

REPARACION Y CALIBRACION DE LOS VISCOSIMETROS FANN 35A

CRISTIAN NAHUM CHINCHILLA BAQUERO

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE PETROLEOS
NEIVA
2009**

REPARACION Y CALIBRACION DE LOS VISCOSIMETROS FANN 35A

**CRISTIAN NAHUM CHINCHILLA BAQUERO
CODIGO: 2000200530**

**Trabajo presentado como requisito de grado para optar el titulo de
INGENIERO DE PETROLEOS**

**Director del proyecto:
ING. LUIS HUMBERTO ORDUZ**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE PETROLEOS
NEIVA
2009**

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Neiva, Febrero de 2009

DEDICATORIA

Primero que todo a Dios porque es la fuerza que nos impulsa cada día en el transcurso de nuestras vidas. A mi madre por ser mi guía y apoyo en cada paso que he dado, por estar siempre conmigo dándome aliento o corrigiéndome cuando he fallado. A mis hermanos Oscar, Beyamin y Gisselle por creer en mi y apoyarme siempre que lo he requerido, a mi novia quien a sido un apoyo a lo largo de este proceso y a todas la personas que de una u otra manera aportaron su granito de arena para que este proyecto se llevara a cabo, infinitas gracias, que Dios los bendiga y los guíe.

Cristian N. Chinchilla Baquero

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mi familia por estar conmigo, ayudándome y orientándome en cada paso que doy.

A todos los docentes del programa de Ingeniería de Petróleos que me acompañaron aportando y compartiendo sus conocimientos y experiencias.

A mi asesor, quien para este proyecto me oriento paso a paso ayudándome a finalizar con éxito.

A las personas de la industria del petróleo que hicimos un aporte invaluable en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	15
1. JUSTIFICACION	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3. LODOS	18
3.1 REOLOGIA	18
3.1.1 Fluidos y Sólidos	20
3.1.2 Aplicaciones del Estudio de la Reología	20
3.1.3 Propiedades Reológicas	21
3.1.4 Tipos de Viscosímetros	31
4. VISCOSIMETRO FANN MODELO 35A	38
4.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO	38
4.2 DIMENSIONES	39
4.2.1 Rotor (Cilindro Exterior)	39
4.2.2 BOP	39
4.2.3 Constante del resorte de torsión	39
4.2.4 Velocidades del rotor	39

4.3 PARTES	40
4.4 OPERACIÓN GENERAL	41
4.4.1 Precauciones para una Operación Segura	41
4.4.2 Funcionamiento del Viscosímetro FANN 35A	42
4.4.3 Estado Inicial de los Viscosímetros FANN 35A	45
5. REPARACION Y CALIBRACION DEL VISCOSIMETRO FANN 35A	48
5.1 PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE LOS VISCOSIMETROS	48
5.2 RETIRAR Y REEMPLAZAR EL RESORTE DE TORSION	52
5.3 PARA RETIRAR EL ROTOR	53
5.4 CALIBRACION DEL VISCOSIMETRO	54
5.4.1 Calibración por Peso	54
5.4.2 Calibración Por Fluido Estándar	56
6. SOPORTE DE CALIBRACION Y REPARACION	58
6.1 FLUIDOS UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS	58
6.2 DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS	59
6.3 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL VISCOSIMETRO FANN 35A # 1	63
6.4 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL VISCOSIMETRO FANN 35A # 2	63
6.5 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL VISCOSIMETRO FANN 35A DE REFERENCIA	64
6.6 ANALISIS DE RESULTADOS	65
7. CONCLUSIONES	67

BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFIA

68

ANEXOS

69

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Relación de Pesos para cada Resorte	54
Tabla 2. Reporte de calibración del viscosímetro	56

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esfuerzos del Gel	29
Figura 2. Comportamiento Tixotrópico	30
Figura 3. Viscosímetro Capilar de vidrio	31
Figura 4. Copa de vertido	32
Figura 5. Viscosímetro de Caída de Bola	33
Figura 6. Viscosímetro Especial	34
Figura 7. Viscosímetro Rotacional Relativo	35
Figura 8. Viscosímetro Rotacional Absoluto	36
Figura 9. Principio de Funcionamiento	37
Figura 10. Viscosímetro FANN Modelo 35A	38
Figura 11. Partes del Viscosímetro	40
Figura 12. Elementos de Lectura	41
Figura 13. Estabilizador de muestra	43
Figura 14. Conector	44
Figura 15. Velocidades y Lectura del Dial	44
Figura 16. Encendido/apagado del viscosímetro	45
Figura 17. Paso 1 – Partes externas	48
Figura 18. Paso 2 - Parte Superior	49
Figura 19. Paso 3 - Procedimiento Interno	49
Figura 20. Paso 4 - Transmisión de Potencia	50

Figura 21. Paso 5 – Armado	50
Figura 22. Paso 6 - Acople del Dial	51
Figura 23. Paso 7 - Sellado	51
Figura 24. Paso 8 – Acondicionamiento	52
Figura 25. Cambio de Resorte de Torsión	52
Figura 26. Cambio del rotor	53
Figura 27. Esquema de Calibración por peso	55

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Reporte de operación del Viscosímetro FANN 35 A	57
Anexo B. Pruebas de Laboratorio	57

RESUMEN

La caracterización de los fluidos utilizados en la perforación y completamiento de pozos de petróleo nos proporciona datos muy importantes a la hora de realizar los programas que se deben seguir para garantizar resultados satisfactorios.

Continuación se hace una recopilación de todas y cada una de las propiedades reológicas de los fluidos de perforación y completamiento como lo son la viscosidad, densidad, velocidad de corte, etc., también se describe algunos procedimientos y formulas para hallar los valores de cada una de ellas.

Luego se explica a fondo las partes y el funcionamiento del viscosímetro **FANN 35A** el cual es una herramienta fundamental a la hora de trabajar con fluidos de perforación y completamiento, se estudian el funcionamiento, las precauciones que se deben tener antes, durante y después de la operación, los métodos de calibración que existe y los problemas que se pueden presentar con el aparato.

Para terminar tenemos una serie de pruebas que se realizan en el laboratorio para garantizar una caracterización completa de un fluido de perforación o completamiento.

ABSTRACT

The characterization of the fluids used in the perforation with wells of oil it provides very important information to us at the moment of realizing the programs that must follow to guarantee satisfactory results.

Continuation does a summary to itself of each and every of the properties reológicas of the fluids of perforation since it they are the viscosity, density, speed of court(cut), etc., also some procedures are described and you formulate to find the values of each one of them.

Then the parts are explained thoroughly and the functioning of the viscosímeter FANN 35A which is a tool bases at the moment of working with fluids of perforation, there are studied the functioning, the precautions that must be had before, during and after the operation, the methods of calibration that exists and the problems that they can present with the device. To end we have a series of proves that are realized in the laboratory to guarantee a complete characterization of a fluid of perforation.

INTRODUCCION

En el presente trabajo se hace una recopilación de todas y cada una de las propiedades reológicas de los fluidos de perforación como lo son la viscosidad, densidad, velocidad de corte, etc., también se describe algunos procedimientos y formulas para hallar los valores de cada una de ellas.

Luego se introduce al lector en una unidad donde se explica a fondo las partes y el funcionamiento del viscosímetro **FANN 35A** el cual es una herramienta fundamenta a la hora de trabajar con fluidos de perforación y completamiento, se estudian el funcionamiento, las precauciones que se deben tener antes, durante y después de la operación, los métodos de calibración que existe y los problemas que se pueden presentar con el aparato.

Para terminar tenemos una serie de pruebas que se realizan en el laboratorio para garantizar una caracterización completa de un fluido de perforación.

1. JUSTIFICACION

En las operaciones de perforación y completamiento, se usan muchos tipos diferentes de sistemas de fluido. Los sistemas básicos de fluido son generalmente convertidos en sistemas más complejos a medida que la profundidad y la temperatura y/o presión del pozo aumentan. Típicamente se usan varios tipos de sistemas de fluido en cada pozo. Varios factores claves afectan la selección del sistema o de los sistemas de fluido de perforación para un pozo específico.

La viscosidad de los fluidos de perforación es un parámetro muy importante a determinar ya que por medio de este sabemos que fluidez tienen nuestros productos y así mismo calcular los tiempos de retorno, el tiempo de llenado del anular, etc.

Actualmente la universidad cuenta con un equipo en mal estado acondicionado para el desarrollo y toma de las propiedades reológicas del lodo práctica que genera un vacío de conocimiento con respecto al tema, y la idea de la universidad al asignar un programa para cada asignatura es formar un profesional integro y lo mas completo posible, ya que cada profesional que se vincula a la industria es la carta de presentación de la universidad.

Por esta razón se hace necesario el funcionamiento de un equipo como el viscosímetro FANN 35A para las pruebas de laboratorio con el fin de tener una mayor visión de las propiedades reológicas del lodo o del cemento y su aplicación en esta ciencia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- Reparación y calibración de los viscosímetros **FANN 35A**

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el daño que se pueden presentar en los equipos y las posibles soluciones al respecto.
- Conocer los métodos que existen calibrar los viscosímetros **FANN 35A**
- Elaboración del manual de funcionamiento y de mantenimiento.

3. LODOS

El lodo es una suspensión de arcilla en agua, con los aditivos necesarios para cumplir las siguientes funciones:

- Extraer el detritus o ripio de la perforación.
- Refrigerar la herramienta de corte.
- Sostener las paredes de la perforación.
- Estabilizar la columna o sarta de perforación.
- Lubricar el rozamiento de ésta con el terreno.

Se distinguen diversos tipos de lodos en función de su composición. Por una parte están los denominados "naturales", constituidos por agua clara (dulce o salada) a la que se incorpora parte de la fracción limoso.-arcillosa de las formaciones rocosas conforme se atraviesan durante la perforación. Se utilizan especialmente en el sistema de circulación inversa (en la circulación directa se requieren lodos de mayor densidad y viscosidad).

Por otra parte están los lodos "elaborados" de los cuales existen diferentes tipos siendo los más frecuentes los preparados a base de arcillas especialmente bentoníticas, en cuya composición predominan los filosilicatos del grupo de la montmorillonita.

También se utilizan con frecuencia lodos elaborados con polímeros orgánicos y más recientemente con polímeros sintéticos.

En caso de existir formaciones "contaminantes", se hacen las correcciones oportunas mediante aditivos.

El ajuste y corrección de la dosificación se hace midiendo el pH , al mismo tiempo que se acotan la densidad y la viscosidad.

En los lodos de perforación existen una serie de propiedades reológicas y parámetros que los definen y que deben controlarse durante la perforación y que son los siguientes: densidad, viscosidad, tixotropía, costra y agua de filtrado, pH y contenido de arena, la ciencia que se encarga del estudio de estos parámetros es la reología.

3.1 REOLOGIA

Reología es la ciencia que trata de la deformación y del flujo de la materia. Al tomar ciertas medidas en un fluido, es posible determinar la manera en que dicho fluido fluirá bajo diversas condiciones, incluyendo la temperatura, la presión y la velocidad de corte.

A pesar de que la Reología pudiera cubrir todo lo que tiene que ver con los comportamientos de flujo en aeronáutica, mecánica de fluidos e inclusive la mecánica de sólidos, el objetivo de la Reología está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas. Por medio de la observación y del conocimiento del campo de deformación aplicado, el reólogo puede en muchos casos desarrollar una relación constitutiva o modelo matemático que permite obtener, en principio, las funciones materiales o propiedades que caracterizan el material.

Las funciones materiales y relaciones constitutivas tienen varios usos en la práctica, dependiendo del objetivo del estudio de cada tipo de material. En tal sentido pueden distinguirse dos objetivos principales:

1. Predecir el comportamiento macroscópico del fluido bajo condiciones de proceso para lo cual se hace uso de las relaciones constitutivas y de las funciones materiales.
2. Estudiar de manera indirecta la microestructura del fluido y evaluar el efecto de varios factores sobre dicha microestructura. Para esto se comparan las funciones materiales o propiedades reológicas.

Los fluidos que son del interés de la Reología presentan una gama de comportamientos que van desde el viscoso Newtoniano hasta el sólido elástico de Hooke.

En 1678 Robert Hooke fue el primero que habló de la reología en su libro "Verdadera teoría de la Elasticidad". Dicha teoría se resumía en lo siguiente: "Si se dobla la tensión, se dobla deformación".

Nueve años después, Isaac Newton publicó en "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" una hipótesis asociada al estado simple de cizalladura (o corte): "La resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partes de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él". Esta necesidad de deslizamiento es lo que ahora se denomina "Viscosidad", sinónimo de fricción interna. Dicha viscosidad es una medida de la resistencia a fluir.

La fuerza por unidad de área que se requiere para el movimiento de un fluido se define como F/A y se denota como " σ " (tensión o esfuerzo de cizalla). Según Newton la tensión de cizalla o esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de velocidad (du/dy), o también denominado como D . Si se duplica la fuerza, se duplica el gradiente de velocidad:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} = \mu \cdot D$$

1

Esta fórmula se denomina *Ley de Newton*, que es aplicable actualmente aún para unos fluidos determinados (Newtonianos). La glicerina y el agua son ejemplos muy comunes que obedecen la Ley de Newton. Para la glicerina, por ejemplo, la viscosidad vale 1000 mPa-s, en cambio para el agua la viscosidad vale 1 mPa-s, es decir, es mil veces menos viscosa que la glicerina.

3.1.1 Fluidos y Sólidos. Como fluido se entiende toda porción de materia capaz de deformarse continuamente cuando es sujeta a una fuerza o deformación, a diferencia de los sólidos, los cuales o no se deforman o sólo se deforman hasta cierto punto.

Son fluidos todos los líquidos, los gases y otros fluidos de composición más compleja tales como las emulsiones y suspensiones, las pastas y los polímeros fundidos, entre otros. El chicle, la masilla, la masa de pan pudieran también clasificarse como fluidos, aunque algunos pudieran argumentar que son sólidos deformables.

En realidad, la clasificación de fluido o sólido deformable no es muy nítida en muchos casos; frecuentemente sólo puede hablarse del grado en que un fluido se acerca a uno u otro tipo de comportamiento.

En tal sentido, el comportamiento de los fluidos se puede acotar entre dos extremos, siendo el comportamiento viscoso Newtoniano un extremo y el comportamiento elástico de Hooke el otro extremo. Es justamente dentro de este intervalo de comportamiento que se encuentra el interés de la Reología.

3.1.2 Aplicaciones del Estudio de la Reología

- Producción de pegamentos: el estudio de su plasticidad, de la forma de fluir dentro del recipiente que lo contiene, etc.
- Producción de pinturas: una pintura debe ser esparcida de forma fácil pero sin que escurra.
- Caracterización de elastómeros y de polímeros tipo PVC.
- Estabilidad de emulsiones y suspensiones.
- Caracterización de gasolinas, aceites y otros tipos de hidrocarburos.
- Caracterización de metales (en situaciones de elevada temperatura), y de cristales líquidos.
- Control de fluidos que sean transportados a lo largo de tuberías cilíndricas (para evitar la reopexia (Propiedad de un material, que aumenta su viscosidad

cuando se agita constantemente)).

3.1.3 Propiedades Reológicas

3.1.3.1 Densidad. En física el término **densidad** (ρ) es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos. En términos sencillos, un objeto pequeño y pesado, como una piedra o un trozo de plomo, es más denso que un objeto grande y liviano, como un corcho o un poco de espuma.

La densidad la podemos dividir en dos, densidad absoluta y densidad relativa.

3.1.3.1.1 Densidad absoluta. La densidad absoluta o densidad normal, también llamada densidad real, expresa la masa por unidad de volumen. Cuando no se hace ninguna aclaración al respecto, el término «densidad» suele entenderse en el sentido de densidad absoluta. La densidad es una propiedad intensiva de la materia producto de dos propiedades extensivas e intensivas.

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen} \quad 2$$

3.1.3.1.2 Densidad relativa. La densidad relativa o aparente expresa la relación entre la densidad de una sustancia y la densidad del agua, resultando una magnitud adimensional. La densidad del agua tiene un valor de 1 $\frac{kg}{l}$ a las condiciones de 1 atm y 4 $^{\circ}C$ equivalente a 1000 $\frac{kg}{m^3}$. Aunque la unidad en el Sistema Internacional de Unidades (SI) es $\frac{kg}{m^3}$, también es costumbre expresar la densidad de los líquidos en $\frac{g}{cm^3}$.

3.1.3.2 Peso específico. El peso específico es la cantidad de peso por unidad de volumen de una sustancia. Utilizando la letra griega γ (gamma) para denotar el peso específico,

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad 3$$

En donde V es el volumen de una sustancia que tiene el peso W . Las unidades del peso específico, son los newtons por metro cúbico ($\frac{N}{m^3}$) en el SI y libras por pie cúbico ($\frac{lb}{pie^3}$) en el Sistema Británico de Unidades.

3.1.3.3 Gravedad Específica. La gravedad específica es el cociente de la densidad de una sustancia entre la densidad del agua a 4 $^{\circ}C$, o, es el cociente del peso específico de una sustancia entre el peso específico del agua a 4 $^{\circ}C$.

Estas definiciones de la gravedad específica se pueden expresar de manera matemática como:

$$sg = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad 4$$

En donde el subíndice s se refiere a la sustancia cuya gravedad específica se esta determinando y el subíndice w se refiere al agua.

La definición matemática de gravedad específica se puede escribir como:

$$sg = \frac{\gamma_s}{9810N/m^3} = \frac{\rho_s}{1000kg/m^3} \quad 5$$

Esta definición es valida, independientemente de la temperatura a la que se determina la gravedad específica. Sin embargo, las propiedades de los fluidos varían con la temperatura. En general cuando la densidad disminuye, aumenta la temperatura.

3.1.3.4 Relación entre Densidad y Peso Específico. Se encuentra muy a menudo que el peso específico de una sustancia cuando se conoce su densidad y viceversa. La conversión de uno a otra se puede efectuar mediante la siguiente ecuación:

En la que g es la aceleración debida a la gravedad. $\gamma = \rho \times g$ 6

La definición de peso específico es: $\gamma = \frac{w}{v}$ 7

Al multiplicar por g tanto el numerador como el denominador de esta ecuación obtenemos:

$$\gamma = \frac{wg}{vg} \quad 8$$

Pero $m = w / g$ por consiguiente tenemos: $\gamma = \frac{mg}{v}$ 9

Puesto que $p = m / v$, obtenemos: $\gamma = \rho g$ 10

3.1.3.5 Costra y Agua de Filtrado (Cake). Parte del lodo, que impulsado por la bomba circula por el espacio anular comprendido entre la pared del varillaje y la de la perforación, se filtra a través de ésta, depositando en la misma partículas coloidales que forman una costra (*cake*). Esta costra proporciona una cierta cohesión a las formaciones en contacto con la perforación ayudando a sostener sus paredes al mismo tiempo que las impermeabiliza, dificultando el paso del lodo hacia los acuíferos. Es por ello que un buen lodo debe permitir la formación de esta costra.

Por tanto, la costra debe ser resistente e impermeable. Resistente para que no sea fácilmente erosionable por el roce de la sarta o columna de perforación, e impermeable para que su espesor se mantenga dentro de estrechos límites, compatibles con el mantenimiento del diámetro de la perforación. Esto no ocurriría si el agua libre del lodo se filtrase continuamente a través de la costra, aumentando el espesor de ésta con el depósito continuo de partículas coloidales.

La capacidad de construir el "cake" de un lodo depende del agua libre de éste, así como de la permeabilidad de las paredes del sondeo. Para estimar estas capacidades se utiliza un filtro-prensa normalizado, haciéndose pasar el lodo durante 30 minutos, con la prensa tarada a una presión máxima de 7 kg/cm^2 . Un lodo de perforación de buenas características, no debe dejar pasar más de 20 cm^3 de filtrado, formando un cake de espesor comprendido entre 5 y 8 mm.

3.1.3.6 Contenido de Arena. Un lodo en buenas condiciones debe presentar un contenido en fracciones arenosas prácticamente nulo (inferior al 2-3%). Si para su fabricación se usan productos de calidad, debe estar exento de arena. Sin embargo, a lo largo de las operaciones y especialmente en acuíferos detríticos, es inevitable que a medida que avanzan las operaciones, el lodo se va a ir cargando en arena, empeorando sus condiciones. Se ha comprobado que con contenidos de arena superiores al 15%, los lodos sufren un incremento "ficticio" de la densidad, repercutiendo en la viscosidad y la tixotropía. Además, el contenido en arena resulta especialmente nocivo para las bombas de inyección al desgastarlas prematuramente.

Para combatir estos efectos se disponen desarenadores. La forma más elemental consiste en dejar decantar en una balsa el lodo que retorna a la perforación, aspirándolo nuevamente en otra a la que ha llegado de la anterior por un rebosadero de superficie. Procedimientos más rápidos y eficaces, y a la larga menos costos, son las cribas vibratorias y los desarenadores centrífugos (ciclones).

El control del contenido en arena se realiza mediante tamices normalizados, más concretamente, el tamiz 200 (200 hilos por pulgada, equivalente a $0,074 \text{ mm}$, 74 micras), expresándose en porcentajes. En un lodo se considera arena a la fracción fina que pasa por este tamiz.

Para determinar la cantidad de arena que contiene, se toma una muestra de lodo de 100 cm³, pasándola por la malla del tamiz 200. El residuo retenido sobre el tamiz después del lavado con agua, se vierte en un tubo de cristal graduado en %, de 100 cm³ de volumen, expresándose el contenido de arena por la lectura correspondiente.

Existe un dispositivo específico denominado "tamiz Baroid o elutriómetro", en el que el tamiz va intercalado entre un recipiente de volumen determinado y una probeta transparente graduada en porcentajes.

3.1.3.7 Viscosidad. Viscosidad es el término reológico más conocido. En su sentido más amplio, la viscosidad se puede describir como la resistencia al flujo de una sustancia.

En el campo petrolífero, los términos a continuación se usan para describir la viscosidad y las propiedades reológicas de un fluido de perforación:

- Viscosidad embudo (seg/qt o seg/l).
- Viscosidad aparente (cP o mPa•seg).
- Viscosidad efectiva (cP o mPa•seg).
- Viscosidad plástica (cP o mPa•seg).
- Punto cedente (lb/100 pies² o Pa).
- Viscosidad a baja velocidad de corte y Viscosidad a Muy Baja Velocidad de Corte (LSRV) (cP o mPa•sec).
- Esfuerzos de gel (lb/100 pies² o Pa).

Éstos son algunos de los valores claves para tratar y mantener los fluidos de perforación.

3.1.3.7.1 Viscosidad de embudo. La viscosidad de embudo se mide usando el viscosímetro de Marsh.

La viscosidad de embudo se usa como indicador relativo de la condición del fluido. No proporciona suficiente información para determinar las propiedades reológicas o las características de flujo de un fluido. Debería usarse en el campo para detectar los cambios relativos en las propiedades del fluido. Además, ningún valor en particular de la viscosidad de embudo puede ser adoptado como valor representativo de todos los fluidos. Lo que produce buenos resultados en un área

puede fallar en otra.

3.1.3.7.2 Viscosidad aparente. La viscosidad efectiva a veces es llamada Viscosidad Aparente (VA). La viscosidad aparente está indicada por la indicación del viscosímetro **FANN 35A** a 300 RPM ($\theta 300$) o la mitad de la indicación del viscosímetro a 600 RPM ($\theta 600$). Cabe indicar que ambos valores de viscosidad aparente concuerdan con la fórmula de viscosidad:

$$AV \text{ (cP)} = \frac{300 \times \theta}{\omega} \quad 11$$

3.1.3.7.3 Viscosidad efectiva. La viscosidad de un fluido no newtoniano cambia con el esfuerzo de corte. La viscosidad efectiva (μ_e) de un fluido es la viscosidad de un fluido bajo condiciones específicas. Estas condiciones incluyen la velocidad de corte, la presión y la temperatura.

3.1.3.7.4 Viscosidad plástica.

$$VP \text{ (cP)} = \theta 600 - \theta 300 \quad 12$$

VP = Viscosidad Plástica en centipoise (cP)

$\theta 600$ = Lectura del viscosímetro a 600 rpm

$\theta 300$ = Lectura del viscosímetro a 300 rpm

La viscosidad plástica se describe generalmente como la parte de la resistencia al flujo que es causada por la fricción mecánica.

La viscosidad plástica es afectada principalmente por:

- La concentración de sólidos.
- El tamaño y la forma de los sólidos.
- La viscosidad de la fase fluida.
- La presencia de algunos polímeros de cadena larga.
- Las relaciones aceite-agua (A/A) o Sintético-Agua (S/A) en los fluidos de emulsión inversa.

La fase sólida es lo que más interesa al ingeniero de fluidos. Un aumento de la viscosidad plástica puede significar un aumento en el porcentaje en volumen de sólidos, una reducción del tamaño de las partículas de los sólidos, un cambio de la forma de las partículas o una combinación de estos efectos. Cualquier aumento

del área superficial total de los sólidos expuestos se reflejará en un aumento de la viscosidad plástica. Por ejemplo, en una partícula sólida que se parte por la mitad, el área superficial expuesta combinada de los dos trozos será más grande que el área superficial de la partícula original. Una partícula plana tiene más área superficial expuesta que una partícula esférica del mismo volumen.

3.1.3.7.5 Punto cedente

$$YP = (2 * \theta 300) - \theta 600$$

13

Donde:

YP = Punto cedente (lb/100pies²)
θ600 = Lectura del viscosímetro a 600 rpm
θ300 = Lectura del viscosímetro a 300 rpm
Otra manera es la siguiente:

$$YP = \theta 300 - VP$$

14

Donde:

YP = Punto cedente (lb/100pies²)
θ300 = Lectura del viscosímetro a 300 rpm
VP = viscosidad Plástica

El punto cedente, segundo componente de la resistencia al flujo en un fluido de perforación, es una medida de las fuerzas electroquímicas o de atracción en un fluido. Estas fuerzas son el resultado de las cargas negativas y positivas ubicadas en o cerca de las superficies de las partículas. El punto cedente es una medida de estas fuerzas bajo las condiciones de flujo, y depende de: (1) las propiedades superficiales de los sólidos del fluido, (2) la concentración volumétrica de los sólidos, y (3) el ambiente eléctrico de estos sólidos (concentración y tipos de iones en la fase fluida del fluido). La alta viscosidad que resulta de un alto punto cedente o de altas fuerzas de atracción puede ser causada por:

- La introducción de contaminantes solubles como sales, cemento, anhídrita o yeso, resultando en arcillas de floculación y sólidos reactivos.
- Descomposición de las partículas de arcilla por la acción trituradora de la barrena y tubería de perforación, creando nuevas fuerzas residuales (valencias de enlace roto) en los bordes rotos de las partículas. Estas fuerzas tienden a juntar las partículas en una forma desorganizada o formando flóculos.
- La introducción de sólidos inertes dentro del sistema aumenta el punto cedente. Esto hace que las partículas se acerquen más entre sí. Como el espacio entre

las partículas disminuye, la atracción entre las partículas aumenta.

- Las lutitas o arcillas hidratables perforadas introducen nuevos sólidos activos dentro del sistema, aumentando las fuerzas de atracción al reducir el espacio entre las partículas y aumentar el número total de cargas.
- El subtratamiento o sobretratamiento con productos químicos cargados electroquímicamente aumenta las fuerzas de atracción.
- El uso de biopolímeros ramificados.
- Sobretratamiento con arcilla organofílica o modificadores reológicos en sistemas de emulsión inversa.

El punto cedente es la parte de la resistencia al flujo que se puede controlar con un tratamiento químico apropiado. El punto cedente disminuye a medida que las fuerzas de atracción son reducidas mediante el tratamiento químico. La reducción del punto cedente también reducirá la viscosidad aparente.

El punto cedente es usado frecuentemente como indicador de las características de dilución por esfuerzo de corte de un fluido y de su capacidad de suspender el material densificante y retirar los recortes del pozo, pero puede inducir a error. Cualquier fluido con un punto cedente superior a cero disminuye en cierta medida su viscosidad con el esfuerzo de corte. Los fluidos con puntos cedentes muy bajos no suspenderán el material densificante, pero es posible que los fluidos con altos puntos cedentes tampoco suspendan el material densificante. Las soluciones de CMC, Celulosa Polianiónica (PAC) y polímeros HEC en agua tienen puntos cedentes, pero no suspenden el material densificante bajo condiciones estáticas.

Las medidas de sus esfuerzos de corte a bajas velocidades de corte indican que su esfuerzo de corte a una velocidad de corte de cero seg^{-1} es igual a cero (0). La capacidad de un fluido para suspender la barita depende más de los esfuerzos de gel, de la viscosidad a baja velocidad de corte y de la tixotropía de un fluido.

3.1.3.7.6 Viscosidad a baja velocidad de corte y viscosidad a muy baja velocidad de corte (LSRV). El uso cada vez más frecuente de la perforación de desviación controlada, de alcance extendido y horizontal y el uso de biopolímeros para controlar las propiedades reológicas han producido un cambio de opinión en lo que se refiere a las propiedades reológicas que son consideradas necesarias para lograr una limpieza eficaz del pozo en los pozos desviados. A través de numerosos estudios de laboratorio y en base a la experiencia de campo, se ha determinado que los valores de viscosidad a baja velocidad de corte (6 y 3 RPM) tienen un mayor impacto sobre la limpieza del pozo que el punto cedente, además de proporcionar la suspensión de barita bajo condiciones tanto dinámicas como estáticas.

Además de las indicaciones de 6 y 3 RPM, se determinó que la viscosidad de baja velocidad de corte creada por la red de polímeros en los sistemas era crítica para la limpieza del pozo y la suspensión de sólidos en pozos horizontales y de alto ángulo. Esta LSRV se mide usando un viscosímetro de Brookfield a una velocidad de corte de 0,3 RPM (el equivalente de 0,037 RPM en un viscosímetro **FANN 35A**).

Estas propiedades reológicas de bajo corte llenan el vacío entre las medidas dinámicas tradicionales de VP y PC, y las medidas estáticas del esfuerzo de gel.

3.1.3.7.7 Tixotropía y Esfuerzos de gel. La tixotropía es la propiedad demostrada por algunos fluidos que forman una estructura de gel cuando están estáticos, regresando luego al estado de fluido cuando se aplica un esfuerzo de corte. La mayoría de los fluidos de perforación base agua demuestran esta propiedad, debido a la presencia de partículas cargadas eléctricamente o polímeros especiales que se enlazan entre sí para formar una matriz rígida. Las indicaciones de esfuerzo de gel tomadas con el viscosímetro **FANN 35A** a intervalos de 10 segundos y 10 minutos, y a intervalos de 30 minutos para las situaciones críticas, proporcionan una medida del grado de tixotropía presente en el fluido.

La resistencia del gel formado depende de la cantidad y del tipo de sólidos en suspensión, del tiempo, de la temperatura y del tratamiento químico. Es decir que cualquier cosa que fomente o impide el enlace de las partículas, aumentará o reducirá la tendencia a gelificación de un fluido. La magnitud de la gelificación, así como el tipo de esfuerzo de gel, es importante en la suspensión de los recortes y del material densificante. No se debe permitir que la gelificación alcance un nivel más alto del necesario para cumplir estas funciones. Los esfuerzos de gel excesivos pueden causar complicaciones, tales como las siguientes:

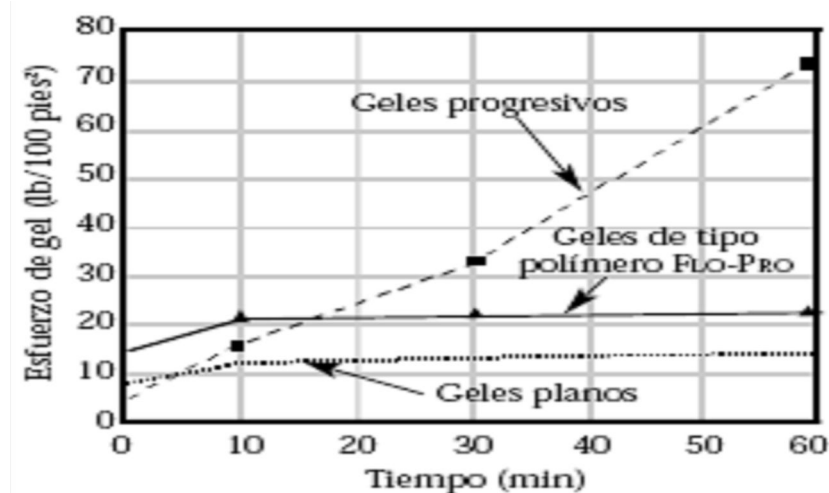
1. Entrampamiento del aire o gas en el fluido.
2. Presiones excesivas cuando se interrumpe la circulación después de un viaje.
3. Reducción de la eficacia del equipo de remoción de sólidos.
4. Pistoneo excesivo al sacar la tubería del pozo.
5. Aumento brusco excesivo de la presión durante la introducción de la tubería en el pozo.
6. Incapacidad para bajar las herramientas de registro hasta el fondo.

La formación de geles progresivos o geles instantáneos puede indicar problemas en el sistema de fluido.

Una variación amplia entre la indicación inicial de gel y las indicaciones de gel a 10 o 30 minutos constituye la formación de *geles progresivos* e indica la acumulación de sólidos. Si las indicaciones de gel inicial y a 10 minutos son altas y muestran muy pocas diferencias entre ellas, esto representa la formación de *geles instantáneos* y puede indicar que la floculación ha ocurrido.

Los esfuerzos de gel frágiles son muy comunes en los fluidos de perforación de polímeros. La Figura 1 ilustra gráficamente los diferentes tipos de esfuerzo de gel.

Figura 1. Esfuerzos del Gel



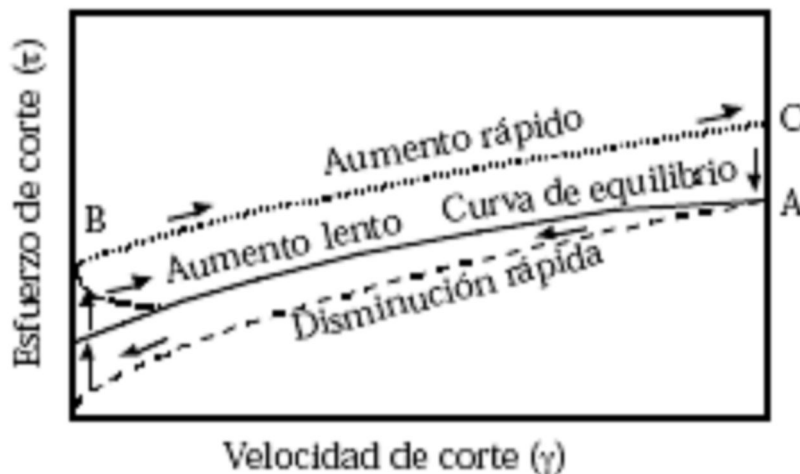
El esfuerzo de gel y el punto cedente son medidas de las fuerzas de atracción en un sistema de fluido. El esfuerzo de gel inicial mide las fuerzas de atracción estáticas, mientras que el punto cedente mide las fuerzas de atracción dinámicas. Por lo tanto, el tratamiento que se usa para el esfuerzo de gel excesivo es el mismo que para el punto cedente excesivo. Además, la gelificación le proporciona a un fluido una "memoria" de su pasado y debe ser tomada en cuenta cuando se toman medidas significativas de las propiedades reológicas. Si se deja reposar un fluido por un tiempo determinado antes de medir el esfuerzo de corte a una velocidad de corte determinada, será necesario mantener dicha velocidad de corte por cierto tiempo, antes de que se pueda medir un esfuerzo de corte en el equilibrio. Todos los enlaces entre partículas que pueden romperse a dicha velocidad de corte deberán romperse, si no el esfuerzo de corte medido será más alto que el esfuerzo de corte en el equilibrio verdadero. El tiempo requerido depende del grado de gelificación que haya ocurrido en la muestra.

Después de tomar una medida a 600 RPM y de reducir la velocidad de corte a 300 RPM, el fluido tiende a recordar sus antecedentes de corte a 600 RPM. Se requiere un tiempo determinado para que ciertos enlaces entre partículas que pueden existir a la velocidad de corte reducida se formen de nuevo, antes de que se pueda medir un esfuerzo de corte en el equilibrio verdadero. El esfuerzo de

corte indicado será demasiado bajo inicialmente, y aumentará gradualmente hasta alcanzar un valor de equilibrio.

El primer valor indicado de esfuerzo de corte a cualquier velocidad de corte depende de los antecedentes de corte inmediatos de la muestra. Si se mide el esfuerzo de gel inicial de un fluido inmediatamente después de cortar el fluido a 600 RPM, el valor indicado será inferior al esfuerzo de cadencia verdadero del fluido. Como la formación o descomposición de una estructura de gel depende del tiempo, muchas relaciones diferentes de esfuerzo de gel/velocidad de corte pueden ser usadas para pasar de una velocidad de corte a otra. Esto está ilustrado en la Figura 2

Figura 2. Comportamiento Tixotrópico



La curva continua representa la relación estabilizada de esfuerzo de corte/velocidad de corte que ocurre cuando la velocidad de corte del fluido es modificada muy lentamente. Sin embargo, si el fluido parte del punto A a un valor de equilibrio del alto esfuerzo de corte que disminuye repentinamente a una velocidad de corte igual a cero, el esfuerzo de corte seguirá la curva inferior, la cual es inferior en todos los puntos a la curva de equilibrio. Una vez que el fluido está inactivo, el esfuerzo de gel aumenta hasta que se alcance el punto B. Si la velocidad de corte es aumentada repentinamente después de la gelificación hasta el punto B, el esfuerzo de corte seguirá una trayectoria más alta desde el punto B hasta el punto C, la cual es más alta en todos los puntos que la curva de equilibrio.

Con el tiempo, a esta alta velocidad de corte, el esfuerzo de corte disminuirá desde el punto C hasta el valor de equilibrio en el punto A. En cambio, si la velocidad de corte es aumentada lentamente después de la gelificación hasta el punto B, el esfuerzo de corte disminuirá inicialmente, y luego seguirá la curva de

equilibrio hasta el punto A. Se puede seguir la curva de B a C si el fluido de perforación no está siendo tratado correctamente. Esto resultaría en presiones de circulación muy altas.

Periodos muy largos pueden ser necesarios para alcanzar el punto de equilibrio A. Los fluidos de perforación tratados correctamente siguen la trayectoria más corta hasta la curva de equilibrio, resultando en presiones de bombeo más bajas.

La experiencia con lodos tixotrópicos de buenas características para su empleo en perforaciones, aconseja como valores adecuados para la tixotropía, los siguientes:

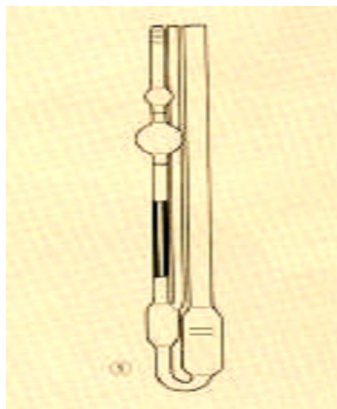
- Gel en el minuto 0 8 a 10 g
- Gel en el minuto 10..... 40 a 50 g

3.1.4 Tipos de Viscosímetros

- Viscosímetros capilares de vidrio
- Copas de vertido
- Viscosímetros especiales
- Viscosímetros rotacionales relativos
- Viscosímetros rotacionales absolutos
- Reómetros

3.1.4.1 Viscosímetros Capilares de Vidrio

Figura 3. Viscosímetro Capilar de vidrio



- Geometría adecuada, buena relación L/D
- Elevada precisión
- Tiempos de medición largos
- Solo para líquidos newtonianos y transparentes
- Precio razonable
- Error de operador
- Automatizable (caro)

3.1.4.2 Copas de Vertido

Figura 4. Copa de vertido



- Geometría no adecuada, mala relación L/D
- Atemperación difícil
- Solo para líquidos newtonianos
- Económicas
- Resultado en “segundos”

3.1.4.3 Viscosímetro de Caída De Bola

Figura 5. Viscosímetro de Caída de Bola



- Geometría adecuada, buena relación L/D
- Atemperación fácil
- Solo para líquidos newtonianos transparentes
- Fácil de manejar
- No automatizable
- Muy exacto
- Muy bueno para viscosidades bajas

Consiste en un recipiente que contiene un fluido viscoso. Se introduce una pequeña esfera, la cual parte del reposo y rápidamente alcanza la velocidad límite. Variables que intervienen:

ρ_s : densidad de la esfera sólida

ρ_L : densidad del líquido

D: diámetro de la esfera

L: longitud que cae la esfera en un tiempo t

v_0 : velocidad límite de la esfera ($v_0=L/t$)

(Durante el ensayo verificar que se recorren distintos tramos L, a velocidad constante)

Fuerzas que intervienen:

- P: peso de la esfera

+E: empuje hidrostático

+ F_μ : fuerzas viscosas

Cuando se alcanza velocidad límite: $-P + E + F_\mu = m \cdot a_z = 0$

$$P = \left[\frac{1}{6} \right] \cdot \rho \cdot D^3 \cdot r_s \cdot g$$

$$E = \left[\frac{1}{6} \right] \cdot \rho \cdot D^3 \cdot r_L \cdot g$$

$$F_\mu = 3\pi \cdot \mu \cdot v_0 \cdot D$$

$$\mu = \frac{D^2 \cdot g \cdot (r_s - r_L)}{18 \cdot L/t}$$

15

Estimaciones más precisas mientras más alta sea la viscosidad (v_0 bajas) y por eso se utiliza para aceites y mieles industriales

3.1.4.4 Viscosímetros Especiales

Figura 6. Viscosímetro Especial



- Geometría “a medida”
- Específicos
- Solo para mediciones comparativas
- Precio variable
- Ej: **Laray**
Bostwick
Placas de vidrio

3.1.4.5 Viscosímetros Rotacionales Relativos

Figura 7. Viscosímetro Rotacional Relativo



- Geometría no adecuada
- Solo para líquidos newtonianos (hay spindels absolutos en casos especiales)
- Precio razonable
- Normalizado. Se ha convertido en un método estándar
- Atemperación difícil

3.1.4.6 Viscosímetros Rotacionales Absolutos

- Geometría absoluta: Cilindros – Cono-placa - Placa-placa
- Posibilidad de medir curvas de fluidez
- Para todo tipo de líquidos y pastas

Figura 8. Viscosímetro Rotacional Absoluto



Dentro de los viscosímetros rotacionales absolutos encontramos el viscosímetro **FANN 35A**.

3.1.4.6.1 Principio de los Viscosímetros Rotacionales. El cilindro interior está unido a un soporte fijo mediante un resorte de torsión de coeficiente K .

El cilindro exterior se hace rotar con una velocidad angular constante.

Cuando el cilindro exterior gira arrastra al cilindro interior mediante la cizalladura que se transmite a través del fluido, hasta que el resorte de torsión detiene el cilindro interior, instante y estado en que puede leerse el valor del torque que señala el medidor.

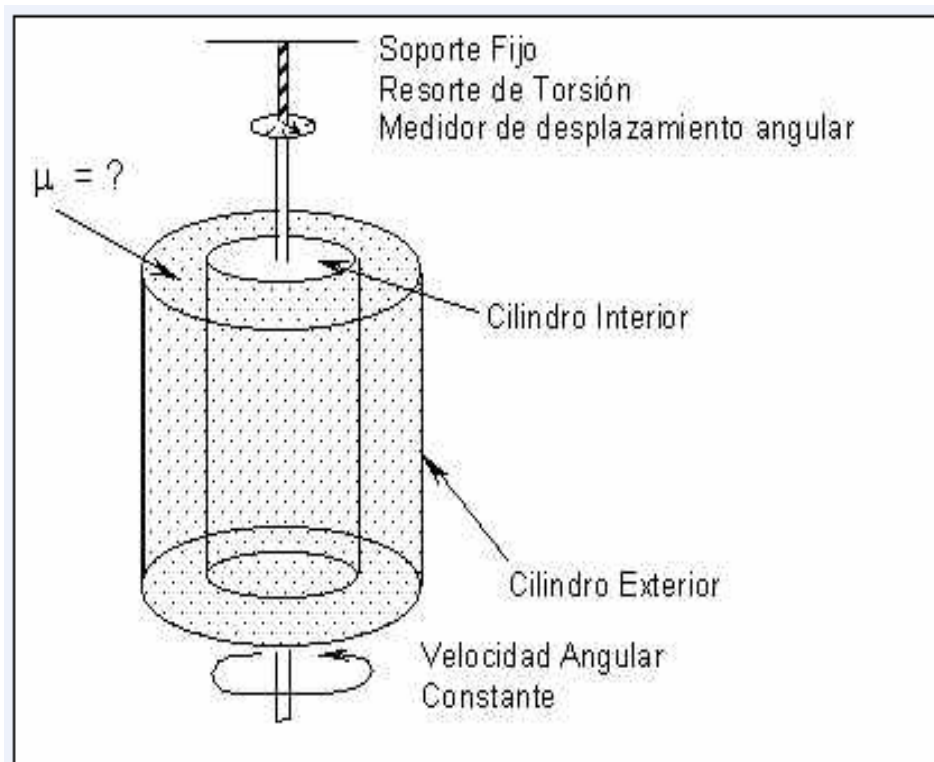
El espesor de fluido es pequeño y puede suponerse distribución lineal velocidades.

Torque total = Torque lateral + Torque en la base

Torque total = Torsión en el resorte

$$T = T_L + T_B = K$$

Figura 9. Principio de Funcionamiento



4. VISCOSIMETRO FANN MODELO 35A

4.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO:

Figura 10. Viscosímetro FANN Modelo 35A



En la Figura 10, nos muestra el viscosímetro **FANN modelo 35A** pertenece al grupo de los viscosímetros de indicación directa, estos son instrumentos de tipo rotativo accionados por un motor eléctrico o una manivela.

El fluido de perforación está contenido dentro del espacio anular entre dos cilindros concéntricos.

El cilindro exterior o rotor es accionado a una velocidad rotacional (RPM – revoluciones por minuto) constante.

La rotación del rotor en el fluido impone un torque sobre el bop o cilindro interior, un resorte de torsión limita el movimiento del bop y su desplazamiento es indicado por el dial, el cual esta acoplado al bop en la parte inferior.

4.2 DIMENSIONES:

4.2.1 Rotor (Cilindro Exterior)

Diámetro interior 1,450 pulg. (36,83 mm)

Longitud total 3,425 pulg. (87,00 mm)

Línea trazada 2,30 pulg. (58,4 mm) encima de la parte inferior del rotor.

Dos agujeros alineados de 1/8 pulgada (3,18 mm) separados por 120 grados (2,09 radianes), alrededor del rotor, justo debajo de la línea trazada.

4.2.2 BOP

Diámetro 1,358 pulg. (34,49 mm)

Longitud del cilindro 1,496 pulg. (38,00 mm)

El balancín está cerrado con una base plana y una parte superior ahusada.

4.2.3 Constante del resorte de torsión

Deflexión de 386 dinas-cm/grado

4.2.4 Velocidades del rotor

Alta velocidad: 600 RPM
200 RPM
6 RPM

Baja velocidad: 300 RPM
100 RPM
3 RPM

Las constantes del instrumento han sido ajustadas de manera que se pueda obtener la viscosidad plástica y el punto cedente usando las indicaciones derivadas de las velocidades del rotor de 600 y 300 RPM.

4.3 PARTES

Figura 11. Partes del Viscosímetro

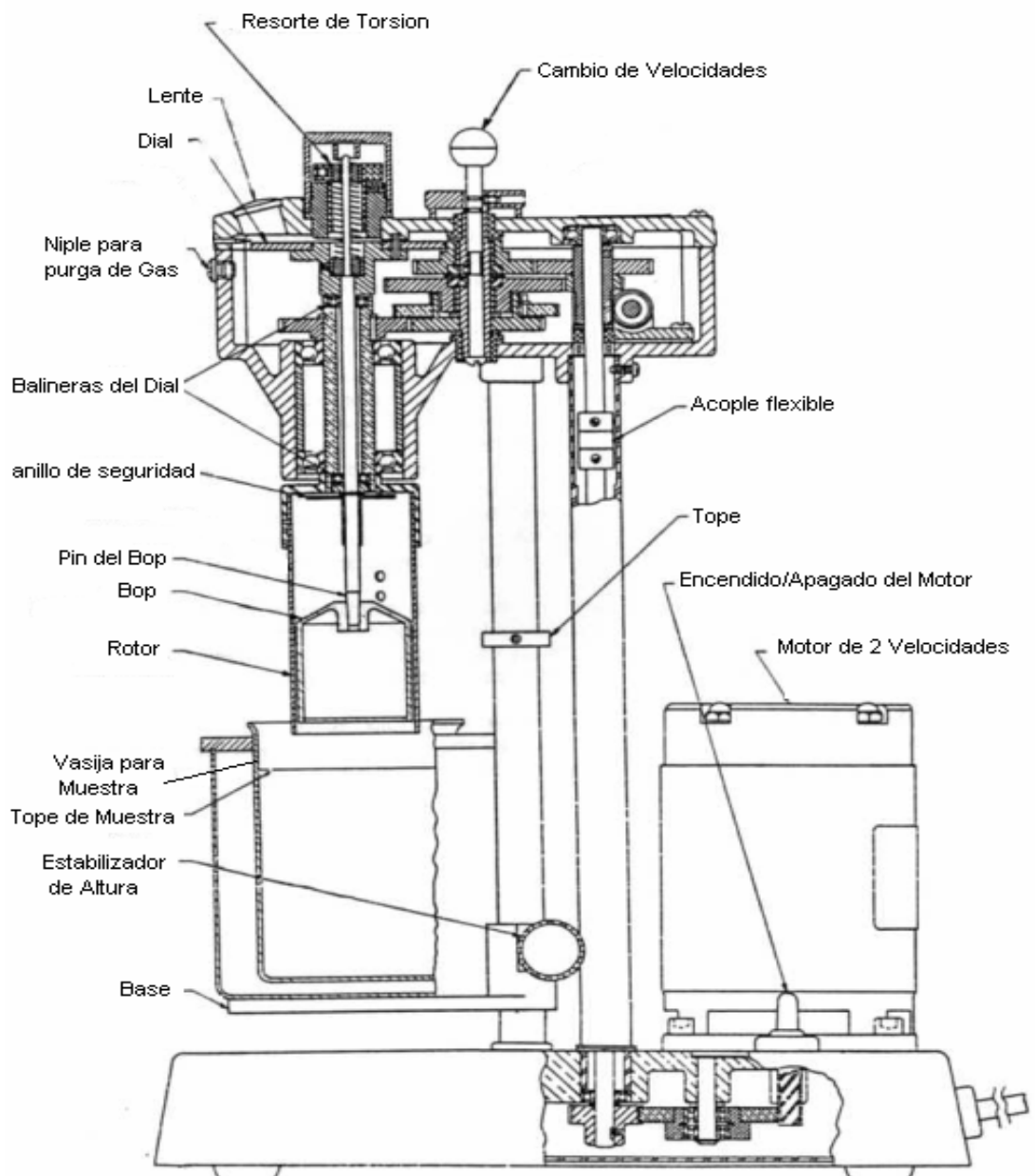


Figura 12. Elementos de Lectura



4.4 OPERACIÓN GENERAL

4.4.1 Precauciones para una Operación Segura. Para una operación segura del viscosímetro FANN modelo 35A, se requiere que el técnico de laboratorio o la persona encargada de realizar el mantenimiento y operación este familiarizado con los procedimientos apropiados de funcionamiento y los peligros potenciales asociados al instrumento.

Este instrumento es conducido por corriente eléctrica de 110 voltios, se debe tener en cuenta que el límite seguro para el cuerpo humano de una persona promedio de 80 kg es de aprox. 25 voltios.

El instrumento consta de varias piezas móviles como engranajes, ejes, etc. por lo tanto mantenga las manos, la ropa y otros objetos que puedan sufrir atropamiento

alejados de las piezas que rotan de la máquina

Cerciórese de que el cable eléctrico y todo el cableado asociado al equipo este en buenas condiciones.

Cerciórese de que el viscosímetro esté apagado y desenchufado de la fuente antes de la limpieza, reparación o mantenimiento.

Asegúrese que la base del viscosímetro no permanezca mojada. Si se han derramado o se han salpicado parte de las muestras, limpie con un paño húmedo. No permita que el agua entre en la base, pues el agua excesiva podría causar daño a los componentes eléctricos además de que el agua es conductor eléctrico.

Limpiar el instrumento operándolo a gran velocidad con el rotor sumergido en agua u otro solvente. Retirar el rotor torciendo ligeramente para soltar la clavija de cierre.

Limpiar minuciosamente el bop y las otras piezas con un trapo limpio y seco o una servilleta de papel.

El bop es hueco y puede quitarse para ser limpiado. A veces, la humedad puede acumularse dentro del bop y debe ser eliminada con un limpiador para tubos. La inmersión del bop hueco en lodo extremadamente caliente (>200°F) podría causar una explosión muy peligrosa.

Siempre que necesite transportar un viscosímetro, quite el BOP ya que la vibración puede torcer la varilla del dial y causar el deterioro del equipo.

OBSERVACIÓN: Nunca sumergir el instrumento completamente en agua.

PRECAUCIÓN NUNCA CAMBIE LA PALANCA DE CAMBIO DE LA CAJA DE ENGRANAJES MIENTRAS QUE EL MOTOR ESTÁ FUNCIONANDO. ESTO OCACIONARA DAÑOS EN LOS ENGRANAJES

4.4.2 Funcionamiento del Viscosímetro FANN 35A

- Vierta la muestra a analizar en la vasija para muestras hasta la guía de la vasija y colóquela sobre el portamuestra del viscosímetro.
- Ajuste el estabilizador de altura hasta que el bop se encuentra completamente sumergido en la muestra.
- Conecte el viscosímetro a una fuente de energía

Figura 13. Estabilizador de muestra

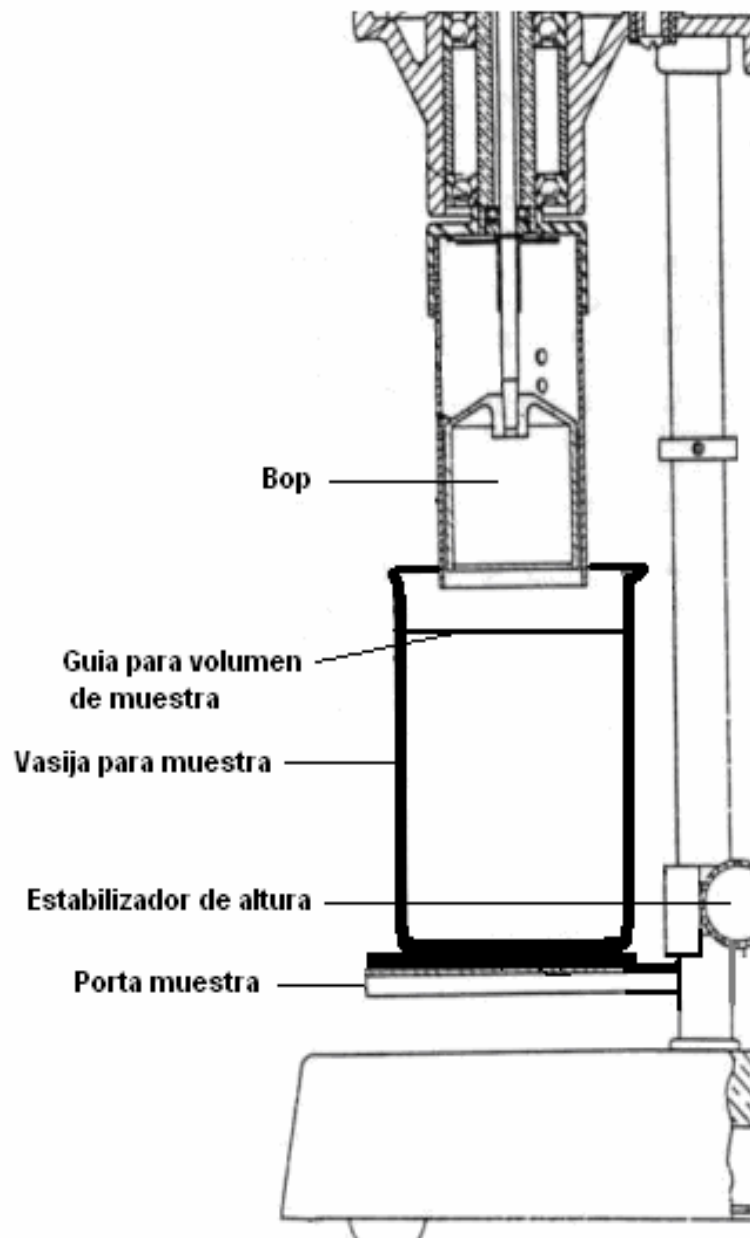
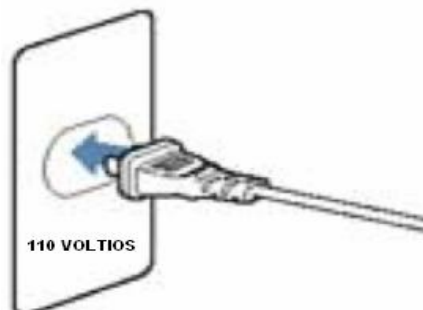


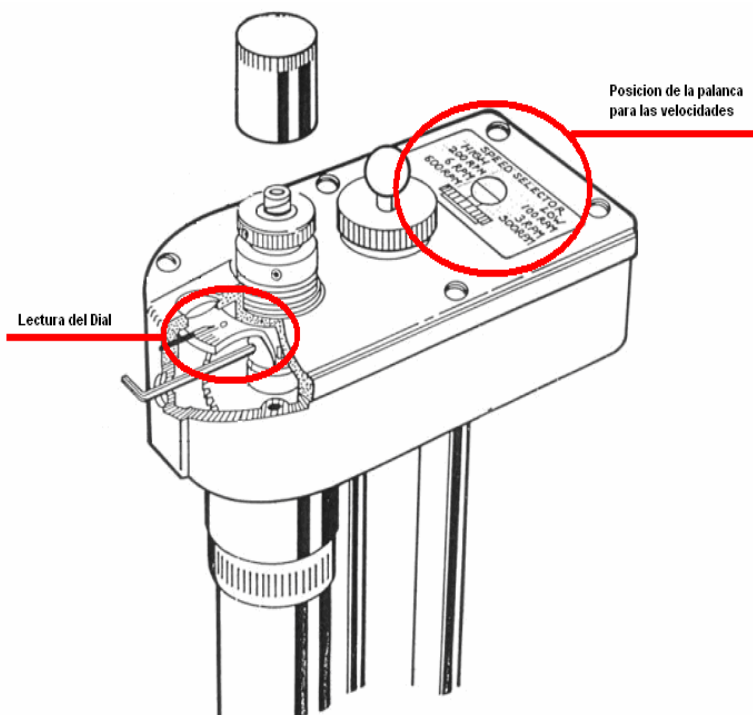
Figura 14. Conector



Asegúrese que la fuente de energía no exceda la resistencia del viscosímetro (110 voltios).

- Encienda el viscosímetro, deje la muestra por un tiempo (aprox. 1 minuto) y registre la temperatura, repita el procedimiento hasta que la temperatura sea homogénea.
- Una vez se obtenga la temperatura, coloque el viscosímetro a 600 rpm y deje la muestra hasta que la lectura del dial sea estable, registre la lectura observada.

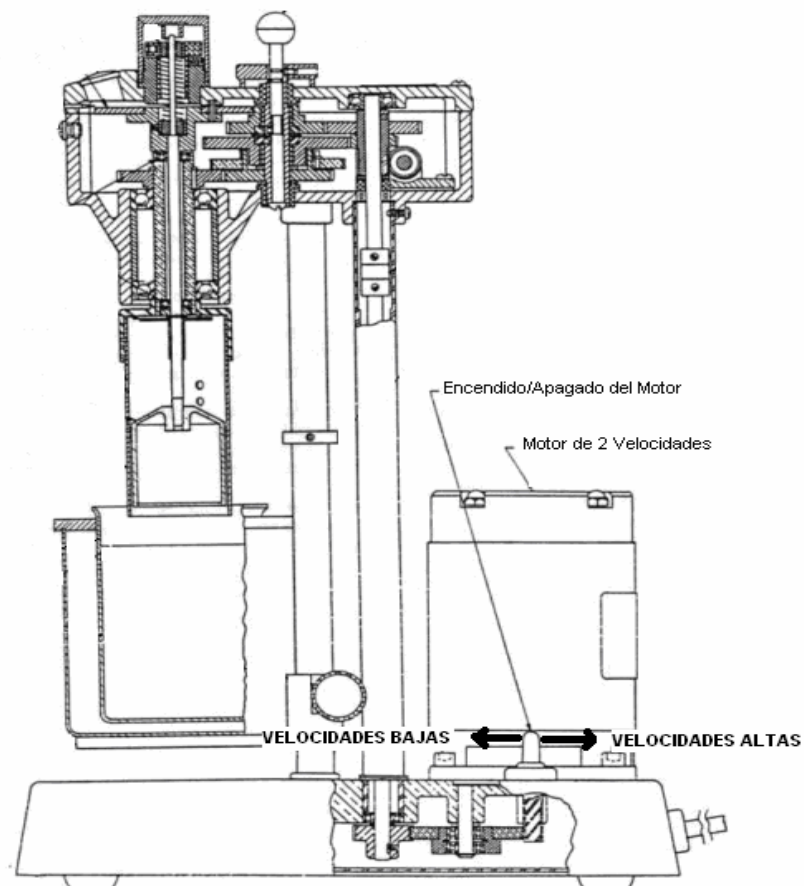
Figura 15. Velocidades y Lectura del Dial



El cambio de posición de la palanca de las velocidades se debe hacer cuando el viscosímetro esta encendido (cuando esta rotando)

- Repita el paso anterior para cada una de las velocidades (300, 200, 100, 6 y 3 rpm) e igualmente registra la lectura del dial cuando sea estable.

Figura 16. Encendido/apagado del viscosímetro



Las velocidades altas se obtienen moviendo el encendido hacia delante y las velocidades bajas moviendo el encendido hacia atrás como lo indica la figura.

4.4.3 Estado Inicial de los Viscosímetros FANN 35A. Los viscosímetros FANN 35A del laboratorio de lodos se encuentran fuera de funcionamiento por diferentes razones la cuales son:

4.4.3.1 Viscosímetro FANN 35A N° A5474

- El viscosímetro se encuentran descalibrados debido al deterioro de algunas piezas.

Solución: Desarmar completamente el viscosímetro para evaluar su estado real y generar un diagnóstico.

- El resorte de torsión del equipo se encuentra deteriorado por exceso de uso y se altero su constante de torsión, su elasticidad y su forma.

Solución: Comprar el resorte de torsión y reemplazarlo.

- El acople flexible del viscosímetros se partió debido a un exceso de torque en los engranajes, por esta razón el acople es de un material “débil”, para proteger los engranes del viscosímetro de un daño mas severo.

Solución: Se compro un nuevo acople flexible y se reemplazo.

- El rotor del viscosímetro se encuentra torcido, debido al mal uso del mismo.

Solución: Comprar la pieza para reemplazarla.

- Las arandelas que separan los engranes se encuentran desgastadas por su uso frecuente por lo tanto los engranes rozan metal-metal lo cual altera las velocidades del viscosímetro.

Solución: Se compro un kit de arandelas para reemplazarlas en su totalidad.

- La balineras del dial y del eje de transmisión de potencia se encuentran pegadas ya que el viscosímetro estuvo parado un largo tiempo lo cual permitió que la corrosión las deteriorara.

Solución: Se compro el set de balineras completo.

- El motor del viscosímetro se encuentra desajustado debido al uso prolongando sin realizar el mantenimiento respectivo.

Solución: se desarmo el motor y se encontró que sus partes se encontraban en buen estado, se lubricaron las piezas y se ajustaron nuevamente.

- Algunos de los engranes del viscosímetro presentan desgaste.

Solución: Se compraron los engranes de las velocidades 600-300 rpm y 100-200 rpm y se cambiaron.

4.4.3.2 Viscosímetro FANN 35A N° A5478

- El viscosímetro se encuentran descalibrados debido al deterioro de algunas piezas.

Solución: Desarmar completamente el viscosímetro para evaluar su estado real y generar un diagnóstico.

- El acople flexible del viscosímetros se partió debido a un exceso de torque en los engranajes, por esta razón el acople es de un material “débil”, para proteger los engranes del viscosímetro de un daño mas severo.

Solución: Se compro un nuevo acople flexible y se reemplazo.

- El bop del viscosímetro no presenta el peso indicado debido a que se introdujo una partícula sólida dentro de este la cual provoca excentricidad.

Solución: Se compro un bop nuevo para este equipo.

- Las arandelas que separan los engranes se encuentran desgastadas por su uso frecuente por lo tanto los engranes rozan metal-metal lo cual altera las velocidades del viscosímetro.

Solución: Se compro un kit de arandelas para reemplazarlas en su totalidad.

- La balineras del dial y del eje de transmisión de potencia se encuentran pegadas ya que el viscosímetro estuvo parado un largo tiempo lo cual permitió que la corrosión las deteriorara.

Solución: Se compro el set de balineras completo.

- El motor del viscosímetro se encuentra desajustado debido al uso prolongado sin realizar el mantenimiento respectivo.

Solución: se desarmo el motor y se encontró que sus partes se encontraban en buen estado, se lubricaron las piezas y se ajustaron nuevamente.

- Algunos de los engranes del viscosímetro presentan desgaste.

Solución: Se compro el engrane de la velocidad 600-300 rpm y se cambio.

- Los dos viscosímetros se encuentran descalibrados debido al deterioro de algunas piezas.

5. REPARACION Y CALIBRACION DEL VISCOSIMETRO FANN 35A

5.1 PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE LOS VISCOSIMETROS

Figura 17. Paso 1 – Partes externas

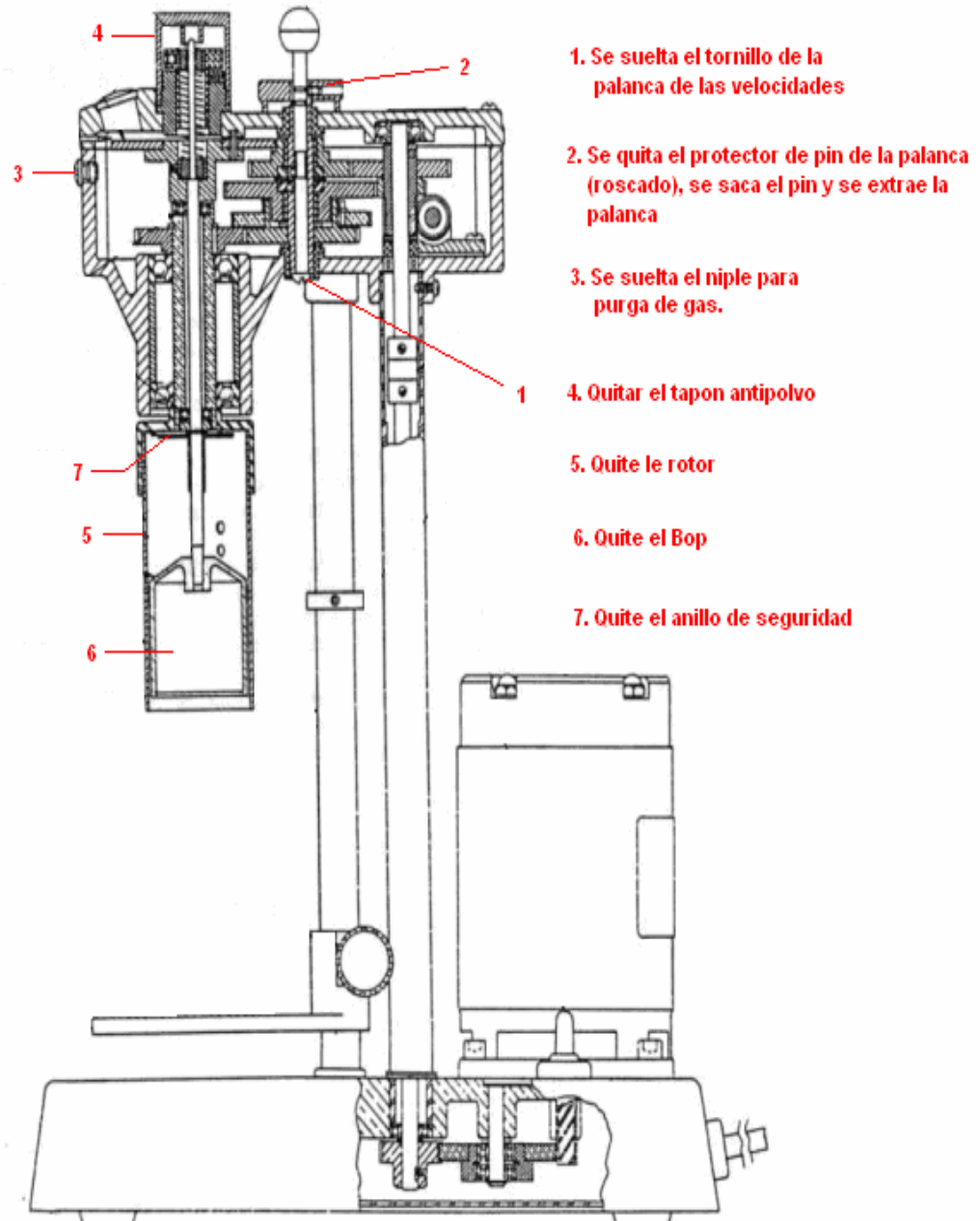


Figura 18. Paso 2 - Parte Superior

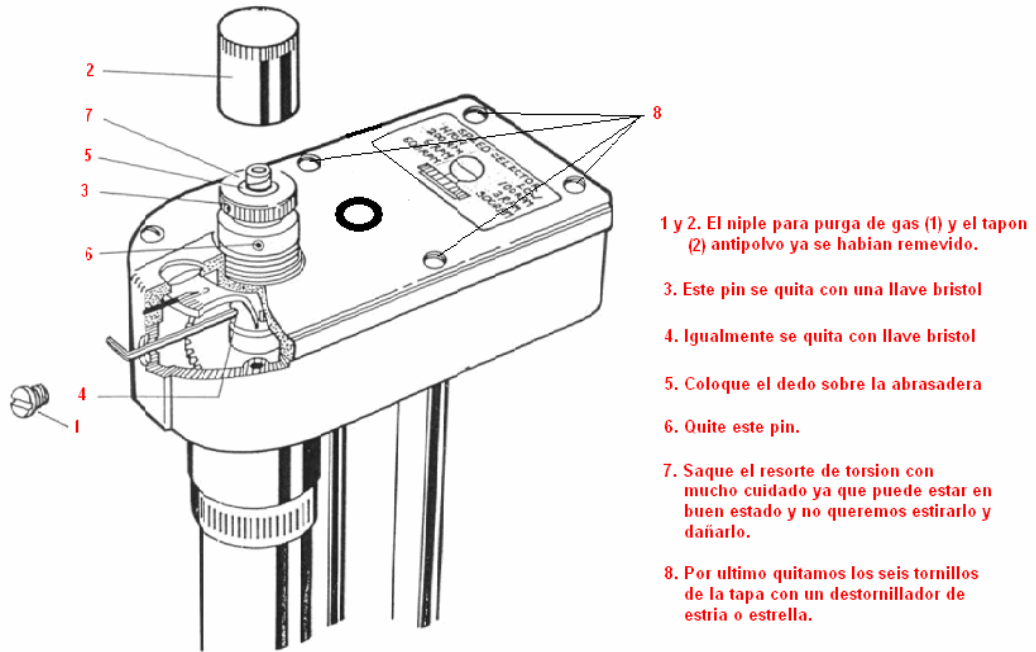


Figura 19. Paso 3 - Procedimiento Interno

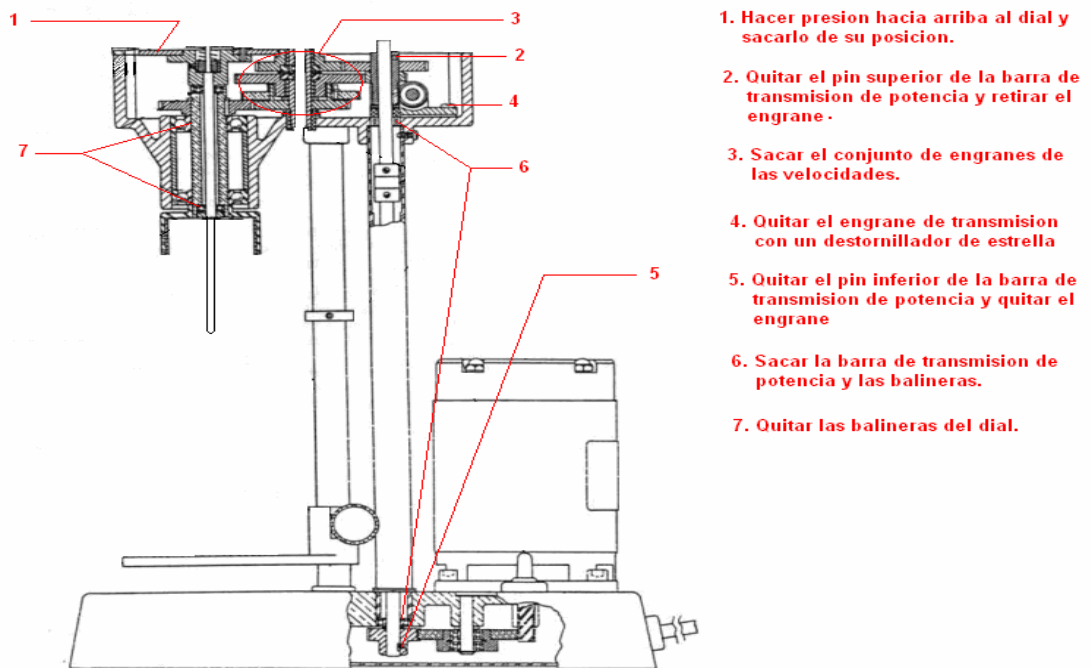


Figura 20. Paso 4 - Transmisión de Potencia

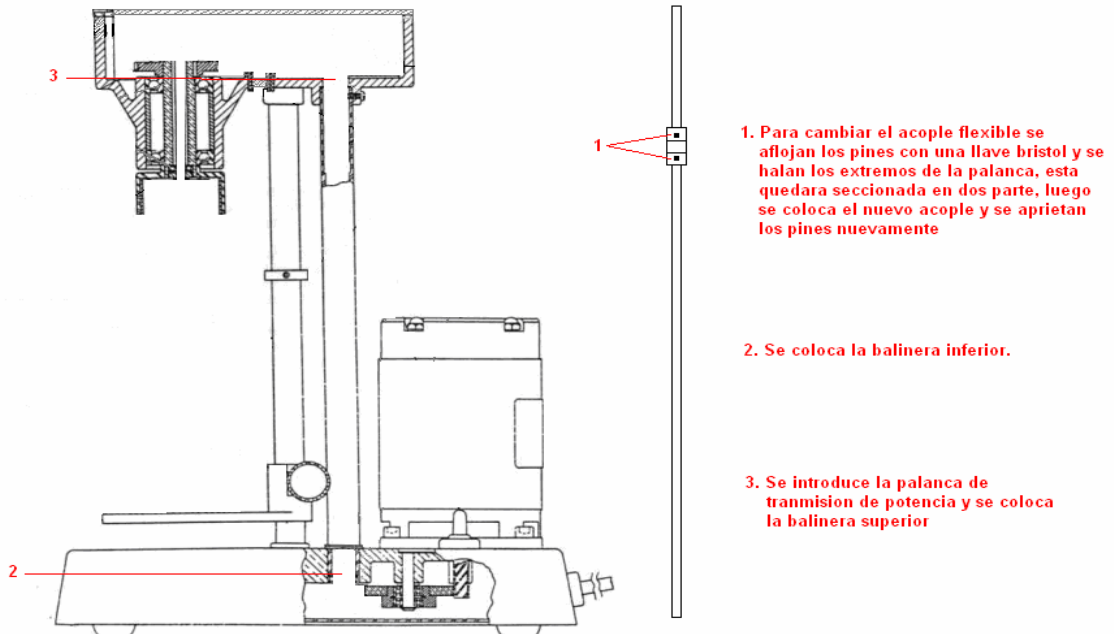


Figura 21. Paso 5 – Armado

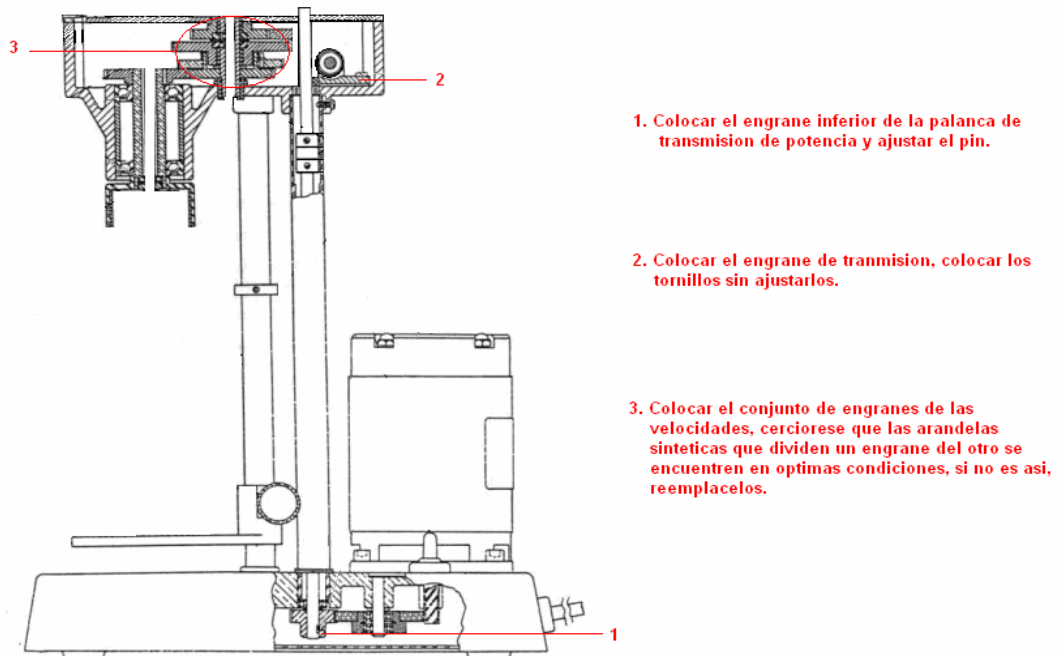
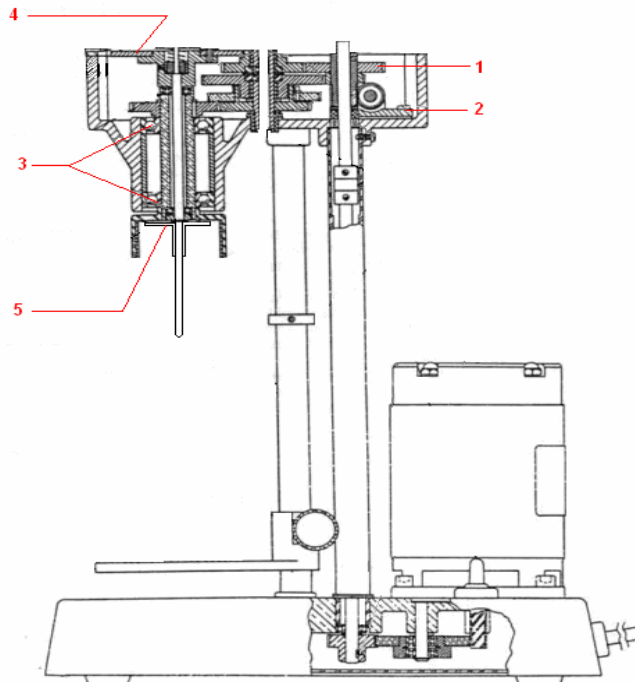
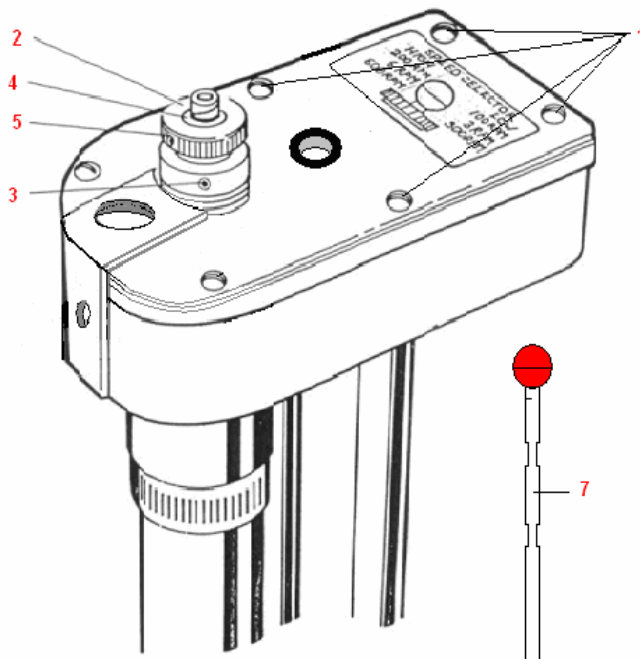


Figura 22. Paso 6 - Acople del Dial



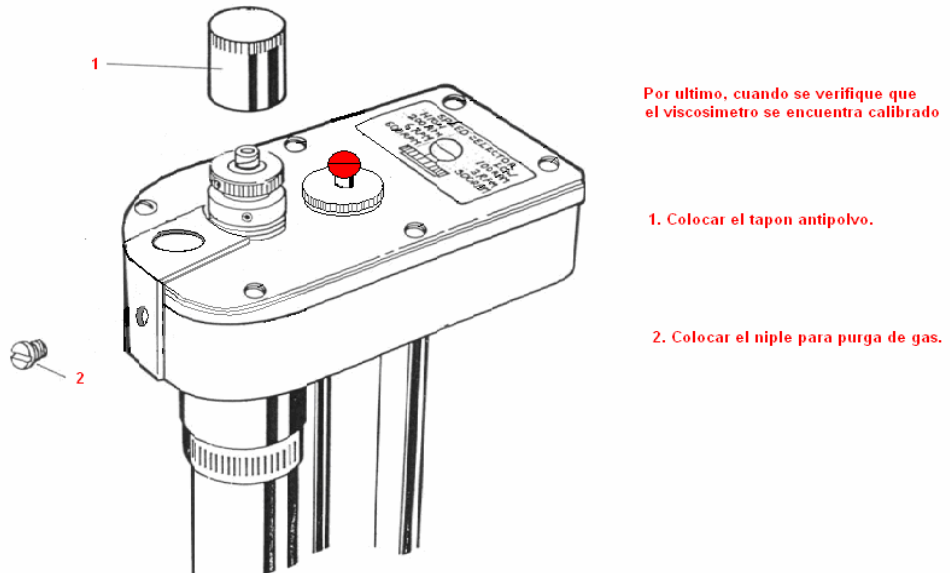
1. Colocar el engrane superior de la palanca de transmision de potencia.
2. Ajustar los tornillos del engrane de transmision, se debe tener cuidado que el engrane no frene los engranes de las velocidades, por ensayo y error se busca el ajuste apropiado.
3. Colocar las nuevas balineras del dial
4. insertar el conjunto del dial haciendo presion moderada sobre este, verificar que el dial gire libremente.
5. Colocar el anillo de seguridad.

Figura 23. Paso 7 - Sellado



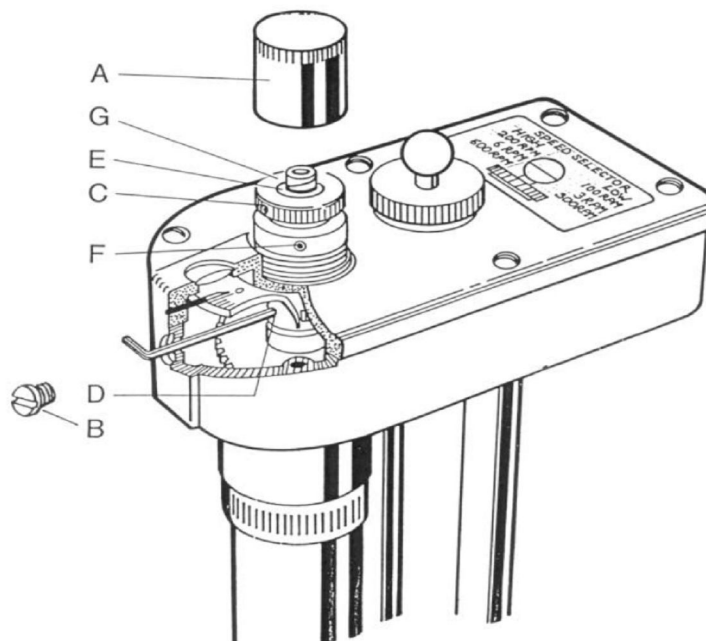
1. Colocar la tapa y ajustar sus seis (6) tornillos.
2. Colocar el resorte de torsion (Verificar que se encuentre en buen estado)
3. Ajustar el pin inferior.
4. Verifica que la abertura de la abrasadera no este enfrentada con la punta del pin.
5. Ajustar el pin superior.
6. A continuacion realice el procedimiento de calibracion.
7. Inserte la palanca para cambio de velocidades.

Figura 24. Paso 8 – Acondicionamiento



5.2 RETIRAR Y REEMPLAZAR EL RESORTE DE TORSION

Figura 25. Cambio de Resorte de Torsión



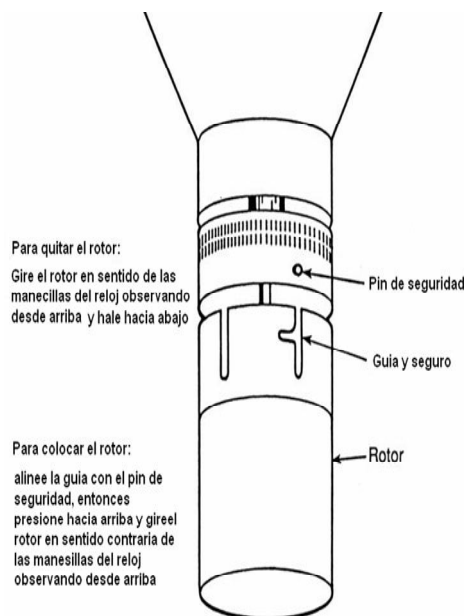
1. Quite el tapón antipolvo [A] y el niple para purga de gas [B].
2. Afloje los tornillos de presión [C] y [D] girarlos cerca de ½ vuelta. El resorte puede ahora ser levantado. Tenga cuidado de no estirar el resorte.
3. Insertar el nuevo resorte, cerciorarse que el mandril inferior este orientado y asentado correctamente. El tornillo de presión [D] debe alinearse con el punto en el cual el resorte deja el mandril inferior. Un corte de muesca en el extremo superior del mandril inferior ayudará a localizar este punto. Apriete el tornillo de presión [D], de modo que presione contra el anillo partido para sostener el mandril inferior del resorte.

NOTA: Antes de apretar el tornillo de presión [C] asegúrese que la parte superior del mandril ajustable esta a ras con la tapa de la abrazadera [E]. Puede ser necesario comprimir o estirar levemente el resorte para lograr esto.

4. Apriete el tornillo de presión [C].
5. Afloje el tornillo de presión [F], el dial indicara cero, después rote la perilla [G] para la alineación, después ajuste la perilla [G] verticalmente para permitir que el resorte sea fijado con la abrazadera.
6. Apriete el tornillo de presión [F] y coloque el tapón antipolvo [A].

5.3 PARA RETIRAR EL ROTOR

Figura 26. Cambio del rotor



5.4 CALIBRACION DEL VISCOSIMETRO

El viscosímetro modelo 35A se debe evaluar periódicamente para saber si la calibración es apropiada y si se encuentra un error el viscosímetro debe ser calibrado o reparado según lo requiera. La calibración es comprobada aplicándose esfuerzos de torsión al eje de la rotaria. Para cualquier esfuerzo de torsión aplicado, dentro de la gama del esfuerzo de torsión del resorte, debe haber una lectura específica del dial más o menos una tolerancia pequeña.

La calibración del peso muerto es más fácil de realizarse y si el resorte requiere ajuste, el ajuste apropiado puede ser verificado fácilmente.

5.4.1 Calibración por Peso

- Quite el rotor y el cilindro, después instale el carrete de calibración.
- Instale el accesorio de calibración DW-3 afianzándolo con abrazadera sobre la parte superior de las piernas de ayuda del viscosímetro.
- Seleccione un peso según la siguiente tabla:

Tabla 1. Relación de Pesos para cada Resorte

Resorte de Torsión	Constante del Resorte De Torsión Dinás/Centímetro ^o Deflexión	Peso en Gramos				
		10	20	50	100	200
		Lectura del Dial				
F - 02	77.2	127.0	254.0	-	-	-
F - 05	193.0	50.8	101.6	254.0	-	-
F -1	386.0	25.4	50.8	127.0	254.0	-
F -2	772.0	-	25.4	63.5	127.0	254.0
F - 3	1158.0	-	-	43.0	84.7	169.4
F -4	1544.0	-	-	-	63.5	127.0
F - 5	1930.0	-	-	-	50.8	101.6
F - 10	3860.0	-	-	-	-	50.8

- Inserte el grano en el extremo del hilo de rosca en la hendidura en la tapa del carrete de calibración. Envuelva el hilo de rosca poco más de una vez alrededor del carrete y después cubra el hilo de rosca sobre la polea.
- Cuelgue el peso seleccionado en el hilo de rosca y ajuste el accesorio de calibración para arriba o abajo hasta que el hilo de rosca del carrete a la polea este horizontal.

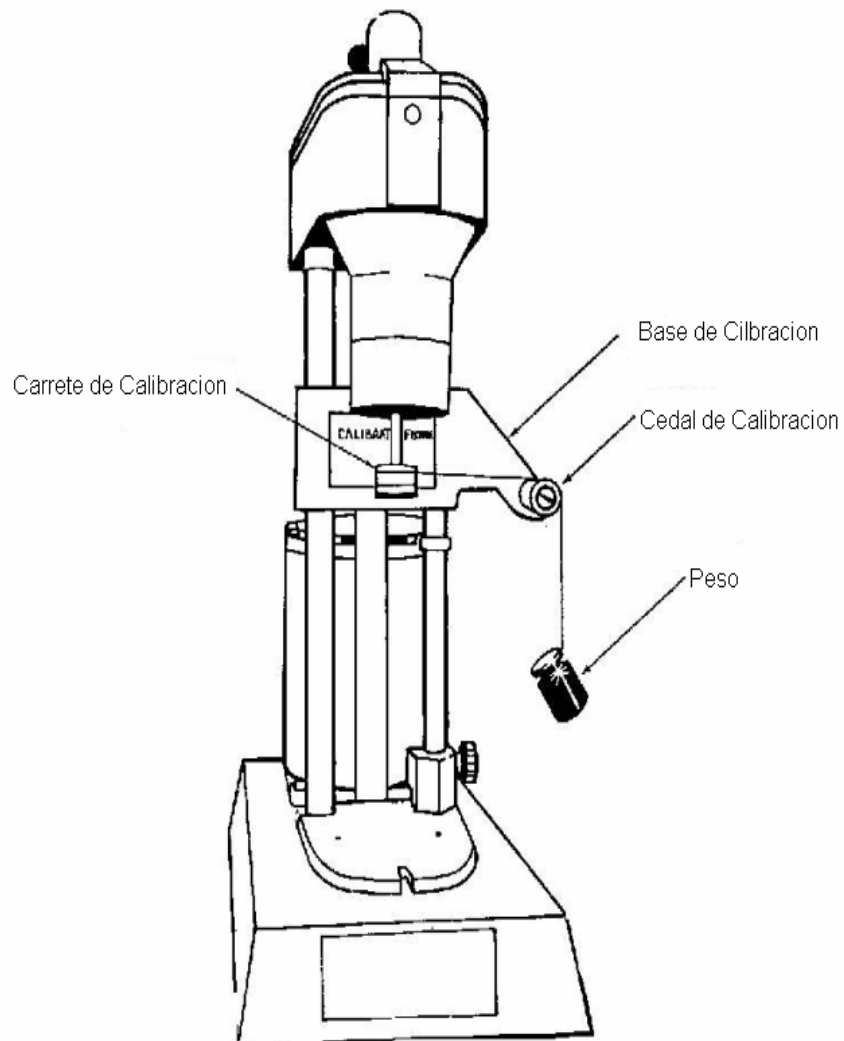
- Compare la lectura del dial con la lectura en la tabla.

En caso de necesidad, ajuste el resorte de torsión. Las tolerancias de la fábrica para el resorte F1 solamente son $127 \pm 1/2^\circ$ para 50 g y $254 \pm 1/2^\circ$ para 100 g. Un movimiento del $\pm 1/2^\circ$ es permitido cuando el eje principal está libre.

Compruebe las linealidades de la lectura del dial con por lo menos tres pesos. Si el resorte aparece no lineal es generalmente una muestra que el eje de la rotaria está doblado. Un instrumento con estas características necesita servicio y/o la reparación adicionales.

5.4.1.1 Esquema de Calibración por Peso

Figura 27. Esquema de Calibración por peso



5.4.2 Calibración Por Fluido Estándar. La calibración con un fluido estándar verifica que el instrumento completo esté funcionando correctamente. Determinará problemas del eje doblado de la rotaria, excentricidad del rotor y/o el agotamiento del resorte.

El siguiente formato es utilizado para realizar la calibración con fluido y a continuación veremos como se realiza la calibración:

Tabla 2. Reporte de calibración del viscosímetro

Nombre de la Empresa		REPORTE DE CALIBRACION DEL VISCOSIMETRO					LABORATORIO				
							FECHA:				
DATOS GENERALES											
Numero de serie viscosímetro:						Código Equipo:					
Numero de serie del motor:											
Locación:											
Fluido de Calibración:											
Chequeado por:											
DATOS DE CALIBRACION											
				Actual 50 cP	Calculado 50 cP			Actual 100 cP	Calculado 100 cP		
Temperatura, °C											
Viscosidad, cP											
	Factor de Corrección	Lectura en el aire	Lectura del dial	Lectura del dial calculada	Delta	Lectura del dial	Lectura del dial calculada	Delta	Calibrado Si/No		
600 rpm	0.5										
300 rpm	1.0										
200 rpm	1.5										
100 rpm	3.0										
6 rpm	50										
3 rpm	100										
Comentarios: Si una de las seis medidas no se encuentra en el rango, no significa que el Viscosímetro este descalibrado. (Pero solo una)(+/- 1.5 cP)											

Lectura de dial Calculada = Viscosidad / factor de corrección para cada rpm

- Primero se alista el fluido de calibración, el cual se encuentra debidamente caracterizado, se conocen las viscosidades correspondientes para cada temperatura, esta información es suministrada por el proveedor del fluido de calibración.
- Luego se coloca el fluido de calibración en la vasija de muestras del viscosímetro.
- Se pone en funcionamiento el viscosímetro a una velocidad de 600 rpm por un tiempo, hasta que la temperatura del fluido sea homogénea, la temperatura se registra con un termómetro para garantizar la homogeneidad de esta.
- Luego se verifica en la tabla del fluido de calibración y se registra que viscosidad corresponde a la temperatura observada.
- Luego se divide la viscosidad registrada entre el factor de corrección para cada rpm y se halla la lectura del dial calculada, se registra en el reporte de calibración.
- Luego se leen las viscosidades en el dial del viscosímetro para cada rpm y se registran en el reporte de calibración.
- Después se restan las dos viscosidades registradas para hallar el delta y nuevamente se coloca el dato en el reporte.
- El delta no debe ser de +/- 1.5, en caso de ser mayor o menor, el resorte de torsión debe ser ajustado bajándolo o subiéndolo por el método de prueba y error hasta que por lo menos cinco de las seis lecturas registradas estén dentro del rango adecuado (+/- 1.5)

En el Anexo A presentamos un formato de control para la operación del Viscosímetro FANN 35 A y en el Anexo B se presentan las pruebas reológicas que se realizan para la caracterización de un lodo.

6. SOPORTE DE CALIBRACION Y REPARACION

Para verificar el resultado de la reparación y calibración de los viscosímetros fann 35A, los cuales son objeto de este trabajo, se tomo como referencia un viscosímetro nuevo que se compro para el laboratorio de lodos, el cual se encuentra calibrado y en excelentes condiciones de funcionamiento.

Para esta operación se utilizaron tres fluidos newtonianos diferentes, se tomaron los datos correspondientes con cada uno de los viscosímetro, se graficaron los reogramas correspondientes y se hallaron los valores de las viscosidades. A continuación se presentan los resultados obtenidos con cada uno de los viscosímetros.

6.1 FLUIDOS UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS:

- MIEL
- ACEITE DE COCINA
- ACEITE 15W - 40

Nota:

Las pruebas se realizaron de manera simultánea para los viscosímetros 1 y 2 con una temperatura de las muestra así:

$$T_{\text{Miel}} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Aceite de Cocina}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Aceite 15W - 40}} = 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Las pruebas realizadas con el viscosímetro de referencia se tomaron al dia siguiente con las siguientes temperaturas:

$$T_{\text{Miel}} = 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Aceite de Cocina}} = 25.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Aceite 15W - 40}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

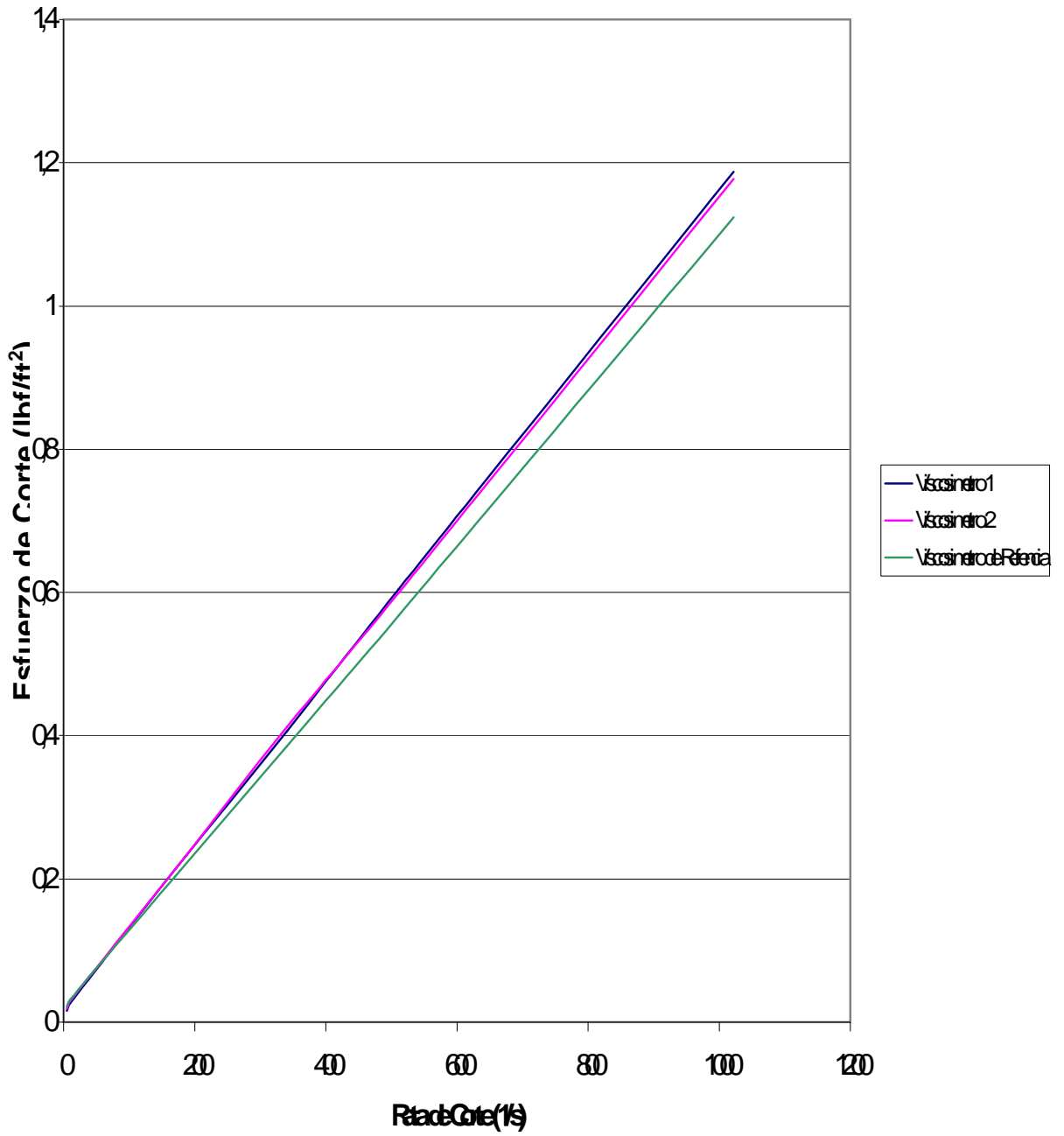
6.2 DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS

FLUIDO # 1 (Aceite de cocina)							
rpm	Lectura del dial viscosímetro # 1	Lectura del dial viscosímetro # 2	Lectura del dial viscosímetro de referencia	Rata de Corte	Esfuerzo de corte viscosímetro # 1	Esfuerzo de corte viscosímetro # 2	Esfuerzo de corte viscosímetro referencia
3	1,5	1,8	2	5,109	0,01605	0,01926	0,0214
6	2,5	2,8	3	10,218	0,02675	0,02996	0,0321
100	20	20	19	170,3	0,214	0,214	0,2033
200	38	38,5	36	340,6	0,4066	0,41195	0,3852
300	56,5	56	53	510,9	0,60455	0,5992	0,5671
600	111	110	105	1021,8	1,1877	1,177	1,1235

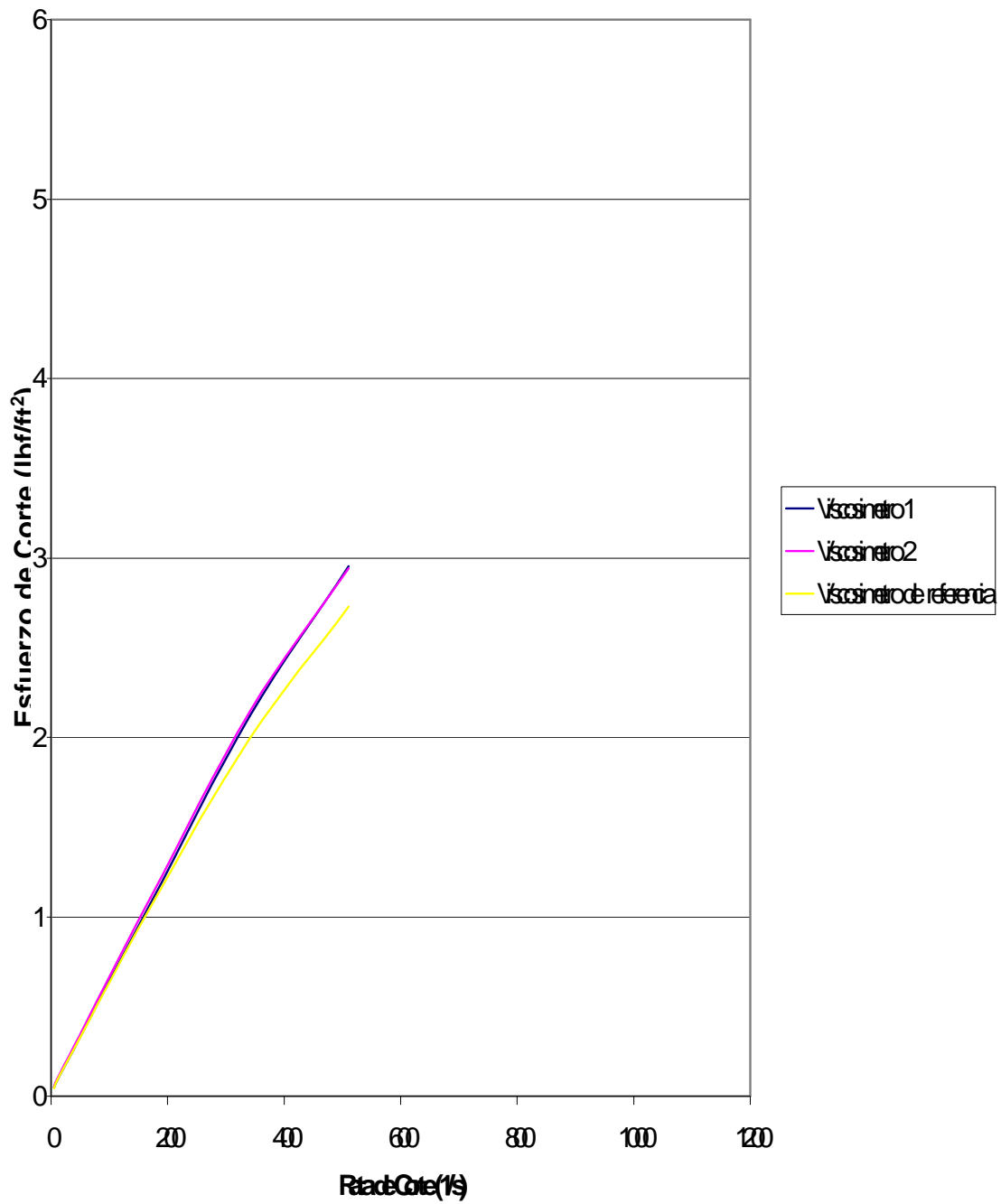
FLUIDO # 2 (MIEL)							
rpm	Lectura del dial viscosímetro # 1	Lectura del dial viscosímetro # 2	Lectura del dial viscosímetro de referencia	Rata de Corte	Esfuerzo de corte viscosímetro # 1	Esfuerzo de corte viscosímetro # 2	Esfuerzo de corte viscosímetro referencia
3	4,5	5	4	5,109	0,04815	0,0535	0,0428
6	8	8,5	8	10,218	0,0856	0,09095	0,0856
100	100	103	98	170,3	1,07	1,1021	1,0486
200	198	200	186	340,6	2,1186	2,14	1,9902
300	276	275	255	510,9	2,9532	2,9425	2,7285
600	579	579	561	1021,8	6,2	6,2	6

Fluido # 3 (Aceite 15W - 40)							
rpm	Lectura del dial viscosímetro # 1	Lectura del dial viscosímetro # 2	Lectura del dial viscosímetro de referencia	Rata de Corte	Esfuerzo de corte viscosímetro # 1	Esfuerzo de corte viscosímetro # 2	Esfuerzo de corte viscosímetro referencia
3	3,5	3,5	3	5,109	0,03745	0,03745	0,0321
6	6	6	5	10,218	0,0642	0,0642	0,0535
100	72	72	71	170,3	0,7704	0,7704	0,7597
200	142	142	140	340,6	1,5194	1,5194	1,498
300	210	210	196	510,9	2,247	2,247	2,0972
600	421	421	411	1021,8	4,5	4,5	4,4

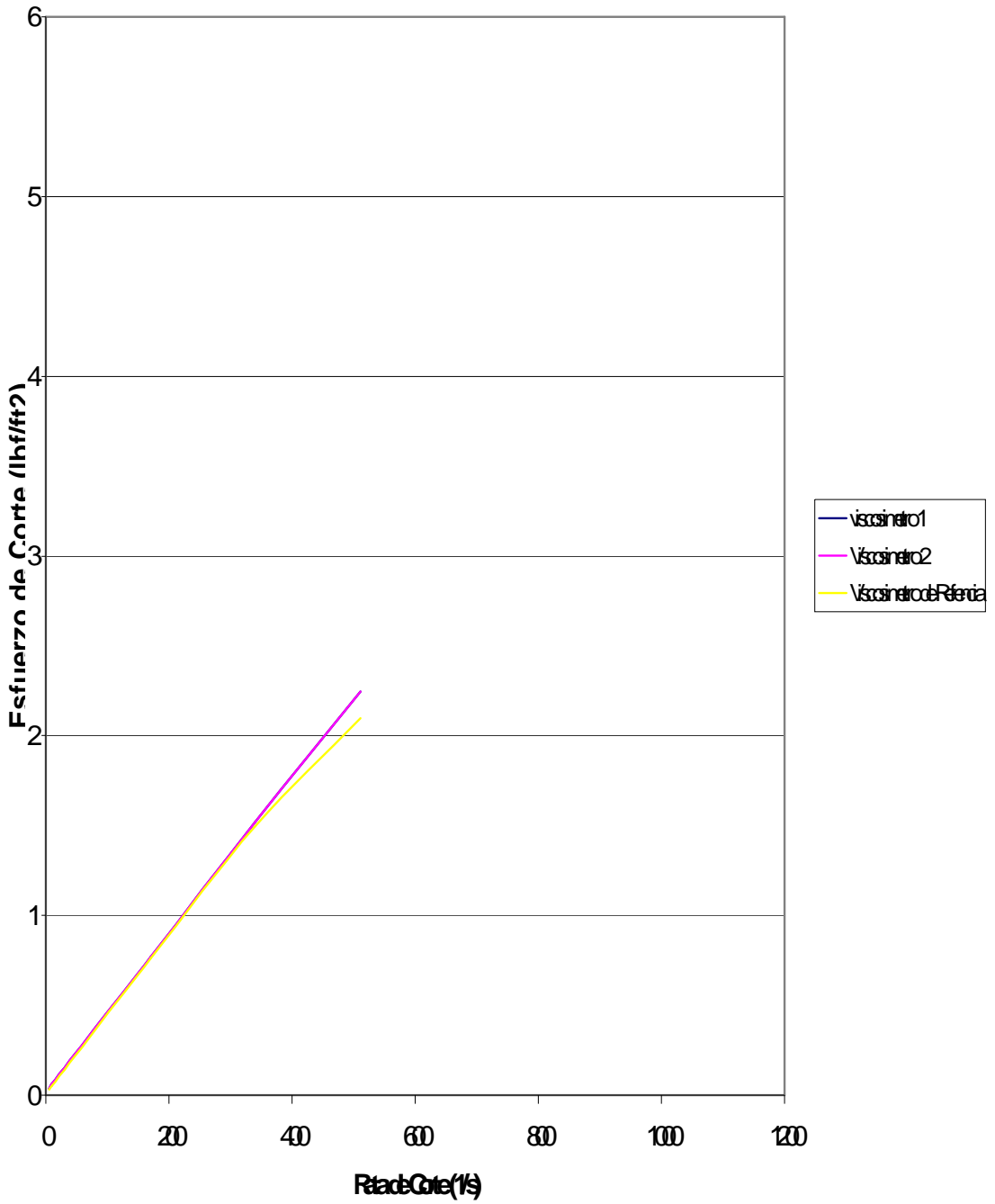
Região (Área de Corte)



Regana(ME)



Regana (Asa 15/4)



6.3 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL VISCOSIMETRO FANN 35A # 1

Fluido # 1 (Aceite de Cocina)		Formulas
Viscosidad Aparente =	55,5 cps	$Va = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	54,5 cps	$Vp = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	2 lb/100 ft ²	$Pc = L_{300} - Vp$
Relación Vp - Pc =	0,036697248	$R_{Pc-Vp} = Pc / Vp$
Ind. de Comport. de flujo	1	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,128286622 lb-seg/100ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

Fluido # 2 (MIEL)		Formulas
Viscosidad Aparente =	289,7196262 cps	$Va = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	303,4392523 cps	$Vp = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	27,43925234 lb/100 ft ²	$Pc = L_{300} - Vp$
Relación Vp - Pc =	0,090427498	$R_{Pc-Vp} = Pc / Vp$
Ind. de Comport. de flujo	1	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,480463725 lb-seg/100 ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

Fluido # 3 (Aceite 15W - 40)		Formulas
Viscosidad Aparente =	210,2803738 cps	$Va = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	210,5607477 cps	$Vp = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	0,560747664 lb/100 ft ²	$Pc = L_{300} - Vp$
Relación Vp - Pc =	0,002663116	$R_{Pc-Vp} = Pc / Vp$
Ind. de Comport. de flujo	1	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,411588127 lb-seg/100 ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

6.4 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL VISCOSIMETRO FANN 35A # 2

Fluido # 1 (Aceite de Cocina)		Formulas
Viscosidad Aparente =	55 cps	$Va = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	54 cps	$Vp = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	2 lb/100 ft ²	$Pc = L_{300} - Vp$
Relación Vp - Pc =	0,037037037	$R_{Pc-Vp} = Pc / Vp$
Ind. de Comport. de flujo	0,975785102	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,128286622 lb-seg/100ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

Fluido # 2 (MIEL)		Formulas
Viscosidad Aparente =	289,7196262 cps	$V_a = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	304 cps	$V_p = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	29,43925234 lb/100 ft ²	$P_c = L_{300} - V_p$
Relación Vp - Pc =	0,096699923	$R_{Pc-Vp} = P_c / V_p$
Ind. de Comport. de flujo	1,077191125	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,480463725 lb-seg/100 ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

Fluido # 3 (Aceite 15W - 40)		Formulas
Viscosidad Aparente =	210,2803738 cps	$V_a = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	211 cps	$V_p = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	0,560747664 lb/100 ft ²	$P_c = L_{300} - V_p$
Relación Vp - Pc =	0,002663116	$R_{Pc-Vp} = P_c / V_p$
Ind. de Comport. de flujo	1,003756221	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,411588127 lb-seg/100 ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

6.5 RESULTADOS OBTENIDOS CON EL VISCOSIMETRO FANN 35A DE REFERENCIA

Fluido # 1 (Aceite de Cocina)		Formulas
Viscosidad Aparente =	52,5 cps	$V_a = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	52 cps	$V_p = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	1 lb/100 ft ²	$P_c = L_{300} - V_p$
Relación Vp - Pc =	0,019230769	$R_{Pc-Vp} = P_c / V_p$
Ind. de Comport. de flujo	0,988127893	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,12135221 lb-seg/100ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

Fluido # 2 (MIEL)		Formulas
Viscosidad Aparente =	289,7196262 cps	$V_a = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	304 cps	$V_p = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	49,43925234 lb/100 ft ²	$P_c = L_{300} - V_p$
Relación Vp - Pc =	0,162394474	$R_{Pc-Vp} = P_c / V_p$
Ind. de Comport. de flujo	1,138932429	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,464964895 lb-seg/100 ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

Fluido # 3 (Aceite 15W - 40)		Formulas
Viscosidad Aparente =	205,6074766 cps	$V_a = L_{600}/2$, cps
Viscosidad Plástica=	215 cps	$V_p = L_{600} - L_{300}$, cps
Punto de Cedencia =	19,21495327 lb/100 ft ²	$P_c = L_{300} - V_p$
Relación Vp - Pc =	0,089282612	$R_{Pc-Vp} = P_c / V_p$
Ind. de Comport. de flujo	1,07099309	$n = 3,328 \text{Log} (L_{600}/L_{300})$
Índice de Consistencia	0,402441724 lb-seg/100 ft ²	$K = L_{600}/(\text{rata de corte a } 600)^n$

6.6 ANALISIS DE RESULTADOS

Como se puede observar los resultados obtenidos con cada uno de los viscosímetros son muy similares, por ejemplo:

Viscosidad Aparente para Aceite de Cocina:

Viscosímetro # 1 = 55,5 cps

Viscosímetro # 2 = 55 cps

Viscosímetro de Referencia = 52,5 cps

Viscosidad Aparente para Miel:

Viscosímetro # 1 = 289,7196262 cps

Viscosímetro # 2 = 289,7196262 cps

Viscosímetro de Referencia = 289,7196262cps

Viscosidad Aparente para Aceite 15W - 40:

Viscosímetro # 1 = 210,2803738 cps

Viscosímetro # 2 = 210,2803738 cps

Viscosímetro de Referencia = 205,6074766cps

Como sabemos la viscosidad depende de la temperatura, entonces esta diferencia encontrada en las viscosidades se debe a que las pruebas se realizaron con diferentes temperaturas en las muestras.

Si vemos las viscosidades halladas con los viscosímetros 1 y 2 que fueron tomadas a la misma temperatura son casi iguales, la diferencia entre estos dos resultados puede ser causada por error humano, al tomar la lectura del dial se puede incurrir en errores.

Ahora si observamos los reogramas, nos muestran un comportamiento similar en la variación de tasa de corte vs esfuerzo de corte, nuevamente se puede observar que las graficas no coinciden 100% pero como ya se menciono la temperatura nos altera la viscosidad de los fluidos, pero se puede observar que la variación es constante.

Y este mismo comportamiento lo observamos en las pruebas que se realizaron con cada uno de los fluidos, lo que nos lleva a la conclusión que los viscosímetros se encuentran debidamente calibrados y en buen estado de funcionamiento.

7. CONCLUSIONES

- No colocar el viscosímetro sobre superficies mojadas.
- No conecte el viscosímetro al tomacorriente sin autorización del técnico (Encargado de laboratorio, profesor o monitor).
- No exceda el torque sobre el eje del dial cuando se coloque o se quite el Bop o el rotor ya que este se puede torcer y generar excentricidad.
- No golpear el viscosímetro bajo ninguna circunstancia.
- No tratar de frenar el rotor cuando el viscosímetro este encendido, esto ocasiona el deterioro de los engranes y que el viscosímetro se descalibre.
- Por ningún motivo desarme el viscosímetro, este procedimiento lo debe llevar a cabo el técnico.
- El mantenimiento de los viscosímetros debe realizarse periódicamente para garantizar que las lecturas correspondan a los valores reales, aproximadamente cada 6 (seis) meses.
- Las piezas móviles del viscosímetro son frágiles, una manipulación indebida provoca el deterioro temprano de estas y error en las lecturas del dial.

BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFIA

BOURGOYNE JR Adam T., Martin E. Chenevert, Keith K Millheim, F.S. Young jr. Applied Drilling Engineering. SPE Textbook Series vol 2.

CEDEIP. Reologia e Hidraulica. revisión A – 1. 2001

GÓMEZ Gustavo A. RAMÍREZ José L. Perforación con Fluidos Livianos. Tesis 1995.

Halliburton. Laboratorio Baroid. Bogota D.C.

Michem Incorporated. Drilling Fluid Recommendations. Houston, Texas.

PEMEX. 100 Años de la perforación. 1999.

TISSOT Bernard. El petróleo en México y en el Mundo. Archivos de PEMEX.

www.fann.com/fann_manual.asp?displayflag=tbcontents&manualid=35496

www.miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Anejos/MetodosPerforacion/Lodos_Perforacion.asp

ANEXOS

Anexo A. Reporte de operación del Viscosímetro FANN 35 A

REPORTE DE OPERACIÓN DEL VISCOSIMETRO FANN 35A			
Prueba N°:			
Viscosímetro N°:		Fecha:	Hora:
Nombre:			
Tipo de identificación C.C. <input type="checkbox"/> T.I. <input type="checkbox"/> Código <input type="checkbox"/>		N°	
Nombre del Profesor/Monitor:			
Tipo de Fluido:			
Descripción (breve):			
Velocidad	Lectura del dial	Velocidad	Lectura del dial
600		300	
6		3	
100		200	
¿Finalizo la prueba con éxito? SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
Si la respuesta es NO ¿Por qué?:			

Anexo B. Pruebas de Laboratorio

PRUEBAS DE LABORATORIO

PROPIEDADES Y PRUEBAS DE LOS FLUIDOS:

OBJETIVOS

- Evaluar todas las propiedades físicas y químicas de un fluido de perforación.
- Conocer el funcionamiento y el manejo de los equipos utilizados en la determinación de las propiedades físicas de un lodo.
- Conocer los reactivos y procedimientos para la determinación de las características químicas de un lodo de perforación.

DENSIDAD DEL LODO

PROCEDIMIENTO

- Retirar la tapa del recipiente, limpia y seca y llenarla completamente con la muestra de lodo
- Colocar la tapa presionándola y rotándola observando que salgan parte del lodo por el orificio central de la tapa, para asegurar que no quede aire dentro del recipiente.
- Cubrir el orificio con el dedo y lavar o limpiar el lodo del exterior del recipiente y del brazo.
- Poner la balanza en el soporte y nivelarla, mediante el movimiento del contrapeso móvil.
- Leer la densidad en el lado opuesto del contrapeso móvil,(en la unidades que se deseen)

PROPIEDADES REOLÓGICAS

Viscosidad plástica, viscosidad aparente, punto de cedencia y resistencia de gel.

PROCEDIMIENTO

- Colocar la muestra del lodo en el recipiente del viscosímetro y sumergir el rotor dentro del lodo hasta la línea de marca.

- Iniciar el movimiento del viscosímetro con 600 rpm, esperar que el dial muestre un valor estable (el tiempo depende de las características del lodo) y tomar la lectura para 600 rpm.
- Pasar la posición del viscosímetro a 300 rpm y esperar la estabilización para tomar y reportar la lectura.
- Colocar el viscosímetro en la velocidad de 600 rpm y agitar por 10 segundos.
- Dejar el lodo en reposo durante 10 segundos e iniciar el movimiento a la velocidad de 3 rpm. Reportar la máxima lectura alcanzada como gel a 10 segundos en lb/100 ft².
- Agitar nuevamente el lodo a alta velocidad y dejar en reposo durante 10 min, luego repetir la medida anterior y reportar el gel a 10 minutos en lb/100 ft².

CALCULOS

- Viscosidad plastica VP (cp) = lect. 600 rpm – lect. 300 rpm
- Viscosidad aparente VA (cp) = lect. 600 rpm/2
- Punto de cedencia YP (lb/100 ft²) = lect. 300 rpm – VP

VISCOSIDAD DE EMBUDO

PROCEDIMIENTO

- Tapar el orificio inferior del embudo con el dedo y verter la muestra de lodo, previamente agitada, a través de la malla, hasta que el fluido alcance el nivel de la misma.
- Retirar el dedo del orificio rápidamente y medir el tiempo requerido para que llene el recipiente hasta la marca de 946 cc.
- Medir la temperatura del lodo.
- Reportar el tiempo, al segundo más próximo como viscosidad Marsh y la temperatura en °F, ó °C.

CARACTERÍSTICAS DE FILTRACIÓN

Análisis a baja temperatura y baja presión. - filtrado API (temperatura ambiente y p=100 psi).

PROCEDIMIENTO

- Asegurarse que todas las partes de la celda estén limpias, especialmente la malla.
- Colocar la malla, el papel filtro, los empaques y ajustar la tapa inferior de la celda.
- Vierta la muestra de lodo en la celda, dejando el nivel de fluido media pulgada (13 mm) por debajo del borde. Tapar y ensamblar la celda al soporte.
- Colocar una probeta graduada debajo del tubo de drenaje para recoger el filtrado.
- Encender el compresor (manteniendo inicialmente todas las válvulas cerradas) y ajustar el regulador de presión a 100 Psi.
- Aplicar presión en la celda durante 30 minutos.
- Al finalizar los 30 minutos, medir el volumen de filtrado en cm³ y registrarlo como filtrado API. Este filtrado se deja para el análisis químico.
- Cerrar la válvula de flujo y abrir la válvula de alivio.
- Remover la celda, asegurándose que no haya presión, sacar el lodo, tomar el filtro que contiene la torta y lavarlo en una corriente de agua muy suave.
- examinar la apariencia, plasticidad y consistencia de la torta y reportar el espesor aproximadamente en 32 avos de pulgada (0.9 mm).

Análisis a alta temperatura y alta presión.

PROCEDIMIENTO – a 300 °f (149 °c) de temperatura.

- Coloque el termómetro en el orificio de la chaqueta de calentamiento y precaliente hasta 10 °F (6 °C) por encima de la temperatura deseada. Ajuste el termostato para mantener la temperatura.
-

Agite la muestra del lodo por 10 minutos con mezclador de alta velocidad. Vacíe la muestra en la celda del lodo; teniendo cuidado de llenar cerca de ½ in (13 mm) desde el borde, dejando espacio para la expansión.

- Instale el papel filtro.
- Complete el montaje de la celda y con las válvulas superior e inferior cerradas, coloque la celda en la chaqueta de calentamiento. Transfiera el termómetro al orificio en la celda del lodo.
- Conecte el conjunto de la celda de alta presión a la válvula inferior y ajuste en su sitio.
- Conecte la fuente de presión regulada a la válvula de encima y al conjunto de la celda; y ajuste en su sitio.
- Cuidando el cerrado de las válvulas, ajuste los reguladores a 100 Psi (690 KPa). Abra la válvula de encima aplicando 100 Psi al lodo. Mantenga esta presión hasta que la temperatura deseada, esté estabilizada. El tiempo de calentamiento de la muestra en la celda filtrante no debe exceder de una hora en total.
- Cuando la muestra alcance la temperatura seleccionada, aumente la presión de encima hasta 600 unidades Psi (4140 KPa) y abra la válvula inferior para comenzar la filtración. Colecte el filtrado por 30 minutos manteniendo la temperatura seleccionada cerca de $\pm 5^{\circ}\text{F}$ ($\pm 3^{\circ}\text{C}$). Si la contrapresión se eleva por encima de 100 Psi durante el análisis, precavidamente reduzca la presión evacuando una porción del filtrado. Anote el volumen total, temperatura, presión y tiempo.
- El volumen de filtrado debe ser corregido al área de filtrado del filtro de 7.1 in² (4580 mm²). Si el área del filtro es 3.5 in² (2258 mm²), doble el volumen de filtrado y repórtelo.
- Al final del análisis, cierre las válvulas sobre la celda del lodo y desaloje la presión en reguladores.

PRECAUCIÓN: La presión en la celda del lodo estaría fija en 500 Psi (3450 KPa) aproximadamente. Mantenga la celda en el soporte y enfríe a temperatura ambiente antes de desarmar. Agote la presión en la celda antes de desarmar.

- Quite la celda de la chaqueta de calentamiento, asegurándose primero que las válvulas de encima e inferior estén fuertemente cerradas y quitada toda la presión en los reguladores. Para sacar el papel filtro use extremo cuidado y

coloque la celda en su sitio, abra la válvula para liberar la presión contenida en la celda y destápela. Descarte el lodo y recupere la torta infiltrada sobre el papel con un chorro suave de agua.

- Mida y reporte el espesor de la torta con aproximación de 1/32 in (0.8 mm).

PROCEDIMIENTO – Temperatura superior a 300°f (149°c).

- Coloque el termómetro en el orificio en la chaqueta y precaliente hasta 10°F (6°C) por encima de la temperatura deseada. Ajuste el termostato para mantener la temperatura correcta.
- Agite la muestra de lodo por 10 minutos con mezclador de alta velocidad. Vacíe la muestra en la celda del lodo; teniendo cuidado de llenar cerca de 1.5 in (38 mm) desde el borde, dejando espacio para la expansión.
- Instale el medio filtrante apropiado.
- Complete el montaje de la celda y con las válvulas superior e inferior cerradas, coloque la celda en la chaqueta de calentamiento. Transfiera el termómetro al orificio en la celda del lodo.
- Conecte el conjunto de la celda de alta presión a la válvula inferior y ajuste en su sitio.
- Conecte la fuente de presión regulada a la válvula de encima y al conjunto de la celda; y ajuste en su sitio.
- Con las válvulas superior e inferior cerradas, aplique la contrapresión recomendada (Tabla 3.1) para la temperatura del análisis a ambas válvulas. Abra la válvula de encima aplicando la misma presión al lodo mientras calienta. Mantenga esta presión hasta que la temperatura del análisis sea lograda y estabilizada.
- Cuando la muestra alcance la temperatura del análisis, aumente la presión de encima hasta 500 Psi (3450 kPa) por encima de la contrapresión sostenida en el momento y abra la válvula inferior para comenzar la filtración. Recoja el filtrado por 30 minutos manteniendo la temperatura del análisis cerca de $\pm 5^{\circ}\text{F}$ ($\pm 3^{\circ}\text{C}$) y manteniendo la contrapresión apropiada. Si la contrapresión empezara a subir, esta puede ser reducida cuidadosamente evacuando una pequeña porción del filtrado. El tiempo de calentamiento de la muestra en la celda filtrante nunca deberá exceder de una hora en total.

- Después de concluir el análisis cierre ambas válvulas en la celda de presión y libere la presión de los reguladores. Deje un mínimo de 5 minutos para enfriar el filtrado y evitar la vaporización, entonces vacíe cuidadosamente y anote el volumen total. Así mismo anote la temperatura, presión y tiempo. Asegúrese de dejar suficiente tiempo para drenar todo el filtrado del recibidor.

PRECAUCIÓN: La presión interior de la celda filtrante estaría fija en 500 Psi (3450 KPa) aproximadamente. Mantenga la celda en el soporte y enfríe a temperatura ambiente antes de desarmar. Agote la presión en la celda antes de desarmar.

- Quite la celda de la chaqueta de calentamiento, asegurándose primero que las válvulas de encima e inferior estén fuertemente cerradas y quitada toda la presión en los reguladores. Usando extremo cuidado saque el papel filtro y coloque la celda en el soporte, abra la válvula para liberar la presión contenida en la celda y destápela. Descarte el lodo y recupere la torta infiltrada sobre el papel; lave la torta con un suave chorro de agua.
- Mida y reporte el espesor de la torta con aproximación de 1/32 in (0.8 mm).

NOTA. No todos los equipos fabricados pueden ser usados a más de 300°F (149°C). Conozca la capacidad de presión/temperatura del equipo en uso. El análisis a alta presión y temperatura necesita tener en cuenta las medidas de seguridad. Todas las celdas de presión deberán estar equipadas con un fusible de seguridad para sobrecalentamiento y un termostato de admisión. La presión de vapor de la fase líquida de los lodos se convierte en un aumento crítico del factor de cálculo, a medida que las temperaturas del análisis son aumentadas. Las presiones de vapor del agua a varias temperaturas se muestran en la tabla 3.1.

CONTRAPRESIÓN MÍNIMA REQUERIDA

Temperatura de prueba		Presión de vapor		Contrapresión mínima	
°F	°C	Psi	kPa	psi	kPa
212	100	14.7	101	100	690
250	121	30	207	100	690
300	149	67	462	100	690
Límite de Field testing normal					
350	177	135	932	160	1104
400	204	247	1704	275	1898
450	232	422	2912	450	3105

CONTENIDO DE SÓLIDOS Y LÍQUIDOS.

CONTENIDO DE AGUA, ACEITE Y SÓLIDOS TOTALES.

PROCEDIMIENTO

- Limpiar y secar la cámara de la retorta.
- Llenar completamente la cámara con la muestra, recientemente agitada, asegurándose que no hayan burbujas.
- Colocar la tapa con fuerza, de manera que el exceso de lodo salga a través del orificio.
- Limpiar el recipiente externamente.
- Empacar la cámara superior con esponja de acero fina.
- Colocar la retorta en el bloque aislante y cubrirla con la tapa.
- Conectar a la fuente de energía y dejar hasta que cese la condensación, permitiendo 10 minutos de calentamiento adicional.
- Leer el volumen de petróleo y agua recolectados, si no hay interfase bien definida, una gota de agente humectante promueve la separación del aceite y el agua.

CALCULOS

- a. Usando los volúmenes medidos de aceite y agua, y el volumen total de la muestra original de lodo (10 o 20 cm³), calcule el porcentaje en volumen de agua, aceite y sólidos totales en el lodo.

- Porcentaje de agua en volumen:

$$V_w = \frac{100(\text{vol. de agua en cm}^3)}{\text{Volumen de muestra en cm}^3}$$

- Porcentaje de aceite en volumen:

$$V_o = \frac{100(\text{vol. de aceite en cm}^3)}{\text{Volumen de muestra en cm}^3}$$

-

Porcentaje en volumen de sólidos en la retorta:

$$V_s = 100 - (V_w + V_o)$$

$$V_s = 100 - (V_w - V_o)$$

NOTA: El porcentaje en volumen superior de sólidos en la retorta es solamente la diferencia entre agua más aceite y el volumen total de muestra. Esta diferencia es entre los sólidos suspendidos (material pesado y de bajo peso) y materiales disueltos (sales). Este porcentaje en volumen de sólidos en la retorta son los sólidos suspendidos solamente si es un lodo no tratado y de agua pura.

b. Son requeridos cálculos adicionales para encontrar el porcentaje en volumen de sólidos suspendidos y su relación con los volúmenes relativos de sólidos de bajo peso y material pesado. Para hacer estos cálculos se necesitan, un exacto del lodo y la concentración de cloruros.

- Porcentaje de sólidos suspendidos en volumen:

$$\text{Donde, } V_{ss} = V_s - V_w \left(\frac{C_s}{1680000 - 1.21C_s} \right)$$

C_s = concentración de cloruros en mg/lit.

- Porcentaje de sólidos de bajo peso en volumen:

$$V_{lg} = \frac{1}{\rho_b - \rho_{lg}} \left[100\rho_f + (\rho_b - \rho_f)V_{ss}12W_m - (\rho_f - \rho_o)V_o \right]$$

Donde,

W_m = peso del lodo en lb/gal.

ρ_f = densidad del filtrado en gr/cm^3 .

($\rho_f = 1 + 0.00000109 C_s$) en base al cloruro de sodio.

ρ_b = densidad del material pesado gr/cm^3 .

ρ_{lg} = densidad de sólidos de bajo peso en gr/cm^3 (use 2.6 si es desconocida).

ρ_o = densidad del aceite en gr/cm^3 (use 0.84 si es desconocida).

-

Porcentaje del material pesado en volumen:

$$V_b = V_{ss} - V_{lg}$$

- Concentración de sólidos de bajo peso, material pesado y sólidos suspendidos:

$$C_{lg} = 3.49(\rho_{lg})(V_{lg})$$

$$C_b = 3.49(\rho_b)(V_b)$$

$$C_{ss} = C_{lg} + C_b$$

Donde,

C_{lg} = concentración de sólidos de bajo peso, en lb/bbl.

C_b = concentración del material pesado, en lb/bbl.

C_{ss} = concentración de sólidos suspendidos, en lb/bbl.

CONTENIDO DE ARENA.

PROCEDIMIENTO.

- Llenar el tubo de vidrio con la muestra de lodo, hasta la marca indicada y adicionar agua hasta la marca superior.
- Tapar el recipiente y agitar fuertemente.
- Vierta el contenido del recipiente a través de la malla, adicionando agua al tubo, repitiendo la operación hasta que quede limpio.
- Invertir la malla sobre el recipiente de vidrio y pasar la arena retenida, mediante un chorro de agua, tratando que no quede nada en la malla, sin rebozar el recipiente.
- Dejar decantar las partículas en suspensión, y leer el porcentaje en volumen de la arena.

CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES.

PROCEDIMIENTO.

- Medir 1 o 2 ml de muestra de lodo en un erlenmeyer, el cual debe contener previamente 10 ml de agua destilada.

- Añadir 15 cm³ de peróxido de hidrógeno al 3% y 0.5 de ácido sulfúrico 5N.
- Hervir la muestra moderadamente por 10 minutos. Diluir hasta 50 cm³ con agua y dejar enfriar la mezcla.
- Añadir azul de metileno en incremento de 0.5 cm³. Después de cada adición agitar por cerca de 30 segundos, mientras los sólidos permanecen en suspensión remover una gota con agitador y colocarla sobre el papel filtro. El punto final alcanza cuando un anillo azul verdoso aparece alrededor de los sólidos teñidos.
- Cuando se alcanza el punto, agitar 2 minutos más y colocar otra gota sobre el papel filtro. Si el anillo azul verdoso es nuevamente evidente, el punto final ha sido alcanzado. Si no aparece, se continúa como antes hasta alcanzarlo realmente.

CÁLCULOS.

Reporte la capacidad al azul de metileno (MBT) del fluido de perforación, calculado como sigue:

$$\text{MBT en cm}^3/\text{cm}^3 = \frac{\text{Azul de metileno, cm}^3}{\text{cm}^3 \text{ de lodo}}$$

Alternativamente, la capacidad al azul de metileno puede ser reportada como lb/bbl equivalente de bentonita (basado en bentonita con una CEC de 70 meq/100gr) calculada como sigue:

$$\text{equivalente de bentonita lb/bbl} = \frac{5(\text{azul de metileno, cm}^3)}{\text{cm}^3 \text{ de lodo}}$$

$$\text{equivalente de bentonita Kg/m}^3 = 2.85 (\text{equivalentes de bentonita, lb/bbl})$$

NOTA: Las lb/bbl equivalentes de bentonita, no es igual a la cantidad de bentonita comercial en el fluido de perforación. Las arcillas reactivas en los sólidos de perforación contribuyen a esta cantidad tanto como la bentonita comercial.

MEDICIÓN DEL PH.

MÉTODO CLORIMÉTRICO.

PROCEDIMIENTO.

- Colocar sobre la superficie de la muestra de lodo, un trozo de papel de prueba, permitiendo que se humedezca y se establezca el color.
-

Comparar el color con la tabla de colores estándar y estimar el pH.

MÉTODO ELECTROMÉTRICO.

PROCEDIMIENTO.

- Calibrar el medidor con las soluciones buffer para pH de 7.4 y 10 respectivamente; lavando con agua destilada y secando cuidadosamente el electrodo antes de cada prueba. Es necesario esperar al menos 1 minuto para que la lectura se estabilice.
- Inserte el electrodo en la muestra de prueba, contenida en una cubeta de precipitados pequeña.
- Registrar el pH y la temperatura de la muestra.
- Lavar bien el electrodo y dejarlo inmerso en agua destilada.

CALIBRACIÓN DEL ELECTRODO

- Es necesario limpiar el electrodo periódicamente, especialmente si partículas de aceite o arcilla cubren la superficie del vidrio del electrodo o el fragmento poroso del electrodo de referencia. Limpie el electrodo con un cepillo de cerda suave y un detergente suave.
- El reacondicionamiento del electrodo se hace necesario si la obstrucción llega a ser severa, lo cual es indicado por respuesta lenta, lecturas errantes, de si la "pendiente" y la "calibración" no pueden ser fijadas mutuamente.
- Reacondicionar el electrodo, remojándolo por 10 minutos en HCl 0.1 M, seguido por una enjuagada en agua y remojándolo por 10 minutos en NaOH 0.1 M y enjuagando de nuevo.
- Revise el electrodo si responde a la ejecución de la calibración.
- Si el electrodo continúa trabajando mal, remoje el electrodo por dos minutos solamente en una solución de $\text{NH}_4\text{F} \cdot \text{HF}$ al 10% (este es un ácido fuerte y tóxico). Repita de nuevo la calibración.
- Reemplace el sistema del electrodo si los pasos anteriores frustran el reacondicionamiento.

ANÁLISIS QUÍMICO.

ALCALINIDAD Y CONTENIDO DE SAL.

PROCEDIMIENTO.

ALCALINIDAD DEL FILTRADO: P_f , M_f .

- Mida uno o más cm^3 de filtrado dentro del vaso de titulación. Agregue dos o más gotas de solución indicadora de fenolftaleína. Si el indicador se vuelve rosado, agregue ácido sulfúrico 0.02 N (N/50), gota a gota desde la pipeta graduada, mientras agita, hasta que justamente el color rosado desaparezca. Si la muestra está tan coloreada que el cambio de color del indicador es enmascarado, el punto final puede ser medido con un pHmetro (apropiado) hasta que al dejar caer gotas, dé un $\text{pH} = 8.3$. P_f y M_f
- Reporte la alcalinidad a la fenolftaleína del filtrado, P_f , como la cantidad de ácido 0.02 N requerido por cm^3 de filtrado.
- A la muestra, la cual ha sido titulada hasta el punto final P_f , agregue 2 ó 3 gotas de solución indicadora de metil naranja. Agregue el ácido estándar gota a gota desde una pipeta, mientras agita, hasta que el color del indicador cambia de amarillo a rosado. El punto final puede ser igualmente medido con un pHmetro (apropiado) hasta que al dejar caer gotas, dé un $\text{pH} = 4.3$.
- Reporte la alcalinidad del filtrado al metil naranja, M_f , como el total de cm^3 de ácido 0.02 N por cm^3 de filtrado requerido para alcalinizar el punto final al metil naranja (incluyendo la cantidad requerida por el punto final P_f).

ALCALINIDAD DEL LODO: P_m .

- Mida un cm^3 de lodo en un recipiente de titulación usando una jeringa o pipeta volumétrica.
- Diluya la muestra con 25 a 50 cm^3 de agua destilada.
- Agregue de 4 a 5 gotas de solución indicadora de fenolftaleína mientras agita.
- Si la solución se torna rosada, titule rápidamente con solución de ácido sulfúrico estándar 0.02 N, hasta que adquiera el color original.
- Si el cambio de color en el punto final no puede ser visto, este puede ser tomado cuando el pH caiga a 8.3, medido con un pHmetro.

NOTA: Si es sospechada una contaminación con cemento, la titulación debe ser realizada tan rápidamente como sea posible y el punto final, reportado en la primera desaparición del color rosado.

- Reporte la alcalinidad a la fenolftaleína del lodo, P_m , como la cantidad de cm^3 de solución ácida 0.02 N requerida por cm^3 de lodo.

CÁLCULOS.

Las concentraciones de hidróxilo, carbonato y bicarbonato; pueden ser calculadas como sigue:

	Concentraciones, mg / L		
	OH ⁻	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻
$P_f = 0$	0	0	$1220M_f$
$2P_f < M_f$	0	$1200P_f$	$1220(M_f - 2P_f)$
$2P_f = M_f$	0	$1200P_f$	0
$2P_f > M_f$	$340 (2P_f - M_f)$	$1200(P_f - M_f)$	0
$P_f = M_f$	$340M_f$	0	0

Reporte el contenido de cal de el lodo en libras por barril (LPB ó lb / bbl) a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de cal, LPB} = 0.26 (P_m - F_w P_f)$$

$$\text{Cantidad de cal, kg / cm}^3 = 0.742 (P_m - F_w P_f)$$

Donde, F_w = fracción en volumen de agua en el lodo.

CLORUROS.

PROCEDIMIENTO

- Medir uno ó más cm^3 de filtrado en un recipiente de titulación.
- Agregue de 2 a 3 gotas de solución fenolftaleína.
- Si la solución se torna rosada, agregue ácido gota a gota desde la pipeta, mientras agita, hasta que el color desaparezca. Si el filtrado está intensamente coloreado, agregue un adicional de 2 cm^3 de ácido sulfúrico o nítrico 0.02 N y agite. Luego agregue 1 gr de carbonato de calcio y agite.
- Agregue 25 a 50 cm^3 de agua destilada, y de 5 a 10 gotas de solución indicadora de cromato de potasio.

- Agite continuamente, mientras agrega solución estándar de nitrato de plata, gota a gota desde una pipeta, hasta que el color cambie de amarillo a rojo – naranja y persista por 30 segundos.
- Anote la cantidad de cm^3 de solución requerida para alcanzar el punto final. Si son usados más de 10 cm^3 de solución nitrato de plata, repita el análisis con una muestra más pequeña de filtrado.

CÁLCULOS

Reporte la concentración del ión cloruro del filtrado en mgr / L , calculado como sigue:

$$\text{Cloruro, mg} / \text{L} = \frac{1000(\text{Nitrato de Plata, cm}^3)}{\text{Muestra de filtrado, cm}^3}$$

Conversión de unidades:

$$\text{Cloruro, ppm} = \frac{\text{Cloruro, mg} / \text{L}}{\text{Gravedad específica del filtrado}}$$

$$\text{Sal (NaCl), mg} / \text{L} = 1.65(\text{Cloruro, mg} / \text{L})$$

NOTA: Si la concentración del ión cloruro de el filtrado sobrepasa los $10000 \text{ mg} / \text{L}$, debe ser usada una solución de nitrato de plata equivalente a 0.01 gr de ión cloruro por cm^3 . El factor 1000 en la ecuación para determinación de cloruros debe ser cambiado entonces por 10000.

DUREZA TOTAL COMO CALCIO.

PROCEDIMIENTO

- Medir 1 cm^3 o más de muestra dentro de un beaker de 150 cm^3 (si el filtrado es claro o solamente está coloreado ligeramente, omita los siguientes 4 pasos).
- Agregue 10 cm^3 de hipoclorito y mezcle.
- Agregue 10 cm^3 de ácido acético glacial y mezcle.
- Ebulle la muestra por 5 minutos. Mantenga el volumen de la muestra adicionando agua desionizada tanto como sea requerida durante la ebullición la ebullición es requerida para remover el exceso de cloro. La ausencia de

cloro puede ser verificada sumergiendo una tira de papel pH en la muestra. Si el papel es decolorado, continúe ebuliendo lo requerido.

PRECAUCIÓN: Trabaje en un área adecuadamente ventilada.

- Enfríe la muestra y lave los lados del beaker con agua desionizada.
- Diluya la muestra a 50 cm³ con agua desionizada. Agregue cerca de 2 cm³ del buffer de dureza y arremoline para mezclar.
- **NOTA:** La presencia de hierro soluble puede interferir con la determinación del punto final. Esto debiera ser sospechado y una mezcla de trietanolamina: tetraetilenpentamina: agua (1: 1: 2 por volumen, respectivamente) ha probado ser un agente enmascarante apropiado. 1 cm³ de la mezcla es usado por titulación.
- Agregue suficiente indicador de dureza (2 – 6 gotas) y mezcle. Un color rojo - vino sería desarrollado si el calcio y/o el magnesio están presentes.
- Mientras agita, titule con solución EDTA hasta el punto final apropiado. Los indicadores de calcio producirían un cambio de rojo a azul. El punto final está mejor descrito como aquel punto donde un adicional de EDTA no produce más cambios de color de rojo a azul. El volumen de EDTA sería usado en los cálculos a continuación.

CÁLCULOS

Dureza total como:

$$\text{Calcio} = \frac{400 (\text{volumen de EDTA, cm}^3)}{\text{volumen de muestra, cm}^3} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right]$$

$$\text{CaCO}_3 = \frac{1000 (\text{volumen de EDTA, cm}^3)}{\text{volumen de muestra, cm}^3} \left[\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right]$$