densidad y sus funciones en la industria.

1. Partículas coloidales
2. Fase continua o sistema dispersante de los fluidos de perforación base agua
3. Tipos de agua
4. Fase dispersa de los fluidos de perforación base agua
5. Funciones y propiedades de los fluidos de perforación
6. Evaluación de la densidad
7. Definición de la densidad de sólidos, líquidos y gases, y su importancia en todas las industrias
8. Matraz de Le´chatelier

Práctica 2. Integración de materiales en la elaboración de fluidos de perforación, de acuerdo a la ecuación del balance de materia y confirmación con la balanza hidrostática de lodos.

1. Densidad
2. Equipo de medición de la densidad de los fluidos de perforación, balanza hidrostática
3. Geopreciones
4. Balance de materia bajo la Ley de la Conservación de la materia
5. Aumento del peso de lodo
6. Reducción del peso del lodo

Práctica 3. Efecto del pH en la viscosidad Marsh.

1. Potencial de Hidrogeno en los fluidos de perforación
2. Hinchamiento de las arcillas
3. Indicador de pH
4. Viscosidad cinemática
5. Embudo Marsh

Práctica 4. Evaluación y control del comportamiento reológico tixotrópico y su importancia en la limpieza de pozos, mediante el uso de un viscosímetro rotacional Fann 35.

1. Ley de Newton para la viscosidad
2. Parámetros reológicos tixotrópicos
3. Modelos reológicos

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	3/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. Viscosímetro rotacional Fann 35

Práctica 5. Cuantificación de pérdida de la fase líquida de los fluidos de perforación y sus consecuencias.

1. Porosidad
2. Permeabilidad
3. Daño a la formación por fluidos de perforación
4. Aditivos para el control de la pérdida por filtración
5. Filtroprensa API

Práctica 6. Cuantificación de fases y sólidos contaminantes.

1. Rocas clásticas
2. Sílice
3. El desgaste abrasivo o abrasión
4. Elutriómetro
5. Método de separación de fases
6. Retorta

Práctica 7. Identificación de la salinidad en medios acuosos empleando métodos volumétricos argentométricos y sus efectos en lodos de perforación.

1. Análisis volumétrico estequiométrico
2. Concentración química
3. Método de Mohr
4. Lodos de perforación base agua salada
5. Efectos de la sal en las arcillas

Práctica 8. Diseño y evaluación de sistemas de emulsiones inversas.

1. Fluidos base aceite
2. Emulsión inversa
3. Emulcificantes
4. Cal Hidratada
5. Humectante
6. Salmuera
7. Arcilla organofílica
8. Resistivímetro

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	4/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Prólogo

Este documento contiene la descripción de las prácticas que se realizan durante el curso de Fluidos de Perforación, impartido en la carrera de Ingeniería Petrolera adscrita a la División de Ingeniería de Ciencias de la Tierra, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La construcción de pozos se efectúa por etapas y se emplean diferentes fluidos de control, como los fluidos de perforación, cementación, terminación, empacantes y reparación, según la etapa. Por otra parte, el fluido de perforación, al estar en contacto con la formación y bajo los esfuerzos a los que se somete durante su circulación, variará sus propiedades.

Se busca que, con este manual, el alumno esté preparado previamente al desarrollo de cada una de estas prácticas y analice las propiedades trascendentes en la construcción de pozos petroleros que permitirán la obtención de hidrocarburos.

Introducción

Con la finalidad de obtener energía, se construyen pozos para la extracción y producción de aceite, gas, agua o vapor estos deben ser perforados con un sistema mecánico rotatorio y con una circulación de fluidos de perforación por todo el agujero. Los fluidos de perforación son la sangre de las operaciones de perforación modernas, preservando el pozo debido al aislamiento de las formaciones por medio de tuberías, operación conocida como revestimiento.

Imaginemos la perforación como si perforáramos con un taladro la pared de nuestra casa, el taladro es nuestro sistema mecánico eléctrico, la broca del taladro representa el elemento mecánico utilizado para perforar, para el caso de la ingeniería petrolera se llamará barrena, esta será la que penetre a través de un medio sólido fracturándolo.

Cuando perforamos una formación, la operación genera residuos denominados recortes, que son expulsados por medio de los fluidos de circulación. Para llevar a cabo la expulsión de los recortes, es necesario que los fluidos tengan las propiedades reológicas, tixotrópicas y densificantes para el óptimo desempeño de las operaciones de perforación de pozos. Otra propiedad importante es el control de la filtración por la generación de medios impermeables.

Las propiedades reológicas mal diseñadas, como lo es la viscosidad, disminuyen la velocidad de perforación provocando un mal acarreo de los recortes a la superficie, así como también el exceso de tixotropía que comprende la gelatinosidad influye también en la velocidad de perforación. Estas propiedades afectan también la eficiencia de los equipos.

Objetivo:

Adquirir los conocimientos teóricos-prácticos en materia de fluidos de perforación para que se lleven a cabo con éxito las operaciones en la construcción de pozos para la comunicación del yacimiento productores de aceite, gas, agua o vapor con la superficie.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	5/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Antecedentes.

Trascendencia de la ingeniería petrolera.

¿Cuál es la importancia de la ingeniería petrolera? El objetivo principal de la industria petrolera es obtener energía, esta fuente de energía representa el 32.5% de la producción de energía a nivel mundial. Se obtiene mediante la construcción de pozos de los cuales depende la estabilidad económica, política y social de los pueblos.

Antes de la mitad del siglo XIX, no se usaba los hidrocarburos como fuente de energía, los hogares no tenían agua potable, ni calefacción en las zonas de clima frío ni refrigeración para conservar los alimentos. Se recurría a la quema de carbón o leña para calentarse y alumbrarse por las noches y en lo relacionado a la conservación de alimentos se salaban o se colocaban en aceite por lo que podemos concluir que era una vida muy primitiva, que destruyó miles de hectáreas de bosques y aniquilo o menguo a varias especies de animales como es el caso de la ballena, donde su grasa era para poder lubricar ciertas maquinarias y conservar alimentos.

Con el descubrimiento del petróleo como fuente de energía con alto rendimiento en la combustión, impulso la carrera industrial, formo procesos y mecanismos intrínsecamente necesarios para la sociedad. **Figura I.**



Figura I. Sectores Industriales que requieren Hidrocarburos.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	6/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Sin importar que en un futuro las energías renovables adquieran el papel de fuente de energía principal, pero aún dependeremos de los hidrocarburos como una fuente de materias primas. Con el fin de extraer este recurso vital como fuente de energía y de materias primas es necesario poder ubicar previamente los yacimientos donde estos se encuentran entrapados es necesario emplear estudios geológicos y litológicos representados por medio de columnas estratigráficas. **Figura II.**

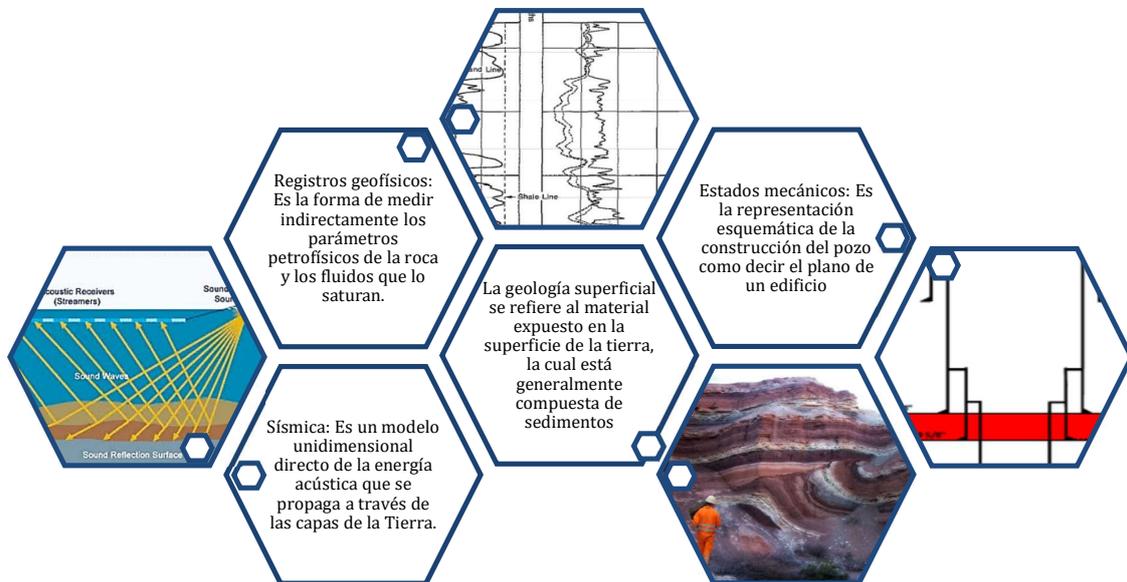


Figura II. Métodos de Identificación de Formaciones Productoras.

Sistema de circulación.

El sistema de circulación es el responsable por el cual se lleva a cabo la circulación de los fluidos para llevar a cabo con éxito las operaciones de perforación y a través de él se realiza la limpieza de pozo.

De las presas de lodo es succionado por las bombas pasa por el interior de las tuberías de perforación y regresa por el espacio anular nuevamente a las presas previamente pasando por el sistema de separador de sólidos y descalcificadores. El sistema de circulación **Figura III.** está formado por una serie de equipos y accesorios que permiten el movimiento continuo del eje principal de la perforación como lo es el fluido de perforación.



**Manual de prácticas del
Laboratorio de Fluidos de
Perforación**

Código:	MADO-55
Versión:	03
Página	7/75
Sección ISO	8.3
Fecha de emisión	11 de agosto de 2023

Facultad de Ingeniería

Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación

La impresión de este documento es una copia no controlada

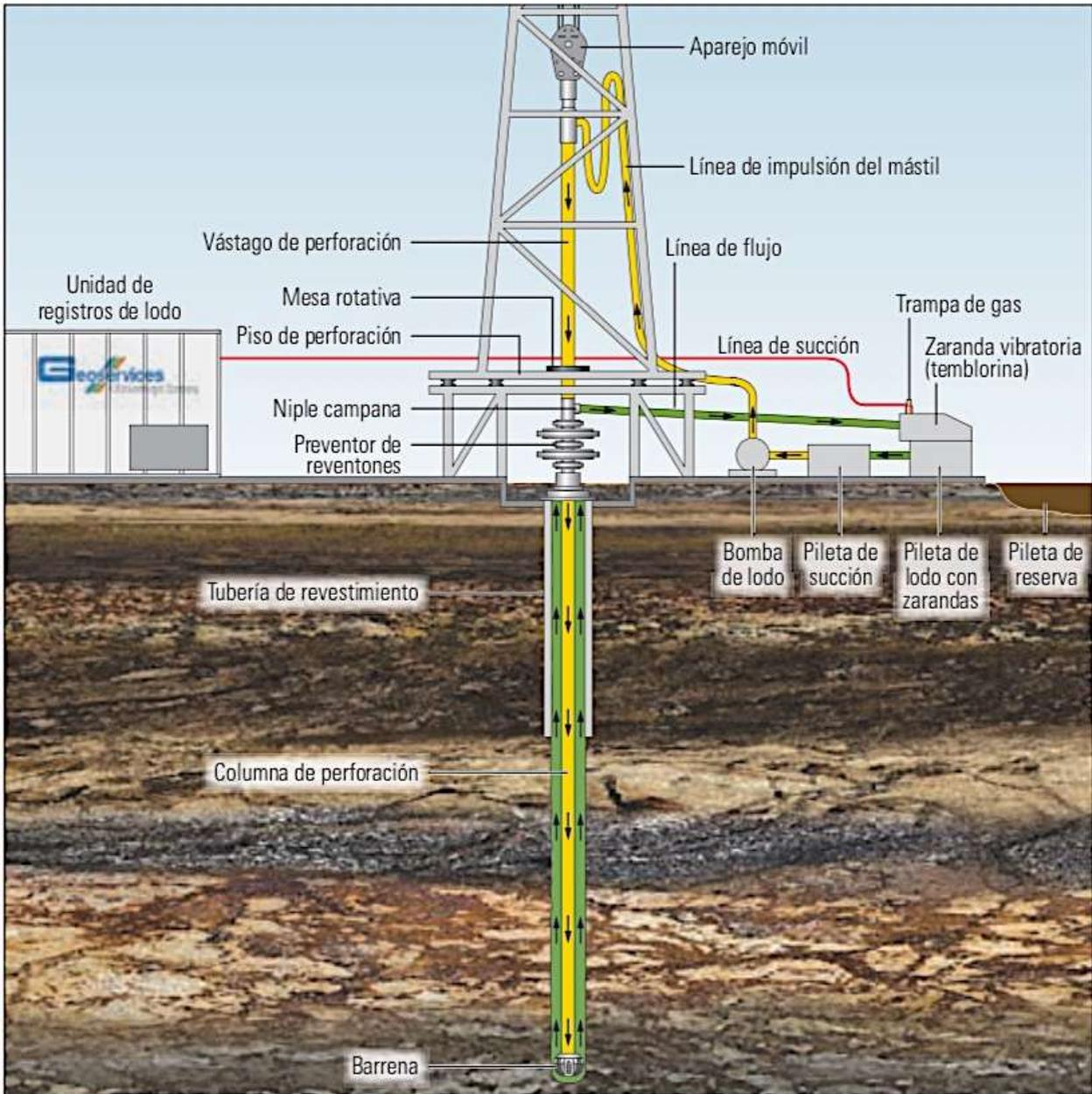


Figura III. El sistema de circulación.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	8/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Como antecedente histórico, los lodos de perforación se descubrieron a mediados del siglo XIX, en aquellas décadas, era usual encontrar las torres de **perforación por percusión**. **Figura IV**. La técnica de perforación consiste en realizar un movimiento de bajada-subida de una masa pesada que en su caída va fracturando o disgregando la roca, desprendiendo trozos del mismo o de varios tamaños, que después se extraen por medio de una válvula o cuchara de limpieza.

Durante el tiempo que se usó este método de perforación, notaron que cuando perforaban zonas pantanosas, o cercanas a cuerpos de agua se generaban lodos, estos, al realizar la perforación hacia un sistema de mezclado entre los terrígenos presentes y el agua que se introducía al pozo.

Permitiendo así una mejor extracción de los residuos del pozo.

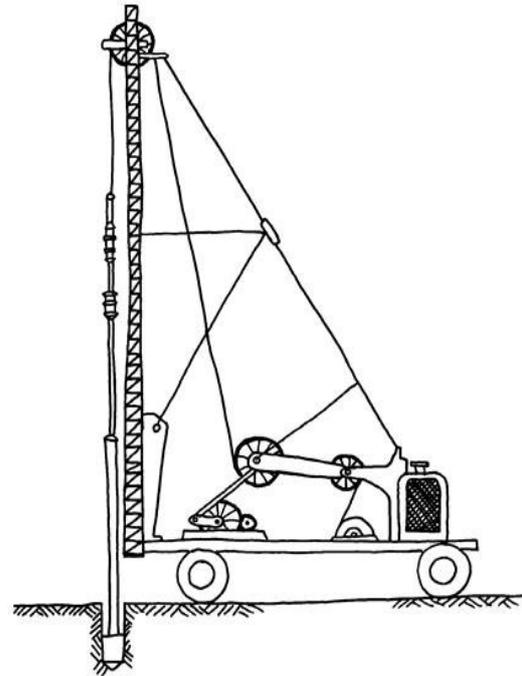


Figura IV. Perforación por Percusión.

Importancia y trascendencia de un fluido de perforación y su aplicación.

El diseño y mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas en los fluidos de control, son factores que influyen en la construcción exitosa y segura del pozo, debido a que son el principal factor de riesgo de su inestabilidad y de accidentes.

Clasificación de los fluidos de control y de perforación

Definición Pemex: fluido circulatorio formado por aditivos químicos que le imparten las propiedades físicas y químicas idóneas a las condiciones operativas y a las características de la formación litológica a intervenir.

Definición API para fluido de perforación: Un fluido de perforación se define como un fluido circulante usado en la perforación rotatoria para ejecutar todas las operaciones de perforación requeridas.

Durante toda la vida útil de pozo veremos la utilización de los fluidos de control, donde los fluidos según el nombre que llevan será su utilidad, todos estos se mantendrán en estado líquido y se pretenderán recuperar, excepto el cemento, ya que este fraguara en un momento dado. **Figura V**.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	9/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

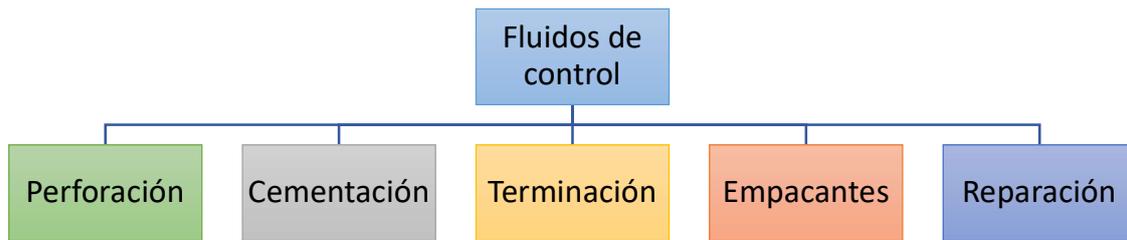


Figura V. Clasificación de los Fluidos de Control.

Para los Fluidos de perforación, existe una clasificación de acuerdo a su base o la fase continua del mismo, estos fluidos se seleccionan debido a la naturaleza de las formaciones, y se busca no dañar a dicha formación.



Figura VI. Clasificación de los Fluidos de Perforación.

- a) **Base agua.** Es el producto de la mezcla de la integración de la fase continua que es el agua y la fase dispersa que son arcillas conocidas como Bentonita y Barita, las cuales nos darán propiedades únicas para perforar con un sistema mecánico rotatorio.
- b) **Base aceite.** Es aceite emulsionado de forma directa o inversa en un lodo base agua. Son usados principalmente para evitar las contaminaciones de agua en las formaciones productoras.
- c) **Base aire o Neumaticos.** Estos lodos se elaboran inyectando aire a una mezcla gelatinosa generando una espuma. Son usados para perforar formaciones de baja presión, donde el equipo superficial y de profundidad impide el uso de lodos base agua o aceite, y en ocasiones en zonas de pérdida de circulación.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	10/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 1

Identificación cualitativa y cuantitativa de las fases que integran los fluidos de perforación base agua de naturaleza arcillosa, densidad y sus funciones en la industria.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	11/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Seguridad en la ejecución.

Tabla 1.1. Peligros y Riesgos.

	Peligro	Riesgo asociado
1	Manejo de herramienta	Lesión de manos, cabello
2	Manejo de líquidos	Humedad y manchas en la ropa

Objetivos de aprendizaje.

- a) **Objetivos generales:** Identificar, conocer, analizar y determinar las funciones y propiedades de los componentes, de las fases que integran un fluido de perforación en función de la Mormorillonita, material arcilloso conocido como Bentonita y del Sulfato de Bario, material inorgánico conocido como Barita.
- b) **Objetivos específicos:** Conocer las propiedades y composición del agua, de la Bentonita, Barita y sus limitaciones para su empleo en la elaboración de fluidos de perforación.

Recursos a emplear.

Tabla 1.2. Equipos y materiales.

Matraz de Le' Chatelier 	Espátula 	Agua 	Diesel 
Balanza 	2 frascos de boca ancha 	Barita 	Bentonita sódica 

Fundamento Teórico.

Partículas Coloidales

De acuerdo al lenguaje fisicoquímico, los fluidos de control se definen como dispersiones, suspensiones y soluciones coloidales. Estos sistemas coloidales requieren que las partículas dispersas sólidas, líquidas o gaseosas se encuentren en una escala microscópica.

Los coloides, son cúmulos de partículas sólidas, líquidas o de gas, de una o varias sustancias que se dispersan y suspenden entre las partículas de la otra sustancia de forma homogénea. Como estos

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	12/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

cúmulos pueden llegar a tener un tamaño del orden de las micras, se dice que la mezcla se da a *escala microscópica*.

- Las sustancias cuyas partículas se dispersan se llaman fase dispersa.
- La sustancia que dispersa las otras se llama fase continua.

Las partículas coloidales como ejemplo las podemos observar frente a las lámparas en cuartos oscuros, las partículas que vemos suspendidas son partículas coloidales en forma de la fase dispersa y el aire que las mantiene suspendidas es la fase continua.

Figura 1.1.



Figura 1.1. Partículas Coloidales, polvo en el aire.

Tabla 1.3. Cosificación general de las dispersiones coloidales según Wolfgang Oswald en 1927.

Medio	Partículas dispersas	Nombre común del sistema
Gaseoso	Líquido	Niebla, nubes, aerosol.
Gaseoso	Sólido	Polvo, humo, aerosol.
Líquido	Gaseoso	Dispersiones de agua, espumas.
Líquido	Líquido	Emulsiones.
Líquido	Sólido	Soles, soluciones coloidales.
Sólido	Líquido	Emulsiones sólidas, algunos geles.
Sólido	Sólido	Aleaciones, lentes.

Fase continua o sistema dispersante de los fluidos de perforación base agua

En lo referente al sistema dispersante, el agua es un elemento fundamental, por lo tanto; se debe conocer las condiciones físicas, químicas y fisicoquímicas de este elemento para la elaboración de los diferentes tipos de fluidos empleados en la construcción de pozos petroleros.

Tabla 1.4. Propiedades físicas y químicas del agua.

a) Incolora, inodora e insípida	g) La anómala variación de la densidad con la temperatura
b) Densidad	h) Su elevada constante dieléctrica
c) Contenido de sólidos	i) Su carácter polar
d) Contenido microbiano	j) Su calor específico y calor de vaporización elevados
e) Estados Termodinámicos	k) Su gran capacidad de formación de enlaces de hidrógeno
f) El amplio margen de temperaturas en que permanece en fase líquida (0-100° C)	

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	13/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tipos de agua

Debido a las necesidades de un gran consumo de agua para la fabricación de los fluidos de control, es tomado de la naturaleza, por su fácil obtención, sus bajos costos, sin privar las necesidades de las poblaciones cercanas. Estas son las opciones disponibles, no deben ser tóxicos y estar libres de Bacterias.

- Agua dulce
- Salmueras
- Agua de mar
- Agua in-situ

Fase dispersa de los fluidos de perforación base agua

Bentonita: Es un material compuesto por minerales de arcilla, principalmente montmorillonita con cantidades escasas de otros minerales del grupo de las esmectitas. La principal característica es que absorbe varias veces su peso en agua y tiene excelentes propiedades coloidales, lo que la vuelve excelente recurso para la preparación de lodos de perforación.

Barita: Es una sal inorgánica conocida también como sulfato pesado, siendo unas de sus principales características el ser un material inerte, no tóxico y que tiene una densidad de hasta 4.5 gr/cc, siendo ésta última característica de donde proviene su nombre que es de la palabra griega baros que significa pesado. **No es una arcilla** solamente se le denomina así por el tamaño de grano que tiene cuando se le emplea.

Además de la barita hay materiales que cuando son dispersos y suspendidos en un fluido de perforación que incrementan la densidad del fluido. Estos se utilizan para controlar la presión de formaciones y para controlar el derrumbe en áreas que han sido tectónicamente activas.

Tabla 1.4. Materiales densificantes

Material	Formula química	Gravedad específica		Dureza Moh	
Galena	SPb	7.4	7.7	2.5	2.7
Hematita	Fe2O3	4.9	5.3	5.5	6.5
Magnetita	Fe3O4	5.0	5.2	5.5	6.5
Ilmenita	FeOTiO2	4.5	5.1	5.0	6.0
Baritina	SO4Ba	4.2	4.5	2.5	3.5
Siderita	CO3Fe	3.7	3.9	3.5	4.0
Celestina	SO4Sr	3.7	3.9	3.0	3.5
Dolomita	CO3CaCO3Mg	2.8	2.9	3.5	4.0
Calcita	CO3Ca	2.6	2.8	3.0	

Funciones y propiedades de los fluidos de perforación

De acuerdo al comportamiento del lodo, cubriendo las necesidades del control y limpieza del pozo, los fluidos de perforación deben de cumplir con cuatro propiedades indispensables en el sistema de circulación, las cuales mostramos a continuación.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	14/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1.5. Propiedades y funciones físicas básicas de un fluido de perforación.

Materiales	Funciones	Propiedades
Bentonita	Acarreo de recortes	Viscosidad
	Suspensión de recortes	Gelatinocidad
	Control de la filtración	Impermeabilidad
Barita	Control de presiones inherentes a las formaciones.	Densidad

Evaluación de la densidad

Las necesidades humanas, enfocada a cualquier área industrial, tiene la necesidad de determinar de la densidad de los materiales, productos, materias primas, alimentos o productos terminados. Esto es para su manejo, control, transporte y almacenamiento de cualquiera de estos.

De igual forma podemos hablar de líquidos, como: bebidas, combustibles, agua derivada de cualquier proceso industrial, o para beneficio humano, aceites, alcoholes, etc. Necesitan ser bombeados por tuberías, almacenados en tanques, transportados en tuberías o auto camiones tanque, etc. Por tal motivo es necesario manejar la densidad, que cuando entra en movimiento se convierte en densidad equivalente de bombeo; con esto se tendrán que diseñar la eficiencia de las bombas, calibre y diámetro de tuberías; ubicación, espesor y capacidad de los tanques al igual que su geometría.

Para los sólidos pulverizados es semejante para su almacenamiento al de los líquidos, estos se transportan en cajas de camiones o en sacos de un peso ideal a la venta y su diseño dependerá de la densidad del material que se está manejando. Estos pueden ser: cementos, barita, bentonita, materiales de construcción, materias primas plásticas, granos (arroz, trigo, maíz, frijol, etc.), etc.

Para los gases dependerá de las condiciones de presión y temperatura que se manejara, hay algunos que son licuados a bajas temperaturas y altas presiones convirtiéndolos en líquidos, esto para su mejor manejo, esto lo abordaran mejor en las materias de yacimientos de gas y conducción y manejo de los hidrocarburos.

Definición de la densidad de sólidos, líquidos y gases, y su importancia en todas las industrias.

- Densidad de gases, este por la expansión y compresión de los gases, debe medirse de acuerdo a la ley de los gases reales, en un tanque cerrado a ciertas condiciones se presión y temperatura dadas y conociendo la composición del gas utilizado.
- Densidad de líquidos, estos son muy fácil de medir debido a que su volumen depende del recipiente que lo contiene, y de ahí se puede medir su masa con algún tipo de balanza o bascula, de tal manera que podemos obtener fácilmente su densidad.
- Densidad de sólidos, estos, para medir esta propiedad intensiva, dependerá de la geometría del sólido, su porosidad y permeabilidad, hablando de cualquier objeto sólido. Si el material a medir es de geometría regular, se puede obtener un volumen aproximado y solo restaría medir su masa.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página:	15/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El reto es medir la densidad de cuerpos irregulares, para poder medir el volumen específico este tipo de sólidos se utiliza el **principio de Arquímedes**, establece que *todo cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido experimenta una fuerza ascendente o empuje igual al peso de fluido desplazado*, de tal forma que los instrumentos de medición de la densidad se basan en este principio, como:

- El densímetro: mide la densidad de un líquido, al introducir el dispositivo en el fluido.
- El picnómetro: mide la densidad de sólidos, a través del desplazamiento del agua.
- La balanza hidrostática, que permite calcular densidades de lodos, a volumen constante.

Matraz de Le´Chatelier: bases de su funcionamiento y uso.

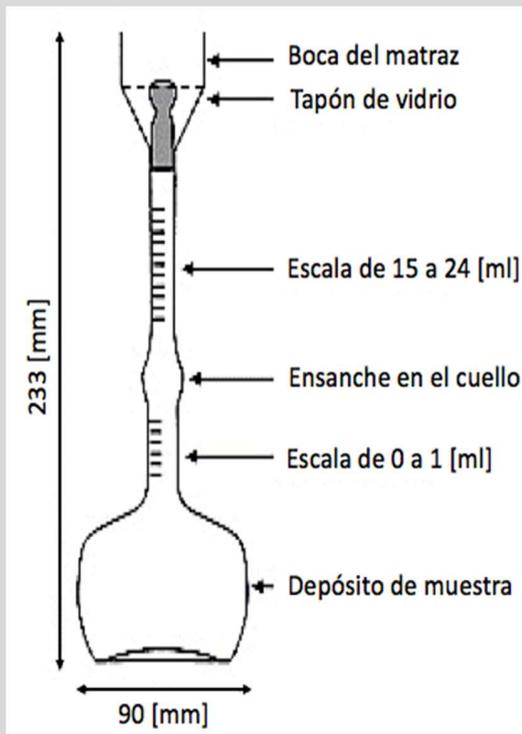


Ilustración 1. Matraz de Le´Chatelier.

La determinación del peso específico relativo consiste en establecer la relación entre una masa (gr) y el volumen (ml) de líquido que ésta masa desplaza en el matraz de Le´Chatelier.

Figura 2.1.

El matraz es un recipiente de cristal cuya forma y dimensiones aparecen definidas en la figura. Este recipiente está lleno de diésel, de tal suerte que el nivel este comprendido entre las divisiones 0 y 1 que se hallan en la parte inferior del cuello.

La siguiente ecuación representa la densidad de los sólidos medidos en el Matraz de Le´Chatelier.

$$\rho_{sólidos} = \frac{m_f - m_i}{v_f - v_i} \left[\frac{g}{cc} \right]$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	16/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Donde:

- $\rho_{sólidos}$: densidad de sólidos pulverizados
- v_i : volumen de aforo entre cero y un mililitro
- m_i : masa del matraz aforado con el diésel
- v_f : volumen desplazado por la arcilla
- m_f : masa inicial más la masa de la arcilla

Desarrollo de actividades.

Actividad 1: Propiedades cualitativas

- I. Demostración por el profesor. En dos recipientes traslucidos se agregarán un aproximado de 400 [ml] de agua, posteriormente con una espátula tomará una muestra representativa de cada arcilla (Barita y Bentonita) y se verterán en los recipientes. El profesor mostrará las propiedades coloidales de cada muestra y su interacción con la fase continua.
- II. Experimentación de los alumnos. Con las manos, tomar una muestra de cada arcilla (Barita y Bentonita) y someterlas a la interacción con el agua.

Actividad 2: Propiedades cuantitativas (Le'Chatelier)

- I. Llenar el matraz con diésel hasta un punto comprendido entre las marcas 0[ml] y 1[ml], limpiar en exterior del matraz de residuos diésel.
- II. Con el uso de la báscula pesar el matraz con el aforo y la tapa del matraz.
- III. De la arcilla asignada por el profesor, ya sea barita o bentonita, introducirá el material dentro del matraz con ayuda de una espátula, como el profesor les muestre, hasta la siguiente escala después de la burbuja.
- IV. Es necesario que cuando Introduzca el material, lo haga en pequeñas cantidades, debido a que el matraz es susceptible a taparse. La burbuja es un ensanche para purgar el sistema, pero si se tapa, solo tendrá que sujetarlo firme y ligeramente golpear su base con un colchón de trapos para que el diésel lave el matraz del material y este decante.
- V. Se deja de introducir material, cuando ya sea medible el volumen de diésel, después del ensanche, debe esperar a que gran parte del diésel sea traslucido, y limpie de residuos de diésel y de arcillas.
- VI. Pese el matraz aforado con la masa de la arcilla y la tapa.
- VII. Por último, haga la diferencia de las masas obtenidas, hasta que el diésel se encuentre totalmente traslucido medir el volumen obtenido considerando el menisco y el aforo que hizo en el punto uno.
- VIII. Matemáticamente calcule la densidad en la siguiente tabla.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	03
		Página	17/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	11 de agosto de 2023
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1.6. Resultados cuantitativos de la densidad de los materiales

Equipo	Nombre Arcilla	Volumen de Aforo (ml)	Masa de Matraz aforado (g)	Masa de matraz lleno (g)	Volumen desplazado (ml)	Volumen de la arcilla (ml)	Masa de la arcilla (g)	Densidad de arcilla (g/cc)
1								
2								
3								
4								
5								

Conclusiones.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	18/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 2

Integración de materiales en la elaboración de fluidos de perforación, de acuerdo a la ecuación del balance de materia y confirmación con la balanza hidrostática de lodos.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	19/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Seguridad en la ejecución.

Tabla 2.1. Peligros y Riesgos.

	Peligro	Riesgo asociado
1	Manejo de herramienta	Lesión de manos, cabello
2	Manejo de líquidos	Humedad y manchas en la ropa

Objetivos de aprendizaje.

- a) **Objetivos generales:** Demostrar la importancia y trascendencia de una ecuación de balance de materia para el diseño y elaboración de un lodo de perforación, confirmando, mediante la medición de la densidad con la balanza hidrostática de lodos.
- b) **Objetivos específicos:**
- a. Preparar un lodo de perforación diseñando sus propiedades.
 - b. Confirmar la densidad del lodo teórico, mediante la calibración y medición con la balanza hidrostática de lodos.

Recursos a emplear.

Tabla 2.2. Equipos y materiales.

Balanza 	Espátula 	Agua 	Dispensor 
Recipiente de plástico cilíndrico de 3 litros 	Bentonita 	Barita 	Balanza hidrostática 
Probeta de 1000 (ml) 			

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	20/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Fundamento Teórico.

Densidad: Es la masa de un material en relación al volumen que ocupa. Conocer la densidad del fluido es probablemente una de las propiedades más importantes, ya que gracias a su correcto manejo se logra el manejo, el control de un pozo y manteniendo la presión hidrostática igual o ligeramente mayor que la presión de formación.

Equipo de medición de la densidad de los fluidos de perforación.

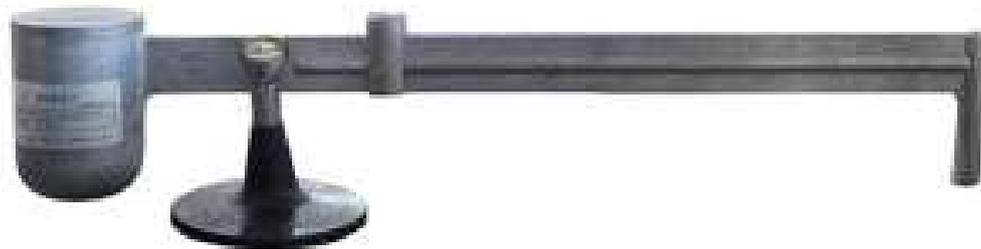


Figura 2.1. Balanza Hidrostática de Lodos.

Consta de una base de soporte en la cual descansa un brazo graduado con una copa y su tapa con orificio de purga, un punto de apoyo en filo de cuchilla, nivel, un pilón corredizo y un contrapeso. El brazo graduado tiene cuatro escalas:

- En una cara
 - Libras por galón (lb/gal) en escala de 6 a 24 y se utiliza únicamente para determinar la densidad en sistema inglés.
 - Libras por pulgada cuadrada por mil pies (lb/pg/1000pie) y se utiliza para calcular el gradiente de presión del fluido.
- Cara opuesta
 - Libras por pie cubico (lb/pie³) que también es medida de densidad en el sistema inglés.
 - Gramos por centímetro cubico (g/cm³) con rango de 0.72 a 2.88 y se utiliza únicamente para determinar la densidad en el sistema métrico decimal.

Geopresiones

Presión Hidrostática. Es la presión ejercida por una columna de fluido sobre las paredes y el fondo del elemento que la contiene. La Presión Hidrostática generada por una columna de lodo, está en función de la densidad promedio del lodo y la profundidad vertical de la columna en un punto determinado.

El gradiente de presión también llamado gradiente del fluido es la presión hidrostática ejercida por unidad de longitud vertical de un fluido de un peso determinado, es el incremento de presión por unidad de profundidad.

Presión normal de formación: Cuando la presión de poro de la formación es aproximadamente igual a la presión hidrostática teórica para una determinada profundidad vertical. **El gradiente de presión**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	21/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

normal **Figura 2.2.** se encuentra generalmente entre 0.433 Psi/ft – 0.465psi/ft. La magnitud del gradiente de presión normal varia de cuerdo a la concentración de sales disueltas, tipo de fluido, gas y temperatura. **Tabla 2.3.**

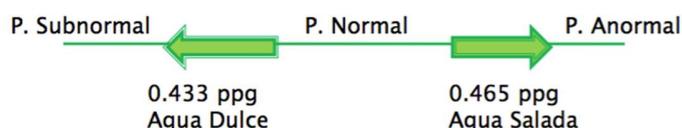


Figura 2.2. Presiones diferentes a la normal.

Tabla 2.3. Gradientes promedio de presiones de poro de formación normal.

Agua de Formación	ρ (lb/gal)	ρ (g/cc)	ΔP (psi/ft)	ΔP (kgf/m]	Área de ejemplo
Agua dulce	8.3	0.9969	0.432	0.100	Montañas rocallosas y continente medio
Agua salobre	8.4	1.0089	0.437	0.101	La mayoría de las cuencas sedimentarias en el mundo
Agua salina	8.5	1.0209	0.442	0.102	La mayoría de las cuencas sedimentarias en el mundo
Agua salina normal	8.7	1.0449	0.452	0.104	Mar del Norte, mar del sur de China.

La densidad para el control de la presión hidrostática.

Como ya se ha hablado en temas anteriores, durante la perforación de pozos, en cualquier área de la industria requiere el uso de fluidos de perforación. Desde la perspectiva de la física, el estudio científico de las propiedades de los fluidos se denomina mecánica de fluidos, una de las ramas se llama hidrostática, que estudia los fluidos en estado de reposo.

Asimismo, los lodos de perforación se encuentran en algún momento de la perforación en un estado estático o en velocidades relativamente bajas, lo que nos permite estudiar la presión hidrostática que genera este fluido en función de la densidad del mismo y la profundidad del pozo. **Figura 2.3.**

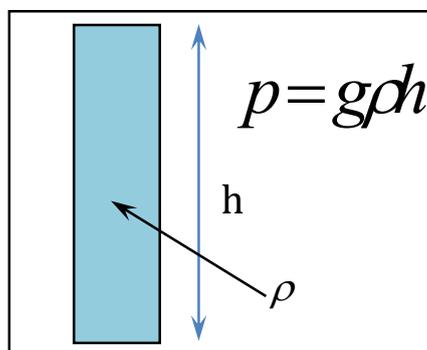


Figura 2.3. Representación gráfica y analítica de la presión hidrostática.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	22/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Balance de materia bajo la Ley de la Conservación de la Materias.

Se le llama materia a todo aquello que ocupa un lugar en el espacio. En la mayoría de los casos, la materia se puede percibir o medir mediante distintos métodos.

Antoine Lavoisier propone que *“la materia no se crea ni se destruye, sólo se transforma”*. La ecuación general empleada como punto de partida, se basa en el concepto de densidad relacionado con pesos y volúmenes de materiales sólidos y líquidos a emplearse.

$$\rho_l = \frac{M_l}{V_l} = \frac{M_w + M_{Bnt} + M_{Bar}}{V_w + V_{Bnt} + V_{Bar}}$$

Donde:

ρ es la densidad
M es la masa
V es el volumen

Los siguientes subíndices representan

l: se refiere al lodo
Bnt: se refiere a la Bentonita
Bar: se refiere a la Barita
w: se refiere al agua

Debido al diseño de lodo se determinará la densidad que se requiera, el volumen que se necesite y el rango de viscosidad que se desee manejar. Por lo tanto, conoceremos la densidad, el volumen de agua V_w dependerá mucho del volumen total de lodo, la masa del agua M_w la conocemos por su densidad.

Respecto a la bentonita, esta se maneja en porcentajes a la masa M_w , 6%, 8% y 10%, esto quiere decir que si usamos 1 litro de agua, que son 1000 gramos, el 8% de los 1000 gramos 80 gramos de bentonita M_{Bnt} , conociendo la densidad de la bentonita que es de 2.15 [g/cc] podemos determinar el volumen de la bentonita V_{Bnt} . Para el caso de la barita la masa M_{Bar} y el volumen V_{Bar} son nuestras incógnitas, requerimos una ecuación más para resolver la ecuación de la densidad de lodo. Sabemos que:

$$\frac{M_{Bar}}{V_{Bar}} = \rho_{Bar} = 3.6 \left[\frac{g}{cc} \right]$$

Despejaremos el volumen, debido a que ese es difícil de medir, quedara:

$$V_{Bar} = \frac{M_{Bar}}{\rho_{Bar}}$$

$$\rho_l = \frac{M_w + M_{Bnt} + M_{Bar}}{V_w + V_{Bnt} + \frac{M_{Bar}}{\rho_{Bar}}}$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	23/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Despejando la masa de la Barita se tiene:

$$\rho_l \left(V_w + V_{Bnt} + \frac{M_{Bar}}{\rho_{Bar}} \right) = M_w + M_{Bnt} + M_{Bar}$$

$$\rho_l \left(V_w + V_{Bnt} + \frac{M_{Bar}}{\rho_{Bar}} \right) - M_{Bar} = M_w + M_{Bnt}$$

$$\rho_l \left(\frac{M_{Bar}}{\rho_{Bar}} \right) - M_{Bar} = M_w + M_{Bnt} - \rho_l (V_w + V_{Bnt})$$

$$M_{Bar} \left[\frac{\rho_l}{\rho_{Bar}} - 1 \right] = M_w + M_{Bnt} - \rho_l (V_w + V_{Bnt})$$

$$M_{Bar} = \frac{M_w + M_{Bnt} - \rho_l (V_w + V_{Bnt})}{\left[\frac{\rho_l}{\rho_{Bar}} - 1 \right]}$$

Hay más de una forma de resolver esta ecuación con 2 incógnitas, que son muy similares, con esta podremos determinar la masa, y con la densidad que tenemos calcularemos el volumen.

Aumento del peso de lodo

El aumento del peso del lodo es un procedimiento bastante sencillo, consiste en añadir materiales densificantes, como lo son las arcillas y la barita, de tal forma que mantenga el peso del lodo constante en la presa de succión durante la circulación, la continua y minuciosa medición de la densidad en la presa nos indicará la velocidad en que se agrega el material densificante.

Régimen del incremento de la densidad de lodo, por barita o por bentonita.

a) Unidades Inglesas.

$$M_{Bar} = \frac{W_{mtrl}(W_{lf} - W_{li})}{W_{mtrl} - W_{lf}} \quad (42)$$

- W_{mtrl} : peso del material, barita o bentonita $\left(\frac{lb}{gal}\right)$
- W_{li} : peso inicial de lodo $\left(\frac{lb}{gal}\right)$
- W_{lf} : peso final de lodo $\left(\frac{lb}{gal}\right)$
- 42: galones por barril
- M_{Bar} : libras de material por cada barril de lodo (lb)

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	24/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

b) Sistema internacional de unidades.

$$M_{Bar} = \frac{\rho_{mtrl}(\rho_{lf} - \rho_{li})}{\rho_{mtrl} - \rho_{lf}} (1000)$$

- ρ_{mtrl} : peso del material, barita o bentonita $\left(\frac{Ton}{m^3}\right)$
- ρ_{lf} : peso inicial de lodo $\left(\frac{Ton}{m^3}\right)$
- ρ_{li} : peso final de lodo $\left(\frac{Ton}{m^3}\right)$
- 1000: kilogramos por metro cubico
- M_{Bar} : kilogramos de material por cada metro cubico de lodo (kg)

Reducción del peso del lodo

Es ciertos casos es necesario reducir el peso del lodo, por ejemplo, cuando se perfora una formación de baja presión, es necesario bajar la densidad del lodo, otro caso sería que la densidad del lodo incrementara por la integración de solidos de la formación en el lodo. En los lodos base agua la reducción de la densidad se hace agregando agua.

Régimen de decremento de la densidad de lodo, por adición de agua.

a) Unidades Inglesas.

$$V_w = \frac{V_{l/o}(W_{li} - W_{lf})}{W_{lf} - W_w}$$

- V_w : volumen de agua en barriles (bbl)
- $V_{l/o}$: volumen original de lodo (bbl)
- W_{li} : peso inicial de lodo $\left(\frac{lb}{gal}\right)$
- W_{lf} : peso final de lodo $\left(\frac{lb}{gal}\right)$

b) Sistema internacional de unidades.

$$V_w = \frac{V_{l/o}(\rho_{li} - \rho_{lf})}{\rho_{lf} - \rho_w}$$

- V_w : volumen de agua en barriles (m^3)
- $V_{l/o}$: volumen original de lodo (m^3)
- ρ_{li} : peso inicial de lodo $\left(\frac{Ton}{m^3}\right)$
- ρ_{lf} : peso final de lodo $\left(\frac{Ton}{m^3}\right)$

Algunos de los Problemas en la perforación de pozos ocasionados por la densidad de los lodos de perforación, son:

- Pegamiento de tuberías
- Deformación de tuberías
- Fracturamiento de la formación
- Perdidas de circulación

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	25/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Desarrollo de actividades.

Actividad 1: Elaboración del lodo de perforación

- I. Calcular la masa de la bentonita al porcentaje (%) en masa (M) en relación a 2000 [ml] de agua y/o 2000 [g].
- II. Calculara la masa de la barita con la ecuación de balance de materia que en la explicación del tema se despejo.
- III. Pesar las masas de las arcillas según los resultados obtenidos.
- IV. Con ayuda de la probeta de capacidad de un litro llenar recipiente cilíndrico de plástico con 2000 [ml] de agua.
- V. Llevar el recipiente con agua al dispersor electromecánico.
- VI. Agitar el agua **sin ninguna arcilla**.
- VII. Se agrega a la agitación la bentonita ya pesada.
- VIII. Esperar a que se vea homogéneo.
- IX. Se agrega a la mezcla en agitación la barita ya pesada.
- X. Esperar hasta que la mezcla sea homogénea y refleje un tono nacarado con la luz.

Actividad 2: Calibración de la balanza

- I. Llene la copa con agua dulce
- II. Coloque la tapa, cuidando se elimine el aire por el orificio de purga.
- III. Seque la copa
- IV. Deslice el pilón corredizo a 1.00 (g/cm³) colocando en el apoyo de cuchilla de la balanza en el soporte de apoyo.
- V. Si el pilón y la copa no se equilibran preferentemente en posición de nivel, quite el tornillo que se encuentra en el contrapeso del brazo graduado, agregue o retire balines en la cámara de calibración.

Actividad 3: Procedimiento para medir la densidad Una vez que la balanza ha sido calibrada correctamente:

- I. Llene la copa de la balanza con el fluido de perforación densificado.
- II. Coloque la tapa y asíéntela firmemente con lentitud, girándola y asegurándose que el excedente del fluido salga por el orificio de purga.
- III. Tape el orificio con un dedo, lave y seque el exterior de la copa y también el brazo graduado si este se manchó de lodo.
- IV. Colocando en el apoyo de cuchilla de la balanza en el soporte de apoyo y mueva el pilón corredizo a lo largo del brazo.
- V. Repita del paso uno al cuatro, pero ahora con el lodo Bentonítico.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	26/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 2.4. Densidad del lodo densificado y bentonítico.

Equipo	% Bentonita	Agua		Bentonita		Barita		Densidad (g/cc)		$\Delta P \left[\frac{psi}{1000 ft} \right]$
		(ml)	(g)	(ml)	(g)	(ml)	(g)	Teórica	practica	
1	6									
2	7									
3	8									
4	8									
5	10									

Conclusiones.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	27/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 3

Efecto del pH en la viscosidad Marsh.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	28/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Seguridad en la ejecución.

Tabla 3.1. Peligros y Riesgos.

	Peligro	Riesgo asociado
1	Manejo de herramienta	Lesión de manos, cabello
2	Manejo de líquidos	Humedad y manchas en la ropa
3	Manejo de sustancias alcalinas	Irritación en la piel, ojos y boca

Objetivos de aprendizaje.

- a) **Objetivos generales:** Evaluar los efectos de la alcalinidad en los lodos de perforación base agua de naturaleza arcillosa, en su viscosidad cinemática.
- b) **Objetivos específicos:**
 - a. Evaluar la viscosidad cinemática o Marsh antes y después de alcalinizar
 - b. Alcalinizar el lodo
 - c. Hacer uso de indicadores de la alcalinidad

Recursos a emplear.

Tabla 3.2. Equipos y materiales.

<p>Dispensador</p> 	<p>Espatula</p> 	<p>Lodo densificado</p> 	<p>Papel indicador</p> 
<p>Sosa en solución acuosa al 15%</p> 	<p>Fenofaleína</p> 	<p>Cronometro</p> 	<p>Embudo Marsh y su jarra</p> 

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	29/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

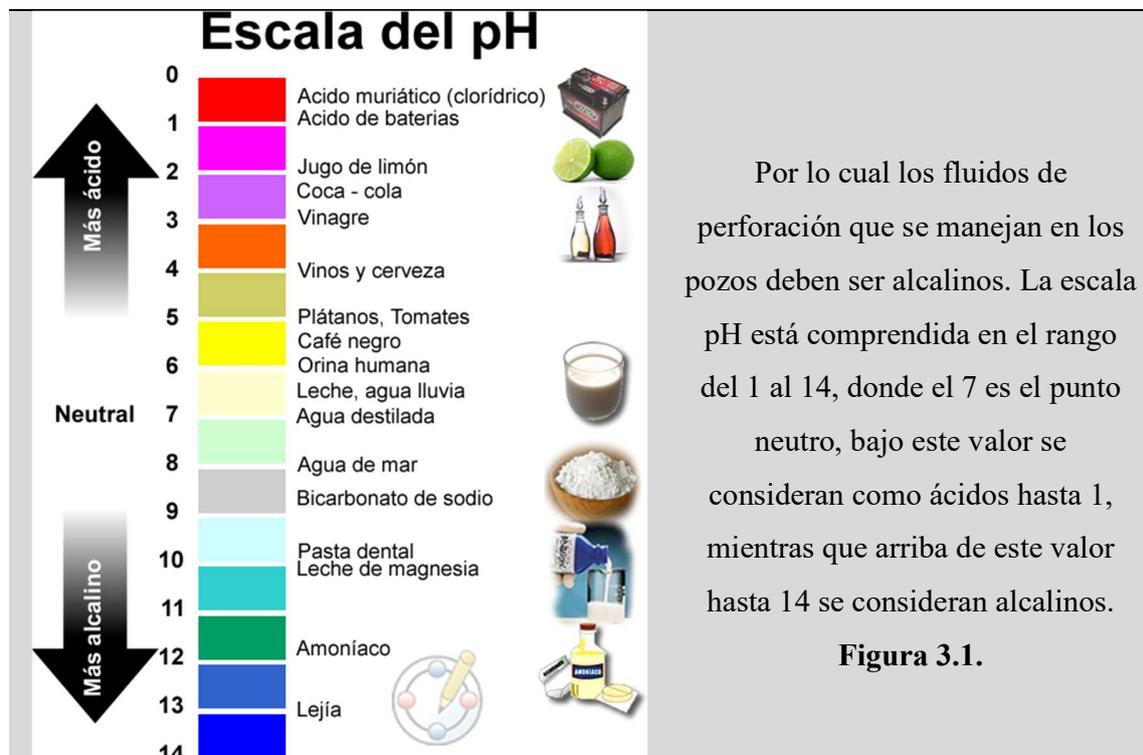
Fundamento Teórico.

Potencial de hidrogeno en los fluidos de perforación

El lodo de perforación se trata generalmente con aditivos químicos para controlar sus propiedades tales como la densidad, viscosidad, la fuerza del gel, el filtrado, el pH y la contaminación. Los aditivos químicos son sustancias sólidas o líquidas que se disuelven.

Según Brønsted y Lowry, **un ácido es una sustancia capaz de ceder H⁺**. Mientras que **una base es una sustancia capaz de aceptar H⁺**. Al aplicar esta definición, resulta que el responsable del comportamiento alcalino de los hidróxidos minerales, es el grupo OH⁻, porque es el grupo que tiene la capacidad de aceptar protones.

La Acidez o Alcalinidad de un fluido de control influye dramáticamente en las propiedades estáticas y dinámicas de flujo, en el control de la corrosión, en el rendimiento de las arcillas, en las pérdidas de filtrado. Se sabe que las sustancias alcalinas como la cal comercial, reaccionan produciendo calor reaccionando exotérmicamente, y las sustancias ácidas, desasociando las moléculas del material con quien entra en contacto.



	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	30/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

En esta escala los lodos de perforación deben encontrarse de 8 a 11, con la finalidad de obtener una buena eficiencia, se alcaliniza con “sosa”, NaOH, sustancia monovalente, con una concentración del 15% en una mezcla acuosa. Se recomienda usar “cal”, CaO, sustancia divalente, por su valencia neutraliza en su totalidad de forma irreversible con el ácido sulfhídrico, H₂S sustancia divalente, esto debido a sus cargas.

Hinchamiento de las arcillas

Superficie específica. La superficie específica de un área superficial de una bentonita, se define como el área de la superficie externa, más el área de la superficie interna de las partículas constituyentes, por unidad de masa, esta se expresa en m²/g.

Capacidad de absorción. La capacidad de absorción de una partícula está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan en forma aislada:

- a) **ABSORCIÓN:** Cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad.
- b) **ADSORCIÓN:** Cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la bentonita, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato.

La partícula de la bentonita es como una hojuela de cereal de maíz, debido a su estructura cristalina de mica. Cuando entra en contacto con el medio continuo, el agua, lo primero que hará es absorber agua, esto es, el agua se introduce entre las partículas de bentonita y se extiende sobre toda la superficie de la partícula, al igual que en la mayoría de sus cavidades debido a su irregularidad superficial.

La bentonita puede ser sódica o cálcica, esto es, que este conformado por sodio o calcio y que tengan iones positivos libres de estos, el agua alcalinizada permitirá la adsorción ocurra, esto es que abra una atracción de los iones hidrogeno negativos que se atraerán con los iones libres positivos de sodio o calcio, equilibrándose.

Este último proceso se puede explicar de esta manera: imaginemos que nuestra hojuela de bentonita sea sódica o cálcica es un imán, y que el agua con iones libres de hidrogeno es una limadura de hierro, observamos que la limadura se adhiere al imán por su campo magnético, ósea, la bentonita absorberá y adsorberá agua. Cuando aumentamos el campo magnético de nuestro imán notaremos que se pegará más limadura de hierro, si aumentamos la alcalinidad del agua agregando “sosa” o “cal” la bentonita adsorberá más agua.

Hidratación. Cuando la arcilla seca entra en contacto con agua dulce, el espacio entre capas se expande y la arcilla adsorbe una gran “envoltura” de agua. La lámina de arcilla está cargada negativamente y una nube de cationes está relacionada con esta. Los cationes monovalentes como Na⁺ producen una fuerza de atracción más débil, permitiendo que más agua penetre entre las láminas.

Figura 5.2.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	31/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

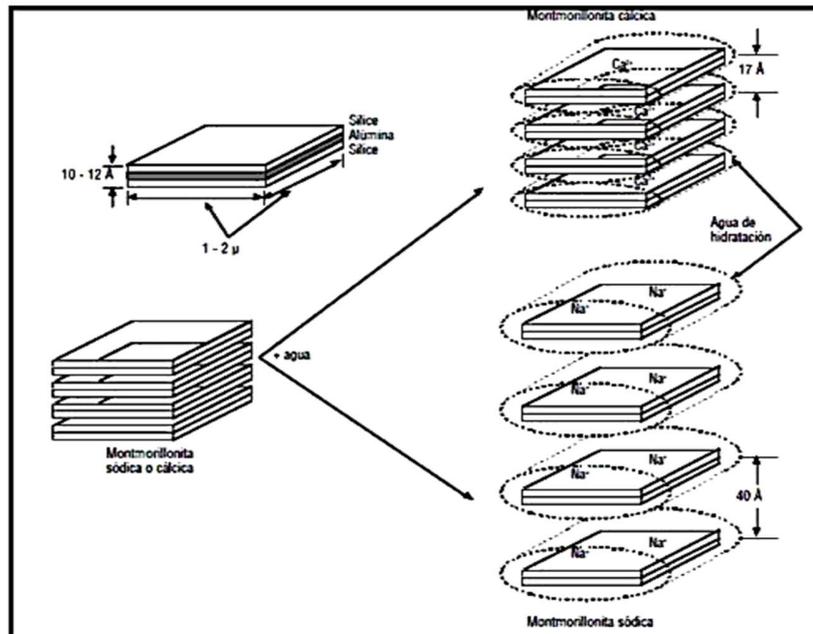


Figura 3.2. Comparación del hinchamiento para la montmorillonita cálcica y sódica.

Indicador de pH es una sustancia que permite medir el pH de un medio. Habitualmente, se utilizan como indicador de las sustancias químicas que cambian su color al cambiar el pH de la disolución. El cambio de color se debe a un cambio estructural inducido por la protonación o desprotonación de la especie. **Figura 5.3.**

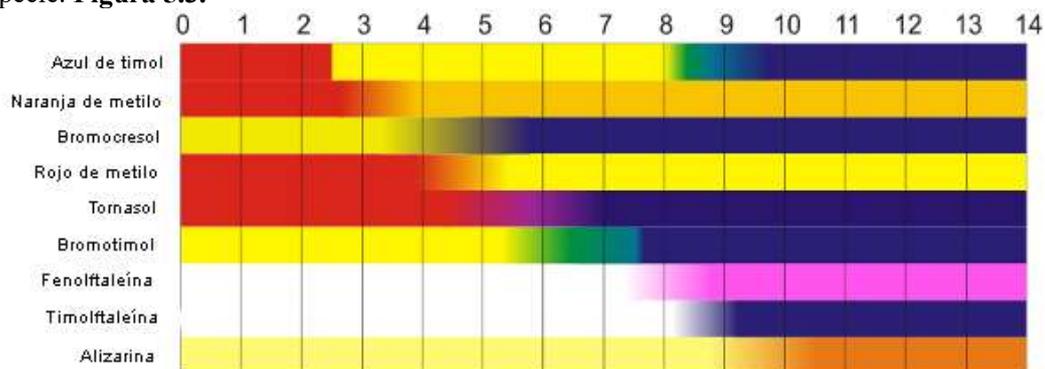


Figura 3.3. Indicadores y el color que adquieren debido a la reacción a diferentes niveles.

La **fenolftaleína** de fórmula $C_{20}H_{14}O_4$, es un indicador de pH que en disoluciones ácidas permanece incoloro, pero en presencia de disoluciones básicas toma un color rosado con un punto de viraje entre $pH=8,2$ incoloro, a $pH=10$ magenta o rosado.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	32/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El **papel indicador de pH**, está impregnado de algunas sustancias químicas que ayudan a medir ciertas concentraciones de sustancias, y es utilizado en los laboratorios. Las tiras de papel indicadoras de pH funcionan al sumergir en alguna disolución química para su examinación y comparar el color que mide el pH, de esta manera se sabe el nivel de la acidez o alcalinidad de una solución.

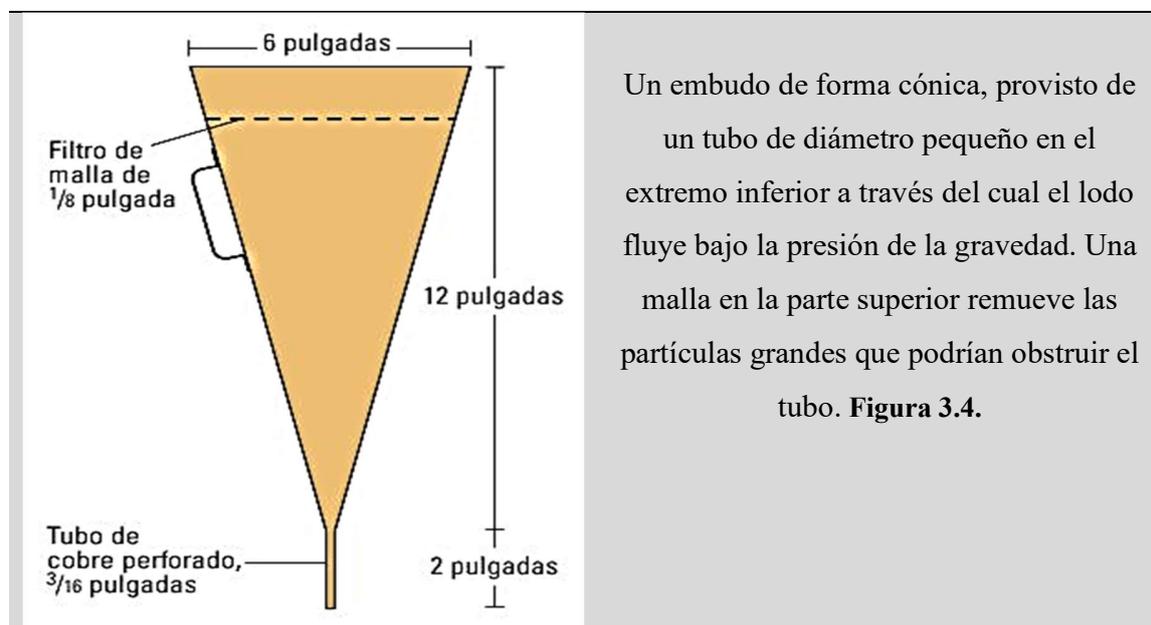
Viscosidad cinemática

Se define como el tiempo que demora en pasar el líquido de arriba hacia abajo debido a su propia masa. Se calcula mediante la ecuación: $\varphi = \mu / \rho$.

Las unidades son: $[\varphi] = \text{m}^2 / \text{s}$; $\text{cm}^2 / \text{s} = \text{Stokes}$

Viscosidad plástica: Un parámetro del modelo plástico de Bingham. PV es la pendiente de la línea de esfuerzo cortante/velocidad de corte arriba del umbral de fluencia plástica. Es la deformación que presenta un fluido antes de comenzar a fluir, es decir su punto de sedancia es alto.

Viscosidad de embudo Marsh: El tiempo, en segundos, requerido para que un cuarto de galón de lodo fluya a través de un embudo de Marsh. No es la viscosidad verdadera, pero sirve como medida cualitativa de cuán espesa es la muestra de lodo. La viscosidad de embudo es útil sólo para comparaciones relativas.



En el ensayo normalizado por el API para evaluar lodos a base de agua y a base de aceite, la medida de la viscosidad de embudo es el tiempo (en segundos) requerido para que un cuarto de lodo fluya fuera del embudo de Marsh hacia un vaso graduado. La viscosidad de embudo se expresa en segundos para un cuarto de galón.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	33/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El agua sale del embudo en aproximadamente 26 segundos. El ensayo fue una de las primeras mediciones de lodos para uso en el campo; simple, rápido e infalible. Si las mediciones del embudo superan los 100 [s] la prueba podría indeterminar se por el asentamiento de las partículas.

Hallan N. Marsh de los Ángeles California, EUA, publicó el diseño y uso de su viscosímetro de embudo en 1931.

Desarrollo de actividades.

Actividad 1:

- I. Se medirá el pH de los lodos sin alcalinizar con las tiras pH,
- II. Se evaluará el tiempo de escurrimiento del agua dulce, diésel, además del lodo que se realizó en la práctica anterior, y un lodo bentonítico que se les proporcionara. Siguiendo las siguientes instrucciones:
 1. Coloque el embudo de forma vertical y tape el orificio con un dedo
 2. A través de la malla coladora vierta la muestra de fluido hasta el ras de la malla, (esto evitara que pasen recortes a su interior y puedan obstruir la salida)
 3. Coloque la jarra abajo del embudo, a una distancia aproximada de 4[in] uno del otro, retire el dedo
 4. Con el cronometro verifique los segundos que tarda en llenarse la jarra hasta el valor de 1000 [cc], desde que se retiró el dedo
 5. Reporte en [seg] el tiempo que tarda en escurrir 1000 [ml] de fluido
 6. Repita los pasos del uno al cinco más de 3 veces, según su criterio, para obtener un tiempo promedio de escurrimiento del fluido, se hace la prueba a todos estos fluidos para realizar una comparación cualitativa. **Tabla 3.3.**

Actividad 2

- I. Alcalinizar los lodos de perforación con 3 [ml] de sosa, haciendo uso del dispersor.
- II. Medir el pH del lodo densificado con papel pH.
- III. Nuevamente, con ayuda del Embudo Marsh estimar un tiempo de escurrimiento como en la **Actividad 1.**

Tabla 3.3. Comparativa del tiempo de escurrimiento en segundos Marsh.

Equipo	Tiempo Marsh (s)			% Bentonita	Lodo densificado	
	Agua (seg)	Agua de mar (seg)	Diésel (Seg)		s/n alcalinizar (seg)	Alcalino (seg)
1				6		
2				7		
3				8		
4				9		
5				10		

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	34/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Observaciones y Conclusiones.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	35/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 4

Evaluación y control del comportamiento reológico tixotrópico y su importancia en la limpieza de pozos, mediante el uso de un viscosímetro rotacional Fann 35.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	36/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Seguridad en la ejecución.

Tabla 4.1. Peligros y Riesgos.

Peligro	Riesgo asociado
1 Manejo de herramienta	Lesión de manos, cabello
2 Manejo de líquidos	Humedad y manchas en la ropa

Objetivos de aprendizaje.

- a) **Objetivos generales:** Observar los parámetros Reológicos y Tixotrópicos de un lodo de perforación mediante el uso del viscosímetro FANN.
- b) **Objetivos específicos:** Determinar un reograma y graficarla, además los parámetros de gelificación.

Recursos a emplear.

Tabla 4.2. Equipos y materiales.

Dispensor 	Termometro 	Lodo densificado 
Viscosímetro FANN 35 		Cronometro 

Fundamento Teórico.

Ley de Newton para la viscosidad. Un fluido se diferencia de un sólido por su comportamiento cuando éste se somete a una fuerza. La fuerza aplicada tangencialmente se denomina esfuerzo cortante.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	37/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Cuando a un fluido se le aplica un esfuerzo cortante, el fluido exhibe una resistencia al movimiento, conforme continúa dicho el fluido tiende a deformarse. Posteriormente fluye y su velocidad aumenta conforme aumenta el esfuerzo crece.

La resistencia al movimiento relativo entre las capas adyacentes en el fluido es una de sus propiedades, es la viscosidad; se dice que se presenta un rozamiento entre capas de fluido. Las capas del fluido próximas a la placa sólida tienen velocidades más lentas que las alejadas debido a los procesos disipativos. Parte de la energía cinética que poseen las capas se transforma en calor.

Representando un fluido sea líquido o gas, que se encuentra contenido entre dos grandes láminas planas y paralelas, de área A , y que están separadas entre sí por una distancia pequeña Y . Supongamos que inicialmente el sistema se encuentra en reposo, $t < 0$, al aplicar la fuerza tangencial, al cabo del tiempo $t > 0$, la lámina inferior se pone en movimiento en dirección al eje X , con una velocidad constante v . **Figura 4.1.**

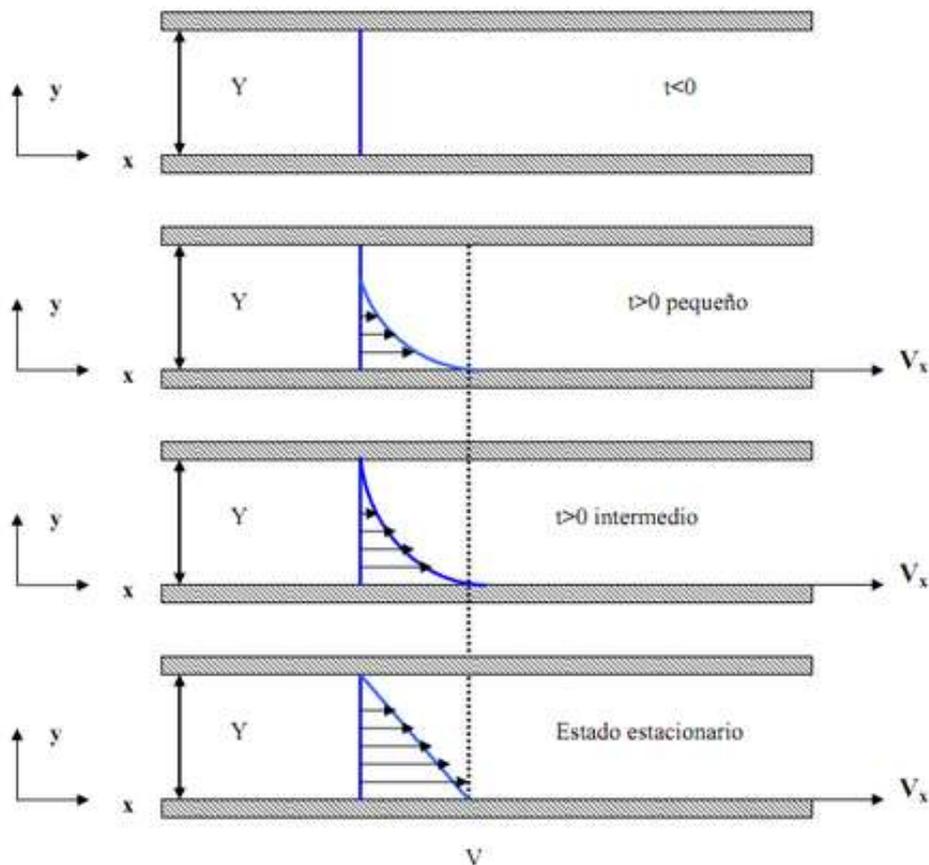


Figura 4.1. Modelo de Newton para la viscosidad.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	38/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Para muchos fluidos se ha determinado en forma experimental que la fuerza tangencial F (Newton) aplicada a una placa de área A (m^2) es directamente proporcional a la velocidad u (m/s) e inversamente proporcional a la distancia Δy (m). **Figura 4.2.**

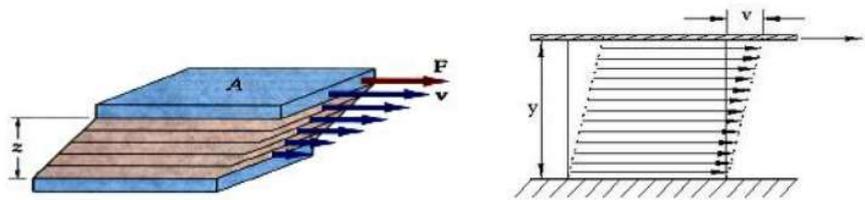


Figura 4.2. Deformación del fluido por el esfuerzo de corte.

El **esfuerzo cortante** es: $\frac{F}{A} = \zeta \left(\frac{N}{m^2} \right)$. El término $\left(-\frac{dv}{dy} \right)$ se denomina velocidad de corte o de cizallamiento. El factor de proporcionalidad es la viscosidad: μ

- **La ley de viscosidad de Newton** es:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad \text{Donde: } \tau \text{ es el esfuerzo de corte.}$$

Los fluidos que cumplen la expresión anterior se denominan Newtonianos. Para los fluidos Newtonianos **la viscosidad permanece constante a pesar de los cambios en el esfuerzo cortante**. Esto no implica que la viscosidad no varíe sino que la viscosidad depende de otros parámetros como la temperatura, la presión y la composición del fluido.

- Para los fluidos no newtonianos, la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de cizalla no es constante, por lo tanto la viscosidad (μ) no es constante.

Definición: La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, la oposición se debe a las fuerzas de cohesión moleculares. Se le denomina viscosidad absoluta. Las unidades son:

$$[\mu]: \left[\frac{(\text{dina})(\text{seg})}{m^2} \right], \text{ Poise}$$

Parámetros reológicos tixotropicos

Viscosidad plástica: Un parámetro del modelo plástico de Bingham. PV es la pendiente de la línea de esfuerzo cortante/velocidad de corte arriba del umbral de fluencia plástica. Es la deformación que presenta un fluido antes de comenzar a fluir, es decir su punto de sedancia es alto.

Viscosidad efectiva: Es aquella viscosidad de un fluido Newtoniano que posee el mismo esfuerzo de corte a una misma tasa de corte.

La Velocidad de Corte: se define como la tasa de movimiento del fluido contenido entre dos superficies.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	39/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tixotropía: La palabra “tixotropía” deriva del griego “*thixis*” que significa cambio, y se emplea para describir el fenómeno mediante el cual las partículas coloidales en estado de reposo forman geles, y cuando estos geles se someten a agitaciones enérgicas, se destruyen y forman fluidos viscosos. Una sustancia presenta el fenómeno de la tixotropía, cuando la aplicación de un esfuerzo deformante reduce el grado de resistencia que ofrece la mezcla a fluir o a deslizarse.

Reología: Parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir. La Reología de un fluido de perforación la podemos utilizar para: Calcular las pérdidas de presión por fricción, Analizar la contaminación del fluido de perforación y Determinar los cambios de presión en el interior del pozo durante un viaje.

Esta propiedad, junto con la tixotropía, determina el tipo de flujo a emplear para que los fluidos de perforación realicen las siguientes funciones: Transporte, Remoción y Suspensión.

Modelos Reológicos

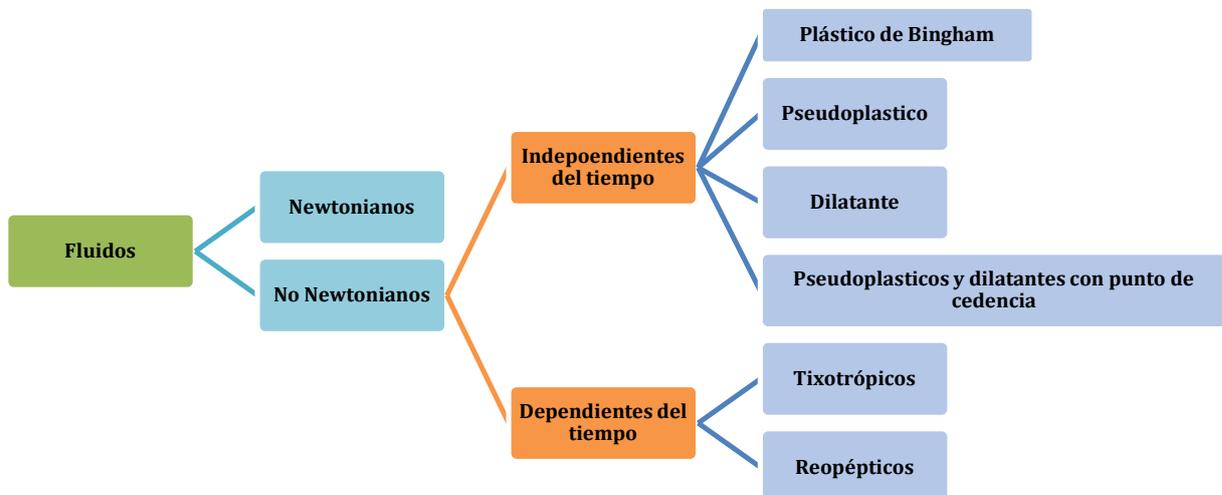


Figura 4.3. Modelos de fluidos debido a su viscosidad.

Los Newtonianos: Se caracterizan por tener una relación de equilibrio lineal entre su tensión y su gradiente de velocidad cero a cero.

Los no Newtonianos: En estos su gradiente de velocidad dependerá de la viscosidad de dicho líquido, lo cual quiere decir que el líquido sufrirá una más alta o baja presión de acuerdo a su velocidad y viscosidad.

Comportamiento independiente del tiempo: El esfuerzo de corte sólo depende de la velocidad de corte γ .

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página:	40/75
		Sección ISO:	8.3
		Fecha de emisión:	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Fluidos visco-plásticos: estas sustancias presentan un comportamiento sólido mientras el esfuerzo de corte no supere un valor de fluencia τ_0 , una vez superado este valor pueden adoptar un comportamiento newtoniano, Plástico de Bingham o que sigue la ley de la potencia Herschel-Bulkley. Estas características pueden ser deseables en ciertos fluidos, un caso típico es la pasta dental que se pretende que permanezca en reposo cuando está aplicada sobre el cepillo pero que fluya con el cepillado, otro ejemplo son las cremas que fluyen de los pomos a partir de un cierto esfuerzo aplicado.

Comportamiento dependiente del tiempo.

En algunas situaciones prácticas, la viscosidad aparente depende también del tiempo durante el cual el fluido es sometido a esfuerzo, dicha respuesta se divide en:

- **Tixotropía:** la viscosidad aparente disminuye con el tiempo, que corresponde a una suspensión de arcillas. Algunas otras sustancias que exhiben este comportamiento son las suspensiones concentradas, las soluciones de proteínas y ciertos alimentos. Esta dependencia de la viscosidad con el tiempo se suma a las otras características del material, que bien puede ser visco-plástico presentando un valor de fluencia.
- **Reopexia:** es el fenómeno inverso a la tixotropía, que se manifiesta en un aumento de la viscosidad aparente con el aumento de la velocidad de corte. Ejemplos: poliéster.

Ambos tipos de comportamientos presentan el fenómeno de histéresis cuando se realiza la curva τ vs. $\dot{\gamma}$. **Figura 4.4.**

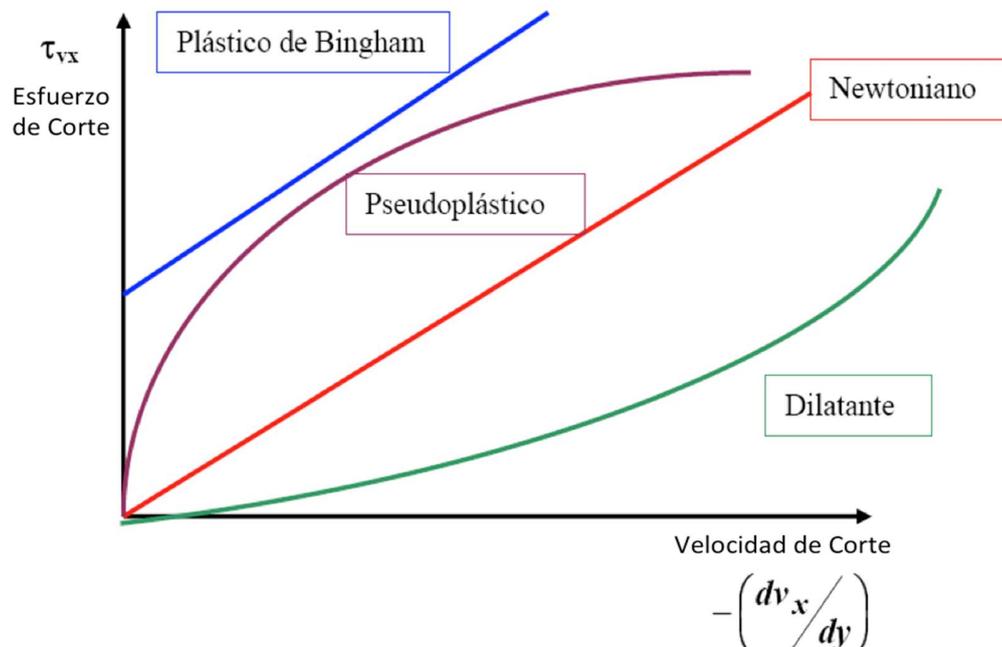


Figura 4.4. Comportamiento de los modelos de flujo de viscosidad.



**Manual de prácticas del
Laboratorio de Fluidos de
Perforación**

Código:	MADO-55
Versión:	
Página	41/75
Sección ISO	8.3
Fecha de emisión	

Facultad de Ingeniería

Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación

La impresión de este documento es una copia no controlada

Viscosímetro Rotacional Fann 35

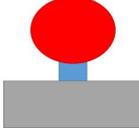
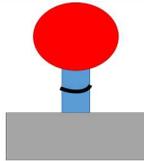


Figura 4.5. Viscosímetro de flujo Couette, Fann 35.

Instrumento utilizado para medir la viscosidad y la resistencia de gel de un lodo de perforación. **Figura 4.5.** Con este viscosímetro se pueden tomar seis lecturas a diferentes revoluciones por minuto (rpm) de la muestra de fluido que se desea determinar.

Básicamente consta de dos velocidades: Alta (High) y Baja (Low), las cuales accionando un embrague y por medio de un mecanismo de engranes permiten seleccionar la velocidad de lectura que se requiere, como se indica en la siguiente tabla. **Tabla 4.3.**

Tabla 4.3. Velocidades del Viscosímetro Fann 35.

Posición			
Low / Baja (rpm)	300	3	100
High /Alta (rpm)	600	6	200

Viscosidad aparente, V_a . Es la resistencia al flujo de un fluido, causada por las fuerzas de atracción de sus partículas y en menor grado por la fricción creada entre ellas a una determinada velocidad de corte. L_{600} es la lectura que se toma del viscosímetro FANN 35 a 600 [rpm], se obtiene con la siguiente formula:

$$V_a = \frac{L_{600}}{2}$$

Viscosidad plástica, V_p . Es la resistencia al flujo originada por la fracción mecánica, generada por el rozamiento y concentración de los sólidos entre sí y la viscosidad de la fase líquida que los rodea. L_{300} es la lectura que se toma del viscosímetro FANN 35 a 300 [rpm], se obtiene con la siguiente formula:

$$V_p = L_{600} - L_{300}$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	42/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	

La impresión de este documento es una copia no controlada

Punto de Cedencia, P_c. Valor de la resistencia al flujo, debida a las fuerzas de atracción que existen entre las partículas o sólidos en suspensión. Es una condición dinámica. Se obtiene con la siguiente formula:	$P_c = L_{300} - V_p$
Fuerza de Gelatinosidad, E_g. Medida de la fuerza de atracción de las partículas del fluido cuando está en reposo. Se obtiene con la siguiente formula: <ul style="list-style-type: none"> ○ Gel 5s' = gel a 5 seg. Lectura tomada en L_3 a los 5 segundos de espera ○ Gel 5min' = gel a 5 min. Lectura tomada en L_3 a los 5 minutos de espera 	$E_g = \frac{L_3 \text{ a los } 5 \text{ s}}{L_3 \text{ a los } 5 \text{ min}}$

Estas dos propiedades reológicas están en función de la fuerza de atracción de las partículas. Al disminuir el punto cedente, también se disminuye la gelatinosidad; sin embargo, un valor bajo de punto de cedencia no será indicativo de que la gelatinosidad sea cero.

Desarrollo de actividades

- I. Tomar una muestra del fluido de perforación, anote el origen de la muestra.
- II. Tomar y anotar la temperatura y agitar con el dispersor y verter la muestra en el vaso metálico hasta la marca interna.
- III. Coloque la camisa en el soporte giratorio, esto nos permitirá tomar la lectura.
- IV. Coloque el vaso en la base elevadora del visco y suba hasta que el fluido llegue a la marca en la camisa.
- V. Teniendo en cuenta la tabla de la descripción de la perilla de velocidades (esta tabla se localiza en la descripción del equipo, paginas atrás). Teniendo la perilla a **600 rpm** encendiendo interruptor en alta (**High**).
Tome la lectura en la mirilla frente a la perilla de velocidades, tome la lectura cuando esta sea estable, si tiene problemas con esto consulte al profesor.
- VI. Coloque la perilla a **300 rpm** y el interruptor en baja (**Low**). Tome la lectura en la mirilla.
- VII. Coloque la perilla a **200 rpm** y el interruptor en alta (**High**). Tome la lectura en la mirilla.
- VIII. Coloque la perilla a **100 rpm** y el interruptor en baja (**Low**). Tome la lectura en la mirilla.
- IX. Coloque la perilla a **6 rpm** y el interruptor en alta (**High**). Tome la lectura en la mirilla.
- X. Coloque la perilla a **3 rpm** y el interruptor en baja (**Low**). Tome la lectura en la mirilla.
- XI. Inmediatamente despues de hacer el punto 10, y poder determinar el esfuerzo gel, usted ya tiene la perilla a **3 rpm** y el interruptor en baja (**Low**), apáguelo y espere **5 segundos** y prenda. Tome la lectura en la mirilla.
- XII. Inmediatamente despues de hacer el punto 11, apague y espere **5 minutos** y encienda con la perilla a **3 rpm** y el interruptor en baja (**Low**), Tome la lectura en la mirilla.
- XIII. De las ecuaciones descritas en esta práctica para la viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto de cadencia y esfuerzo gel, realice los cálculos para completar la **Tabla 6.4**.
- XIV. **Graficar en las abscisas los rpm L3, L6, L100, L200, L300 y L600; en las ordenadas pondrá las lecturas obtenidas.**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	43/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 4.4. Lecturas de lodo Densificado.

Equipo	1	2	3	4	5
% Bentonita	6	7	8	9	10
Densidad del lodo (g/cm ³)					
L600					
L300					
L200					
L100					
L6					
L3					
L3 @ 5 [seg]					
L3 @ 5 [min]					
Vp					
Va					
Pc					
Eg					

Observaciones y Conclusiones.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	44/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 5

Cuantificación de pérdida de la fase líquida de los fluidos de perforación y sus consecuencias.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	45/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Seguridad en la ejecución.

Tabla 5.1. Peligros y Riesgos.

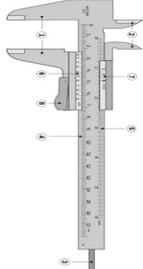
	Peligro	Riesgo asociado
1	Manejo de herramienta	Lesión de manos, cabello
2	Manejo de líquidos	Humedad y manchas en la ropa
3	Uso de la red de gas N	Explosión de la celda

Objetivos de aprendizaje.

- a) **Objetivos generales:** Cuantificar la pérdida de líquido en un fluido de perforación y su interacción con la formación, los problemas operativos que estos generan y como controlarlo.
- b) **Objetivos específicos:** Medir cuánta agua sale del lodo sometido a una presión de 100 $\left[\frac{lb}{in^2}\right]$, sin tratamiento y con tratamiento.

Recursos a emplear.

Tabla 5.2. Equipos y materiales.

Disperdor 	Espatula 	Lodo densificado 	Cronometro 
Filtro prensa 	Red de gas de baja presión y gas Nitrogeno 	Vernier 	Papel Filtro 
Carboximetilcelulosa, CMC 	Balanza 		

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	46/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Fundamento Teórico.

Porosidad. Es el porcentaje de volumen de poros o espacio poroso, o el volumen de roca que puede contener fluidos. **Figura 5.1.** La porosidad puede generarse a través del desarrollo de fracturas, en cuyo caso se denomina porosidad de fractura. La porosidad efectiva es el volumen de poros interconectados, presentes en una roca, que contribuye al flujo de fluidos en un yacimiento. Excluye los poros aislados.

La porosidad total es el espacio poroso total presente en la roca, sin importar si contribuye o no al flujo de fluidos.

Por consiguiente, la porosidad efectiva normalmente es menor que la porosidad total.



Figura 5.1. Roca porosa.

Permeabilidad. Es la capacidad, o medición de la capacidad de una roca, para transmitir fluidos, medida normalmente en darcies o milidarcies. El término fue definido básicamente por Henry Darcy, quien demostró el flujo de fluidos en medios porosos.

Las formaciones permeables tienen muchos poros grandes y bien conectados. Las formaciones impermeables tienen granos más finos o un tamaño de grano mixto, con poros más pequeños, más escasos o menos interconectados. **Figura 5.2.**



Figura 5.2. Conectividad de poros.

Daño a la formación por el fluido de perforación, produce una reducción en la capacidad natural de un yacimiento para producir sus fluidos. Disminuyendo la Porosidad y la Permeabilidad.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	47/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El daño es causado por varios mecanismos. **Figura 5.3.**

1. El taponamiento físico de los poros por los sólidos en el lodo
2. La precipitación de materiales insolubles en los espacios porosos
3. El hinchamiento de las arcillas en los espacios porosos

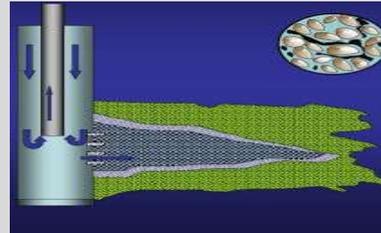


Figura 5.3. Daño a la formación.

Perdidas de fluido en la formación

La filtración de la fase líquida de un fluido de perforación hacia el medio poroso ocurre, **Tabla 5.3.** en tres etapas:

1. Debajo de la barrena
2. Filtración dinámica durante la circulación del fluido
3. Filtración estática cuando el fluido no está circulando.

Debe entenderse que la filtración depende en gran manera de la capacidad del fluido de formar un revoque consistente e impermeable contra la cara del medio poroso, para controlar el filtrado. **Figura 5.4.**

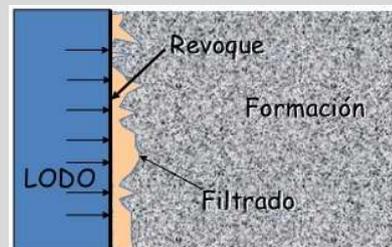


Figura 5.4. Generación del enjarre o revoque.

Tabla 5.3. Perdidas de fluido en medios porosos.

Tipo de pérdida	Severidad de la pérdida
Filtración	Menos de 1.5 (m ³)/h [10 bbl/h]
Perdidas de retorno parciales	Más de 10 bbl/h, pero con cierto retorno de fluidos
Perdida de circulación total	No retorna ningún fluido del espacio anular

Aditivos para el control de la pérdida por filtración

Para impedir la pérdida de fluidos por filtración, se hace uso de los Reductores de Filtrado. Son compuesto polimérico de origen natural o sintético, soluble en agua, cuya función es controlar la pérdida de filtrado hacia la formación durante las operaciones de perforación, terminación y reparación de pozos petroleros. **Figura 5.5.**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	48/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Estabilidad térmica alta	150 °C, durante un periodo de 18 hrs.	
Estabilidad térmica baja	120 °C, durante un periodo de 18 hrs.	

Figura 5.5. Polímeros reductores de filtrado.

- **CMC:** Fabricado mediante la reacción de la celulosa natural con ácido monocloroacético e hidróxido de sodio [NaOH] para formar la sal sódica de CMC.
- **Goma Xanthan:** Muchas veces proviene de la fermentación del maíz, por eso tenga cuidado si tiene algún tipo de intolerancia al maíz.
- **Dextrinas:** Son un grupo de oligosacáridos de poco peso molecular producidas por la hidrólisis del almidón.

Estos aditivos son como las perlas de hidrogel, ya que su objetivo es reducir la pérdida de líquido; en la industria de la perforación se utiliza en estado sólido pulverizado (polvo), y siendo este una pequeña partícula absorberá y adsorberá líquidos internamente generándose una pequeña redcilla que atraparé las moléculas de los líquidos, esta integración al sistema se hace demasiado rápido, por lo que la agregación de este debe de ser en pequeñas cantidades muy lentamente de lo contrario se hará una pasta gruesa flotante y no servirá de nada. **Figura 5.6.**

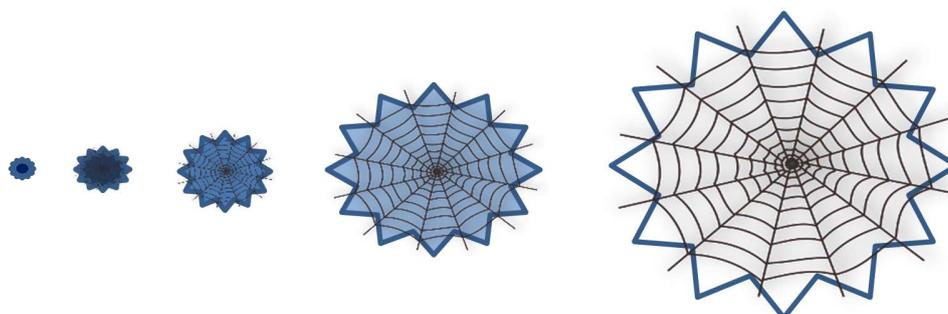


Figura 5.6. Flocculación de los polímeros reductores de filtrado.

Filtro Prensa. Para evitar daños a la formación, es necesario conocer la capacidad de filtrado y el tipo de enjarre. El instrumento consta de un cuerpo cilíndrico o celda, con alta resistencia a soluciones alcalinas, regulador de presión, manómetro, probeta graduada, y un brazo de soporte telescópico. La celda se acopla al regulador, se cierra la tapa inferior por medio de un yugo y tornillo, prensando una hoja de papel filtro (Whatman número 50) contra una malla (cedazo) y un empaque de hule. **Figura 5.7.**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	49/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

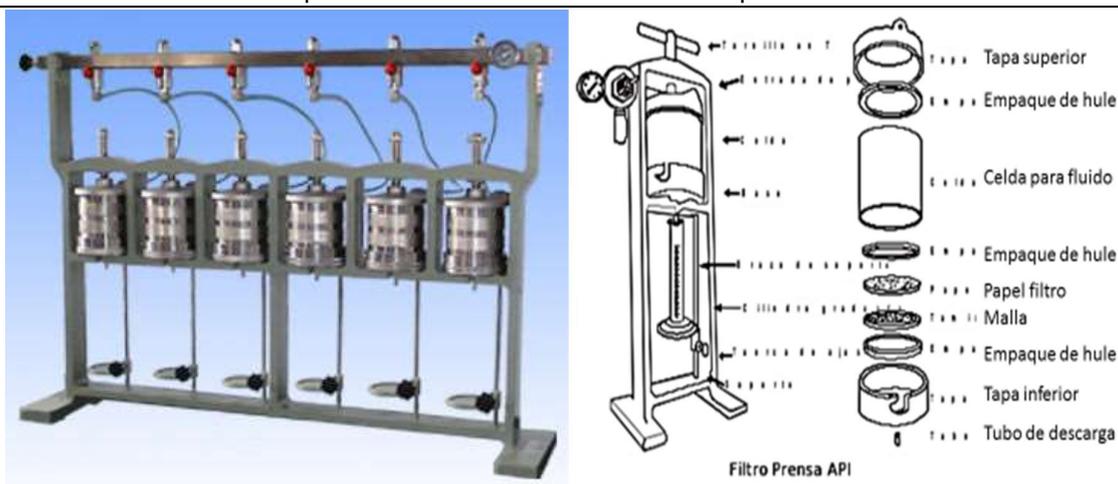


Figura 5.7. Filtro Prensa.

La prueba con este equipo se realiza durante 30 minutos, pero esto no estrictamente necesario ya que experimentalmente se comprobó que la prueba puede hacerse en menor tiempo. Si graficamos el volumen desplazado por el tiempo total de la prueba queda de la siguiente manera **Figura 5.8.**, lo que hacemos es dividir el volumen filtrado, y a una muestra de misma procedencia se le hace la prueba hasta llegara a un medio del volumen desplazado a 30 minutos, comprobando así que a 7:30 minutos se puede realizar la prueba y solo se debe multiplicar por 2 el volumen que se obtuvo (esta prueba se realizó más de 7 veces).

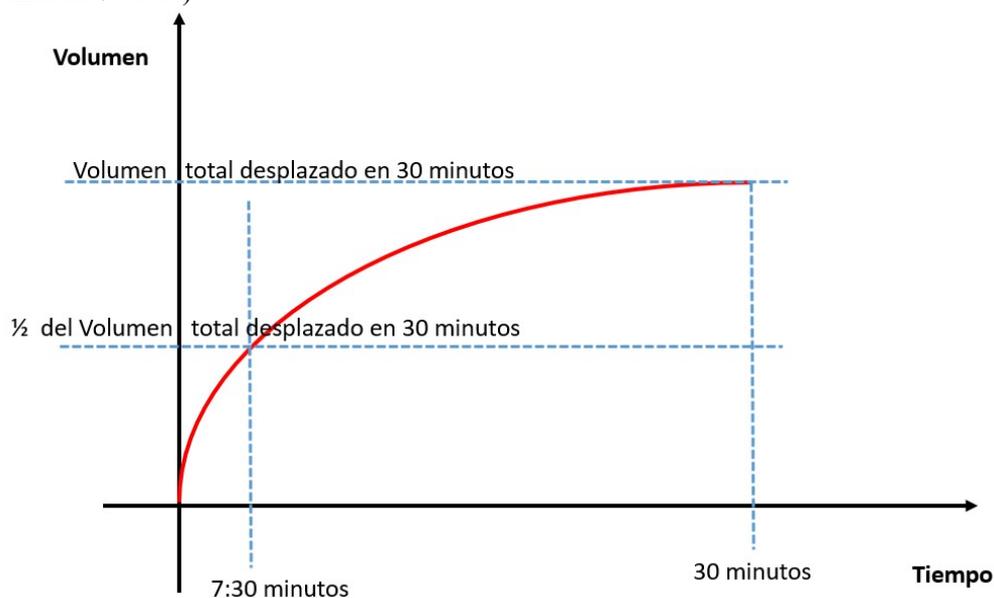


Figura 5.8. Grafica de filtrado en función del tiempo.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	50/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Desarrollo de actividades.

Actividad 1:

- I. Armar la celda en la forma siguiente: colocar en la tapa de fondo un empaque de hule, malla metálica, papel filtro whatman (papel filtro común), empaque de hule y cuerpo de la celda, debiendo encontrarse todo seco.
- II. Tomar una muestra de fluido de control recién agitada, llenar la celda hasta 1[cm] del bore superior, colocar la celda en el pedestal, poner la tapa superior y apretar el tornillo T. instalar una probeta graduada en la base del pedestal inmediatamente abajo del tubo de carga de la celda, para recibir el filtrado.
- III. Previamente tener conectado el tanque de gas nitrógeno con el sistema del filtro-prensa y aplicar una presión de 100 [lb/in²] apretando el tornillo T del regulador.
- IV. La prueba debe durar 30 minutos a partir del momento que se aplicó la presión (esta prueba se puede hacer a 7:30 minutos, solo debe multiplicar el volumen desplazado a este tiempo por dos) con ayuda de la aplicación de cronometro de su teléfono celular realice esta medición.
- V. Una vez transcurrido este tiempo cerrar el paso de presión y abrir la válvula de alivio.
- VI. Retirar la probeta de la base, medir el volumen filtrado y reportarlo en centímetros cúbicos (cc) a 100 [psi].
- VII. Aflojar el tornillo T del pedestal y quitar la tapa superior, retirar la celda y eliminar la muestra del fluido utilizado.
- VIII. Desacoplar la tapa inferior y sacar la malla con papel filtro, lavado suavemente con agua limpia el enjarre depositado en él.
- IX. Medir el espesor del enjarre en milímetros (mm), con ayuda del vernier, registrando la consistencia como: duro, blando, suave, firme o resistente; considerando su plasticidad y elasticidad.
- X. Terminada la prueba, lavar perfectamente todos los componentes del filtro-prensa para evitar su deterioro.
- XI. Medir 3 gramos de CMC con ayuda de la balanza.
- XII. Llevar el frasco del fluido de perforación a agitación y agregar muy lentamente estos 3 gramos de CMC.
- XIII. Repetir los pasos del uno al diez con el lodo que contiene el nuevo aditivo.
- XIV. Realizar observaciones de las comparaciones de estas dos muestras de filtrado y enjarre.

Tabla 5.4.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	51/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 5.4. Evaluación del filtrado.

Equipo	Densidad del lodo (g/cm ³)	% de Bentonita	Barita (g)	Volumen del filtrado (ml) s/CMC	Enjarre (mm) s/CMC	Volumen del filtrado (ml) c/CMC	Enjarre (mm) c/CMC
1		6					
2		7					
3		8					
4		9					
5		10					

Observaciones y Conclusiones.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	52/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 6

Cuantificación de sólidos contaminantes.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	53/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Seguridad en la ejecución.

Tabla 6.1. Peligros y Riesgos.

	Peligro	Riesgo asociado
1	Manejo de herramienta	Lesión de manos, cabello
2	Manejo de líquidos	Humedad y manchas en la ropa
3	Superficie caliente	Quemadura de segundo grado

Objetivos de aprendizaje.

- a) **Objetivos generales:** Cuantificar los sólidos que se integran al fluido de perforación, durante su recorrido en el sistema de circulación y la evaluación de sus consecuencias.
- b) **Objetivos específicos:**
 - a. Conocer, analizar y determinar el porcentaje de sílice presente en el fluido de perforación mediante el uso del Elutiometro y los problemas operativos que se generan a partir de un porcentaje alto.
 - b. Determinar la cantidad de fase sólida y líquida presente en un lodo de perforación mediante el uso de la retorta, y sus efectos en las propiedades del lodo.

Recursos a emplear.

Tabla 6.2. Equipos y materiales.

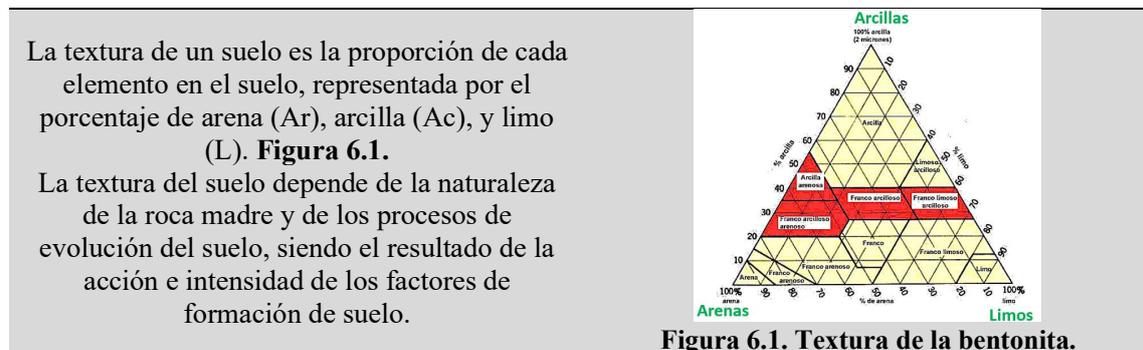
Dispensador 	Lodo densificado 	Kit Elútiometro 	Agua 
Balanza 	Kit Retorta		

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	54/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Fundamento Teórico.

Rocas Clásticas o detríticas

Son rocas sedimentarias, por lo que se forman debido a una acumulación de partículas o de sedimentos de rocas que ya existían anteriormente. Al clasificar las rocas clásticas o detríticas se consideran propiedades generales, de acuerdo al tamaño de su porosidad, tipos de minales de los que se componen, tamaño de los compuestos o forma de los clastos (sedimentos), entre otros. La forma más generalizada de clasificar las rocas clásticas es según el diámetro de los granos, quedando de la siguiente forma: Conglomerados, Areniscas, Limos y Arcillas
De los cuales siempre se encuentran combinados en diferentes fracciones.



Sílice, SiO₂. La sílice es un material muy duro que se encuentra en casi todas las rocas, debido a que es un compuesto de silicio y oxígeno. Los silicatos son el grupo de minerales de mayor abundancia, pues constituyen más del 95% de la corteza terrestre, es por ello que se encuentra en la mayoría de las rocas.

Se tiene que tener un cuidado especial para que no exista una gran cantidad de este en los lodos de perforación, debido a que la sílice es el componente principal de la arena, arenisca, cuarcita, granito, etc. Ya que puede llegar a dañar las tuberías y las camisas de las bombas por donde circula el fluido de perforación, así como cambiar las propiedades del lodo.

El desgaste abrasivo o abrasión. Es la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras que son forzadas contra una superficie y se mueven a lo largo de ella. En la pérdida de material pueden intervenir cuatro mecanismos de desgaste. **Tabla 6.3.**

Tabla 6.3. Abrasión.

<p>a) Punta delgada de alta dureza corta una aspereza de menor dureza.</p>  <p style="text-align: center;">a) Microcorte</p>	<p>b) Cuando el material desgastado es frágil, puede ocurrir una fractura en su superficie.</p>  <p style="text-align: center;">b) Fractura</p>
---	---

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	55/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

<p>c) Cuando el material ductil el microcorte es improbable y su superficie se deforma rápidamente.</p>  <p style="text-align: center;">c) Ploughing por fatiga</p>	<p>d) Grano de gran tamaño que se remueve del material.</p>  <p style="text-align: center;">d) Desconche</p>
--	--

Elutriómetro. Figura 6.3. Recuerde que la arena, es un sólido indeseable y el fluido no puede tolerar más de cierta proporción sin contaminarse. La arena, es un peligro en grandes cantidades en el lodo de perforación, debido que puede causar abrasión y cambios en las propiedades del lodo, pero también afecta la formación del enjarre y en el acarreo de recortes. Esta prueba se realiza con un medidor llamado Elutriómetro. El medidor consta de un juego de cedazo que tiene una malla No. 200, un embudo que embona al cedazo y un recipiente de vidrio **Figura 6.3.**, calibrado de 0 hasta 20%.

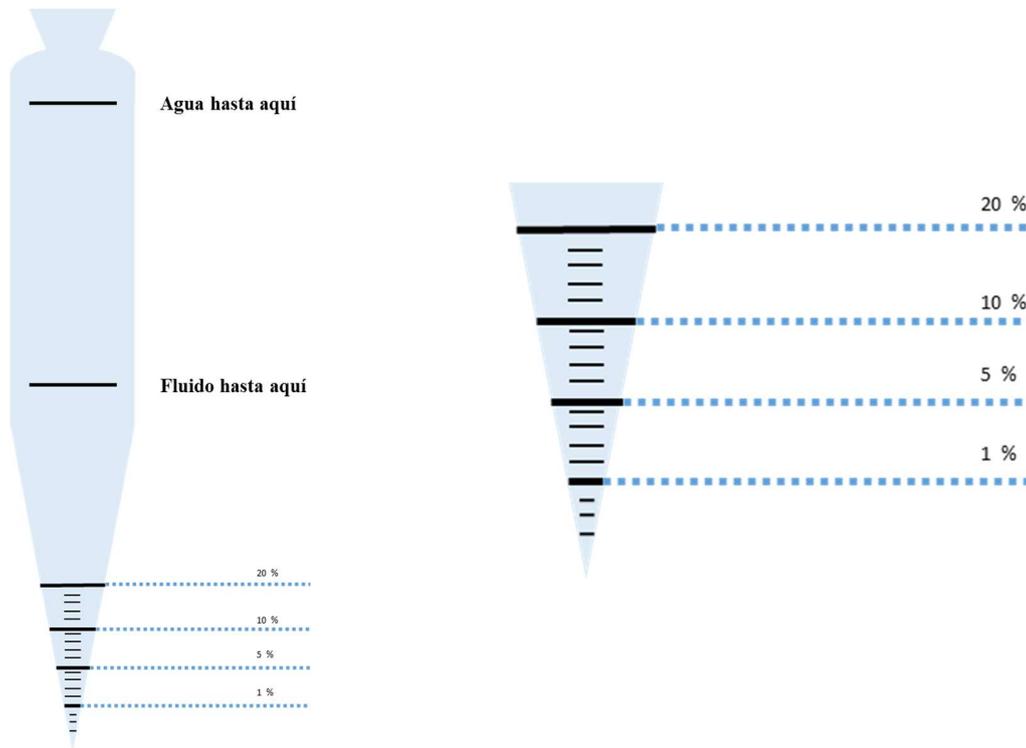


Figura 6.3. Elutriómetro.

Las marcas que representan el porcentaje de arenas presentes en el lodo de perforación, la forma de la graduación es debido a la forma de cono que se tiene. El contenido de arena en la muestra de la

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	56/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

presa de succión, debe ser casi nulo, de lo contrario estos sólidos volverán a la circulación y alcanzarán tamaños y desgastes no deseados.

Observación: Al efectuar la prueba de un fluido de perforación de base aceite; utilice en lugar de agua dulce, un combustible ligero (petróleo diáfano o diésel).

Nota: la prueba con este dispositivo es manipulable, debido a que buscamos lavar la arena presente en el lodo, por lo que si hacemos muchas repeticiones no tendremos un porcentaje verdadero de sílice.

Métodos de separación de fases

Cuando se desean separar los componentes de una mezcla, es necesario conocer el tipo de mezcla que se va a separar. **Figura 6.4**

- Mezcla de sólidos
- Mezcla de sólido con líquido
- Mezcla de líquidos



Figura 6.4. Tipos de Mezclas.

En nuestro entorno, las sustancias se encuentran formando mezclas y compuestos que es necesario separar y purificar, para estudiar sus propiedades tanto físicas como químicas. Los procedimientos físicos por los cuales se separan las mezclas se denominan métodos de separación importantes para la el área de fluidos de control, son los siguientes:

Filtración: Es un tipo de separación mecánica, que sirve para separar sólidos insolubles de grano fino de un líquido en el cual se encuentran mezclados.

Evaporación: Es la separación de un sólido disuelto en un líquido, por calentamiento, hasta que hierve y se transforma en vapor. Como no todas las sustancias se evaporan con la misma rapidez, el sólido disuelto se obtiene en forma pura. **Figura 6.5.**



Figura 6.5. Separación de mezclas por evaporación.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	57/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Destilación: Es el proceso mediante el cual se efectúa la separación de dos o más fases y consiste en una evaporación y condensación sucesivas, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada uno de los líquidos.

Utilizando varios de los métodos de separación mencionados anteriormente como filtración y destilación, es como definiremos el siguiente equipo:

Retorta. Figura 6.6. Este instrumento es indispensable cuando se maneja lodos base agua y base aceite. El conocimiento de aceite, agua, y el contenido sólido es fundamental para el control adecuado de las propiedades del lodo.

La Retorta se compone de:

- a. Cámara de calentamiento
- b. Condensador
- c. Recipiente de fluido
- d. Lana de acero fina
- e. Probeta graduada
- f. Espátula
- g. Solución de agente humectante
- h. Cepillo lima probetas
- i. Temporizador automático que apaga el equipo después de 15 minutos
- j. Saca corchos o tirabuzón
- k. Cable extensión



Figura 6.6. Kit Retorta.

Desarrollo de actividades.

Actividad 1: Cuantificación de sílice

- I. Tome una muestra del fluido de perforación, previamente agitada.
- II. Llene el recipiente de vidrio hasta donde señale la marca: “fluido hasta aquí” (ver la siguiente imagen).
- III. Agregue agua hasta la marca: “Agua hasta aquí”
- IV. Cubra la boca del recipiente con el dedo pulgar y sacúdala vigorosamente.
- V. Vacíe la mezcla sobre la malla del cedazo, añadiendo más agua al recipiente.
- VI. Agite y vierta nuevamente la mezcla sobre la malla
- VII. Repita este paso hasta que el agua se vea clara

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	58/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- VIII. Coloque el embudo hacia abajo sobre el extremo superior del cedazo y con precaución viértalo
- IX. Introduzca la parte inferior del embudo en la boca del recipiente de vidrio y lave la arena rociando agua sobre la malla.
- X. Permita que la arena se precipite
- XI. Registre el porcentaje de arena en volumen, tomando la lectura directamente del recipiente graduado.
- XII. Anote el lugar de donde se tomó la muestra.
- XIII. Realice los procedimientos del uno al doce para el lodo bentonítico y lodo densificado y llene la **Tabla 6.4.**

Tabla 6.4. Contenido de porcentaje de arena.

Equipo	ρ (g/cc) Lodo densificado	% Bentonita	Barita (gr)	% de Arena Lodo densificado
1		6		
2		7		
3		8		
4		8		
5		10		

Actividad 2: cuantificación de la fase sólida y líquida

- I. Desarme la Retorta y verifique que cada componente este limpio y seco antes de utilizarlo.
- II. Pese la cámara de calentamiento conformado por 3 piezas junto con lana de acero en forma de corcho, **Masa 1.**
- III. Tome una muestra del fluido de perforación recién agitada y llene el porta muestra, coloque la tapa permitiendo que salga el exceso por los orificios.
- IV. Limpie por fuera el recipiente.
- V. Arme la retorta atornillando el condensador y colóquela en la cámara de calentamiento.
- VI. Coloque la probeta graduada bajo la salida del condensador.
- VII. Conecte la retorta a un tomacorriente de 127 volts.
Nota: Cada retorta tiene una etiqueta de tiempo de uso para no quemar la muestra, siga esas instrucciones.
- VIII. Al terminar la destilación retire la probeta del condensador.
- IX. Lea el tanto por ciento de agua, *en caso de manejar emulsiones el porcentaje de aceite*, la diferencia del volumen total será el porcentaje de sólidos.
- X. Deje enfriar la retorta.
- XI. Desarme la cámara de calentamiento del condensador.
- XII. Finalmente pese nuevamente la cámara de calentamiento sin desarmar, con la lana metálica y el residuo de sólidos, **Masa 2.**
- XIII. Limpie perfectamente todas las piezas.
- XIV. Llene la **Tabla 6.5.**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	59/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 6.5. Cuantificación de fases en lodos Densificados.

Equipo	1	2	3	4	5
% Bentonita					
ρ lodo (g/cc)					
Masa 1 (g)					
Volumen lodo (ml)					
Volumen agua (ml)					
Masa de agua (g)					
Masa 2 (g)					
Volumen de sólido (ml)					
Masa de sólido(g)					
ρ sólido g/cc					
% volumen fase líquida					
% volumen fase sólida					

Observaciones y Conclusiones.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	60/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 7

Identificación de la salinidad en medios acuosos empleando métodos volumétricos argentométricos y sus efectos en lodos de perforación.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	61/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Seguridad en la ejecución.

Tabla 7.1. Peligros y Riesgos.

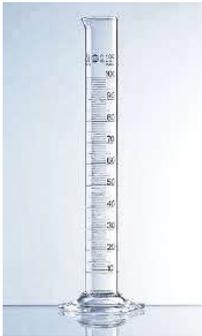
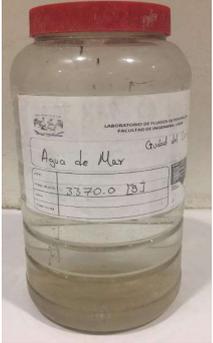
	Peligro	Riesgo asociado
1	Manejo de herramienta	Lesión de manos, cabello
2	Manejo de líquidos	Humedad y manchas en la ropa

Objetivos de aprendizaje.

- c) **Objetivos generales:** Determinar los efectos de contaminación debido a la salinidad en fluidos de perforación.
- d) **Objetivos específicos:** Definir el contenido de sales en medios acuosos agua dulce, tratada y de mar, empleados en la elaboración de fluidos de perforación mediante el empleo de métodos volumétricos estequiométricos.

Recursos a emplear.

Tabla 7.2. Equipos y materiales.

Soporte universal, bureta y matraz elenmeyer 	Ajitador Magnetico 	Vaso de precipitado 	Probeta 
Agua destilada 	Agua de mar "Tecolutla" 	Cromato de potasio 	Nitrato de plata 

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	62/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Fundamento Teórico.

Análisis volumétrico estequiométrico.

Estos están basados en el momento polar del agua que permite se lleven a cabo reacciones químicas estequiométricas basadas en el fenómeno iónico debido el momento polar del agua.

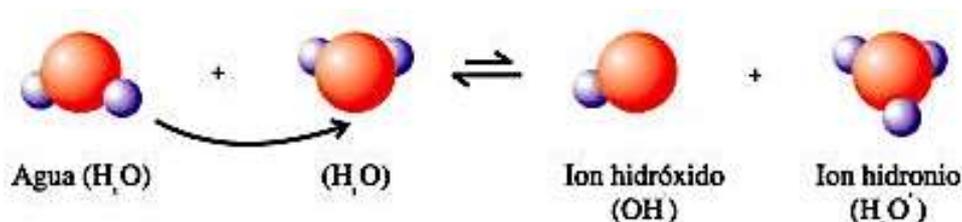


Figura 7.1. Intercambio de iones.

Para llevar a cabo estos métodos es necesario que los reactivos y reactantes se encuentren ionizados en medios acuosos para que se puedan llevar a cabo reacciones estequiométricas volumétricas, como son las reacciones de tipo ácidos, bases y sales. Donde intervienen los pesos atómicos para elaborar soluciones cuantificadas que permitan determinar la concentración química de los medios a cuantificar. Para la cuantificación se ocupan soluciones normales, decimo-normales molares, etc.

Concentración química

La concentración química determina la proporción de soluto y solvente en una solución química. La concentración química es la cantidad en que se encuentran las sustancias que se disuelven (soluto) en relación a la o las sustancias que lo disuelven (solvente). En este sentido, la cantidad de soluto siempre será menor al solvente para que se considere una solución.

Es un análisis basado en la medida de un volumen de la disolución de un reactivo R necesario para que la reacción con el reactante A se verifique cuantitativamente. El método de análisis químico cuantitativo que se utiliza para determinar la concentración desconocida de una sustancia a partir de un reactivo de concentración conocida. Utilizando una bureta calibrada para añadir el valorante es posible determinar la cantidad exacta que se ha consumido cuando se alcanza el punto final.

El procedimiento empleado en los métodos volumétricos se denomina "valoración" y consiste en hacer reaccionar la sustancia que se cuantifica (analito) disuelta en un disolvente, con una solución de concentración conocida que se adiciona desde una bureta. A la solución de concentración conocida se le lleva "valorante" o "titulador". Existe en el análisis volumétrico un grupo de reacciones de sustitución en las que uno de los productos es insoluble y por esto a los métodos que tienen como base la formación de un precipitado se les denomina volumetría por precipitación.

En las reacciones más importantes de este capítulo intervienen los iones plata por lo que también se le designa bajo el nombre de argentometría, aun cuando en algunos casos se hace uso de otras reacciones de precipitación el ejemplo más sencillo de los métodos argentométricos lo encontramos entre una solución valorada de cloruro de sodio y una solución de nitrato de plata; el método fue

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	63/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

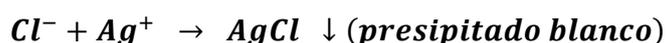
propuesto y empleado por Gay-Lussac desde el año 1832, para la dosificación rápida y exacta de la plata, en los laboratorios de la casa de moneda de Francia.

Este método no incluye el uso de un indicador para conocer el final de la titulación, sino que simplemente se tiene en cuenta la ausencia del enturbiamiento en el lugar donde se ponen en contacto los iones cloro con la solución. Lo cual es indicio de que todos los iones plata han sido eliminados en forma de cloruro de plata, y que por lo tanto la reacción de titulación llega a su punto final. En estas circunstancias la citada valoración es difícil y se requiere de gran práctica para llegar a obtener resultados exactos.

Método de Mohr

Mohr, en el año 1856, propuso el empleo de una solución de cromato de potasio, como indicador del final de la reacción entre los iones cloro (o bromo) y los iones plata.

Este método conocido con el nombre de su autor, se basa en las diferentes solubilidades del cloruro de plata y del cromato de plata y se explica en la siguiente forma, su a una disolución neutra de un cloruro, se adiciona una pequeña cantidad de cromato de potasio, y se titula con solución valorada de nitrato de plata hay la tendencia a la formación de dos precipitados: y el cloruro de plata (blanco) y el cromato de plata (rojo); pero siendo más insoluble el primero, en tanto existan iones cloro en la solución tendrá lugar la formación del cloruro de plata; y solo cuando todo el cloro ha precipitado, un ligero exceso de iones plata producirá cromato de plata, que permanece e imparte al líquido un tinte rojizo, que indica el final de la titulación.



Lodo de perforación base agua salada

Contienen una concentración de cloruros en el rango de 10 a 185 g/L, pueden prepararse con agua dulce o salmueras y con NaCl que se adiciona hasta alcanzar la salinidad deseada. Estos sistemas son usados en perforaciones costa afuera por el fácil acceso que se tiene al agua de mar y para la reducción de costos, además están diseñados para impedir el ensanchamiento del pozo durante la perforación de secciones de sal. Este ensanchamiento resulta cuando la sal en el pozo se disuelve en la fase acuosa no saturada del fluido de perforación, por ello el lodo se debe saturar mediante la adición de sal (NaCl).

Efectos de la sal en las arcillas

La hidratación y la dispersión de las arcillas son muy afectadas si el agua contiene sal o iones metálicos. **Figura 7.2.**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	64/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Hidratación de bentonita con agua salada

Hidratación de bentonita con agua dulce

Figura 7.2. Hidratación de la Bentonita.

Para lograr la viscosidad en el lodo de perforación se puede utilizar atapulguita, un mineral de estructura cristalina en forma de aguja que hace que la arcilla desarrolle una estructura de "escobillas amontonadas" en suspensión, sin embargo, debido a su forma y sus características no hinchables estas arcillas tienen un control de filtrado muy débil, además de tener un mayor costo y características reológicas difíciles de controlar. La bentonita puede ser utilizada como viscosificador en agua salada si es prehidratada en agua dulce antes de ser añadida al agua salada manteniendo un pH de 9 a 10 y utilizar un defloculante para evitar que las partículas coloidales se aglomeren. **Figura 7.3.**

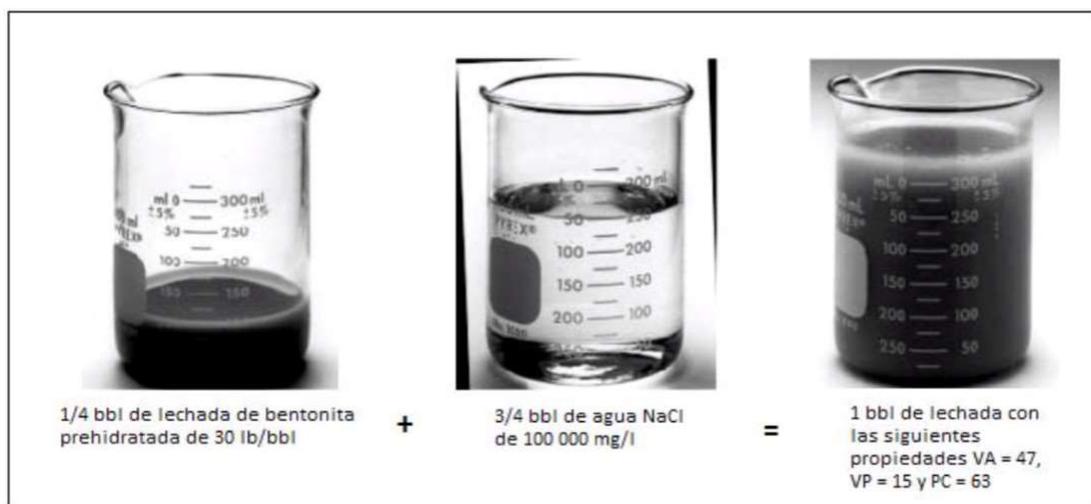


Figura 7.3. Adición de la Bentonita pre hidratada al agua salada.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página:	65/75
		Sección ISO:	8.3
		Fecha de emisión:	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Desarrollo de actividades.

Actividad 1:

- I. En un matraz Erlenmeyer se agregan 5 ml de agua de playa de Tecolutla, 50 ml de agua destilada y un chorro de cromato de potasio (K_2CrO_4).
- II. Se llena la bureta con nitrato de plata ($AgNO_3$) y se coloca en el soporte universal.
- III. Colocar el matraz debajo de la bureta y con ayuda del agitador magnético comenzar a mezclar la solución.
- IV. Agregar nitrato de plata de manera controlada con la bureta hasta que la solución adquiera un color rojizo.
- V. Tomar nota del volumen de nitrato de plata que fue necesario para adquirir el color rojizo. **Figura 10.4.**



Figura 10.4. Generación de los precipitados.

Para realizar el cálculo de la concentración de cloro en la muestra se utiliza la siguiente fórmula:

$$CL_{ppm} = \frac{N_{AgNO_3} \cdot V_{AgNO_3} \cdot P_{eCl} \cdot 1000}{V_{muestra}} \cdot F$$

donde:

N_{AgNO_3} : Es la normalidad del nitrato de plata

V_{AgNO_3} : Es el volumen de nitrato de plata empleado en el proceso de titulación

P_{eCl} : Peso equivalente del ion cloruro

$V_{muestra}$: Volumen total de la muestra

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	66/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

F: Factor de dilución

Observaciones y Conclusiones.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	67/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 8

Diseño y evaluación de sistemas de emulsiones inversas.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	68/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Seguridad en la ejecución.

Tabla 8.1. Peligros y Riesgos.

Peligro	Riesgo asociado
1 Manejo de herramienta	Lesión de manos, cabello
2 Manejo de líquidos oleosos	Humedad, manchas en la ropa, irritaciones de la piel y olor desagradable.
3 Superficie caliente	Quemadura de segundo grado

Objetivos de aprendizaje.

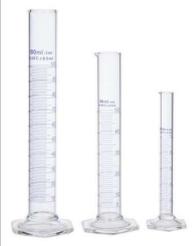
- a) **Objetivos generales:** Conocer, analizar y determinar las funciones y las propiedades de los componentes que conforman los fluidos de perforación base aceite conocidos como emulsiones inversas y los fenómenos de superficie que los rigen.
- b) **Objetivos específicos:**
 - a. Clasifica y definir los sistemas emulsiones.
 - b. Conocer los principios que rigen la integración de estos sistemas, las propiedades y funciones de los materiales que los integran para que se realicen las funciones y propiedades que se requieren en su aplicación, en las que se les integran para obtener sistemas utilizados en campo en relación de diésel/agua 75/25 y 80/20.

Recursos a emplear.

Tabla 8.2. Equipos y Materiales.

Balanza 	Espátula 	Agua 	Diesel 
Recipiente de plástico cilíndrico de 1 litro 	Arcilla Organofílica 	Barita 	Balanza hidrostática 

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	69/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

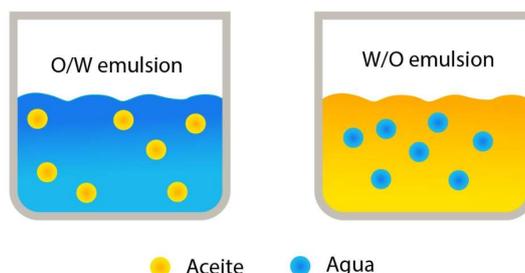
Licitina 	Glicoles 	Cal hidratada 	Cloruro de Calcio 
Multimixer 	Probetas 	Resistímetro 	Termocopa 
Pipeta de 10 ml 	Pipeta de 5 ml 	Propipetas 	Charolas de pesaje 

Fundamento Teórico.

Los fluidos base aceite

Se pueden clasificar en dos grupos; emulsiones Directas e Inversas; ambos tienen aceite como la fase continua, siendo el diésel el más utilizado y la dispersa a base de salmueras en pequeñas gotas para integrar sistemas coloidales. En el caso de emulsiones inversas la fase continua es el medio oleoso y la fase dispersa a base de salmueras en pequeñas gotas. En el caso de emulsiones directas el medio continuo es el agua dulce y la dispersa es el diésel en forma de pequeñas gotas. **Figura 8.1.**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	70/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



● Aceite ● Agua
Figura 8.1. Emulsiones O/W y W/O

Al mencionar una **emulsión inversa**, el agua no se mezcla con el diésel, sino que permanece suspendida actuando como pequeñas partículas líquidas dispersas, **Figura 8.2**. En una buena emulsión no debe haber separación de fases y su estabilidad se logra por medio de emulsificantes y agentes adecuados que permiten su estabilidad en estos sistemas.

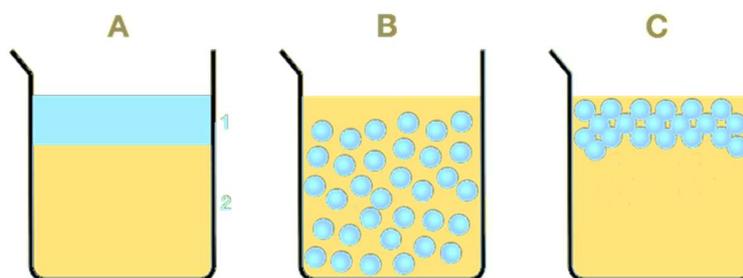


Figura 8.2. Emulsión inversa.

Las emulsiones inversas están formuladas con aceite, agua, salmueras, agentes emulsionantes, viscosificantes, reductores de filtrado, gelantes, densificantes y otros aditivos. Estas son estables a temperaturas bajas y/o altas y no deben ser afectadas por contaminaciones con anhídrita, sal y cemento. Su principal y más dañino contaminante, es el agua que puede ser de la formación o de lluvia que afecta su diseño hidráulico. Tiene que aceptar cierta concentración de sales para lograr un equilibrio de actividad entre el fluido y la formación, interacción roca-fluido.

Este tipo de fluidos trabajan bajo una relación de aceite en un rango de 75/25 y 80/20, dependiendo de la densidad requerida. Sus principales funciones son:

- Perforar zonas de presión anormal que puedan contener gases divalentes y formaciones deleznales.
- Evitar pérdidas de circulación en formaciones con bajo gradiente de presión de formación.
- Construcción de pozos con gradientes de temperatura.
- Perforaciones direccionales.
- Sistemas de acarreos, suspensión y control de filtración.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	71/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Los **emulsificantes** son tensoactivos añadidos a un medio oleoso para prevenir la coalescencia de los glóbulos de la fase dispersa. Este producto hace que el agua se emulsione en el aceite, formando un sistema estable evitando la separación de fases. Actúan reduciendo la tensión interfacial entre las dos fases y formando una película interfacial estable. El emulsificante se emplea en un rango de 0.6 a 1.7 gal/bbl.

- **Licitina:** La lecitina es el emulsionante natural más conocido, es fosfolípido y un poderoso agente humectante de aceite suplementario, que se usa en forma concentrada para combatir problemas severos de contaminación.

Relación de aceite en la emulsión

$$\%R_{aceite} = \frac{\% \text{ aceite de la retorta}}{(\% \text{ aceite de la retorta}) + (\% \text{ agua de la retorta})}$$

Relación de agua en la emulsión

$$\%R_{agua} = \frac{\% \text{ agua de la retorta}}{(\% \text{ aceite de la retorta}) + (\% \text{ agua de la retorta})}$$

Cal hidratada: Componente químico divalente que se emplea para neutralizar la presencia de gases divalentes frecuentes como son ácido sulfhídrico y bióxido de carbono frecuentes en zonas de presión anormal. El contenido de cal hidratada puede variar de acuerdo con la naturaleza de las emulsiones inversas:

- El contenido de cal hidratada para operaciones rutinarias de perforación y en diseño en laboratorio debe ser de 3 a 5 lb/bbl.
- Por seguridad ante los posibles influjos de H₂S, los límites prácticos y seguros en la gran mayoría de los OBM son de 5 a 15 lb/bbl.

Humectante: emulsionante no iónico que contribuye con la dispersión de los sólidos incorporados y a la vez permite mantenerlos integrados al aceite. Se utilizan generalmente en concentración de 0.1 a 1.0 gal/bbl.

Cloruro de Calcio: Una sal de calcio muy soluble con la fórmula CaCl₂ utilizada para hacer fluidos de perforación y reacondicionamiento o salmueras con un rango de densidad entre 8,33 y 11,6 lbm/gal [1,39 g/cm³] en la saturación.

Salmuera: Agua que contiene más sal inorgánica disuelta que el agua de mar habitual. Las sales inorgánicas tienen la habilidad de desarrollar fuerzas osmóticas de gran magnitud para deshidratar o balancear formaciones sensibles al agua, cuando se perfora con emulsiones inversas.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	72/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- **Concentración de partes por millón de una salmuera:** Unidad en partes por millón, ppm, empleada para determinar su concentración y dependerá de la naturaleza de la emulsión inversa.

Arcilla Organofílica: También conocida como arcilla oleofílica, es utilizada para impartir propiedades reológicas y tixotrópicas a los fluidos base aceite necesarias para definir la hidráulica de los sistemas. También es utilizada para evitar la separación de aceite y agua en fluidos empacantes.

Se utilizan en concentración de 1 a 5 lb/bbl para incrementar la capacidad de suspensión de los fluidos base aceite, al incrementar el punto cedente y la resistencia o fuerza gel.

A diferencia de la Bentonita sódica utilizada en los fluidos base agua, esta arcilla tiene un comportamiento lipofílico, lo que significa, que reacciona al contacto con el aceite.



La tensión máxima que el lodo puede soportar a través del espacio antes de conducir corriente se muestra como la tensión ES. El medidor de ES moderno tiene circuitos de onda sinusoidal, mientras que los medidores más antiguos utilizan circuitos de onda cuadrada. (Las unidades más antiguas no deben ser utilizadas porque no aplican correctamente la teoría descrita en la referencia anterior.) El diseño de la onda sinusoidal de ES y el significado de las lecturas de ES fueron estudiados y se halló que están relacionados con la capacidad mojante del petróleo que tiene un lodo a base de aceite y con la estabilidad de las gotículas de la emulsión en una manera compleja que todavía no se entiende.

Desarrollo de actividades.

Actividad 1: Procedimiento para la elaboración de emulsiones inversas en relación 80/20

- I. Realizar el balance materia adecuado para la elaboración de los sistemas. Para observar su comportamiento para su selección y empleo. **Tabla 8.3.**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	73/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 8.3. balance de materia para emulsiones

Material	Relación 80/20	Bentona [gr]	Masa [gr]	Volumen [mL]
Diesel				
Emulsionante A				
Cal				
Emulsionante B				
Salmuera				
Bentona				
Barita				

- II. Medir con ayuda de una probeta los mililitros de Diesel para cada sistema.
- III. Medir con ayuda de una probeta los mililitros de agua para cada sistema.
- IV. Calcular la masa necesaria de cloruro de calcio para una salmuera de 200,000 ppm.
- V. Medir la lecitina necesaria con ayuda de una probeta de 10 [ml]
- VI. Pesar con ayuda de la balanza, la cal hidratada necesaria.
- VII. Medir el glicol necesario con ayuda de una pipeta de 5 [ml]
- VIII. Pesar la cantidad necesaria de Bentonita organofílica necesaria para el sistema.
- IX. Medir la cantidad necesaria de Barita para mantener igualdad de densidades entre los sistemas.
- X. Mezclar en el orden correcto de agregación y manteniendo los tiempos necesarios para una integración adecuada de cada componente.
- XI. Realizar la prueba de resistividad de la emulsión con ayuda del equipo Fann-EST y la termocopa para cada sistema. **Tabla 8.4**

Tabla 8.4. Conductividad eléctrica de emulsiones

Lectura EST @ 145 °F	Voltaje [V]
1	
2	
3	
Promedio	

- XII. Evaluación de fases continua y dispersa por medio de la retorta basada en el punto de ebullición de la fase continua. **Tabla 8.5.**

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	74/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	

La impresión de este documento es una copia no controlada

Tabla 8.5. Resultados de la cuantificación de fases

Brigada	ρ_{lodo} [g/cc]	Volumen lodo [ml]	Vol Agua [ml]	Vol Aceite [ml]	Vol Sólido [ml]	Masa Sólido [gr]	Densidad Sólido [g/cc]	% R_{aceite}	% R_{agua}
1									
2									
3									
4									
5									

Relación de Diseño O/W	Relación Obtenida O/W

Observaciones y Conclusiones.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Fluidos de Perforación	Código:	MADO-55
		Versión:	
		Página	75/75
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Fluidos de perforación	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Bibliografía

PERERA, R., HERNÁNDEZ, C.
Fluidos de control nivel 2
México
Sistema Nacional de Capacitación Técnico –
Practico
PEMEX, IMP

PERERA, R., HERNÁNDEZ, C.
Fluidos de control nivel 3
México
Sistema Nacional de Capacitación Técnico –
Practico
Segunda edición 1990
PEMEX, IMP

BENITEZ, M., GARAICOCHA, F., REYES, C.
Apuntes de Fluidos de perforación
DICT, FI, UNAM
1979
UNAM, PEMEX, IMP y el CIPM

Sistema de Circulación
Unidad 1, Lección 8
1984
Insti

Fernando Orozco D.
ANÁLISIS QUÍMICO CUANTITATIVO
Primera edición 1944
Editorial Porrúa.

Zumbado Fernández, H.
*Análisis químico de los alimentos: Métodos
clásicos.*
Primera edición 2002
Available at: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/
archivero/AnalisisdeAlimentos-Libro_22821.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/AnalisisdeAlimentos-Libro_22821.pdf)

Khan Academy.
*Introducción al análisis gravimétrico:
gravimetría por volatilización.*
Online. 2019
Available at:
[https://es.khanacademy.org/science/chemistry/ch
emical-reactionsstoichiometry/limiting-reagent-
stoichiometry/a/gravimetric-analysis](https://es.khanacademy.org/science/chemistry/chemical-reactionsstoichiometry/limiting-reagent-stoichiometry/a/gravimetric-analysis) [Accessed 4
Jun. 2019].

Manual de Fluidos (1st ed.). (1999).
BAROID INDUSTRIAL DRILLING
PRODUCTS.
Primera edición 1999

Drilling Fluids Manual (6/94 ed.). (1994).
Amoco Production Company.

API energy.
Recommended Practice for Field Testing Oil-
Based Drilling Fluids
Fifth Edition. 2009.

MANUAL QMAX DE FLUIDOS DE
PERFORACION
(Primera edición). (n.d.).

Growcock, F. B., Ellis, C. F., & Schmidt, D. D.
(1994). Electrical Stability, Emulsion Stability,
and Wettability of Invert Oil-Based Muds. SPE
Drilling & Completion, 9(01), 39– 46.
<https://doi.org/10.2118/20435-pa>

Fluidos de perforación
Primer edición 2002. PDVSA.

Fluidos de perforación de emulsión inversa.
Sistema PROTEXIL-EI-IMP